

TRÄNKUNG VON NIEDRIG GEBRANNTER UND PORÖSER KERAMIK

EINE GROSSKERAMIK AUS SELCHOW, LANDKREIS DAHME-SPREEWALD,
BRANDENBURG

Im Vorfeld der Baumaßnahmen für den Flughafen Berlin Brandenburg International (BBI) wurden in Selchow, Fundplatz 24, Lkr. Dahme-Spreewald, durch das Brandenburgische Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum (BLDAM) Keramikfragmente im Grubenbefund im Block¹ geborgen. Einige wenige verzierte Scherben im Inneren des Befundes 222 deuten auf eine Datierung in die jüngere Trichterbecherkultur (ca. 3100 v. Chr.) hin. Unweit des Befundes ist ein Grabhügel (Long Barrow) aus der mittleren Trichterbecherkultur (ca. 3500 v. Chr.) entdeckt worden. Aufgrund der räumlichen Nähe der Befunde ist anzunehmen, dass es sich hierbei um einen über mehrere Jahrhunderte genutzten Kultplatz handelt.

Blockausnahme

Die Freilegung des Komplexes 222 gestaltete sich schwieriger als zunächst angenommen. Bei der Öffnung des Blockes stellte sich heraus, dass bei der Bergung die äußeren Scherben beschädigt wurden. Obwohl die Keramik einen stabilen Eindruck erweckte, zerfiel sie bei der geringsten Berührung (**Abb. 1**). Die Ursache dieses extrem schlechten Erhaltungszustandes ist auf die Bedingungen der Bodenlagerung zurückzuführen. Der Befund wurde in einer sandigen Erhebung in einer Niederung mit häufigen Grundwasserspiegelschwankungen geborgen.

Durch den wechselnden Wasserpegel werden die bindenden Bestandteile aus der Keramik ausgewaschen. Dabei werden die angesinterten Grenz-

flächen zwischen den Tonplättchen gelöst, ähnlich wie bei der Glaskorrosion. Diese Art des Zerfalles ist bei Hochleistungskeramik bekannt und wird als Flüssigkeitskorrosion bezeichnet (Salmang / Scholze 2007, 252, 462)².

Da der Block grabungsfrisch eingeliefert wurde und noch feucht war, aber eine Festigung der Scherben vor der Bergung erfolgen musste, entschied man sich für das kontrollierte Trocknen des Blockes. Als Festigungsmittel war vom Auftraggeber BLDAM das Polyvinylbutyral (PVB) Mowital B30H gewünscht, welches sich in niedrigen Konzentrationen gut zur



Abb. 1 Das 1. Planum nach der Öffnung der Blockbergung. Es sind Trocknungsrisse und die beschädigten Scherben (oben Mitte) zu sehen (Foto K. Lück).

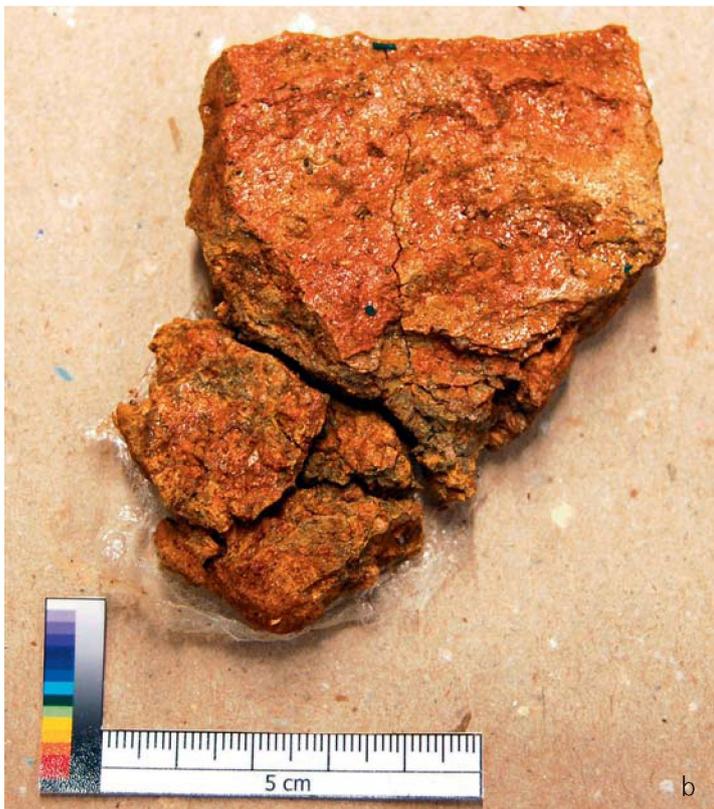


Abb. 2a-b Foto **a** zeigt eine Scherbe vor und **b** nach der Tränkung der Großkeramik. Die behandelten Fragmente dunkelten alle stark nach und wiesen einen mehr oder weniger starken Film auf der Oberfläche auf (Fotos S. Beck).

Festigung von poröser Keramik eignet, ohne eine Farbveränderung zu verursachen (Horie 1987, 100). Vor der Festigung wurden die Scherben behutsam freigelegt. Die Festigung erfolgte anschließend mit PVB in 5%-iger Konzentration in Aceton.

Konservierung der Scherben

Da die Festigung der Fragmente im Block lediglich eine Entnahme ermöglichte, jedoch eine Rekonstruktion geplant war, wurden die Scherben anschließend komplett getränkt. Vorversuche mit unterschiedlichen Konzentrationen und Applikationsmethoden zeigten, dass die Tränkung mit Unterdruck im Exsikkator mit 10%-igen PVB am effektivsten war. Das verwendete Festigungsmittel hinterließ auf der Oberfläche einen dünnen Film, der die Scherben glänzen und stark nachdunkeln ließ (Abb. 2a-b). Eine einfache Abnahme des überschüssigen Festigungsmittels mit Wattestäbchen und Ethylacetat führte zu akzeptablen Ergebnissen. Problematisch waren vor allem die tieferen Bereiche der zum Teil recht unregelmäßigen Oberfläche. Dort konnten das überschüssige Tränkungsmittel und der Glanz mit Borstenpinseln zurück gedrängt werden. Hartnäckige Verkrustungen aus Sand, die vor der Tränkung aufgrund der Instabilität nicht entfernt werden konnten, ließen sich am besten mit Kompressen beseitigen.

