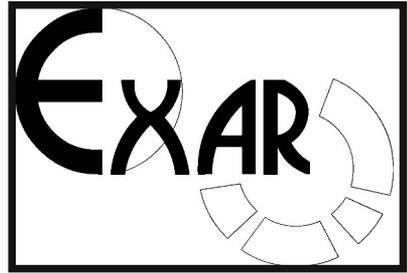


EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA
Jahrbuch 2019
Heft 18

Herausgegeben von Gunter Schöbel
und der Europäischen Vereinigung zur
Förderung der Experimentellen
Archäologie / European Association for
the advancement of archaeology by
experiment e.V.

in Zusammenarbeit mit dem
Pfahlbaumuseum Unteruhldingen,
Strandpromenade 6,
88690 Unteruhldingen-Mühlhofen,
Deutschland



EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE
IN EUROPA
JAHRBUCH 2019

Unteruhldingen 2019

Gedruckt mit Mitteln der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V.

Gedruckt mit Mitteln des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg und dem Staatsministerium der Bundesregierung für Kultur und Medien

gefördert im Rahmen
der Landesinitiative
„Kleine Fächer“ in
Baden-Württemberg



ARCHÄOLOGIE
der Zukunft
>DIREKTVERMITTLUNG WISSEN

Redaktion: Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller,
Erica Hanning

Textverarbeitung und Layout: Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller

Bildbearbeitung: Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller

Umschlaggestaltung: Thomas Lessig-Weller, Ulrike Weller

Umschlagbilder: R. Schwarz, M. Arz, H. Gieß

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie, detaillierte bibliographische Daten sind im Internet abrufbar unter: <http://dnb.dbb.de>

ISBN 978-3-944255-15-6

© 2019 Europäische Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V. - Alle Rechte vorbehalten

Gedruckt bei: Beltz Bad Langensalza GmbH, 99947 Bad Langensalza, Deutschland

Inhalt

<i>Gunter Schöbel</i> Vorwort	8
 Experiment und Versuch	
<i>Sebastian Probst, Anja Probst, Rengert Elburg, Wulf Hein</i> Spalten mit neolithischem Werkzeug	10
<i>Benedikt Biederer</i> Experimenteller Nachbau von Speichergruben	21
<i>Mirko Runzheimer</i> Stiftung Steinzeittext > Kleber	35
<i>Thomas Rose, Sabine Klein, Erica Hanning</i> Verhüttungsexperimente mit Chalkopyrit-Erz nach Vorbildern aus dem bronzezeitlichen Ostalpenraum und Nepal	47
<i>Markus Binggeli</i> Gold in Kupfer in Bronze – frühbronzezeitliche Metalltechnik rekonstruiert	61
<i>Sonja Guber</i> Prähistorische Bienenhaltung in Mitteleuropa – Rekonstruktion und Betrieb eines Rutenstülpers	75
<i>Herbert Gieß, Christoph Zorn, Katrin Zorn</i> Prähistorische Bienenhaltung in hohlen Baumstämmen	82
<i>Klemens Maier, Alexander Hanser, Oskar Hörtner, Christian Hörtnagel, Daniel Draxl, Matthias Leismüller, Manuel Muigg</i> Rezepturenentwicklung von Opus Caementitium zur Verwendung in Hypokaust- heizungen – Einfluss der Ausgangsmaterialien	95
<i>Hannes Lehar</i> Der „Norische Nischenofen“: studiert – probiert	105
<i>Erica Hanning, Anna Axtmann</i> Reconstruction of an Early Modern Wood-fired Chemist's Furnace	117

Rekonstruierende Archäologie

- Erika Berdelis unter Mitwirkung von Gisela Nagy*
Eine Möglichkeit zur Herstellung prähistorischer Keramikrepliken 128
- Elias Flatscher, Michael Praxmarer, Wolfgang Recheis, Michael Schick*
3D-Scans und 3D-Drucke in der Musikarchäologie. Möglichkeiten und experimentalarchäologische Praxisbeispiele 140
- Wolfgang F. A. Lobisser*
Zur experimentalarchäologischen Herstellung eines Einbaums aus Eichenholz mit Werkzeugen, Methoden und Techniken der Bronzezeit 153
- Thorsten Helmerking*
Prähistorischer Bronzeguss und die Lauterkeit: Was kann ich wissen? Was soll ich tun? 171
- Jan Hochbruck*
Der Schutz des Wachses. Versuche zur Nachschöpfung einer antiken Schiffsfarbe 181
- Helga Rösel-Mautendorfer*
Zur Rekonstruktion einer provinzialrömischen Frauentracht nach einer bemalten Platte einer Dromos-Verkleidung aus Brunn am Gebirge 190

Vermittlung und Theorie

- Gunter Schöbel*
Experimentelle Archäologie in Europa – State of the art 2019 201
- Vera Edelstein, Gunter Schöbel*
Vermittlung und Rezeption von Experimenteller Archäologie am Beispiel der Veranstaltungsreihe „Experimentelle Archäologie aus Europa – Wissen erlebbar gemacht“ im Pfahlbaumuseum in Unteruhldingen am Bodensee 215
- Jeroen Flamman*
Archaeological Open-air Centres and Solitary Archaeological Constructions in the Netherland 225

<i>Katja Thode</i> „Archäologie der Zukunft – Direktvermittlung Wissen“. Ein Kooperations- projekt von Museum und Universität	239
<i>Bettina Birkenhagen, Frank Wiesenberg</i> Der experimentalarchäologische Werkstattbereich im Archäologiepark Römische Villa Borg	245
<i>Rüdiger Schwarz</i> Zu den Grenzen der Darstellbarkeit in der Living History	257
<i>Kai Böstler</i> „Schüler heizen ein!“ Nachbau von Rennöfen in den Schülerpraktika des Alamannen-Freilichtmuseums Vörstetten	273
<i>Claudia S. Riedt</i> A journey to the Stone Age-people in the highlands of New Guinea – cooking with the earth oven	284
<i>Peter Walter</i> Zur Nutzung von Bienenwachs von der Urgeschichte bis in die Neuzeit – eine Vorstudie	293
<i>Matthias Baumhauer</i> Knoten in der Stein- und Bronzezeit	308
<i>Arnulf Braune</i> Der Transport der Stonehenge-Steine	314
 Jahresbericht, Nachruf und Autorenrichtlinien	
<i>Ulrike Weller</i> Vereinsbericht der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie e.V. (EXAR) für das Jahr 2018	321
<i>Gunter Schöbel</i> Nachruf: Sylvia Crumbach 1969-2019	325
Autorenrichtlinien „Experimentelle Archäologie in Europa“	326

