

Geschmolzenes Stroh – Brennexperimente an Getreide und seine Bedeutung für die Interpretation von erhitzten archäologischen Sedimenten

Dagmar Fritzschn, Carolin Langan & Astrid Röpke

Zusammenfassung – In Archäosedimenten sind häufig vitrifizierte Bestandteile nachweisbar, die als teilverschmolzene Phytolithe (amorphes SiO₂) gedeutet werden. Brennexperimente bei 250, 450, 600 und 800°C unterschiedlicher Pflanzenkompartimente Blatt, Spelze und Stängel von Saatweizen (*Triticum aestivum*) sollen Aufschluss über Temperaturamplituden, Unterschiede im Verschmelzungsgrad und über die Koloration von Phytolithen geben. Zudem lassen sich die hitzebedingten Veränderungen bestandteilspezifisch zuordnen. Unsere Ergebnisse weisen darauf hin, dass Phytolithe weitaus weniger hitzebeständig sind als bisher in der Literatur angenommen, und dass zudem die Phytolithbestandteile in Blatt, Spelze und Stängel von Weizen sehr unterschiedlich auf Hitze reagieren. Die Stängel werden schon bei niedrigen Temperaturen vitrifiziert und daher ist anzunehmen, dass der Anteil von verbranntem Stroh im archäologischen Kontext unterrepräsentiert ist.

Schlüsselwörter – Phytolithe, Brennexperimente, Brenntemperatur, Vitrifizierung, Getreide

Einleitung

Vitrifiziertes Material tritt häufig im archäologischen Kontext auf. Es handelt sich dabei um teilverschmolzene Bestandteile in Archäosedimenten unterschiedlicher Herkunft. Diese werden nicht nur in verbrannten architektonischen/baulichen Konstruktionen oder bei/nach Produktionsprozessen unter hoher Hitzeeinwirkung wie etwa Schmieden und Metallgewinnung nachgewiesen (KRESTEN 1996; RÖPKE/DIETL 2017), sondern auch im Bereich von Feuer- und Herdstellen (MILLER/SIEVERS 2012), Nutzungs- und Abfallschichten (SHILLITO/RYAN 2013; VRYDAGHS u. a. 2016) oder sekundär verlagert in Gruben oder Anthrosolen (DEVOS u. a. 2009; FRITZSCH u. a. 2013). Diese breite Amplitude spricht dafür, dass auch bei Temperaturen unter 1000°C Vitrifizierung stattfinden kann. Es wird allgemein angenommen, dass es sich bei vitrifiziertem Material um Phytolithe, die aus biogenem, amorphem Siliziumdioxid bestehen, handelt (PIPERNO 2006; VRYDRAGHS u. a. 2017). Phytolithe kommen in hohen Anteilen bei Poaceae, also bei Süßgräsern, vor. Ihr Schmelzpunkt befindet sich weit unter dem von kristallinem Siliziumdioxid (Quarz), dieser liegt bei 1 300°C (GÖTZE/GÖBBELS 2017). Untersuchungen von F. Runge und D. R. Piperno gehen davon aus, dass Phytolithe ab 800°C vitrifizieren (RUNGE 2000; PIPERNO 2006). Erhitzungsmerkmale von Phytolithen lassen sich auch über den Refraktionsindex (ELBAUM 2003) oder über Fluoreszenz (DEVOS u. a. 2009) nachweisen.

Um hitzebedingte Veränderungen von Phytolithen genauer zu untersuchen, haben wir im Rah-

men eines Brennexperimentes die am häufigsten in antiken Siedlungen vorkommende Poaceae, nämlich Getreide (Weizen, Hafer, Gerste), auf 250, 450, 600 und 800°C unter oxidativen und reduktiven Bedingungen erhitzt. Dabei wurden die Pflanzenteile Stängel, Blatt und Spelze separiert und getrennt voneinander verbrannt, mit dem Ziel herauszufinden, ob es Unterschiede im Brennverhalten gibt. Diese Kompartimente unterscheiden sich ebenfalls im Phytolithspektrum (MADELLA 2005; PORTILLO/ALBERT 2011; LANCELOTTI/MADELLA 2012). Gerade die vielfältige Nutzung der Stängel im archäologischen Kontext, etwa in Form von Stroh für das Vieh oder im Hausbau (ALBERT u. a. 2008), könnte beim Brand eine größere Rolle spielen. Ebenso soll überprüft werden, ob die in der Literatur (z. B. PARR 2006) häufig beschriebene Koloration tatsächlich ein Hinweis auf Hitzeeinwirkung ist.

Methoden

Im Labor für Bodenkunde (Institut für Physische Geographie, Goethe-Universität Frankfurt a. M.) wurden Proben von Weizen, Gerste und Hafer in die verschiedenen Pflanzenkompartimente Blätter, Stängel und Spelzen separiert (n = 36). Anschließend wurde das Material eingewogen und im Muffelofen unter überwiegend reduzierenden Bedingungen in tiefen, abgedeckten Tiegeln (CANTU/NICOSIA 2018) bei 250, 450, 600 und 800°C vier Stunden erhitzt (**Abb. 1**). Zusätzlich wurden jeweils sechs Proben bei 450 und 600°C unter oxidativen Bedingungen in flachen Tiegeln verascht (**Abb. 2**), um Unterschiede im



Abb. 1 Noch ungedeckte Proben vor der Veraschung.



Abb. 2 Feine und grobe Weizenstängel.

Brennverhalten zu erkennen und die daraus resultierende Merkmalsausbildung feststellen zu können. Die Stängel wurden in zwei Fraktionen – grob und fein – getrennt, da möglicherweise der hohle Innenraum der Stängel einen Einfluss auf die Brennvorgänge haben könnte. Die veraschten Proben wurden mit 10 %iger Salzsäure (HCl), konzentrierter Salpetersäure (HNO₃) und Wasser (H₂O) gereinigt (PIPERNO 2006) und anschließend

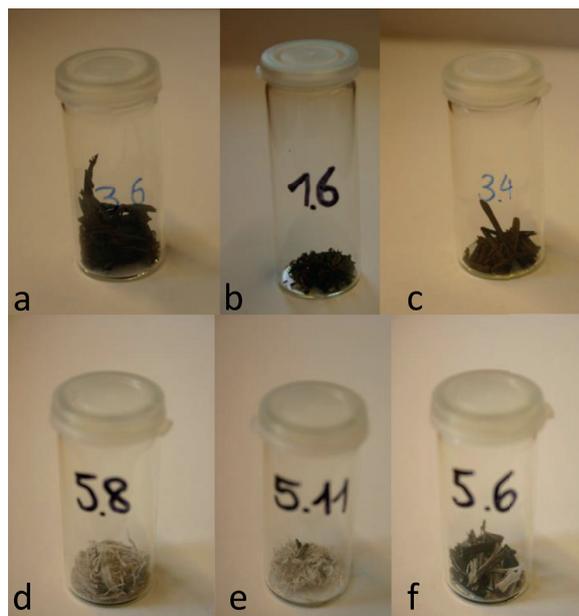


Abb. 3 Blätter (a), Spelzen (b) und Stängel (c) nach der Erhitzung auf 250°C und Blätter (d), Spelzen (e) und Stängel (f) nach der Erhitzung auf 450°C.