Restaurierung und Rekonstruktion der Großkeramik

Nachdem die Scherben konserviert waren, konnte mit der Rekonstruktion der Keramik begonnen werden. Zunächst wurden die Scherben sortiert und mögliche Passstellen mit dem Ethylmeth/Methacrylat-Copolymer (EMA/MA) Paraloid B72 geklebt (Horie 1987, 107). Da nur noch etwa ein Drittel der Großkeramik erhalten war, konnte sie nicht wie üblich zusammengesetzt werden. Man entschied

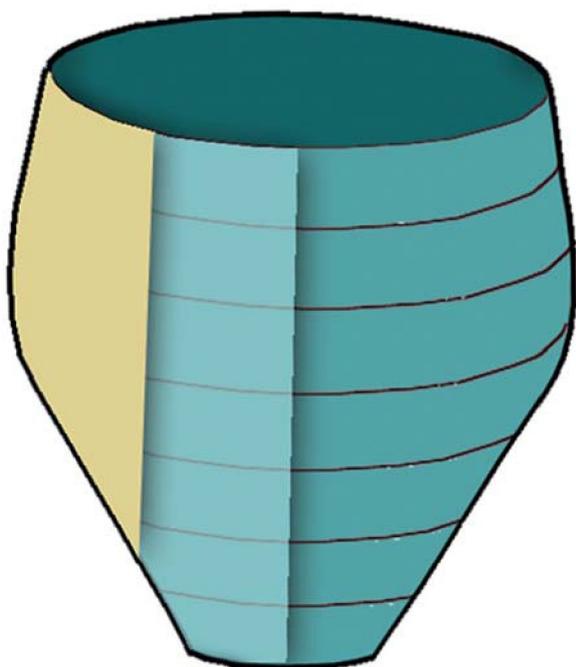


Abb. 3 Schematische Darstellung des Kernes, der für die Großkeramik angefertigt wurde (Skizze K. Lück).

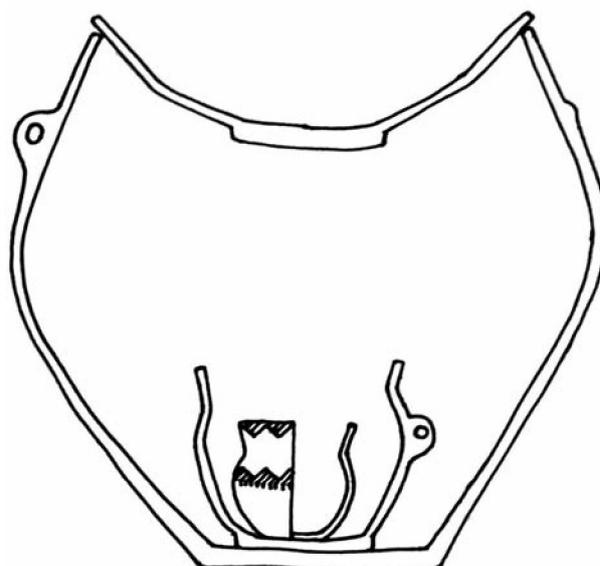


Abb. 4 Die Skizze zeigt den Befund 222 vor der Störung. Das kleinste Gefäß im Inneren datiert den Befund in die jüngere Trichterbecherkultur (Skizze K. Lück).

sich daher bewusst für eine schwimmende Scherbenmontage auf einem Kern. Aufgrund der Größe des Gefäßes kommt ein Kern aus Gips oder Ton nicht infrage, da ein solcher das Objekt zu sehr beschweren würde. Somit sollte ein Kern aus handelsüblichen Polystyrol-Hartschaumplatten hergestellt werden, indem man kreisförmige Platten herauschnitt, die mit Holzstäbchen aufeinander montiert wurden. Um den Schwerpunkt der Keramik nach unten zu verschieben, wurde in die unterste Platte ein Gipskern eingelassen. Anschließend wurde der Kern mit einer PE-Folie isoliert und mit Nesselstoff (unbehandelte Baumwolle) bezogen (**Abb. 3**). Die Montage der Scherben erfolgte schrittweise, wobei teilweise während der Installation geklebt und partiell Ergänzungen zur Stabilitätssteigerung gesetzt wurden. Da die Scherben durch die Tränkung sehr schwer waren, wurden Edelstahlnägel mit Paraloid B72 isoliert als Montagestützen verwendet.

Das rekonstruierte Gefäß hat eine Gesamthöhe von 64 cm und einen maximalen Durchmesser von 68 cm bei einem Bodendurchmesser von 24 cm. Gewöhnlich besitzt diese Art von Gefäßen vier Henkel, die gleichmäßig nahe dem Rand angebracht sind. Hier

wurden lediglich zwei intakte sowie ein Henkelansatz geborgen und montiert.

Die restauratorische Bergung mit Freilegung des Befundes hat zutage gebracht, dass es sich nicht nur um ein einzelnes großes Gefäß handelt, sondern um drei, die in einander gestellt und deponiert worden waren. Zusätzlich war die Großkeramik mit einer konischen Schale abgedeckt (**Abb. 4**). Erst als durch moderne Landwirtschaft der Befund gestört wurde, verfüllten sich die Keramiken mit Sand. Es konnten keine organischen Reste in den Gefäßen nachgewiesen werden. Die Frage nach der Funktion dieses Depots mit seinen Gefäßen muss vorerst offen bleiben. Die Scherben der Großkeramik wurden schwimmend auf einem Kern montiert, sodass man einen Eindruck von ihrer Größe bekommt. Es ist ein lückenloses Profil des Gefäßes vorhanden (**Abb. 5**).

Versuchsreihe zur Keramiktränkung

Die Tränkung der Keramiken war erfolgreich, aber der mit der Trocknung des Blockes einhergehende



Abb. 5 Die montierte Keramik. Es ist die Schauseite des Gefäßes mit einem lückenlosen Profil zu sehen. Auffällig sind die Finger-
spuren im hellen Schlicker (Foto S. Beck).