Vorwort

Liebe Mitglieder des Vereins, liebe Leserinnen und Leser,

Die Tagung 2018 in Unteruhldingen vom 27. bis 30. September war bei bestem Wetter, vielen fruchtbaren Erörterungen und qualitätsvollen Beiträgen ein großer Erfolg. Die Experimentelle Archäologie in Europa gastierte am Bodensee. Das abwechslungsreiche Programm umfasste 29 Vorträge und 15 Posterpräsentationen im gerade neu eröffneten Weltkulturerbe-Saal der Gemeinde Uhldingen-Mühlhofen. Elf Vermittlungseinheiten zur Experimentellen Archäologie konnten im Freilichtmuseum durch SpezialistInnen und PädagogInnen des Fachs als Ergebnis einer ganzjährigen Veranstaltungsreihe im Europäischen Kulturerbejahr mit allen Erfahrungen in Vorführungen erläutert werden. Gefördert wurde die Veranstaltung von der Standortgemeinde, dem Pfahlbaumuseum, dem Ministerium für Wissenschaft und Kunst in Baden-Württemberg im Rahmen des Sonderprojektes „Kleine Fächer – Archäologie der Zukunft“ und nicht zuletzt durch die Staatsministerin für Kultur und Medien bei der Bundesregierung Deutschland unter dem Motto „Sharing Heritage“. Allen Verantwortlichen und den Mitarbeitern des Museums sei an dieser Stelle noch einmal ganz herzlich für die Unterstützung und für die vielfältige Hilfe gedankt.

Die Vermittlung von Experimenteller Archäologie in Museum und Schule, aber auch gegenüber einer breiten Öffentlichkeit, war der Schwerpunkt der Jahrestagung. Davon künden unter anderem die Beiträge in diesem Band unter der Rubrik Vermittlung und Theorie. „Best-Practice-Beispiele“ aus den Museen erläutern die-

sen Punkt ausführlicher und laden damit alle Interessierten zur Nachahmung bewährter Vermittlungsmodule an anderen Orten ein. Die rekonstruierende Archäologie beleuchtet die Herstellung von Werkzeugen und neue Techniken zur Herstellung von alten Objekten in gewohnter Qualität. Ein besonderes Gewicht lag in diesem Jahr auf dem Thema der Bienen und ihrem Nutzen für die prähistorischen Menschen. Ein neues hochinteressantes Feld. Aktuelle Experimente und Versuche näherten sich mit spannenden und neuen Fragestellungen ausführlich den möglichen Antworten zu noch ungeklärten Rezepturen, Techniken und archäologischen Befunden und leisteten damit ihren stets wichtigen Beitrag zur prähistorischen Wissenschaft. Es ist ein in sich geschlossenes und informatives Jahrbuch entstanden, auf das wir als Verein alle stolz sein können.

Besonders zu danken ist dafür dem Redaktionsteam um Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller und Erica Hanning, die wieder in zahlreichen ehrenamtlichen Stunden die Entstehung des Buchs bis zum Druck begleiteten.

Herzlichen Dank allen Autorinnen und Autoren.

Und Ihnen allen viel Freude beim Lesen der Ausgabe 2019.

Unteruhldingen im August 2019

Prof. Dr. habil. Gunter Schöbel
Vorsitzender

Stiftung Steinzeittest > Kleber

Dirk Vorlauf in memoriam

Mirko Runzheimer

Summary – Foundation Stone Age test: glue. A brief introduction covers the definition of pitch/tar, manufacturing processes and results from experimental archeology, archaeological finds and other adhesives which were available in the Stone Age. For this experiment a homogeneous quality of pitch is produced in a “kiln construction” that allows comparability in experimental contexts (fig. 1.6). The produced distillate has to be further processed depending on the intended use and can be mixed with production residues and/or other adhesive materials. This allowed the question of how the desired characteristics can be influenced by mixing with adhesives like pitch, beeswax and resin in different ratios (fig. 2.8) and systematically examined their bond strength and other characteristics (fig. 2.9-2.12). The results of the experiments show how to control the characteristics of the desired adhesive with certain mixing ratios. A test was performed to determine the maximum tensile force. This test was carried out again with addition of 2 g residues (ash, coal) of the pyrolysis and renewed heating (fig. 3.5; fig. 4). The addition resulted in a sample that multiplied the maximum tensile force by factor 9 (sample 2). The addition of similar materials like sand or plant fibers would also increase cohesion. The adhesives can be specifically “controlled” using different mixing ratios for specific applications. The sample-results were documented over temperature-ranges from -20°C to 35°C in increments of 5°C and displayed in graphs (fig. 5-6), which show the different verified properties of the samples in divisions of 0-10 (0 is the lowest expression and 10 the highest).

