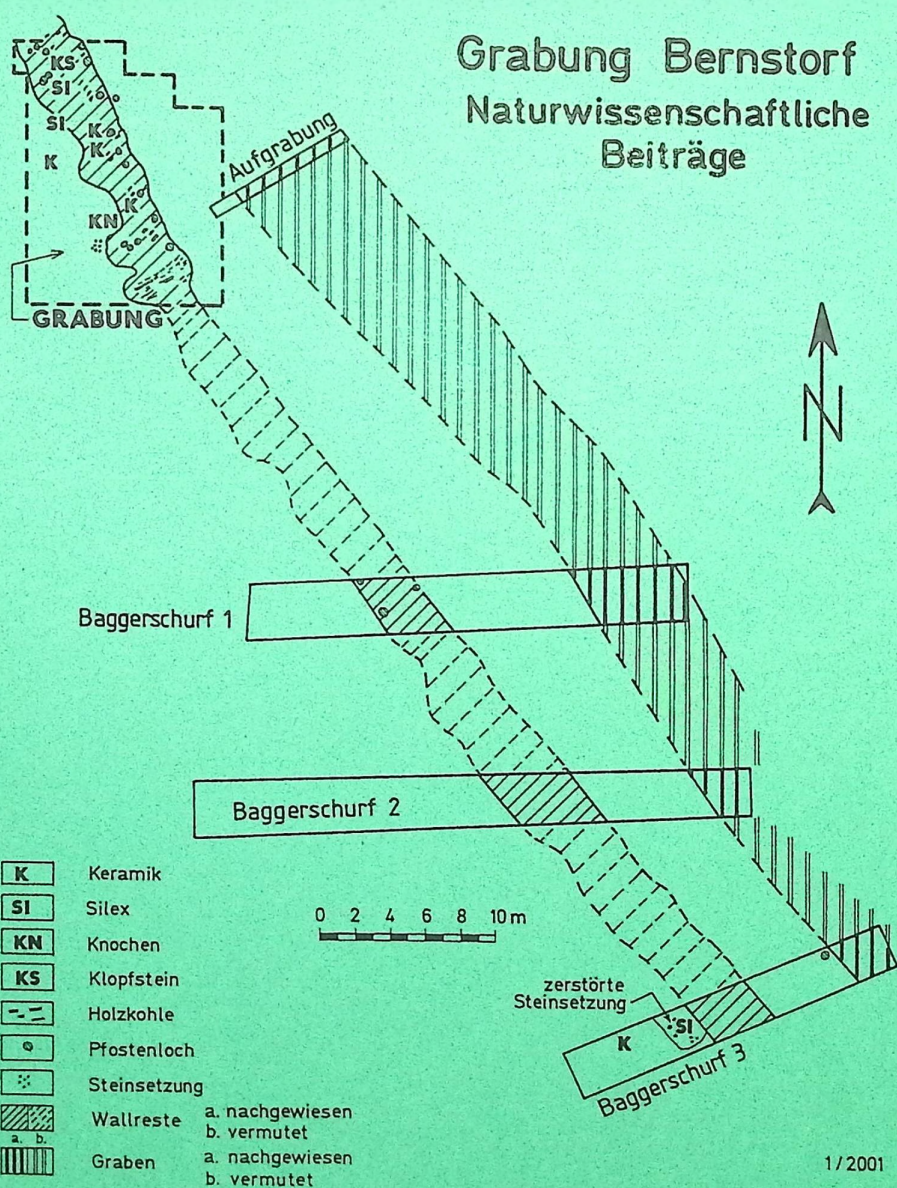


documenta

naturae | no. 134

München 2001



DOCUMENTA NATURAE

Nr. 134 2001

ISSN 0723-8428

**Herausgeber der Zeitschrift Documenta naturae im
Verlag (Publishing House) Documenta naturae - München (Munich)**

Dr. Hans-Joachim Gregor, Daxerstr. 21, D-82140 Olching
Dr. Heinz J. Unger, Nußbaumstraße 13, D-85435 Altenerding
Priv.-Doz Dr. Diethard H. Storch, Sägematte 2, D-79183 Waldkirch

Die Zeitschrift erscheint in zwangloser Folge mit Themen aus den Gebieten Geologie –
Paläontologie (Lagerstättenkunde, Paläophytologie, Stratigraphie usw.), Botanik,
Anthropologie, Domestikationsforschung, Vor- und Frühgeschichte u.a.