Materialverlust und die extrem aufwändige Nachreinigung der Scherben wurden als nicht akzeptabel empfunden. Daher wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit an der Hochschule für Technik und Wirtschaft – HTW Berlin – eine Versuchsreihe zur Tränkung von niedrig gebrannter, poröser Keramik durchgeführt.

Es sollen neben den beiden zurzeit gängigsten Festigungsmitteln für poröse Keramik, Mowital B30H

und Paraloid B72 (vgl. Buys 1993, 103; Sander-Conwell 1995, 95; Cronyn 2005, 89), auch Dispersionen und Lösungen auf Wasserbasis wie Luviskol VA64, Primal WS24, Carboset 514H sowie Archäofix N2000 verwendet werden (Tab. 1).

Paraloid B72, ein Ethylmeth/Methacrylat-Copolymer, wird seit den 1950er-Jahren in der Restaurierung u.a. als Schutzüberzug für Metalle, zur Festigung von Pigmenten oder in der Textilrestaurierung einge-

Substanz	Firma	Chemische Zusammensetzung	gelöst/dispergiert in
Luviskol VA64	BASF	Vinylpyrrolidon-Vinylacetat-Copolymer	Wasser
Primal WS24	Kremer Pigmente GmbH	Acrylatdispersion	Wasser
Carboset 514H	Goodrich Chemical	Reinacrylatdispersion von Methylacrylsäureestern	Wasser
Archäofix N2000	–	auf der Basis von Carboset 514H	Wasser
Mowital B30H	Kremer Pigmente GmbH	Polyvinylbutyral	hier: Aceton
Paraloid B72	Kremer Pigmente GmbH	Ethylmeth/Methacrylat-Copolymer	hier: Aceton

Tab. 1 Übersicht über die verwendeten Substanzen.

setzt. Mowital B30H, ein Polyvinylbutyral, wird ebenfalls zur Festigung von Textilien verwendet. Aufgrund der günstigen Eigenschaften hat sich Mowital in den letzten Jahren in der Keramikrestauration sowohl als Klebstoff als auch als Festigungsmittel etabliert. Luviskol VA64 ist ein Vinylpyrrolidon-Vinylacetat-Copolymer, das in Wasser klare Lösungen bildet³. Wegen seiner Affinität zu Keratin wird es in der Industrie für Haarpflegeprodukte verwendet. In der Restauration kommen vor allem die Typen der K-Reihe⁴ zur Textil-, Gras- und Bastkonservierung in Kombination mit PEG zum Einsatz. Primal WS24 ist eine Acrylatdispersion. Acrylatdispersionen werden seit den 1950er-Jahren in der Restauration für Knochen, Wandmalereien und Keramik als Festigungsmittel sowie Klebstoff verwendet.

Carboset 514H ist eine Reinacrylatdispersion auf der Basis von Methylacrylsäureestern. Es ist eine Mikrodispersion, sodass sie kleinere Teilchengrößen als andere handelsübliche Dispersionen aufweist. Sie ist die Grundlage für Archäofix N2000.

Durch Zusatz von Ammoniak zu Carboset geben einige OH-Gruppen der Acrylsäuren Protonen ab und werden zu Estern, sodass eine Lösung entsteht⁵. Diese hat durch die zugefügte Base einen höheren pH-Wert von etwa 9 gegenüber den Acrylaten Primal und Carboset, die pH-neutral sind. Beim Trocknen reagiert das Ammoniak mit dem CO₂ der Luft und neutralisiert, sodass das Acrylat nach dem Trocknen wieder wasserunlöslich ist. Archäofix N2000 ist bisher erfolgreich bei der *in situ*-Festigung von Blockbergungen verwendet worden sowie als Bindemittel in der Retusche einsetzbar (vgl. Wunderlich 2000, 327-329. 337).

Um die Ergebnisse besser vergleichen zu können, werden Tonrohlinge mit den Maßen 16×40×25 mm hergestellt, die eine ähnliche Porosität aufweisen, wie die Keramik aus dem Befund 222.

Die Großkeramik hat eine recht hohe Porosität (Wasseraufnahmefähigkeit von 23,3% wurde nach Burmeister et al. 1989, 24 bestimmt) und besitzt Magerungsbestandteile von 0,25-2,0 mm. Sie hat somit eine grobe Magerung, die 10-20% der Keramik ausmacht. Die Bestandteile sind größtenteils eckig und unregelmäßig, die organischen Bestandteile sind beim Brennvorgang komplett umgewandelt worden. Die Rohlinge wurden aus Steinzeugmasse mit einer Magerung von ca. 30% (Magerungsbestandteile zwischen 0,01-1 mm) hergestellt⁶. Der starke Abbaugrad der neolithischen Keramik, vermutlich durch Flüssigkeitskorrosion verursacht (siehe oben), konnte nicht nachgeahmt werden und wurde daher vernachlässigt. Auf historisches Material wurde nicht zurückgegriffen, da die Homogenität und Zusammensetzung von neolithischer Keramik in der Regel stark variiert und der gleiche Abbaugrad der Großkeramik nicht zur Verfügung stand. Die Rohlinge werden einmal mit der Pipette behandelt, um zu testen, ob eine *in situ*-Behandlung möglich ist. Ebenfalls wird mit und ohne Unterdruck getränkt, um die Möglichkeiten einer Volltränkung zu ermitteln. Es laufen parallel zwei Versuchsreihen mit 5%-igen sowie 10%-igen Konzentrationen der Versuchssubstanzen ab. Dabei werden bewusst die recht hohen Konzentrationen von 5% bzw. 10%⁷ verwendet, da die beschriebenen Probleme der Film- und Glanzbildung mit Mowital erst bei diesen Konzentrationen auftreten,

Substanz	Konzentration 5%			Konzentration 10%		
	Methode			Methode		
	Pipette	Tränken	Exsikkator	Pipette	Tränken	Exsikkator
Luviskol VA64	1f	2f	3f	4f	5f	6f
Primal WS24	7f	8f	9f	10f	11f	12f
Carbozet 514H	13f	14f	15f	16f	17f	18f
Archäofix N2000	19f	20f	21f	22f	23f	24f
Luviskol VA64	25t	26t	27t	28t	29t	30t
Primal WS24	31t	32t	33t	34t	35t	36t
Carbozet 514H	37t	38t	39t	40t	41t	42t
Archäofix N2000	43t	44t	45t	46t	47t	48t
Mowital B30H	49t	50t	51t	52t	53t	54t
Paraloid B72	55t	56t	57t	58t	59t	60t

Tab. 2 Die Tabelle verdeutlicht, mit welcher Methode und Substanz die Probestücke behandelt wurden (t = trocken, f = feucht).

die bei sehr schlecht erhaltener Keramik Einsatz finden.