Keywords: pitch, tar, birch-pitch, birch-tar, glue, thermoplastic, multi-component adhesive, experiment, museum education

Schlagworte: Pech, Teer, Birkenpech, Birkenteer, Klebstoff, Thermoplast, Mehrkomponentenklebstoff, Experiment, Museumspädagogik

„Steinzeitkleber“, insbesondere zur Schäftung von Pfeilspitzen, Steinklingen, Steinbeilen und vielen weiteren Anwendungsmöglichkeiten rückte schon vor Jahren in den Fokus des Verfassers. Es wurden bereits einige Versuche unternommen, perfekte Klebstoffe für spezifische Anwen-

dungsgebiete zu finden, es wurde viel ausprobiert. Bei der Pechherstellung ließ der Erfolg scheinbar nicht lange auf sich warten: Das Pech war sehr schnell am „Laufen“. Nachdem zwar die Gewinnung von flüssigem Pech im Doppeltopfverfahren immer wieder reproduziert werden

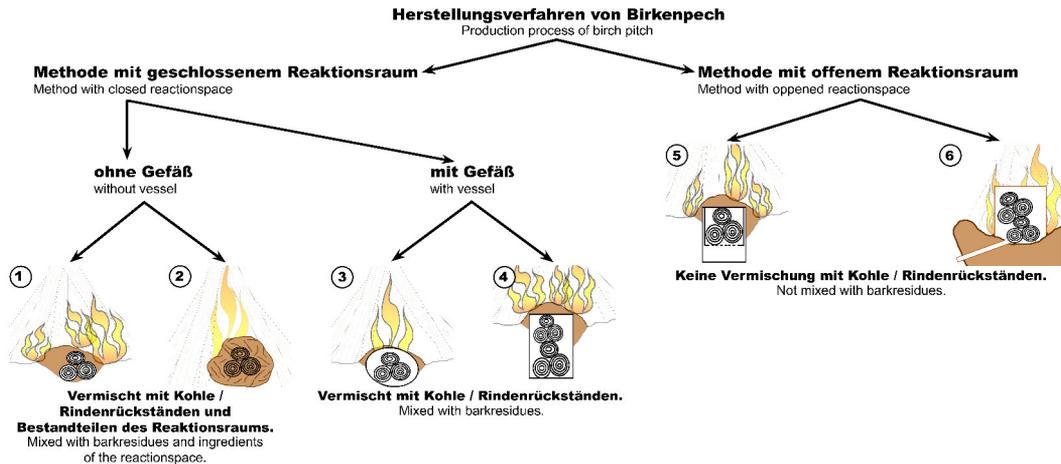


Abb. 1: Herstellungsverfahren von Birkenpech. – Production processes of birch pitch.

konnte, entpuppte sich die Konsistenz des gewonnenen Stoffes jedoch als problematisch in Bezug auf Klebeeigenschaften und Weiterverarbeitung. Das „Zeug“ klebte zwar, allerdings bei Körpertemperatur mehr an den Händen, als an den dafür vorgesehenen Werkstücken. Es wurden parallel auch Versuche mit anderen Klebstoffen auf Bienenwachs- und Baumharzbasis unternommen, die zumindest Werkstücke besser zusammenhielten als das gewonnene Pech bei Körpertemperatur. Eine Vermischung der vorhandenen Klebstoffe lag nahe und wurde auch versucht. Das Ergebnis zeigte sich vielversprechend und weitere Mischverhältnisse der Ausgangsstoffe wurden getestet.

Eine Fragestellung wurde in diesem Zusammenhang immer interessanter: Wie verhalten sich die gewonnenen Thermoplasten aus Pech, Bienenwachs und Baumharzen von Nadelbäumen bei unterschiedlichen Temperaturen? Das archäologische Fundgut besteht nach ersten Recherchen hauptsächlich aus Funden von Pech, genauer gesagt Birkenpech. Jedoch werden viele Fundobjekte als Birkenpech bezeichnet, obwohl meist keine chemischen Analysen mittels Gaschromatographie auf die Biomarkersubstanzen Betulin, Lupeol, Betulon (JUNKMANN

2001, 84) vorliegen. Somit können eigentlich keine genauen Aussagen über die Materialherkunft getroffen werden. Die Bezeichnungen „Pech“ und „Teer“ finden beide ihren Ursprung im altindischen Wort „pitu-daru“ (Sanskrit), welches eine Fichtenart bezeichnet und so viel wie „Harzbaum“ bedeutet. Aus dem ersten Wortteil „pitu“ entwickelte sich unser heutiges Wort „Pech“, welches über den Südosten (Bsp. griechisch „pissa“ / „pitta“ > deutsch „abtropfende Flüssigkeit“ oder auch griechisch „pitos“ > deutsch „festes Harz“) in den deutschen Sprachraum gelangte. Aus dem zweiten Wortteil entwickelte sich im 15./16. Jahrhundert dann unser Wort „Teer“ über den Nord- und Ostseeraum (Bsp. englisch „tar“ > deutsch „Teer“) in den deutschen Sprachraum. Von der eigentlichen Wortdefinition her, bezeichnen beide Worte den gleichen Stoff und werden heute von uns durch DIN-Normen (z. B. DIN 55946) festgelegt. Um Verwechslungen zu vermeiden, wird daher im Folgenden der Begriff Pech weiter verwendet. Pech wird durch eine sauerstofffreie Verschwelung, einer Pyrolyse von harzhaltigen Hölzern, Rinden, Torf, Braun- oder Steinkohle gewonnen, hauptsächlich in Temperaturbereichen von 300-400°C, bis zu 700°C (LEXIKON



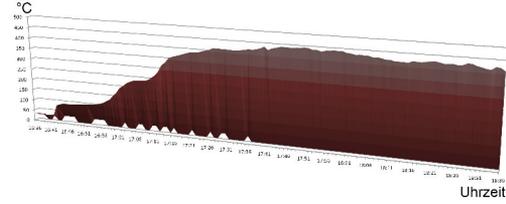
Abb. 2: Durchführung des Experiments. 1-2 Holzverschalung und Ofenkonstruktion, 3-6 Betrieb der Ofenkonstruktion, 7 Verdicken des hergestellten Pechs, 8 Erstellung von unterschiedlichen Mischverhältnissen, 9-12 Überprüfung und Analyse der Proben. – Conducting the experiment. 1-2 wood cladding and furnace construction, 3-6 operation of the furnace construction, 7 thickening of the produced pitch, 8 creation of different mixing ratios, 9-12 review and analysis of the samples.

CHEMIE – Pech (Stoff)). Das gewonnene Produkt ist ein Thermoplast, ein Klebstoff mit thermischen Eigenschaften. Chemisch gesehen ist Pech ein komplexes Gemisch aus nieder- und hochmolekularen Estern und aliphatischen Säuren (LATTERMANN 2013, 15).