Die Zeitschrift ist Mitteilungsorgan der Paläobotanisch-Biostratigraphischen Arbeitsgruppe
(PBA) im Heimatmuseum Günzburg und im Naturmuseum, Im Thäle 3, D-86152 Augsburg

Die Sonderbände behandeln unterschiedliche Themen aus den Gebieten Kunst, antike Nah-
rungsmittel, Natur-Reiseführer oder sind Neuauflagen alter wissenschaftlicher Werke oder
spezielle paläontologische Bestimmungsbände für ausgewählte Regionen.

Für die einzelnen Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich,
für die Gesamtgestaltung die Herausgeber.

Überweisung des Heftpreises erbeten auf das Konto 1548460 bei der
Sparkasse Fürstenfeldbruck (BLZ 700 530 70) - Inh. H.-J. Gregor.

Bestellungen: bei Buchhandlungen und den Herausgebern (s.o.)

©copyright 2001 Documenta Verlag. Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheber-
rechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb des Urheberrechtsgesetzes bedarf der Zu-
stimmung des Verlages. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen jeder Art, Übersetzun-
gen, Mikroverfilmungen und für Einspeicherungen in elektronische Systeme.

Gestaltung: Juliane Gregor und Hans-Joachim Gregor

Umschlagbild von H. J. Unger: Übersichtskarte zur Grabung Bernstorf

München 2001

Grabung Bernstorf

Topographie und Geologie

Heinz Josef Unger

Kurzfassung

Im Umfeld der archäologischen Grabung an einem durch Feuereinwirkung zerstörten Holz-Lehm-Wall einer bronzezeitlichen Höhensiedlung bei Bernstorf (Landkreis Freising, Bayern) wurden Untersuchungen zur Topographie und Geologie durchgeführt. Das Grabungsgelände liegt auf einem Höhenrücken östlich des Ampertaales im (geologisch) sogenannten Tertiärhügelland der ostbayerischen Molasse. Die mittel- bis obermiozänen Sedimente bestimmen den morphologischen Charakter der Gegend. Im Zuge der Errichtung des Holz-Lehm-Walls wurde offensichtlich ein Teil des lehmig-sandigen Bodenmaterials abgetragen und als Füll- und Verputzmaterial für den Wall verwendet.

Vorwort

Zwischen 1995 und 1997 wurden durch M.Moosauer und T.Bachmaier Reste einer bronzezeitlichen Wallanlage bei Bernstorf (Landkreis Freising) ausgegraben. Begleitend zu dieser archäologischen Unternehmung erfolgte eine geologische Bestandsaufnahme der näheren Umgebung der Grabung mit dem Ziel, die Petrographie und Stratigraphie der zutage anstehenden Sedimente abzuklären. M.Moosauer und T.Bachmaier (2000) legten die Ergebnisse ihrer Untersuchungen in einem für die breite Öffentlichkeit bestimmtem Buch vor, wobei sie lediglich auszugsweise auf die von mehreren Autoren erarbeiteten naturwissenschaftlichen Ergebnisse zurückgriffen. Der vollständige Text des geologischen Beitrags wird hier vorgelegt.

1. Topographisch - geomorphologischer Überblick

Die Grabung Bernstorf lag etwa 1,5 km nördlich der Ortschaft Kranzberg, 400 m westlich des Weilers Bernstorf (Höhe +495 m NN) und etwa 1,7 km südöstlich der Ortschaft Allershausen rechts der Amper auf einem nach Westen vorragenden Rücken des Tertiärhügellandes der ostbayerischen Molasse (Abb.1). Topographische Lage: Gradabteilungsblatt (1:25 000): Nr.7535 Allershausen, Rechtswert: 44 71 580, Hochwert: 53 64 800, Höhe der Grabung: +485 m bis +492 m NN. Das Gebiet um die Grabung liegt politisch im Landkreis Freising in Oberbayern.

Die Sohle des breiten, westlich der Grabung liegenden Ampertales wird mit etwa +440 m NN angegeben. Am Talquerschnitt des Ampertales kann man die bekannte Tal-Asymmetrie beobachten, wie sie weitverbreitet im Tertiärhügelland anzutreffen ist: Flachen, ostorientierten Hängen stehen steile, westorientierte Talhänge gegenüber.

Klimatisch liegt das Gebiet im Klimabezirk "Tertiärhügelland", der charakterisiert wird durch mittlere Niederschlagsmengen um 750 mm pro Jahr und einer Jahresdurchschnittstemperatur zwischen 7-8°C.