Zunächst werden die Festigungsmittel auf die Probestücke aufgebracht. Die Probestücke werden durchnummeriert (1-60) und behandelt, wie in **Tabelle 2** beschrieben. Probe 61 wird als Vergleich ohne jegliche Behandlung eingesetzt. Bei der Festigung mit der Pipette wird solange Festigungsmittel aufgebracht, bis eine Sättigung des Materials eintritt. Für die Tränkung werden die Probestücke in kleine Gefäße gelegt und die Flüssigkeiten bis zur halben Objekthöhe langsam eingebracht, damit die Luft aus den Poren entweichen kann. Die Proben verweilen 30 min im Bad. Bei der Exsikkatortränkung wird das Festigungsmittel langsam zu den Proben hinzugefügt. Diese werden allerdings komplett bedeckt. Anschließend erfolgt die Behandlung im Exsikkator bei Unterdruck für eine halbe Stunde. Dabei wurde auf ein Einfärben der Festigungsmittel im Vorfeld verzichtet, da die Verteilung der Farbstoffe im Gefüge gewöhnlich anders ist, als die der Festigungsmittel aufgrund unterschiedlicher Molekülgrößen von Farbstoffen und Festigungsmitteln.

Anschließend werden die Probestücke mittig geteilt und angeschliffen, um Querschnitte durch die Proben zu erhalten. Über die Querschnitte soll die Eindringtiefe und Verteilung der verwendeten Substanzen ermittelt werden. Um diese sichtbar zu machen, werden die Probestücke nach der Behandlung sowie

Teilung mit Rhodamin B eingefärbt und so zur Fluoreszenz gebracht. Da nicht nur optische Eigenschaften eines Festigungsmittels ausschlaggebend sind, wird auch der Grad der Festigung gemessen. Hierzu werden die Probestücke einem Kraftmessverfahren an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) unterzogen⁸. Bei diesem Verfahren wird gemessen, wie viel Kraft nötig ist, um das Probestück zu zerdrücken. Dies ist keine zerstörungsfreie Untersuchung und kann demnach nur einmal pro Probestück durchgeführt werden. Um die Druckspannung der einzelnen Probestücke zu ermitteln, müssen die sich gegenüberliegenden Seiten parallel zueinander und die direkt aneinander grenzenden Seiten rechtwinklig verlaufen. Dies ist notwendig, damit der Druck, der auf die Stücke ausgeübt wird, gleichmäßig verteilt wird und somit verwertbare Ergebnisse erzielt werden. Die Probestücke werden einzeln in eine MTS-Prüfmaschine eingespannt (**Abb. 6**). Diese kann bis zu 5 kN Kraft auf die Probestücke ausüben. Anhand der Maße der Probestücke und der aufgewendeten Kraft, um diese zu zerbrechen, kann die Druckfestigkeit ermittelt werden. Es kommt folgende Formel zur Anwendung: $\sigma = F:A$.

Dabei ist σ (Sigma), die Druckfestigkeit, in Megapascal (MPa) angegeben, F ist die Höchstdruckkraft in Newton (N) und A der Anfangsquerschnitt des Probekörpers angegeben in Quadratmillimeter (mm²). Die Prüfgeschwindigkeit beträgt 0,01 mm/s.

Auswertung

Alle verwendeten Substanzen lassen die Probe­stücke um meistens eine Nuance nachdunkeln. Bei 5%-igen Lösungen neigen vor allem Primal und Mowital zur Glanzbildung. Sammelt sich Paraloid an einer Stelle, bildet es, wie Mowital, einen Film auf der Oberfläche, der sich teilweise abhebt. Das kann bei fragilen Oberflächen zu Materialverlust führen.

Wird eine 10%-ige Konzentration verwendet, glänzen die meisten Probesubstanzen mehr oder weniger intensiv (**Abb. 7**). Die Ausnahme bilden Archäofix und Luviskol, wobei Luviskol zur Fleckenbildung neigt. Auffällig ist, dass sowohl Mowital als auch Paraloid deutlich stärker nachdunkeln, als die anderen Substanzen. Mowital neigt zusätzlich zu einer intensiven Filmbildung, die meistens zu einem Ab­sprengen der Oberfläche führt, was für ein Trän­kungsmittel inakzeptabel ist.

Bei den fluoreszierenden Querschliffen, kann man feststellen, dass alle Substanzen, die in Wasser ge­löst bzw. dispergiert werden, eine bessere Penetra­tion aufweisen, als die in Aceton gelösten (**Abb. 8**). Generell scheinen Tränkungen mit und ohne Unter­druck eine homogenere Verteilung zu begünstigen. Bei der Pipettenapplikation bilden sich häufig an der Eindringseite erhöhte Konzentrationen aus. Luviskol scheint vor allem bei trockener Anwendung zu un­gleichmäßiger Verteilung zu neigen. Mowital und Paraloid dringen nicht immer bis zum Kern des Materials vor. Auch diese heterogene Verteilung kann zu Spannungen im Objekt führen.