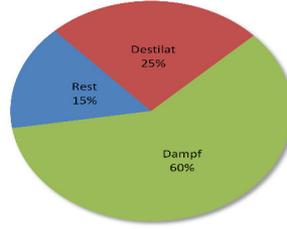
Die archäologischen Funde von Pech können teilweise bis in das späte Frühpaläolithikum um 220.000 BP datiert werden, wie ein Fund aus Campitello, Bucine

(Toskana), bei dem mehrere mit Pech miteinander verklebte Steinabschläge dokumentiert werden konnten (PETER ET AL. 2006, 1310-1318), zeigt. Pech ist somit der bisher älteste bekannte und künstlich hergestellte bipolymere Werkstoff („Kunststoff“), mit dem auch schon zu Zeiten des Neandertalers gearbeitet wurde (LATTERMANN 2013, 16). In Königsau, Salzlandkreis (Sachsen-Anhalt), konnte auf einem Pechfragment ein Fingerabdruck nachge-

Ausstemp. 32 °C, windig, Füllung 100 g Birkenrinde, Gefäß Keramik

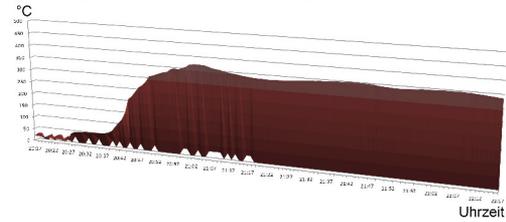


1

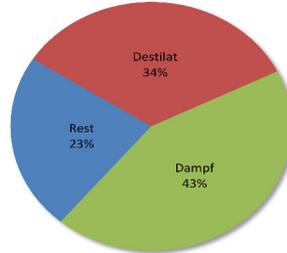


n = 100%

Ausstemp. 28 °C, windstill, Füllung 100g Birkenrinde, Gefäß Keramik

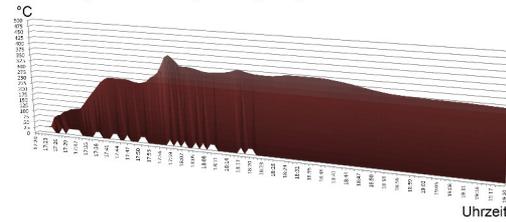


2

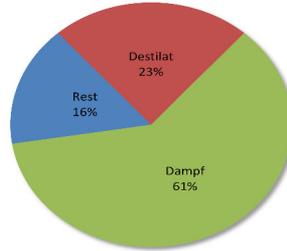


n = 100%

Ausstemp. 26 °C, windig, Füllung 100 g Birkenrinde, Gefäß Blech

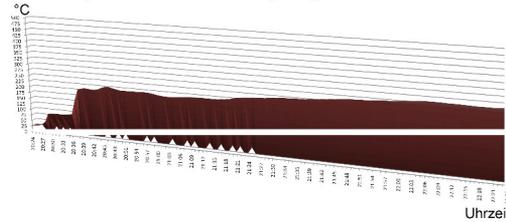


3

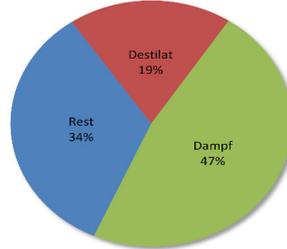


n = 100%

Ausstemp. 24 °C, windstill, Füllung 100 g Birkenrinde, Gefäß Blech

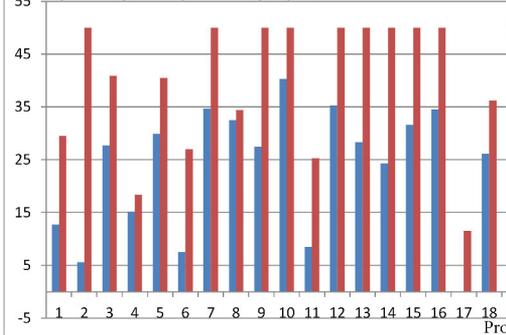


4



n = 100%

Zugkraft in Kg (Messung nur bis 50Kg möglich.)



5

Abb. 3: Ergebnisse der Pechherstellung und der Zugkrafttests. – Results of pitch production and tensile-tests.



Abb. 4: Durchführung des Zugkrafttests.
– Execution of the tensile-test.

wiesen werden, der einem Neandertaler zugeschrieben wird. Der Fund wird geologisch-stratigraphisch auf ein Alter von 80.000 Jahre BP und über die Radiokarbonmethode (^{14}C) auf ein Alter zwischen 50.000-40.000 Jahre BP datiert (JUNKMANN 2001, 83; LATTERMANN 2013, 16). Nachweise über die Verwendung von Pech aus den vor-keramischen Epochen gibt es mittlerweile mehrere, es fehlen allerdings noch Funde und Befunde zur Herstellung.

Auch für die Verwendung der übrigen Ausgangsstoffe, wie Bienenwachs und Baumharz gibt es frühe archäologische Nachweise. Ein sehr früher Nachweis für einen Mehrkomponentenklebstoff aus einem Baumharz wird auf 70.000 Jahre BP datiert und gehört damit in das afrikanische Mittelpaläolithikum (MSA – Middle Stone Age). Anhand von Rückständen an mehreren Steinartefakten in der Sibudu-Höhle in KwaZulu-Natal, Südafrika, konnte der Nachweis einer Mischung aus dem

gummiartigen Harz der Schrecklichen Akazie (lat. *Vachellia horrida*), Ocker, tierischen Fetten und/oder Bienenwachs erbracht werden. Chemische Analysen ergaben, dass die verwendeten Mischungen immer wieder im gleichen Temperaturbereich bis etwa 350°C erhitzt wurden (WADLEY, HODGSKISS, GRANT 2009, 9590-9591).