Bevor die Kies- und Sandgrube westlich der Grabung Bernstorf in Betrieb genommen wurde (heute dient dieser ehemalige Abbau als Baustoffdeponie), dürfte die Hangmorphologie ähnlich wie sie nordwestlich des Weilers Bernstorf vorliegt, gewesen sein. Das heißt: im oberen Hangabschnitt (etwa oberhalb +480 m NN) flache Hangneigung nach Norden und Westen, im unteren Hangabschnitt (unterhalb +480 m NN) steiles Einfallen zum Ampertal.

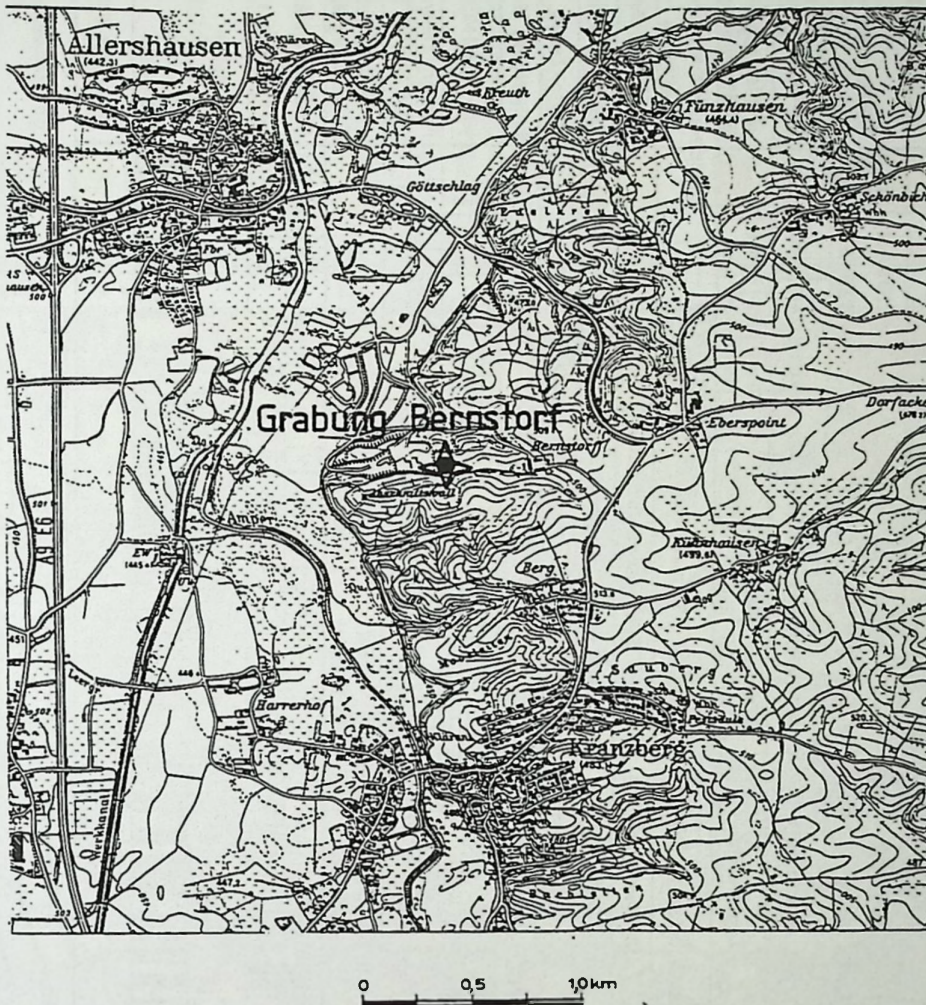
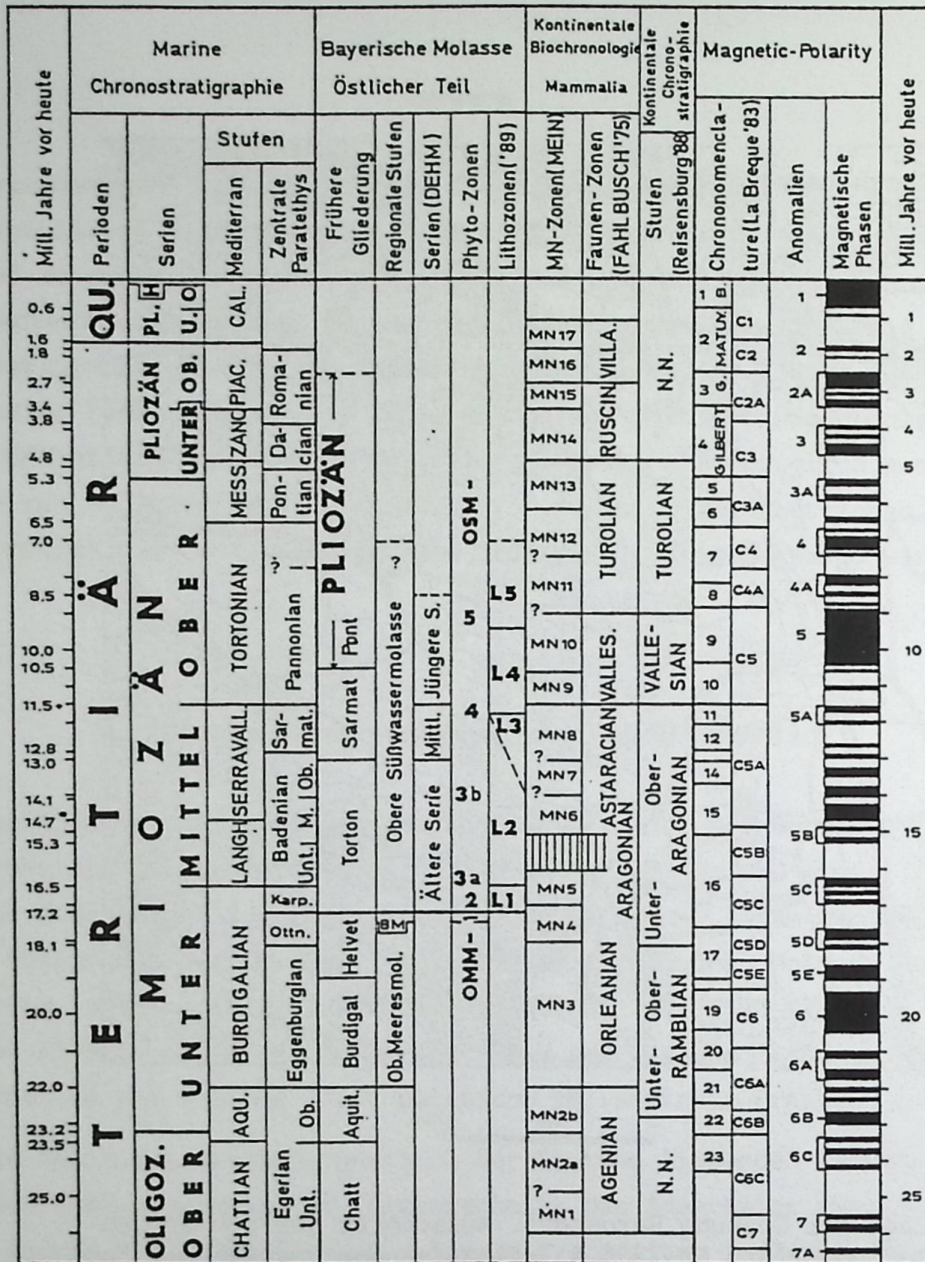