Die in der Versuchsreihe verwendeten Substanzen lassen in den angewandten Konzentrationen die Probe­stücke leicht nachdunkeln, wie die meisten Trän­kungsmittel. Diese Erscheinung muss daher ak­zeptiert werden. Da alle verwendeten Materialien reversibel sind, kann man davon ausgehen, dass zu­mindest der auftretende Glanz an der Oberfläche sich wieder beseitigen lässt. Um Spannungen im Objekt zu vermeiden, sollten die Festigungsmittel verwendet werden, die eine homogene Verteilung aufweisen. Daher sind Mowital, Paraloid und Luvis­kol in den Konzentrationen von 5% und 10% we-

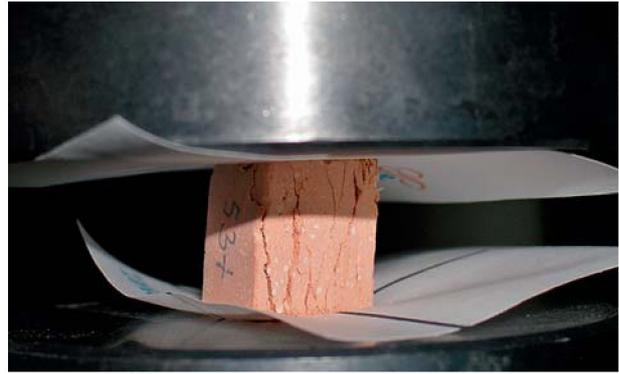


Abb. 6 Der Tonrohling 53t in der MTS-Prüfmaschine bei der Messung der Druckspannung: Die Risse im Rohling entstehen beim Anstieg des Druckes, wenn der Rohling nachgibt (Foto K. Lück).

niger für die Festigung geeignet. Luviskol zeigt vor allem bei der Feuchtanwendung eine homogenere Verteilung, was die Anwendung bei organischen Feuchtfunden im deutschsprachigen Raum erklärt. Jedoch ist es hygroskopisch, bleibt in Wasser löslich und das Polyvinylacetat in der Verbindung neigt zum Versprüden sowie Schrumpfen, sodass es insgesamt eher ungeeignet scheint (**Tab. 3 und 4**).

Abschließend kann man daher sagen, dass sich Pri­mal WS24, Carboset 514H und Archäofix N2000 in höheren Konzentrationen zur Festigung von Kera­mik eignen, wenn man eine rein optische Auswer­tung vornimmt. Vor allem in der Feuchtanwendung zeigen sie weniger Glanzbildung, als die anderen Substanzen, ein gutes Eindringverhalten und eine relativ homogene Verteilung. Da sie wasserbasie­rend sind, können sie auch auf Feuchtfunden an­gewandt werden. Allerdings ist bei Archäofix der basische pH-Wert zu beachten.

Bei den Druckspannungstests zeigte sich, dass Lu­viskol VA64 trockene Keramik stärker zu festigen scheint als feuchte Keramik. Dabei erzielt die An­wendung in 5%-iger Konzentration einen höheren Festigungsgrad als in 10%-iger. Die Festigung mit dem Exsikkator ist am erfolgreichsten. Die Appli­kation mit Pipette ist am wenigsten effektiv.

Primal WS24 ist in 10%-iger Konzentration wenig geeignet, um Keramik zu festigen. Der Festigungs­effekt kehrt sich eher um und die Keramik scheint instabiler als im unbehandelten Zustand. Da die



Abb. 7 Die Versuchsstücke beispielhaft, die mit 10%-igen Konzentrationen mit der Pipette behandelt wurden. Obere Reihe von links nach rechts (trockene Keramik): Luviskol VA64, Primal WS24, Carbofet 514H, Archäofix N2000, Mowital B30H und Paraloid B72; untere Reihe von links nach rechts (feuchte Keramik): Luviskol VA64, Primal WS24, Carbofet 514H und Archäofix N2000 (Foto S. Beck).

Kriterien/ Substanz	Methode											
	Pipette				Tränken				Exsikkator			
	Dunkeln	Glanz und Flecken	Ein- dring- tiefe	Vertei- lung	Dunkeln	Glanz und Flecken	Ein- dring- tiefe	Vertei- lung	Dunkeln	Glanz und Flecken	Ein- dring- tiefe	Vertei- lung
trocken												
Luviskol VA64	-	+++	++	---	-	++	++	--	--	+	+	--
Primal WS24	-	-	+	-	--	+	+	-	--	++	++	++
Carbofet 514H	-	++	+	-	-	++	++	+	-	++	++	+
Archäofix N2000	-	++	+	-	-	++	+	-	-	+	++	++
Mowital B30H	--	-	--	---	--	-	---	---	--	--	-	--
Paraloid B72	--	+	--	---	--	+	--	---	--	-	-	--
feucht												
Luviskol VA64	-	+	++	+	-	+	++	-	-	+	++	+
Primal WS24	-	+	++	-	--	+	++	-	--	+	+	-
Carbofet 514H	-	+	++	+	-	++	+	++	-	++	+	+
Archäofix N2000	-	+	++	+	-	+	+	-	-	++	+	-

Tab. 3 Die Tabelle zeigt die positiven und negativen Eigenschaften der einzelnen Substanzen bei 5%-iger Konzentration. – = Extrem schlecht; -- = schlecht; - = leicht schlecht; + = gut; ++ = besser; +++ = sehr gut.

Messwerte keine Tendenz ergeben, kann nicht festgestellt werden, welche Methode am geeignetsten ist, um Primal anzuwenden.

Carbofet 514H festigt feuchte Keramik in 5%-iger Konzentration ungeachtet der Applikationsmethode fast gleich. Trockene Keramik jedoch scheint we-