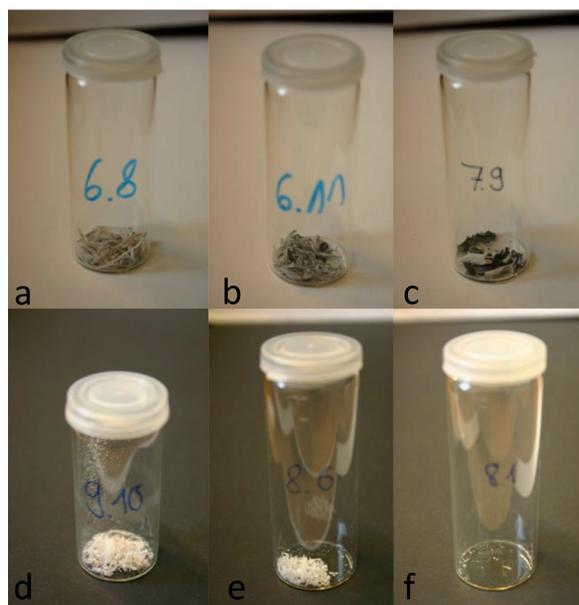


Abb. 4 Blätter (a), Spelzen (b) und Stängel (c) nach der Erhitzung auf 600°C und Blätter (d), Spelzen (e) und Stängel (f) nach der Erhitzung auf 800°C.

getrocknet. Die aufbereiteten Proben wurden mit bis zu 400facher Vergrößerung am Polarisationsmikroskop (Zeiss Axioskop 40) beschrieben. Weiterführende Untersuchungen fanden am Rasterelektronenmikroskop (REM) und mit der

Raman-Spektroskopie statt. Exemplarisch werden hier die Ergebnisse von Saatweizen (*Triticum aestivum*) dargestellt.

Ergebnisse

Makroskopisch sichtbare Veränderungen nach der Veraschung – 250°C

Die Morphologie der Einzelkompartimente ist in allen Proben erkennbar. Aschebestandteile sind makroskopisch nicht sichtbar. Die Blätter zeigen die stärksten hitzebedingten Schrumpfungerscheinungen (**Abb. 3a**). Ähnliches ist auch bei den Spelzen (**Abb. 3b**) zu sehen. Die Stängel sind in ihren Merkmalen gut erhalten, haben aber ebenso an Volumen verloren (**Abb. 3c**).

Makroskopisch sichtbare Veränderungen nach der Veraschung – 450°C

Die Blätter sind eingerollt und größtenteils verascht (**Abb. 3d**). Ähnliches ist bei den Spelzen zu beobachten. Ein kleiner Anteil der Spelzen ist verkohlt, der größere Anteil ist verascht und fragmentiert (**Abb. 3e**). Dagegen sind die Stängel größtenteils verkohlt mit einem kleineren Veraschungsanteil. Lediglich die Stängel sind morphologisch noch als solche erkennbar (**Abb. 3f**); sie erscheinen am wenigsten von der Hitze beeinflusst.

Makroskopisch sichtbare Veränderungen nach der Veraschung – 600°C

Makroskopisch sind kaum Unterscheidungen zu den mit 450°C erhitzten Proben erkennbar (**Abb. 4a,b**). Nur bei den Stängeln ist der Anteil des veraschten Materials etwas höher (**Abb. 4c**).

Makroskopisch sichtbare Veränderungen nach der Veraschung – 800°C

Alle drei Pflanzenkompartimente sind komplett verascht. Morphologisch sind keine Unterschiede erkennbar (**Abb. 4d,e**). Besonders auffällig ist der Materialverlust bei den Stängeln (**Abb. 4f**).

Mikroskopisch sichtbare Veränderungen nach der Veraschung – 250°C

Die Phytolithe der Blätter kommen im Verband vor und sind weitestgehend intakt (**Abb. 5a**). Die für Blätter typischen Spaltöffnungen (Stomata) sind häufig aus der Epidermis herausgebrochen (**Abb. 5b**). Die Mehrheit der Phytolithe ist nicht verfärbt. Die Langzellen (Elongates) sind meist im Verband vorhanden. Haarzellen (*hair cells*) sind leicht gefärbt, aber eindeutig identifizierbar.

Bei den Spelzen liegen die Phytolithe einzeln und im Verband vor und sind intakt. Es sind viele Kurzzellen (*short cells*) vorhanden, die ebenfalls einzeln vorliegen (**Abb. 5c**). Diese weisen Kohlenstoffeinlagerungen auf. Die gehäuft vorkommenden Leitbündel (**Abb. 5d**) sind meist, die Elongates teilweise verfärbt (**Abb. 5c**). Die für Spelzen charakteristischen dendritischen Elongates liegen oft einzeln vor und können verfärbt sein. Haarzellen sind ebenso verfärbt (**Abb. 5d**).

Viele Phytolithe des Stängels liegen im Verband vor, nur die Kurzzellen kommen hauptsächlich einzeln vor (**Abb. 5e**). Die Epidermis mit Haarzellenbasen (Papillae), Stomata, psilate Elongates (Langzellen mit glatter Oberfläche) und die Haarzellen sind kaum hitzeverändert. Das Grundgewebe (Parenchym) ist allerdings deutlich durch Hitze beeinflusst (**Abb. 5d**), was sich am REM ebenfalls nachweisen lässt (**Abb. 6**).

Mikroskopisch sichtbare Veränderungen nach der Veraschung – 450°C

Die Phytolithe der Blätter liegen fragmentiert vor; teilweise ist ein Verband erkennbar. Überwiegend sind die Phytolithe intakt. Die Stomata zeigen hitzebedingte Deformierungen (**Abb. 7a**). Vor allem die Elongates sind verfärbt (**Abb. 7b**). Kurzzellen und Haarzellen sind zahlreich vorhanden und größtenteils unverändert (teilweise bräunlich verfärbt).