In Pöhlde, vorm. Ldkr. Osterode am Harz, wurde eine Kerbspitze aus Flint mit Anhaftungen entdeckt, die erst als Birkenpech angesprochen wurden. Nach einer eingehenden Untersuchung mittels Gaschromatographie konnte aber später festgestellt werden, dass es sich weder um Pech noch Birkenpech handelte. Es konnte eine Mischung aus Bienenwachs, Baumharz und tierischen Fetten nachgewiesen werden (THIEME U. A. 2014, 69). Die Datierung der Kerbspitze ist leider unklar, sie wird typologisch eher in den Bereich der Hamburger Kultur (ca. 15.500-14.000 BP) eingeordnet, könnte aber auch in die ältere Kulturstufe des jüngeren Gravettien (ca. 30.000-27.500 BP) gehören (THIEME U. A. 2014, 57). Als weiterer interessanter Fund trat durch das Abschmelzen der Gladstone-Eisfläche im Yukon-Gebiet in Kanada eine geschlitzte Geweihspitze zu Tage, die mit einem unkalibrierten ^{14}C -Datum von 7.310 +/-40 BP aufwartet. In den Schlitzen waren Mikrolithen mit einem Klebstoff befestigt, bei dem es sich nach eingehenden Analysen zunächst nur allgemein um Harz von Nadelbäumen, nach weiteren Vergleichen am wahrscheinlichsten um Harz der Weißtanne handelte (HELWIG, MONAHAN, POULIN 2008, 286-287). In der Literatur wird auch immer wieder eine Beimischung von Bernstein diskutiert, der sich bei Temperaturen zwischen 200°C und 250°C verflüssigt und auch aus den Harzen von Nadelhölzern entstanden ist (GRÜNBERG U. A. 1999). Nachweise dazu konnten bisher noch nicht gefunden werden. Die sogenannten Diterpenharzsäu-

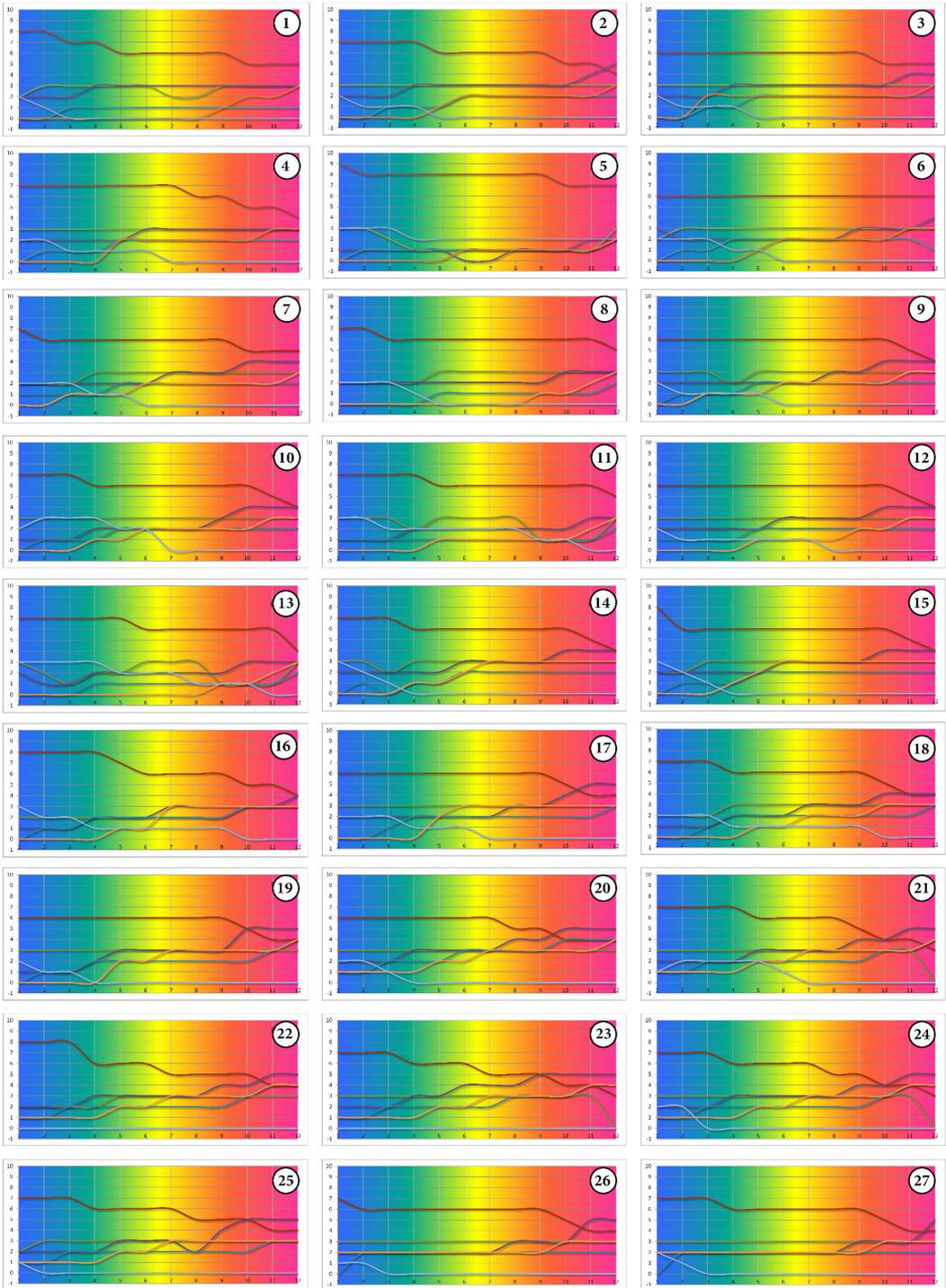


Abb. 5: Ergebnisse der einzelnen Proben in Diagrammdarstellung. – Results of the individual samples in diagram form.