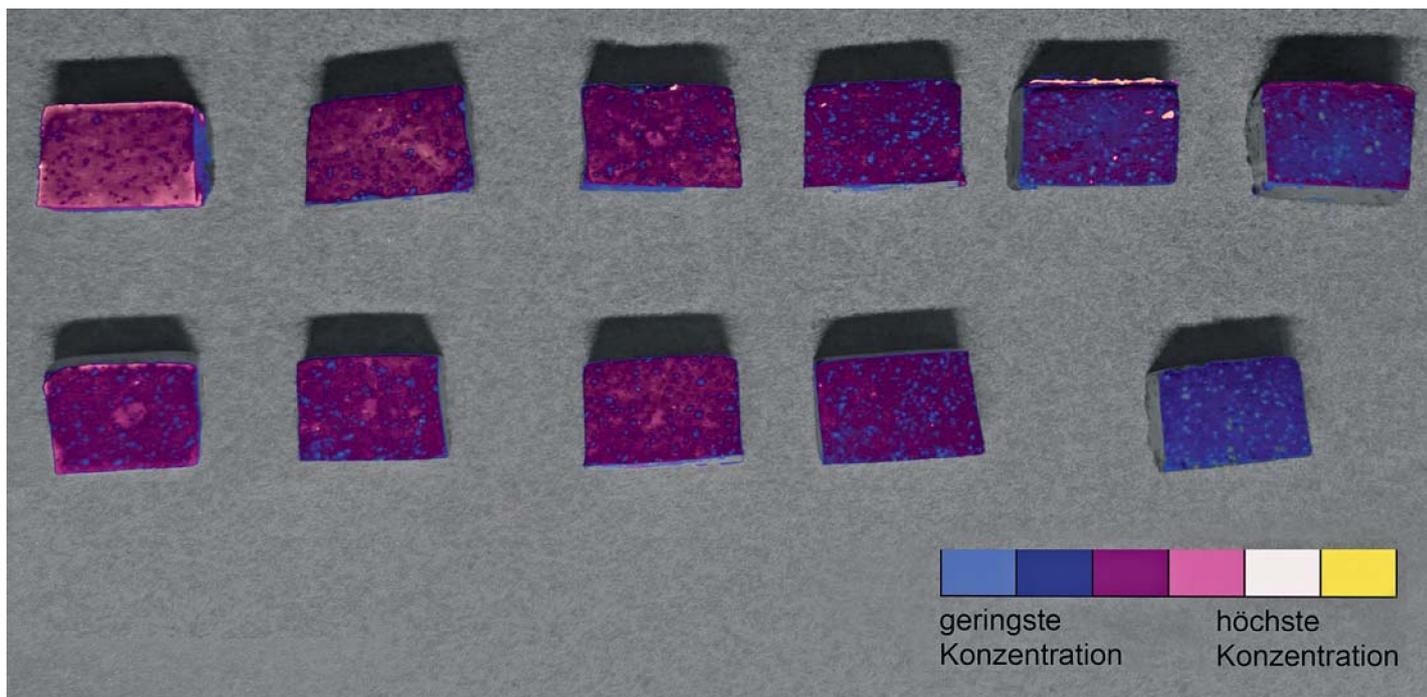


Abb. 8 Die Versuchsstücke beispielhaft unter UV-Licht (254 nm), die mit 10%-igen Konzentrationen mit der Pipette behandelt wurden. Obere Reihe von links nach rechts: Luviskol VA64, Primal WS24, Carboset 514H, Archäofix N2000, Mowital B30H und Paraloid B72; untere Reihe von links nach rechts: Luviskol VA64, Primal WS24, Carboset 514H und Archäofix N2000, rechte Probe unbehandelt (Foto S. Beck).

Kriterien/ Substanz	Methode											
	Pipette				Tränken				Exsikkator			
	Dunkeln	Glanz und Flecken	Ein- dring- tiefe	Vertei- lung	Dunkeln	Glanz und Flecken	Ein- dring- tiefe	Vertei- lung	Dunkeln	Glanz und Flecken	Ein- dring- tiefe	Vertei- lung
trocken												
Luviskol VA64	--	+	+++	-	-	+	++	---	-	+	++	--
Primal WS24	-	--	++	-	--	-	++	+	-	++	++	-
Carboset 514H	-	-	++	-	--	+	++	++	-	++	+	-
Archäofix N2000	-	-	+	+++	-	+++	++	+++	--	++	+	+
Mowital B30H	--	---	-	--	--	-	+	-	-	-	-	--
Paraloid B72	---	-	--	---	--	+	+	--	--	-	+	--
feucht												
Luviskol VA64	-	++	+	+	-	+	++	--	--	+	++	-
Primal WS24	-	--	+	+	-	-	++	++	--	++	++	-
Carboset 514H	-	-	++	++	-	++	++	-	--	+++	+	+++
Archäofix N2000	-	++	+	+++	-	+	++	+++	-	++	++	+++

Tab. 4 Die Tabelle zeigt die positiven und negativen Eigenschaften der einzelnen Substanzen bei 10%-iger Konzentration (vgl. Abb. 7). -- --- = Extrem schlecht; -- = schlecht; - = leicht schlecht; + = gut; ++ = besser; +++ = sehr gut.

niger Dispersion aufzunehmen, wenn diese mit einer Pipette aufgetragen wird; daher eignet sich hier das Tränken am besten. In 10%-iger Konzentration sind die Festigungsgrade von trockener und

feuchter Keramik in etwa gleich. Jedoch ist die Exsikkatortränkung trockener Keramik nicht sehr effektiv. Archäofix N2000 erzeugt eine höhere Festigung in 10%-iger Lösung. Einzige Ausnahme bildet

Substanz	Konzentration 5%			Konzentration 10%		
	Methode			Methode		
	Pipette	Tränken	Exsikkator	Pipette	Tränken	Exsikkator
feucht (f)						
Luviskol VA64 (MPa)	1f 5,42	2f 5,87	3f 6,43	4f 7,14	5f 5,10	6f 5,99
Primal WS24 (MPa)	7f 6,87	8f 7,81	9f 5,43	10f 3,67	11f 4,59	12f 3,89
Carboset 514H (MPa)	13f 5,40	14f 5,05	15f 5,35	16f 4,94	17f 5,06	18f 6,89
Archäofix N2000 (MPa)	19f 3,68	20f 6,77	21f 5,63	22f 5,40	23f 5,26	24f 8,22
trocken (t)						
Luviskol VA64 (MPa)	25t 5,82	26t 7,53	27t 7,86	28t 5,98	29t 4,87	30t 6,60
Primal WS24 (MPa)	31t 5,87	32t 3,23	33t 4,45	34t 3,81	35t 3,40	36t 4,13
Carboset 514H (MPa)	37t 3,23	38t 6,58	39t 4,24	40t 6,81	41t 6,44	42t 4,22
Archäofix N2000 (MPa)	43t 4,83	44t 4,93	45t 6,96	46t 6,31	47t 6,25	48t 3,63
Mowital B30H (MPa)	49t 4,54	50t 9,86	51t 8,99	52t 6,31	53t 5,83	54t 6,64
Paraloid B72 (MPa)	55t 7,12	56t 5,34	57t 5,70	58t 9,37	59t 6,64	60t 7,23
61 unbehandelte Probe: 4,4 MPa						