Großflächig zusammenhängende Phytolithkomplexe der Spelzen sind auch nach der Veraschung mit 450°C erhalten geblieben (**Abb. 7c**). Auch die Kurzzellen liegen kaum einzeln vor. Alle Morphotypen sind gut identifizierbar. Wichtigstes hitzebedingtes Merkmal ist die intensive, dunkelbraune Verfärbung von Haarzellbasen (Papillae) (**Abb. 7c**), Leitbündeln, Elongates, Haarzellen und einigen Kurzzellen (**Abb. 7d**). Papillae sind zum Teil aus dem Verband herausgebrochen.

Alle Morphotypen der Stängel sind noch identifizierbar und liegen im Verband vor. Obwohl

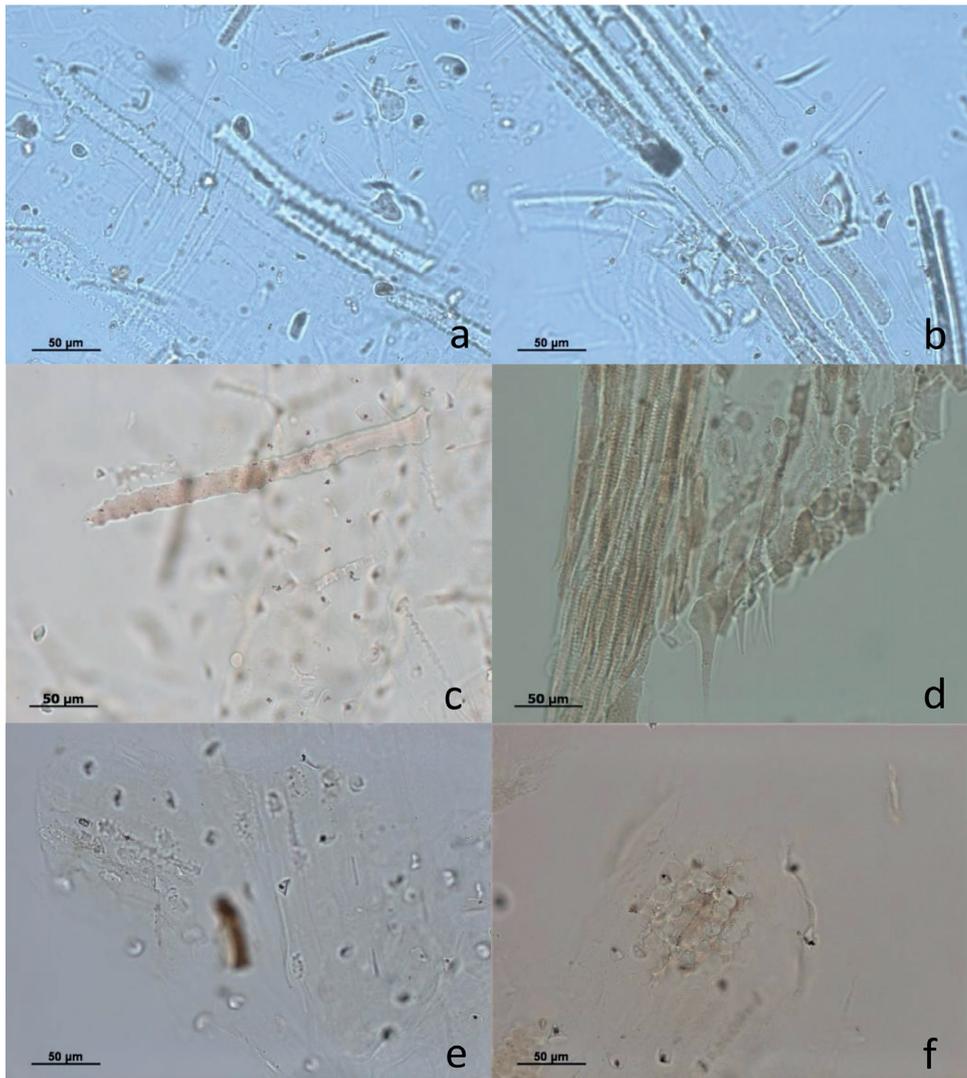


Abb. 5 Blätter (a,b), Spelzen (c,d) und Stängel (e,f) nach der Erhitzung auf 250°C.

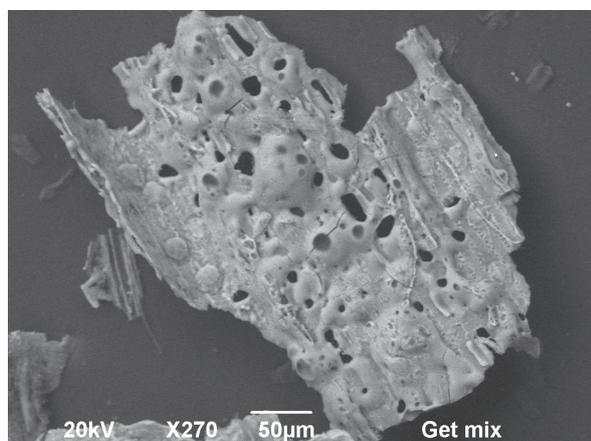


Abb. 6 REM der Stängel nach Erhitzung bei 250°C.

sie makroskopisch überwiegend intakt erscheinen, sind viele Phytolithe deutlich angeschmolzen. Die Stomata erscheinen aufgebläht. Das Parenchym ist schwarz gefärbt und stark verschmolzen (Abb. 7e). Eine weitere Veränderung ist die starke Koloration der Papillae (Abb. 7f). Elongates, Kurz- und Haarzellen sind weniger betroffen.