Abb.1 Lage der Grabung Bernstorf. Ausschnitt aus dem Gradabteilungsblatt Nr.7535 Allershausen des Bayerischen Landesvermessungsamtes München.

2. Geologischer Überblick

Die topographisch-geomorphologischen Gegebenheiten lassen sich zwanglos aus den geologischen Vorgaben erklären. Die Grabung Bernstorf liegt geologisch im Tertiärhügelland, einem 15 bis 9 Millionen Jahre alten Schwemmland, das mit fein-bis grobkörnigen Ablagerungen aus weitverzweigten Stromsystemen, die von Osten bis Südosten aus den sich bildenden Alpen in dieses Gebiet gelangten, aufgefüllt wurde. Die Ablagerung dieser Sedimente erfolgte im nördlich der sich entwickelnden Alpen entstandenen Molassebecken zwischen dem Mittel-und Obermiozän im Tertiär (Abb.2).



- Ries Impact (14.6 Ma v.h.) + Erstes Auftreten von *Hipparion*

Abb.2 Stratigraphische Übersicht

Die hier aufgeschlossenen Sedimente der Oberen Süßwassermolasse - sie sind der Nördlichen Vollsotter-Abfolge und der Mischserie zuzuordnen, - wurden zwischen dem mittelmiozänen Mittleren Badonian und dem obermiozänen Pannonian abgelagert (etwa 15 bis 11 Mill.Jahre vor heute). Zwischen 9 Mill.Jahren vor heute und 1,8 Mill.Jahren vor heute, dem Ende des Tertiärs und dem Beginn des Quartärs, dürfte dieses Gebiet gehoben worden sein und einer intensiven Verwitterung mit hohen Abtragungsraten unterlegen haben. Bereits seit dem Obermiozän, also seit etwa 7 Mill.Jahren vor heute, dürften die Täler des Tertiärhügellandes ausgeräumt worden sein.

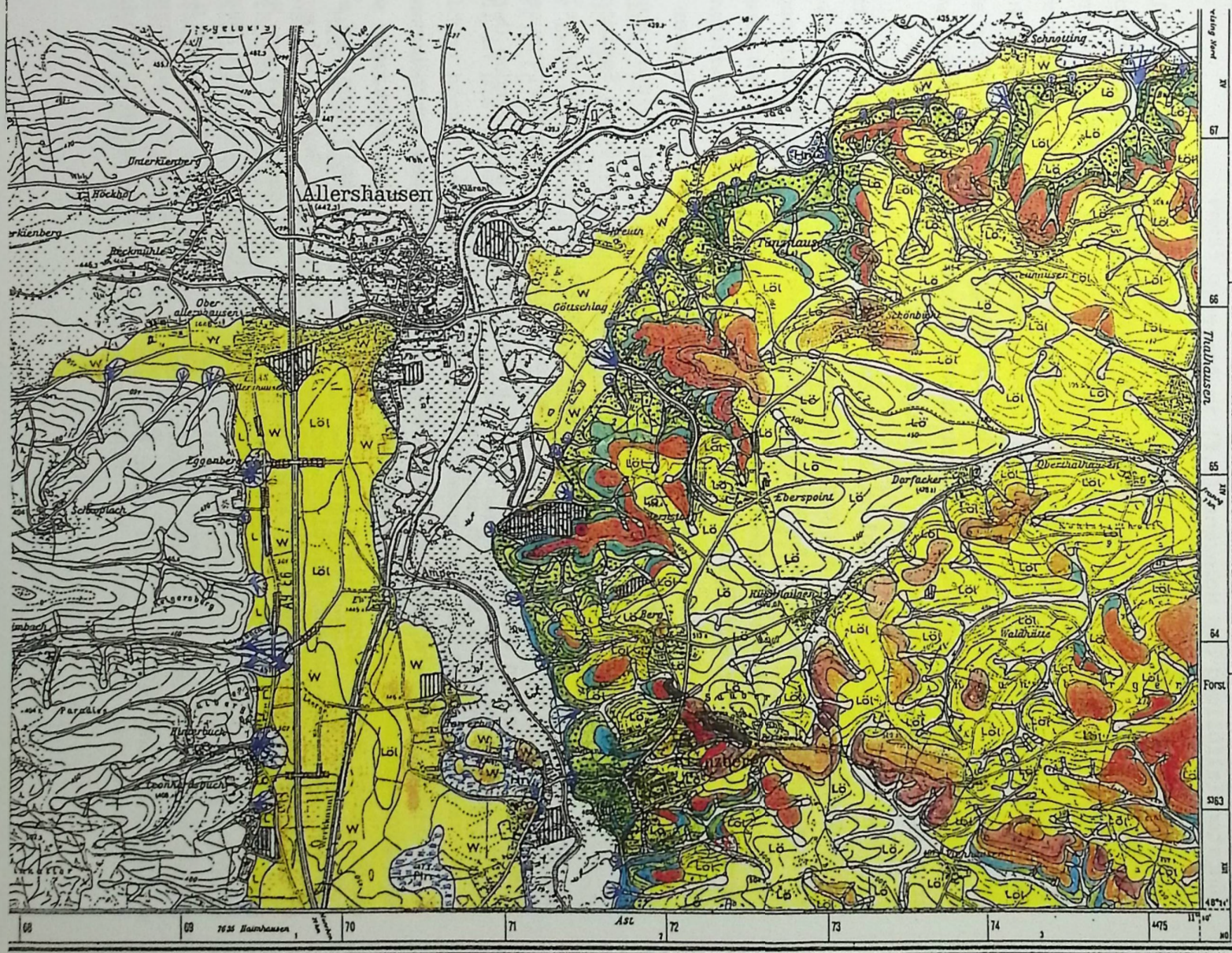


Abb.3 Die Geologie um die Grabung Bernstorf.