Tab. 5 Die Tabelle zeigt die ermittelten Druckspannungen (MPa) der einzelnen Versuchsstücke.

die Exsikkatortränkung trockener Keramik. Wenn diese jedoch mit 5%-iger Lösung durchgeführt wird, kann ein hohes Festigungsergebnis erzielt werden. Der Auftrag mit Pipette auf feuchte Keramik ist nur mit einer 10%-igen Lösung zu empfehlen. Mowital B30H erzielt im Schnitt eine sehr hohe Festigung. Der Auftrag einer 5%-igen Lösung mit Pipette ist nicht empfehlenswert, da das Aceton zu schnell verdunstet und Mowital somit auf der Oberfläche und dicht darunter trocknet. Dies hat eine sehr geringe Festigung zur Folge. In 10%-iger Lösung erzielt Mowital generell schlechtere Festigungswerte, als in 5%-iger Lösung. Die Ursache hierfür ist möglicherweise die dickflüssige Konsistenz, die es dem Festigungsmittel erschwert, von der Keramik aufgenommen zu werden. Es trocknet auf der Oberfläche sowie dicht darunter ein, was zwar positive Ergebnisse während des Drucktestverfahrens ergibt, aber keine homogene Festigung der Keramik darstellt. Der Film platzt mit der Oberfläche ab und es können Spannungen innerhalb der

Keramik entstehen. Die Anwendung von Mowital B30H in dieser Konzentration ist daher in der Konservierung nicht empfehlenswert.

Mit Paraloid B72 verhält es sich ähnlich wie mit Mowital. Jedoch wird es in 10%-iger Lösung von der Keramik besser aufgenommen; der Auftrag mit Pipette stellt in beiden Konzentrationen die Festigungsvariante mit den besten Messwerten dar. Allerdings bildet es, ähnlich wie Mowital, einen dünnen Film auf der Oberfläche und festigt somit nur einen Teil der Keramik, was zu Spannungen führen kann.

Da für die MTS-Prüfmaschine von der BAM eine Ergebnisunsicherheit von $\pm 1\%$ angegeben wird⁹, wurde auf eine zusätzliche statistische Erhebung verzichtet (Tab. 5). Aufgrund der Messmethode, die nicht zerstörungsfrei ist, konnte jede Probe nur einmal gemessen werden. Wird industriell die Druckspannung von Keramik ermittelt, verwendet man 20 bis 30 Probestücke gleicher Voraussetzungen und mittelt die Ergebnisse¹⁰. Dennoch zeigen die gemessenen

Werte im Vergleich zum unbehandelten Probestück, wie stark die Festigkeit durch eine Trängung erhöht werden kann.

Bei bodenfeuchter Keramik und auf Ausgrabungen ist es durchaus empfehlenswert, ein auf Wasser basierendes Festigungsmittel zu verwenden. Alle getesteten Substanzen bewirken in den Konzentrationen von 5% und 10% eine leichte Veränderung der Farbe, die akzeptiert werden muss. Luviskol VA64, Mowital B30H und Paraloid B72 sind aufgrund der heterogenen Verteilung im Keramikgefüge zur Festigung in diesen Konzentrationen nicht geeignet. Primal WS24 zeigt eine gute Verteilung und neigt wenig zur Glanzbildung auf der Oberfläche, hat aber auffallend schlechte Werte bei den Festigungstests, sodass es für die Anwendung ungeeignet scheint. Ist eine stärkere Festigung aufgrund des Keramikzustandes notwendig, können CarboSet 514H und

Archäofix N2000 verwendet werden. Sowohl das Eindringverhalten, die Oberflächenerscheinung als auch die Festigung liefern gute Ergebnisse. Bei Archäofix N2000 sollte jedoch der leicht basische pH-Wert beachtet werden.

Diese Testreihe beschränkt sich auf die Festigung von poröser sowie niedrig gebrannter Keramik mit schlechtem Erhaltungszustand und ist nicht auf alle Keramiktypen übertragbar. In der Probereihe werden die gängigen Festigungsmittel und -methoden verglichen und können Hinweise für eine mögliche Anwendung geben. Dennoch muss man je nach Erhaltungszustand, Herstellungstechnik sowie Zusammensetzung der zu bearbeitenden Keramik ein individuell geeignetes Festigungsmittel finden. Die Versuchsreihe zeigt einige Eigenschaften von Festigungsmitteln, die bei der Suche des geeigneten Festigungs- und Trängungsmittels helfen können.

Anmerkungen

- 1) Der im gleichen Kontext geborgene Befund 227 war deutlich schlechter erhalten und fast bis zur Unkenntlichkeit vergangen. Er wurde ebenfalls an der HTW Berlin von Ilona Hinneburg und Frieda Wolf unter der Leitung von Prof. Matthias Knaut und Stefan Puille bearbeitet.
- 2) Publikation in: Beck 2010: Beck, Sabine, Flüssigkeitskorrosion – auch bei archäologischer Keramik? Museum Aktuell, Nr. 174, Oktober 2010, 32-33
- 3) Sowohl Vinylpyrrolidon als auch Vinylacetat sind hygroskopisch, sodass es zu einer Verunreinigung der Oberfläche kommen kann. Polyvinylacetat neigt zusätzlich zum Verspröden und Schrumpfen.
- 4) Luviskol K ist reines Polyvinylpyrrolidon.
- 5) Wunderlich 2000, 328-330: Das Rezept für Archäofix N2000 lautet folgendermaßen: 50 Teile CarboSet 514H, 40 Teile dest. Wassers, dann 5 Teile Ammoniak 25%-ig zusetzen (muss klare Lösung ergeben), anschließend 100 Teile dest. Wassers.
- 6) Zusammensetzung: 95 Teile Steinzeugmasse mit 25% Schamotierung (0,0-1,0 mm); 5 Teile Quarzsand (0,1-0,5 mm): Der Brand erfolgt bei 700°C, dabei wird über 3,5 h langsam hoch geheizt und die Temperatur von 700°C 30 min gehalten.
- 7) Bei Archäofix N2000 werden für die 10%-Konzentration die beschriebene Stammlösung, für die 5%-Konzentration eine 1:1 mit dest. Wasser verdünnte Stammlösung verwendet.
- 8) Die Druckspannungstests wurden am 6.11.2009 durch Monika Finn, Dipl.-Ing. (FH) an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin durchgeführt.
- 9) Aus dem PDF upe_503_de_5-2.pdf der BAM über die »Multi-axiale thermomechanische Zug-Druck-Torsion-Innendruck-Prüfmaschine«, Stand 2006.
- 10) Freundliche mündliche Auskunft Monika Finn, Dipl.-Ing. (FH), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, November 2009.