Mikroskopisch sichtbare Veränderungen nach der Veraschung – 600°C

Die Phytolithe der Blätter sind fragmentiert und liegen teilweise noch im Verband vor (Abb. 8a,b). In diesem Verband sind Elongates, Stomata und

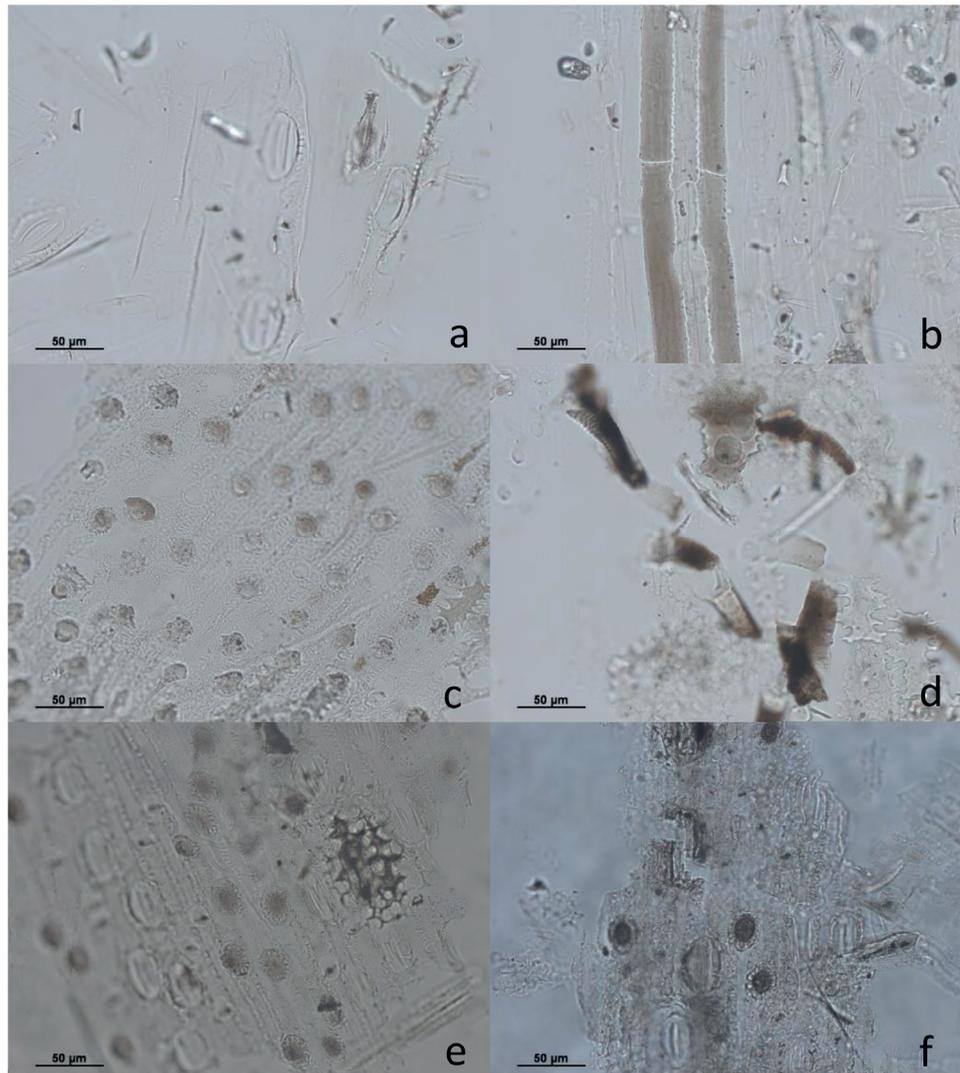


Abb. 7 Blätter (a,b), Spelzen (c,d) und Stängel (e,f) nach der Erhitzung auf 450°C.

Kurzzellen leicht deformiert, aber gut identifizierbar. Stomata sind am stärksten hitzebedingt verändert und zum Teil herausgebrochen (Abb. 8b). Alle Bestandteile können auch dunkel koloriert vorliegen. Die Kurzzellen sind in ihrer Gestalt am geringsten von der Temperatur beeinflusst. Der typische Kohlenstoffkern der Kurzzellen ist weiterhin gut abgegrenzt (Abb. 8a).

Auch nach der Veraschung bei 600°C liegen die Phytolithe der Spelzen noch im Verband vor. Allerdings unterscheiden sie sich durch den Grad der Verschmelzung. Das Grundgewebe ist stark vitrifiziert, während andere Bestandteile weiterhin gut differenzierbar sind (Abb. 8c). Verfärbungen liegen bei allen Morphotypen vor. Besonders die Papillae sind stark betroffen (Abb. 8d).

Alle Morphotypen der Stängel sind im Verband verschmolzen. Eine Merkmalsdifferenzierung ist kaum noch möglich. Vereinzelt lassen sich Stomata erahnen. Die verschmolzenen Phytolithe wirken wie blasig geschmolzene Schlacke. Verfärbungen treten in den Hintergrund (Abb. 8e,f).

Mikroskopisch sichtbare Veränderungen nach der Veraschung – 800°C

Die Phytolithe der Blätter sind im Verband verschmolzen. Elongates und Stomata sind stark deformiert, aber erkennbar (Abb. 9a). Kurzzellen sind an ihrem dunklen Kohlenstoffkern, der sich deutlich zur Umgebung abgrenzt, identifizierbar