0 250 500 1000 m

Ausschnitt aus der Geologischen Karte 1:25 000
Nr.7535 Allershausen

Betrachtet man den Kartenausschnitt aus der geologischen Karte 1:25 000 des Gradabteilungsblattes Nr.7535 Allershausen (Abb.3), so fällt eine Zweiteilung der aufgeschlossenen Sedimente auf: Einerseits die grob-bis feinkörnigen Ablagerungen des Tertiärs, also Kiese, Sande, Schluffe und Mergel bis Kalkmergel, andererseits die Ablagerungen des Quartärs mit den Kiesen und Sanden bis Schluffen der Niederterrasse (W) und sandig-schluffigen Talsedimenten der jüngsten Talfüllung des Holozäns (,,f) im Ampertal.

Während der großen pleistozänen Vereisungen (zwischen etwa 2,4 Mill.Jahren vor heute und 10 000 Jahren vor heute) mit ihren weit nach Norden vorstoßenden Gletschern lag unser Gebiet im periglazialen Bereich, d.h. die Gletscher erreichten dieses Gebiet nicht. Die Permafrostböden tauten während wärmerer Klimaperioden in ihren obersten Lagen an. Diese oberste, angetaute Bodenschicht rutschte dann auf dem tiefgefrorenen Untergrund an den Hängen talwärts ab. An den Hangfüßen sammelten sich die abgerutschten Massen und bildeten die weitverbreiteten Solifluktsdecken an den Hangfüßen.

Aus den während der Hochglaziale (Zeiten der größten Vereisungen) trocken liegenden Tälern, u.a.auch aus dem Glonn-und Ampertal, wurde durch Nordwest-Winde feiner kalkhaltiger Staub, geologisch feinsandiger Schluff, der sogenannte Löß, gegen Osten bis Südosten ausgeblasen. Er lagerte sich an den damals bereits bestehenden, flachgeneigten, ost-orientierten Hängen im Windschatten ab. Im Laufe der Jahrtausende entkalkten dann die atmosphärischen Wässer diesen Löß indem sie den Kalk gelöst nach unten abtransportierten und wieder ausfällten und es entstand der mehr oder minder kalkfreie Lößlehm. Beide Sedimente sind auf dem Kartenausschnitt weitflächig vertreten, wobei der Löß in seinen obersten Abschnitten heute als Parabraunerde vorliegt. Auf dem Kartenausschnitt läßt sich sehr schön der ursprünglich im Windschatten der aufragenden Osthänge des Ampertales gegen Osten sich abgelagerte Löß beobachten.

Im allgemeinen sind die Sedimente des Tertiärhügellandes durch Bodenbildungsprozesse mit einer wechselnd mächtigen Bodenschicht überdeckt, die sich durch das im Herbst abgefallene Laub beispielsweise entwickeln kann, so sie nicht durch Lössanwehungen verhüllt wurden. Von geologischer Seite fiel an der Grabung auf, daß weitverbreitet keine Bodensedimente auf den Sanden der Mischserie vorhanden waren resp.nur ganz geringmächtige jüngere Bildungen, hauptsächlich stark sandig, vorlagen (Abb.4). Dies überrascht umso mehr, als dieses Gebiet nach dem Ende der letzten Eiszeit, vor etwa 10 000 Jahren, bei zunehmender Erwärmung wahrscheinlich dicht bewaldet war, wodurch eigentlich ideale