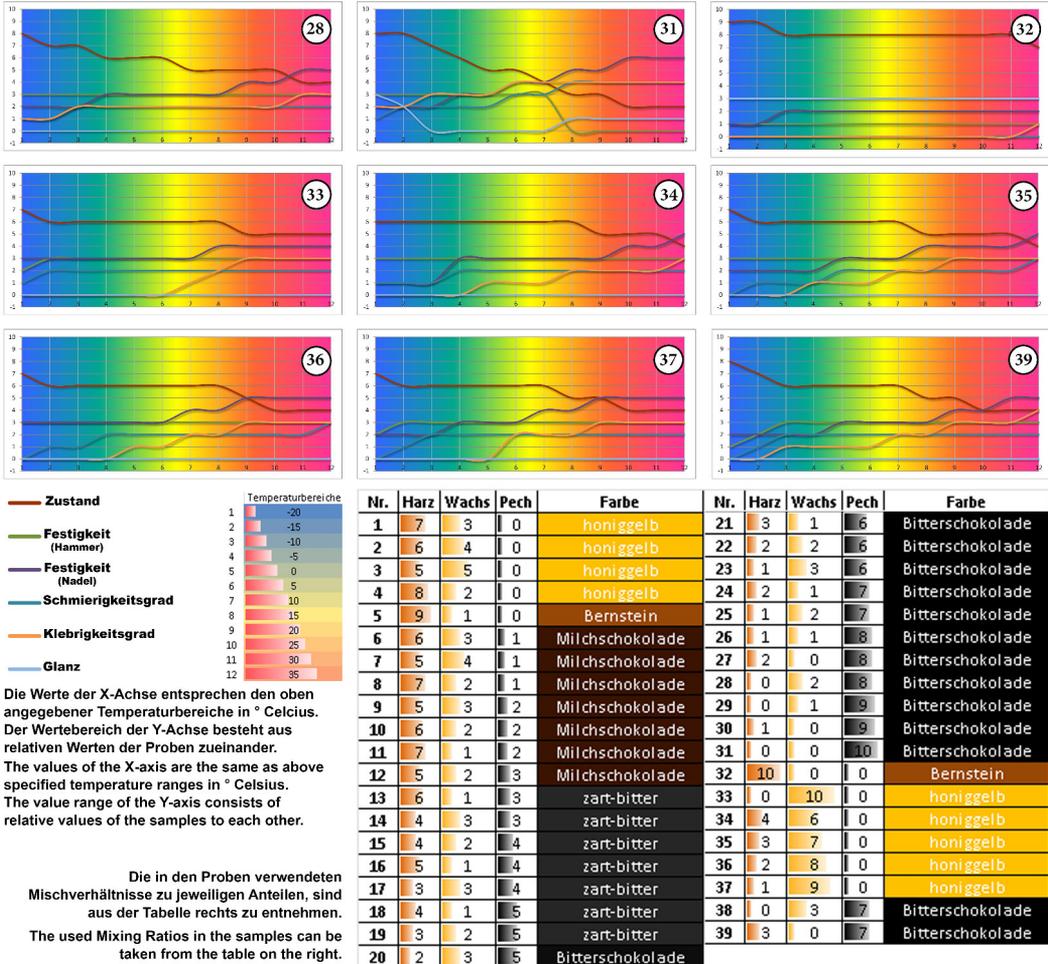


Abb. 6: Ergebnisse der einzelnen Proben in Diagrammdarstellung und Legende. – Results of the individual samples in diagram form and legend.

ren von Harz aus Nadelhölzern oxidieren sehr schnell in dünnen Schichten bei Zutritt von Luftsauerstoff und werden dementsprechend schnell abgebaut (THIEME U. A. 2014, 68). Das archäologische Fundgut zeigt so, sogar trotz schlechter Erhaltungsbedingungen, eine lange Tradition in der Nutzung von Klebstoffen und so auch von Mehrkomponentenklebstoffen.

Die Herstellung von Birkenpech kann in zwei Verfahrensarten unterschieden werden. Zum einen das Verfahren in geschlossener Methode (Abb. 1.1-1.4), bei

der das Ausgangsmaterial, wie in unserem Fall Birkenrinde in einem luftdicht abgeschlossenen Gefäß oder Raum indirekt erhitzt wird: So wird etwa beim sogenannten „Ein-Topf-Verfahren“ (Abb. 1.4) das gewonnene Birkenpech direkt mit den Rückständen der Pyrolyse und auch teilweise unverschwelter Rinde vermischt und man erhält eine eher zähe und feste Substanz (JUNKMANN 2001, 87-88). Im Unterschied dazu erbringt das offene Herstellungsverfahren (Abb. 1.5-1.6) ein flüssiges Destillat aus Essigsäure, Ameisensäure, Phenole, Schwefelsäure und



Abb. 7: Ofenkonstruktion aus der Museumspädagogik. – Furnace construction from museum education.

weitere organische Substanzen (LEXIKON CHEMIE – Pech (Stoff)), das sich durch weiteres „Auskochen“ zu Birkenpech/-teer verdicken lässt. Bei der offenen Methode kann das gewonnene Destillat aus dem Reaktionsraum abfließen und so von den Rückständen oder auch unverschwelter Rinde getrennt werden. Diese Methode kann in unterschiedlichen Varianten erfolgen, wie zum Beispiel dem sogenannten „Doppelpfopfverfahren“, bei dem zwei Gefäße ineinander stehen und das obere Gefäß über eine Perforation am Boden verfügt (Abb. 1.5). Eine weitere Variante ist zum Beispiel ein Gefäß mit einer Art Abflusskanal aus Lehm, Ton oder Holz (Abb. 1.6; JUNKMANN 2001, 87-88). Das gewonnene Destillat kann nach Auskochen und Verdicken mit seinen Rückständen vermischt werden, um eine ähnliche Konsistenz wie bei dem Ergebnis aus der geschlossenen Methode zu erreichen. Allerdings ist das eine Vermischung von Stoffen, die eine Steigerung der Kohäsion verursacht, wie das folgende Experiment zeigt. Für die Durchführung einer experimentellen Untersuchung erwies sich die geschlossene Herstellungsmethode als