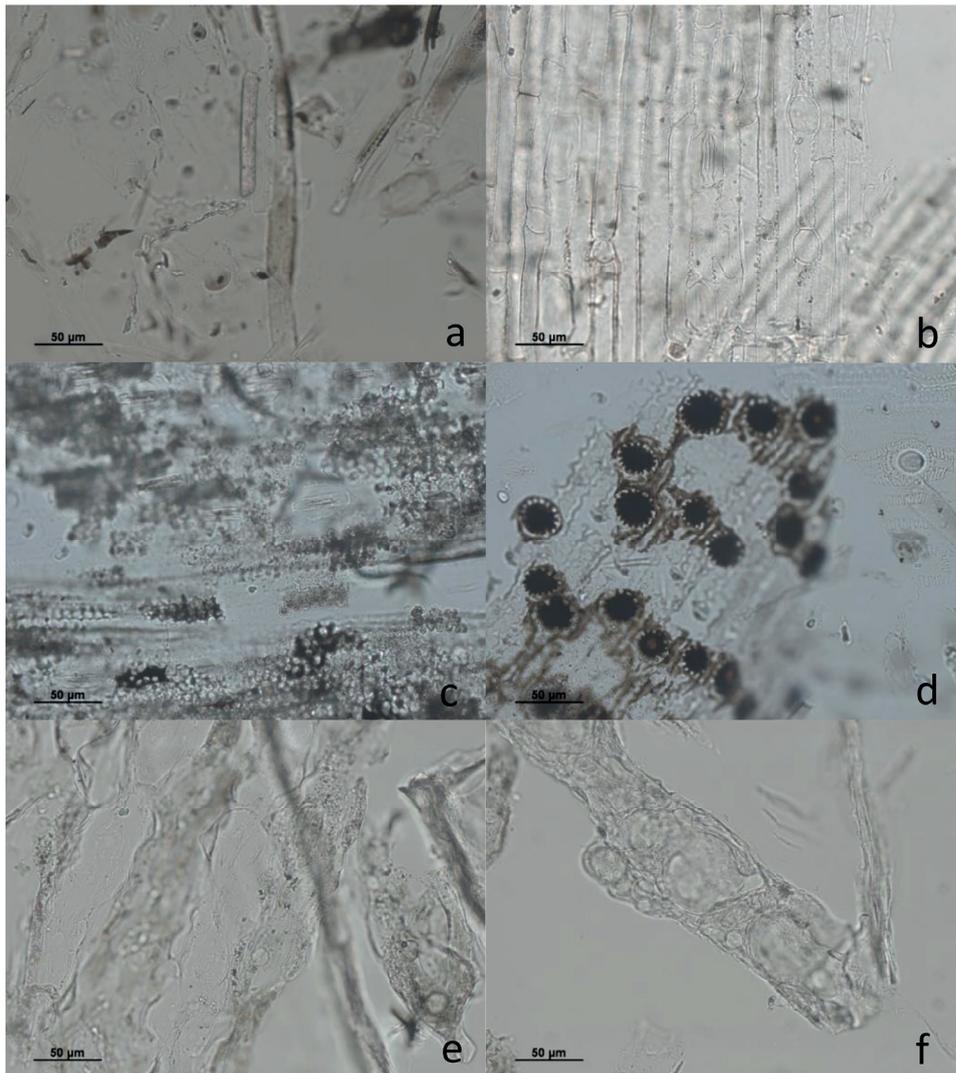


Abb. 8 Blätter (a,b), Spelzen (c,d) und Stängel (e,f) nach der Erhitzung auf 600°C.

(Abb. 9b). Die Koloration beschränkt sich auf die Haare.

Alle Bestandteile der Spelzphytolithe sind stark durch die Hitze verändert, besonders die mit Papillae im Verband vorliegenden dendritischen Elongates. Diese erscheinen in viele kleine Schmelztropfen aufgelöst, lassen sich aber anhand ihrer Umrisse erkennen, da sie nicht miteinander verschmolzen sind (Abb. 9c). Allein die Haarzellen sind in ihrer Struktur erhalten. Jedoch sind sie stark geschwärzt (Abb. 9d).

Die Verklumpung der Phytolithe der Stängel durch den Schmelzvorgang intensiviert sich mit der hohen Temperatur. Dadurch erschwert sich die Differenzierung der einzelnen Bestandteile

unter dem Mikroskop (Abb. 9e). Es gibt Stellen, an denen das amorphe Silizium kristallisiert erscheint (Abb. 9f).

Synthese

Hitzebedingte Veränderungen

Unsere Brennexperimente an Getreide geben Anlass zur Vermutung, dass Phytolithe weit- aus weniger hitzebeständig sind als bisher in der Literatur angenommen, und dass zudem die hitzebedingten Veränderungen der Phytolithbestandteile in Blatt, Spelze und Stängel

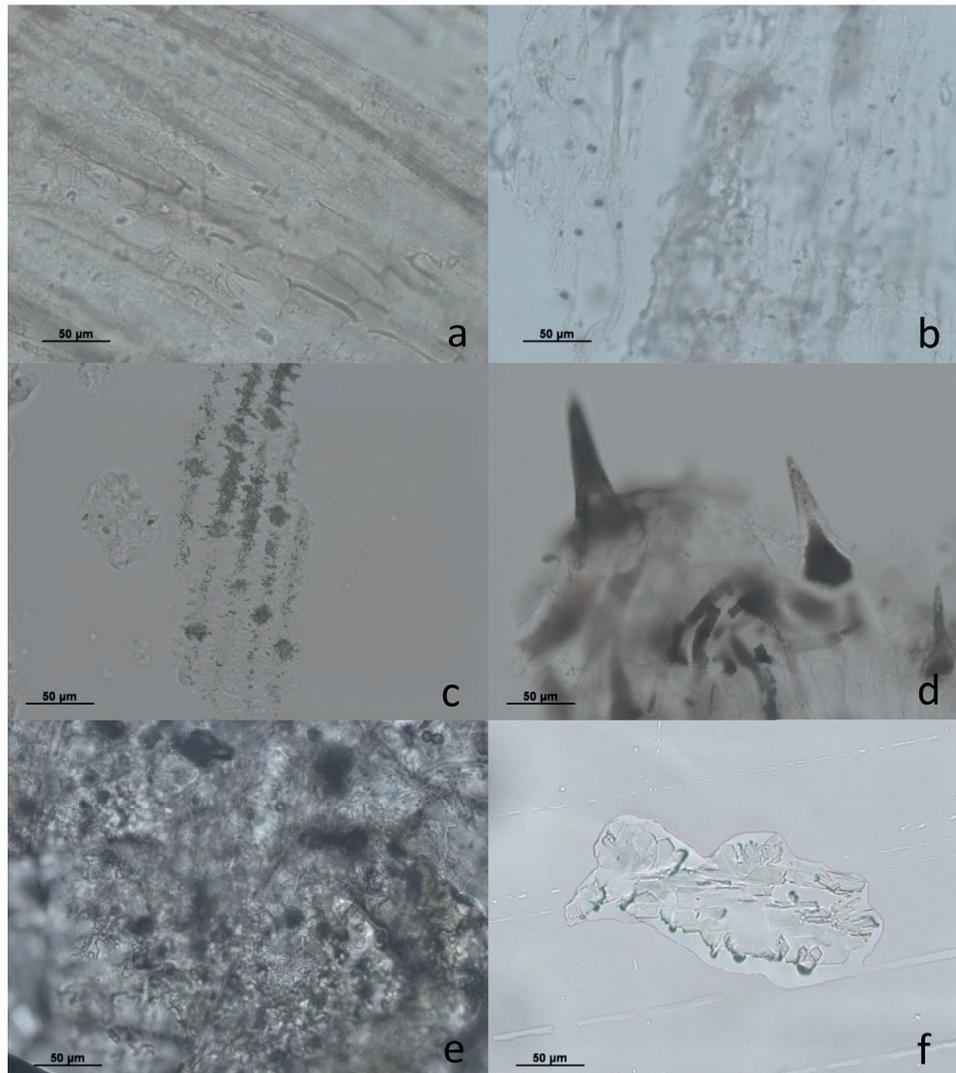


Abb. 9 Blätter (a,b), Spelzen (c,d) und Stängel (e,f) nach der Erhitzung auf 800°C.