Abgekürzt zitierte Literatur

- Burmeister 1989: A. Burmeister / C. Goedicke / H. W. Hennicke / B. Kleinmann / H. Knoll / M. Maggetti / R. Rottländer / G. Schneider, Naturwissenschaftliche Kriterien und Verfahren zur Beschreibung von Keramik. Acta Praehistorica et Archaeologica, 1989, 7-39.
- Buys 1993: S. Buys / V. Oakley, The Conservation and Restoration of Ceramics (Oxford, London 1993).
- Cronyn 2005: J. M. Cronyn, The Elements of Archaeological Conservation (London 2005).
- Grothe / Stapelfeldt 2008: A. Grothe / Th. Stapelfeldt, Selchow, Fpl. 10 (Lkr. Dahme Spreewald) – ein neolithischer Siedlungsplatz in Sichtweite des Grabhügels von Selchow, Fpl. 24. Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg, Heft 18, 2008, 301-312.
- Hilbert 2002: G. S. Hilbert, Sammlungsgut in Sicherheit (Berlin 2002).
- Horie 1987: C. V. Horie, Materials for Conservation – Organic Consolidants, Adhesives and Coating (Oxford 1987).
- Kirsch 1993: E. Kirsch, Funde des Mittelneolithikums im Land Brandenburg. Brandenburgisches Landesmuseum für Ur- und Frühgeschichte (Potsdam 1993).

- 1994: E. Kirsch, Beiträge zur älteren Trichterbecherkultur in Brandenburg. Brandenburgisches Landesmuseum für Ur- und Frühgeschichte (Potsdam 1994).
- Köllner 2008: A. Köllner, Der neolithische Kult- und Bestattungsort im Langhügel von Selchow 24, Landkreis Dahme-Spreewald. Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg, Heft 18, 2008, 313-329.
- Salmang / Scholze 2007: H. Salmang / H. Scholze, Keramik (Heidelberg 2007).
- Sander-Conwell 1995: E. Sander-Conwell, Tränkung poröser Keramik. Arbeitsblätter der Restauratoren, Heft 2 Gruppe 4 Keramik, 1995, 94-97.
- Wihr 1977: R. Wihr, Restaurierung von Keramik und Glas: Entwicklung – Erhaltung – Nachbildung (München 1977).
- Wunderlich 2000: Ch.-H. Wunderlich, »Archäofix 2000« – die Anwendung alkalisch-wasserlöslicher Acrylharze in der Restaurierung und Konservierung von Kulturgut. Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte 83, 2000, 327-338.

Zusammenfassung / Abstract / Résumé

Tränkung von niedrig gebrannter und poröser Keramik – eine Großkeramik aus Selchow, Landkreis Dahme-Spreewald, Brandenburg

Der Artikel befasst sich mit der Bergung, Konservierung und Restaurierung neolithischer Großkeramik. Sie wurde 2007 in Selchow geborgen. Während der Bergung zeigte sich, dass es sich nicht nur um ein Gefäß handelt, sondern um vier ineinandergestellte Gefäße. Aufgrund des extrem schlechten Erhaltungszustandes waren umfangreiche konservatorische Maßnahmen nötig. Die Restaurierung konzentrierte sich auf die Großkeramik und das datierende Gefäß, auf eine ansprechende Objektmontage wurde Wert gelegt. Es folgt eine Diskussion über gängige Festigungsmittel für Keramik. Anhand einer Versuchsreihe soll ermittelt werden, welches Festigungsmittel in hoher Konzentration zu gutem konservatorischen Erfolg führt.

Consolidation of low-fired porous ceramic – a vessel complex found in Selchow, Lkr. Dahme-Spreewald, Brandenburg

The paper deals with the recovery and conservation of a large ceramic vessel from the Neolithic found in Selchow in 2007. During conservation it soon became clear that there were at least four vessels put into one another. Because of the fragile condition of the vessels, an extensive conservation treatment was necessary. The focus of the

paper lies on the assemblage of fragments to obtain the original form of this very rare type of ceramic vessels for further archaeological investigation and exhibition. Established ceramic consolidants are discussed, and a series of tests with different highly-concentrated consolidants shall show which one will lead to a good conservation.

Imprégnation de céramique faiblement cuite et poreuse – Une grande céramique de Selchow, Landkreis Dahme-Spreewald, Brandenburg

L'article traite du dégagement, de la conservation et de la restauration d'une grande céramique néolithique. Elle a été découverte en 2007 à Selchow, Landkreis Dahme-Spreewald, Brandenburg. Lors de son extraction restauratrice il est apparu qu'il ne s'agissait pas seulement d'un récipient mais de quatre récipients placés les uns dans les autres. En raison de l'état de conservation extrêmement mauvais, de nombreuses mesures de conservation étaient nécessaires. La restauration s'est concentrée sur la grande céramique et le récipient permettant de dater la trouvaille. On a attaché de l'importance à un montage d'objet avenant. Il suit une discussion sur les agents consolidants en usage pour la céramique. À l'aide d'une série d'essais on doit déterminer quel agent consolidant conduit, lorsqu'il est fortement concentré, à une bonne réussite au niveau de la conservation.

Schlagworte

Trichterbecherkultur / Großkeramik / Objektmontage / Keramiktränkung