weniger gut geeignet, da auf diese Weise kein homogenes Endprodukt gewonnen und keine genauen Aussagen zu den Mischverhältnissen getroffen werden konnten. Aus diesem Grund fiel die Wahl auf eine archäologisch nicht nachgewiesene Ofenkonstruktion für die offene Herstellungsmethode (Abb. 1.6), die aus Lehm gefertigt wurde. Für die Konstruktion wurde zur Stabilisierung eine ca. 0,8 m x 0,8 m große transportable Holzverschaltung erstellt (Abb. 2.1-2.2). Es wurden Versuche mit unterschiedlichen Reaktionsräumen unternommen, die aus moderner Ziegelkeramik (Abb. 2.3), rekonstruierter Keramik, Blech oder auch nur Lehm bestanden, die aber alle nahezu die gleichen Ergebnisse erbrachten. Allein bei den Gefäßen aus Blech konnten an der Oberfläche im Gefäßinneren keine Rückstände wie bei denen aus Keramik beobachtet werden. Für das Experiment wurde für den Reaktionsraum handelsübliche Ziegelkeramik gewählt, die bei ihrer Herstellung im Industrieverfahren bei über 900°C hart gebrannt worden war. Als Abfluss wurde ein etwa 40 cm langes handelsübliches Kupferrohr mit einem Innendurchmesser von etwa 8 mm gewählt (Abb. 2.5), hier wäre zum Beispiel auch ein ausgehöhlter Holunderzweig von ausreichendem Durchmesser denkbar. Bei der Durchführung des Experiments wurden die Temperaturwerte aus dem Inneren des Reaktionsraums gemessen und dokumentiert. In den hessischen Wäldern gesammelte Birkenrinde wurde in Chargen zu je 100 g in den Reaktionsraum gegeben und besagtes Gefäß mit der Öffnung auf der Ofenkonstruktion über dem Ablauf angebracht und anschließend feuerfest mit Lehm versiegelt (Abb. 2.4). Dafür wurde Lehm verwendet, der mit gehäckseltem Heu und Stroh gemagert war. Über dem versiegelten Reaktionsraum wurde im Anschluss ein Feuer aus sehr fein geschlagenem Holz entzündet und der Vorgang über einen Zeitraum von je-



Abb. 8: Ofenkonstruktion während einer Veranstaltung. – Furnace construction during an event.

weils zwei Stunden minutengenau dokumentiert. Das Feuer wurde über eine Stunde hinweg mit Holz versorgt und dann erlöschen und ausglühen gelassen (Abb. 2.6). Als Feuerholz wurden Schnittreste von Nadelhölzern, Buche und auch Eiche in unterschiedlichen Mengen verwendet. Exemplarisch sind hier vier der Herstellungsvorgänge dargestellt, jeweils zwei Vorgänge mit der angegebenen Ziegelkeramik (Abb. 3.1-3.2) und im Vergleich dazu ein Blechgefäß (Abb. 3.3-3.4), jeweils bei windstillen und windigen Verhältnissen. Der Vergleich zeigt ein konstant höheres Temperaturverhalten und ein effektiveres Ergebnis an gewonnenem Destillat zugunsten der Keramik, die sich somit als das geeignetere Material herausstellte. Temperaturbereiche von 250°C bis zu 450°C konnten in den unterschiedlichen Retorten erreicht werden. Auffällig

bei allen Retorten war ein Temperaturanstieg in ihrem Inneren nach dem Erlöschen des Feuers. Dieser Temperaturanstieg wurde höchstwahrscheinlich durch die nachlassende Thermik der erlöschenden Flamme und ein Verdichten und damit thermisches Isolieren durch die Glut begünstigt. Das durch die Pyrolyse entstandene Destillat läuft, begleitet von Dämpfen, schon sehr schnell nach der Befuerung der Retorte im Temperaturbereich ab 40-50°C aus dem Ablauf (Abb. 2.5). Nach etwa 1,5 h tropfte nur noch vereinzelt Destillat aus dem Ablauf, was dann nach Stunden Laufzeit völlig stagnierte. Wie auch an der Temperaturkurve ersichtlich steigt die Temperatur in der Retorte rapide an; dieses Verhalten ist mit dem eines Schnellkochtopfes vergleichbar. Das Destillat muss, je nachdem welche Konsistenz erwünscht ist, weiter aus-



Abb. 9: Präsentation von Pech während einer Veranstaltung (2015). – Presentation of pitch during an event (2015).

gekocht werden (Abb. 2.7). Für eine eher flüssige und auch klebrige Konsistenz braucht dies nicht lange. Um allerdings eine mit den Händen einigermaßen angenehm verarbeitbare Konsistenz zu erlangen, musste das Pech im Experiment etwa 1,5-2 h an der Glut bei etwa 95-115°C ausgekocht und verdickt werden. Der Zustand konnte mit Wasser kontrolliert werden, eine verarbeitbare Konsistenz hat eine höhere Dichte als Wasser und versinkt damit darin (Abb. 2.8). Bienenwachs wurde für das Experiment von einem Imker und Fichtenharz über eine Apotheke besorgt, beide Rohstoffe wurden im Experiment in gereinigter Form verwendet, um eine Homogenität der Ausgangsstoffe zu gewährleisten. Es konnten 39 unterschiedliche Proben mit jeweils 10 g an reinen Rohstoffen in unterschiedlichen Mischverhältnissen der Ausgangsstoffe erstellt werden (Abb. 2.8). Drei der Proben (Proben 29, 30, 38) fielen während des Erhitzen der Glut zum Opfer und waren für die weitere Auswertung unbrauchbar. Leider konnten aufgrund von Ausstattung und finanziellen Mitteln keine naturwissenschaftlichen Überprüfungen und Analysen nach geltenden Industriestandards durchgeführt werden. Die unterschiedlichen Proben konnten relativ zu-

einander untersucht werden (Abb. 2.9-2.12). Eine weitere naturwissenschaftliche Untersuchung soll noch durchgeführt und publiziert werden. Die unterschiedlichen Untersuchungen der Materialeigenschaften wurden in den Temperaturbereichen zwischen -20°C und +35°C in Schritten zu jeweils 5°C durchgeführt und dokumentiert. Eigenschaften wie Materialzustand, Festigkeit (Abb. 2.11), Druckkraft (Abb. 2.12), Schmierigkeits-, Klebrigkeitsgrad und der Grad der Verglasung wurden so im Verhältnis zueinander untersucht und Verhaltenskurven über mehrere Temperaturbereiche erstellt. Die Festigkeit wurde mit dem Schlagen eines 400-g-Hammers auf die Probe, die Druckkraft über das Einstechen einer etwa 1,2 mm starken Metallnadel in die Probe überprüft. Die Schmierigkeit und Klebrigkeit musste mittels Fingerprobe ermittelt werden und der Grad der Verglasung anhand von Festigkeit und optischem Eindruck. Der Materialzustand resultiert als Bewertung aus den übrigen Beobachtungen. Im Anschluss an die Untersuchung wurde noch ein Zugkrafttest zur Ermittlung der maximalen Zugkraft durchgeführt (Abb. 2.12). Dazu wurde eine handelsübliche Digitalzugwaage mit einer Maximal-Haltefunktion benutzt und