von Saatweizen sehr starke Unterschiede aufweisen. Bereits F. Runge zeigt, dass sich Phytolithen schon ab 500°C verändern (RUNGE 2000). Aber noch D. Kaczorek u. a. gehen davon aus, dass diese erst bei 800°C vitrifizieren (KACZOREK u. a. 2010), mit der Einschränkung, dass J. C. Brochier bei einigen Phytolithen Veränderungen ab 600°C feststellt (BROCHIER 2002). M. G. Canti hält es für möglich, dass Natriumkarbonat (Na_2CO_3) eine Herabsetzung des Schmelzpunktes bewirken kann (CANTI 2003). Wir stellen fest, dass auch ohne Zugabe von Natriumkarbonat sichtbare Unterschiede schon unterhalb von 600°C auftreten. Ein wesentliches Ergebnis ist, dass die Stängel eine deutlich geringere Hitzebeständigkeit auf-

weisen als Blätter und Spelzen. Bei 250°C sind makroskopisch zwar kaum Unterschiede zu erkennen, aber mikroskopisch zeigen sich bereits Deformationen und Verschmelzungen des Parenchyms unter dem REM (Abb. 6). Dieses Hitzezeichen verstärkt sich bei 450°C, gleichzeitig kommen Deformationen der Stomata hinzu. Mit 600°C wird eine kritische Temperatur erreicht, die zur nahezu kompletten Aufschmelzung der Stängel führt – ein Habitus, der bei den Blättern und Spelzen erst bei 800°C eintritt.

Ursachen für diese Hitzeunbeständigkeit könnten im Aufbau und in der Zusammensetzung der Stängel begründet liegen. Grundsätzlich sind Blatt, Spelze und Stängel aufgrund ihrer spezifi-

schen Funktionen sehr unterschiedlich aufgebaut. Das Blatt als Hauptorgan für die Photosynthese ist flächig und dünn, die Spelzen sind wesentlich kleiner und dienen als Schutzhülle des Getreidekorns (Karyopse). Der Stängel übernimmt den Wasser- und Nährstofftransport von der Wurzel zu den Blättern und besitzt eine stützende Funktion (CONERT 2000; NULTSCH 2001). Augenfälligster Unterschied ist seine langgestreckte Form, und dass er röhrenförmig und innen hohl aufgebaut ist. Dies macht ihn stabiler als eine kompakte Säule und besonders leicht, so dass Gräser mehrere Meter hoch werden können. Verbindende Knoten (Nodien) sowie ein an der Stängelaußenseite zunehmendes Festigungsgewebe verstärkt seine Tragfähigkeit (KADEREIT u. a. 2014). Ein weiterer Unterschied zu den Blättern und den Spelzen ist der höhere Anteil an Leitbündeln, die in der Mitte ebenfalls hohl sind, was Protoxylem oder Lacuna genannt wird (DONALDSON u. a. 2001; HANSEN u. a. 2013). Der Stängel ist demnach eine Röhre, die in sich wieder aus Röhren aufgebaut ist und beim Brennvorgang möglicherweise eine bessere Ausbreitung der Hitze und/oder das Entstehen von reduzierenden Bedingungen fördert. Hinzu kommt, dass die weitlumigen, dünnwandigen Zellen des Stängel-Parenchyms nicht nur größer sind, sondern auch flächenmäßig einen höheren Anteil als im Blatt und in der Spelze haben (KADEREIT u. a. 2014). Ob eine Zerkleinerung der Stängel die vorzeitige Verschmelzung verlangsamt, konnte noch nicht abschließend geklärt werden.

Koloration von Phytolithen als Hitzemerkmal

Hitzebedingte farbliche Veränderungen in den verschiedenen Pflanzenkompartimenten ließen sich bei allen Brennstufen nachweisen, und mit steigender Temperatur ging eine Veränderung von braun nach schwarz einher wie bei den Papillae der Spelzen beobachtet werden konnte (Abb. 7a und 8d). Diese Merkmale beschreibt auch J. F. Parr (PARR 2006). Er kommt nach der Auswertung seiner Experimente und einer ausführlichen Diskussion der Literatur zum Schluss, dass die Koloration von Phytolithen als eindeutiges Zeichen für Feuereinfluss gewertet werden kann. Nur bei einigen Pflanzen, wie bei den Myrtaceae (Myrtengewächsen) und bei einigen Poaceae, kommen gefärbte Phytolithe natürlich vor. Ebenso können hohe Mengen an Mangan im Boden zu einer Färbung führen (WILDING u. a. 1967). Diese

Faktoren können wir für unsere Untersuchung ausschließen. Allein die rotbraune Färbung der Gefäße bei den Spelzen könnte eine Maskierung von einem Rest organischer Substanz sein. Ebenso wie bei den Verschmelzungserscheinungen neigen Blätter, Spelzen und Stängel unterschiedlich stark zur Koloration. Die Blätter sind davon am wenigsten betroffen. Die Phytolithen der Spelzen zeigen die intensivste Koloration. Vor allem Papillae, Leitbündel und einige Elongates sind davon betroffen. Papillae der Stängel sind schon bei 450°C koloriert. Die Haare der Spelzen sind extrem hitzebeständig und bei 800°C noch zu erkennen, allerdings dann schwarz gefärbt. Auch in V. Bähr u. a. ließen sich Haare in vitrifiziertem Sedimentmaterial einer bronzezeitlichen Befestigungsanlage noch bestimmen (BÄHR u. a. 2016).

Anwendungsmöglichkeiten

Mit den detaillierten Brennversuchen an den separierten Pflanzenkompartimenten Blatt, Spelze und Stängel von Saatweizen (*Triticum aestivum*) lassen sich hitzebedingte Veränderungen bestandteilsspezifisch zuordnen. Dies hat zum einen den Vorteil, dass typische vitrifizierte, deformierte oder kolorierte Phytolithe im Sediment-Dünnschliff oder in der untersuchten Phytolithprobe archäologischer Ablagerungen dem Blatt, der Spelze oder dem Stängel zuzuordnen sind, und dass zum anderen auf Brenntemperaturen geschlossen werden kann. Ein Hauptergebnis ist, dass Stängel schon bei 450°C verschmolzen sein können, und sie ab 600°C überhaupt nicht mehr differenzierbar sind. Bemerkenswert ist auch, dass bei 800°C kaum Material übrig bleibt (Abb. 4f). Dies könnte bedeuten, dass Stroh im feuerüberprägten archäologischen Material unterrepräsentiert ist. Das betrifft architektonische Konstruktionen, wie Dächer, aber auch Matten, Einstreu und Ställe. So gehen D. E. Friesem u. a. davon aus, dass ein großer Teil prähistorischer Häuser ein Dach aus organischem Material wie Stroh oder Schilf hatte (FRIESEM u. a. 2014). Der seltene Nachweis von diesen im archäologischen Befund könnte auf die geringe Hitzebeständigkeit der Stängelphytolithen zurückgeführt werden. Neben Holz und Dung wurde auch Stroh als Brennstoff verwendet. Da schon Temperaturen eines offenen Feuers für das Verschmelzen der Stängel des Getreides ausreicht, könnten verglaste Bestandteile in Aschen und Feuerstellen ebenfalls diesen Ursprung haben.