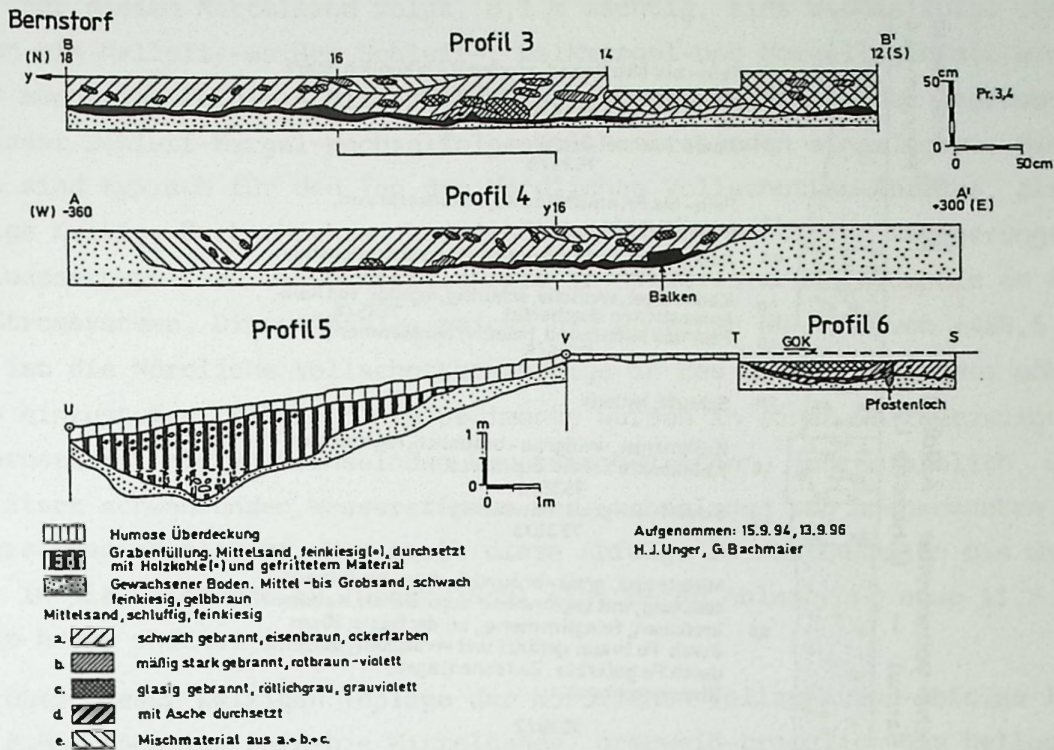


Abb. 4 Profile über die Grabung Bernstorf. Es fällt auf, daß die Profile 3 und 4 keinen Bodenhorizont haben; die tertiären Sedimente stehen zutage an. Die Profile 5 und 6 dagegen werden von einem stark sandigen, humosen Boden geringmächtig bedeckt, der post-bronzezeitlich entstanden ist.

Voraussetzungen für bodenbildende Prozesse vorlagen. Das abschnittsweise Fehlen der zu erwartenden Bodenauflage läßt sich folgendermaßen erklären: Entweder fand durchgehend intensiver Abtrag der Bodenkrume statt, wodurch es langfristig zu keiner Bodenbildung hätte kommen können, das ganze Deckmaterial in die Täler abgeschwemmt wurde, was bei einer wahrscheinlich dichten Bewaldung höchst unwahrscheinlich gewesen wäre oder die ehemals vorhandene Bodenkrume, ein wahrscheinlich tonig-lehmig-schluffig-feinsandiges Substrat, wurde abgetragen und zum Bau des Holz-Lehm-Walls verwendet.

Mit letzterem läßt sich das fast vollständige Fehlen eines mächtigeren Bodens in unmittelbarer Nachbarschaft des ehemaligen Walls erklären. Nach der Zerstörung des Walls wurden die freiliegenden tertiären Sedimente einschließlich von Resten des niedergebrannten Walls erodiert, wobei an exponierten Stellen des Geländes, auch bei flacher Hangneigung, Teile des Wallmaterials abgetragen und ins Tal verlagert wurden. Der nach Osten vorgelagerte, nachgewiesene Graben wurde durch kiesige Sande vom Oberhang her nach unten zu