ein Metallhaken in der Probe verschmolzen, um die Zug-Waage daran zu befestigen. Bei Erreichen der maximalen Zugkraft brach der Metallhaken aus der Probe und die maximale Zugkraft konnte in kg von der Waage abgelesen werden. Dieser Zugkrafttest wurde darauf im Anschluss nach der Beigabe von jeweils 2 g von aus der Pyrolyse entstandenen Reststoffen (Asche, Kohle) und erneutem Erhitzen nochmals durchgeführt (Abb. 3.5; Abb. 4). Die Beigabe der Reststoffe führte so bei einer Probe zur Multiplikation der maximalen Zugkraft fast um den Faktor 9 (Probe 2), erreicht durch eine Steigerung der Kohäsion. Die Zugabe von ähnlichen Stoffen mit Sand oder Pflanzenfasern würden die Kohäsion ebenfalls steigern und den gleichen Effekt wie die Magerung von Ton oder Lehm besitzen. Die Klebstoffe können somit gezielt über unterschiedliche Mischverhältnisse regelrecht für spezifische Anwendungszwecke „gesteuert“ werden. Die Ergebnisse der einzelnen Proben wurden jeweils über die Temperaturbereiche von -20°C bis +35°C in Schritten zu 5°C dokumentiert und in Form von Kurvendiagrammen dargestellt (Abb. 5-6). Diese Diagramme zeigen die unterschiedlichen überprüften Eigenschaften der Proben in Einteilungen von 0-10, wobei 0 die geringste Ausprägung einer Eigenschaft darstellt und 10 die höchste. Es sollen damit Tendenzen bei der Zumischung einer der Rohstoffe zum fertigen Endprodukt aufgezeigt werden. Sie können auch als Anleitung oder Rezept zur Herstellung von Mehrkomponentenklebern oder einfach Birkenpech/-teer für spezifische Anwendungen gesehen werden. Eine leicht abgeänderte Variante (Abb. 7) der oben beschriebenen Ofenkonstruktion, ohne Holzverschalung und auf einem senkrecht stehenden Baumstamm installiert, konnte nun schon mehrfach erfolgreich in der Museumspädagogik und bei öffentlichen Veranstaltungen (Abb. 8-9) auf der gegenwärtig noch im

Aufbau befindlichen „Zeiteninsel – Archäologisches Freilichtmuseum Marburger Land“ (<http://www.Zeiteninsel.de>) eingesetzt werden. Für die Möglichkeit zur Durchführung der geschilderten Experimente auf dem Gelände der Zeiteninsel danke ich der Projektleitung.

Literatur

GRÜNBERG, J. M., U. A. 1999: Untersuchung der mittelpaläolithischen „Harzreste“ von Königsau, Ldkr. Aschersleben-Staßfurt. Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte 81, 1999, 7-38.

HELWIG, K., MONAHAN, V., POULIN, J. 2008: The Identification of hafting Adhesive on a Slotted Antler Point from a Southeast Yukon Ice Patch. *American Antiquity* 73 (2), 2008, 279-288.

JUNKMANN, J. 2001: Vom „Urnenharz“ zum Birkenteer: der prähistorische Klebstoff Birkenpech. *Tugium* 17, 2001, 83-90.

KURZWEIL, A., TODTENHAUPT, D. 2007: Teer und Pech aus Holz, eine seit 8000 Jahren bekannte Nutzung des Holzes. In: M. Fansa, D. Vorlauf (Hrsg.), *HOLZ-KULTUR – Von der Urzeit bis in die Zukunft. Ökologie und Ökonomie eines Naturrohstoffs im Spiegel der Experimentellen Archäologie, Ethnologie, Technikgeschichte und modernen Holzforschung*. Mainz 2007, 185-195.

LATTERMANN, G. 2013: Vor- und frühgeschichtliche polymere (Werk-)Stoffe. Mitteilungen Gesellschaft Deutscher Chemiker / Fachgruppe Geschichte der Chemie, Band 23, 2013, 3-30.

LEXIKON CHEMIE: Pech (Stoff)
<http://www.chemie.de/lexikon/Pech_%28Stoff%29.html> (Stand: 21.11.2018).

PETER, P., ET AL. 2006: A new Palaeolithic discovery: tar-hafted stone tools in a European Mid-Pleistocene bone-bearing bed. *Journal of Archaeological Science* 33, 2006, 1310-1318.

THIEME, H., U. A. 2014: Jungpaläolithische Funde von der Wallburg „König Heinrichs

Vogelherd“ bei Pöhle, Stadt Herzberg am Harz, Ldkr. Osterode am Harz. Die Kunde N. F. 65, 2014, 57-82.

VORLAUF, D. 2011: Experimentelle Archäologie – Eine Gratwanderung zwischen Wissenschaft und Kommerz. Schriftenreihe des Landesmuseums für Natur und Mensch 84. Oldenburg 2011.

WADLEY, L., HODGSKISS, T., GRANT, M. 2009: Implications for complex cognition from the hafting of tools with compound adhesives in the Middle Stone Age, South Africa. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, vol. 106, no. 24, 2009, 9590-9594.

Zeiteninsel – Archäologisches Freilichtmuseum Marburger Land <<https://www.zeiteninsel.de>> (Stand: 21.11.2018).

Abbildungsnachweis

Abb. 1-7: Grafiken, Fotos M. Runzheimer

Abb. 8-9: Fotos M. Schuler

Autor

Mirko Runzheimer B.A.

Dammstraße 3

35096 Weimar/Lahn

Deutschland

archeotron@googlemail.com