Komplizierter wird es bei der Getreideverarbeitung: Wenn kein verkohltes Getreide vorhanden ist, werden Phytolithen für die Rekonstruktion von Getreideverarbeitungsschritten herangezogen (HARVEY/FULLER 2005; DAL CORSO u. a. 2017). Ähnlich wie bei den Makrorestuntersuchungen wird davon ausgegangen, dass eine Selektion stattfindet und ein charakteristisches Phytolithspektrum einen bestimmten Schritt in der Verarbeitungskette (Dreschen, Worfeln, Sieben, Mahlen) darstellt (HARVEY/FULLER 2005). Wenn also nur noch dendritische Langzellen von den Spelzen übrig sind, wird angenommen, dass es sich um die Schritte Worfeln und Sieben handelt. Gibt es Hinweise auf Hitzeeinwirkung, dann muss überdacht werden, ob die Selektion einzig durch die Verarbeitung zu Stande kam oder ob diese auch hitzebedingt entstanden sein kann – denn die dendritischen Langzellen sind neben den Haarzellen, wie unsere Brennversuche zeigen, die hitzebeständigsten Phytolithen.

Ebenso werden Phytolith-Analysen bei Baumaterialien (architektonische Konstruktionen) eingesetzt. Wenn mit Getreidedrusch gemagertes Material für (Lehm-)Wände verwendet wird, bleiben auch nach dem Verbrennen Phytolithen übrig. Da Sediment gegen Hitze gut isoliert (CANTI/LINFORD 2000), sind häufig alle Bestandteile einer intentionellen Magerung erhalten. M. Dal Corso u. a. konnten in Maidanetske (Ukraine), Tripolje-Kultur, Getreide nachweisen (DAL CORSO u. a. 2018), wie auch V. Bähr u. a. für den bronzezeitlichen Fundplatz Bernstorf (Bayern) (BÄHR u. a. 2016). Für weiterführende Untersuchung müssten allerdings Brennexperimente mit anschließenden Phytolith- und Dünnschliffuntersuchungen von gemagertem Lehmewurf u. ä. durchgeführt werden.

Ein weiteres Feld, in dem die Phytolith-Analyse mit der Mikromorphologie gut kombiniert werden kann, sind Untersuchungen von Sedimenten. In Verfüllungen von Gruben und Gräben kommen oft Mischspektren unterschiedlichster Herkunft vor (BALBO 2015). Ein Hauptbestandteil der Verfüllungen ist lokal vorkommendes, häufig humoses und/oder pflanzenkohlereiches und daher dunkel gefärbtes Sediment mit weiteren organischen und anthropogenen Bestandteilen. Die Phytolithspektren können Aufschluss über Inhalt und Verfüllungsprozesse geben. Dieser Prozess kann natürlicherweise ablaufen, oder eine Verfüllung kann intentionell erfolgt sein; ebenso findet man eine Kombination von natür-

licher und absichtlicher Verfüllung. Auch lassen sich Deponierungen, die aus gebrannten und ungebrannten Resten bestehen, von zusammengehörigen *in situ*-Brandresten unterscheiden. Bei ersterem kommen eindeutig vitrifiziertes Material, Holzkohle- und Aschereste sowie hitzeunbeeinflusste Bestandteile zusammen vor.

Literatur

ALBERT u. a. 2008

R. M. Albert/R. Shahack-Gross/D. Cabanes/A. Gilboa/S. Lev-Yadum/M. Portillo/I. Sharon/E. Boaretto/S. Weiner, Phytolith-rich layers from the Late Bronze and Iron Ages at Tel Dor (Israel): mode of formation and archaeological significance. *Journal of Archaeological Science* 35, 2008, 57–75.

BÄHR u. a. 2016

V. Bähr/B. Eichhorn/M. Gumnior/A. Röpke, Burnt structures on the Bernstorf hill (Upper Bavaria, Germany), an integrated research. Abstract. 17th Conference of the International Work Group for Palaeoethnobotany, Paris, France, Muséum national d'Histoire naturelle, Jardin des Plantes July 4–9, 2016. https://iwgp2016paris.sciencesconf.org/conference/iwgp2016paris/pages/livret_IWGP.pdf [letzter Zugriff 17.02.2019]

BALBO u. a. 2015

A. L. Balbo/D. Cabanes/J. J. García-Granero/A. Bonet/P. Ajithprasad/X. Terradas, A microarchaeological approach for the study of pits. *Environmental Archaeology* 20(4), 2015, 390–405.

CANTI 2003

M. G. Canti, Aspects of the Chemical and Microscopic Characteristics of Plant Ashes Found in Archaeological Soils. *Catena* 54, 2003, 339–361.

CANTI/BROCHIER 2017

M. G. Canti/J. C. Brochier, Plant ash. In: C. Nicosia/G. Stoops (eds.), *Archaeology Soil and Sediment Micromorphology* (Hoboken 2017) 147–154.

CANTI/LINFORD 2000

M. G. Canti/N. Linford, The Effects of Fire on Archaeological Soils and Sediments: Temperature and Colour Relationships. *Proceedings of the Prehistoric Society* 66, 2000, 385–395.

CANTI/NICOSIA 2018

M. G. Canti/C. Nicosia, Formation, morphology and interpretation of darkened faecal spherulites. *Journal of Archaeological Science* 89, 2018, 32–45.

CONERT 2000

H. J. Conert, *Pareys Gräserbuch. Die Gräser Deutschlands erkennen und bestimmen* (Berlin 2000).

DAL CORSO u. a. 2017

M. Dal Corso/C. Nicosia/C. Balista/M. Cupitò/E. Dalla Longa/G. Leonardi/W. Kirleis, Bronze Age crop processing evidence in the phytolith assemblages from the ditch and fen around Fondo Paviani, northern Italy. *Vegetation History and Archaeobotany* 26, 2017, 5–24.

DAL CORSO u. a. 2018

M. Dal Corso/W. A. Out/R. Ohlrau/R. Hofmann/St. Dreibrodt/M. Videiko/J. Müller/W. Kirleis, Where are the cereals? Contribution of phytolith analysis to the study of subsistence economy at the Trypillia site Maidanetske (ca. 3900–3650 BCE), central Ukraine. *Journal of Arid Environments* 157, 2018, 137–148.

DEVOS u. a. 2009

Y. Devos/L. Vrydaghs/A. Degraeve/K. Fechner, An archaeopedological and phytolitharian study of the “Dark Earth” on the site of Rue de Dinant (Brussels, Belgium). *Catena* 78, 2009, 270–284.

DONALDSON u. a. 2001

L. Donaldson/J. Hague/R. Snell, Lignin Distribution in Coppice Poplar, Linseed and Wheat Straw. *Holz-forschung* 55, 2001, 379–385.

ELBAUM u. a. 2003

R. Elbaum/S. Weiner/R. M. Albert/M. Elbaum, Detection of Burning of Plant Materials in the Archaeological Record by Changes in the Refractive Indices of Siliceous Phytoliths. *Journal of Archaeological Science* 30, 2003, 217–226.

FRIESEM u. a. 2014

D. E. Friesem/G. Tsartsidou/P. Karkanias/R. Shahack-Gross, Where are the roofs? A geo-ethnoarchaeological study of mud brick structures and their collapse processes, focusing on the identification of roofs. *Archaeological and Anthropological Science* 6, 2014, 73–92.

FRIESEM u. a. 2018

D. Fritzsich/C. Langan/A. Röpke, Phytoliths on Fire II! In: S. Berg/E. Eckmeier/W. Linzen/L. Werther/C. Zielhofer (Hrsg.), *Anwendung und Weiterentwicklung geoarchäologischer Methoden und Konzepte in der archäologisch-bodendenkmalpflegerischen Praxis und Forschung*. Book of Abstracts. Jahrestagung des Arbeitskreises Geoarchäologie, 04. bis 06. Mai 2018, München (München 2018). doi:10.22032/DBT.34521.

FRIESEM u. a. 2013

D. Fritzsich/J. Verspay/H. Thiemeyer, Die spätmittelalterliche Agrarlandschaft in Nord-Brabant – Mikromorphologische Untersuchungen von Plaggeneschen. Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 07.–12.09.2013, Rostock. <http://eprints.dbges.de/1026/> [letzter Zugriff 17.02.2019]

GÖTZE/GÖBBELS 2017

J. Götze/M. Göbbels, *Einführung in die Angewandte Mineralogie* (Berlin 2017).

HARVEY/FULLER 2005

E. L. Harvey/D. Q. Fuller, Investigating crop processing using phytolith analysis: the example of rice and millets. *Journal of Archaeological Science* 32, 2005, 739–752.

HANSEN u. a. 2013

M. A. Hansen/B. J. Hidayat/K. K. Mogensen/M. D. Jeppensen/B. Jørgensen/K. S. Johansen/L. G. Thygesen, Enzyme affinity to cell types in wheat straw (*Triticum aestivum* L.) before and after hydro-thermal pretreatment. *Biotechnology for Biofuels* 6(1), 2013, 54.

KACZOREK u. a. 2018

D. Kaczorek/L. Vrydaghs/Y. Devos/A. Pett/W. R. Effland, Biogenic siliceous features. In: G. Stoops/V. Marcelino/F. Mees (eds.), *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths* (Amsterdam 2018) 157–176.

KADEREIT u. a. 2014

J. W. Kadereit/C. Körner/B. Kost/U. Sonnewald, *Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften*³⁷ (Berlin, Heidelberg 2014).

KRESTEN 1996

P. Kresten, Hill-forts with vitrified or calcined ramparts: Index and reference list. Research report R02-1996, Geoarchaeological Laboratory Uppsala University (unpubl. Mskr. 1996).

LANCELOTTI/MADELLA 2012

C. Lancelotti/M. Madella, The ‘invisible’ product: developing markers for identifying dung in archaeological contexts. *Journal of Archaeological Science* 39, 2012, 953–963.

MADELLA u. a. 2005

M. Madella/A. Alexandre/T. Ball, International code for phytolith nomenclature 1.0. *Annals of Botany* 96(2), 2005, 253–260.

NULTSCH 2001

W. Nultsch, *Allgemeine Botanik*¹¹ (Stuttgart, New York 2001).

PARR 2006

J. F. Parr, Effect of fire on phytolith coloration. *Geoarchaeology* 21(2), 2006, 171–185.

PIPERNO 2006

D. R. Piperno, *Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleocologists* (Oxford 2006).

PORTILLO/ALBERT 2011

M. Portillo/R. M. Albert, Husbandry practices and

livestock dung at the Numidian site of Althiburos (el Médéina, Kef Governorate, northern Tunisia): the phytolith and spherulite evidence. *Journal of Archaeological Science* 38, 2011, 3224–3233.

RÖPKE/DIETL 2017

A. Röpke/C. Dietl, Burnt Soils and Sediments. In: C. Nicosia/G. Stoops (eds.), *Archaeology Soil and Sediment Micromorphology* (Hoboken 2017) 173–180.

RUNGE 2000

F. Runge, Opal-Phytolithe in den Tropen Afrikas und ihre Verwendung bei der Rekonstruktion paläoökologischer Umweltverhältnisse (Norderstedt 2000).

SHILLITO/RYAN 2013

L.-M. Shillito/P. Ryan, Surfaces and streets: phytoliths, micromorphology and changing use of space at Neolithic Çatalhöyük (Turkey). *Antiquity* 87(337), 2013, 684–700.

VRYDAGHS u. a. 2016

L. Vrydaghs/T. B. Ball/Y. Devos, Beyond redundancy and multiplicity. Integrating phytolith analysis and micromorphology to the study of Brussels Dark Earth. *Journal of Archaeological Science* 68, 2016, 79–88.

VRYDAGHS u. a. 2017

L. Vrydaghs/Y. Devos/A. Peto, Opal Phytoliths. In: C. Nicosia/G. Stoops (eds.), *Archaeology Soil and Sediment Micromorphology* (Hoboken 2017) 155–163.

WILDING u. a. 1967

L. P. Wilding/R. E. Brown/N. Holowaychuk, Accessibility and properties of occluded carbon in biogenic opal. *Soil Science* 103(1), 1967, 56–61.

Abbildungsnachweis

Abb 1–9 D. Fritzsich/C. Langan/A. Röpke.

*Dr. Dagmar Fritzsich
fritzsich@em.uni-frankfurt*

Dr. Carolin Langan

lubos@em.uni-frankfurt.de

*Institut für Physische Geographie
Goethe-Universität Frankfurt a. M.*

Dr. Astrid Röpke

Labor für Archäobotanik

Institut für Ur- und Frühgeschichte

Universität zu Köln

astrid.roepke@uni-koeln.de