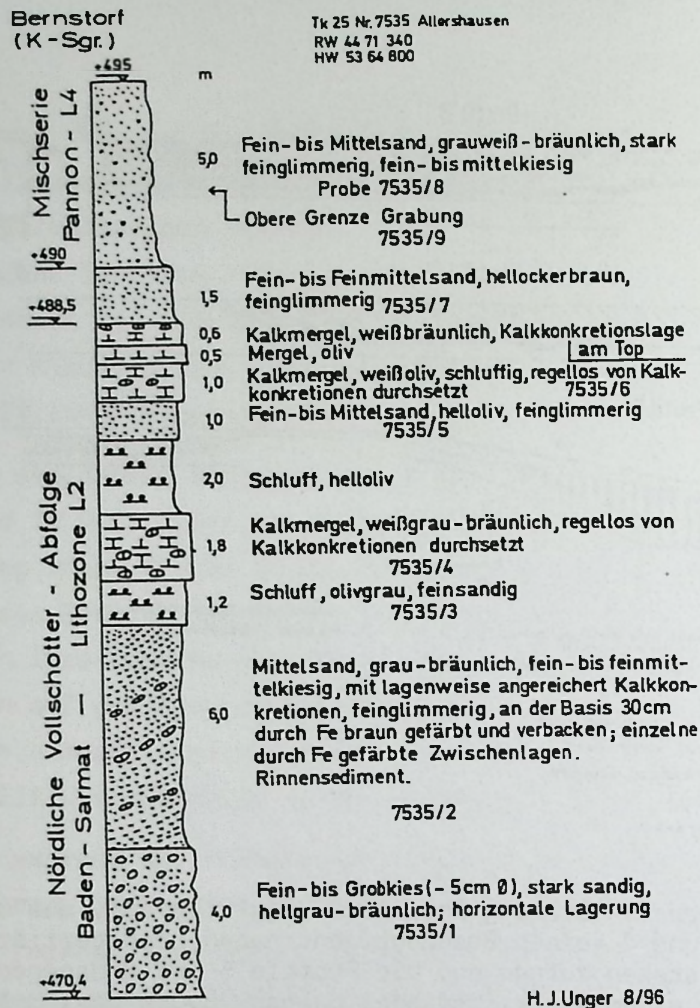


Abb.5 Profil der Ostwand der ehemaligen Kies- und Sandgrube westlich der Grabung Bernstorf.

verfüllt oder, vor gar nicht langer Zeit, einfach zugeschoben.

Einen Einblick in den geologischen Aufbau des flacheren Untergrundes um die Grabung Bernstorf gibt die 1996 noch gut aufgeschlossene Abbauwand der ehemaligen Kies- und Sandgrube westlich der Grabung (Abb.5).

Kurz beschrieben handelt es sich um eine etwa 25 m hohe Schichtenabfolge (von +470,5 m bis +495,0 m NN) mit folgenden Sedimenten (von unten nach oben): Über aufgeschlossenen 4 m mächtigen, stark sandigen, hellgrau-bräunlichen Fein- bis Grobkiesen horizontaler Lagerung folgen 6 m mächtige, fein- bis feinmittelkiesige, grau-bräunliche Mittelsande einer Rinnenfüllung mit lagenweise angereicherten Kalkkonkretionen. An der Basis dieser Schicht dokumentiert eine 30 cm mächtige, durch Eisen stark braun gefärbte und verbackene Sandlage eine kurze Pause in der Sedimentation.

Über diesem Mittelsand folgt, 8,1 m mächtig, eine Wechselfolge von oliv-grauen bis helloliv-weißen Schluff-, Kalkmergel- und Mergellagen mit einer einen Meter mächtigen Fein- bis Mittelsandzwischenlage. Regellos oder lagenweise sind in dieser Schluff-Mergel-Wechselfolge Kalkkonkretionen eingelagert. Diese Sedimente sind typisch für den Top der Nördlichen Vollschofter-Abfolge, als Feinkörnige Kalkige Deckschichten bezeichnet, und dokumentieren Ablagerungen in Stillwasserbereichen wie beispielsweise in Altwässern oder Tümpeln am Rande großer Stromsysteme. Diese Abfolge reicht bis zu einer NN-Höhe von +488,5 m. Zeitlich ist die Nördliche Vollschofter-Abfolge in das Mittelmiozän des höheren Tertiärs einzustufen (Abb.2). Ihre Sedimente wurden in einem weitverzweigten Gewässernetz mit häufig wechselnden Hauptstromstrichen, jahreszeitlich wahrscheinlich stark schwankenden Wasserständen und wechselnden und ausgedehnten Stillwasserbereichen abgelagert. Man stuft diese Abfolge in das Badenian bis Sarmatian resp. in die Lithozone L2 (Unger 1989) ein, deren Ablagerung etwa 11,5 Mill. Jahre vor heute endete.

Über dieser kalkigen Toplage der Nördlichen Vollschofter-Abfolge lagern noch 6,5 m mächtige Fein- bis Mittelsande, grauweiß-bräunlich bis hellockerbraun gefärbt, feinglimmerig, im höheren Teil mit Fein- bis Mittelkiesen regellos durchsetzt; nach ihrem Schwermineralspektrum ein Sediment der obermiozänen Mischserie des Pannonian, etwa 10 Millionen Jahre alt.

Ob und welche Sedimente welcher Mächtigkeit ursprünglich noch über diesen Mischserien-Sanden lagerten, kann lediglich nach den Ablagerungen der näheren und weiteren Umgebung vermutet werden: etwa 20 m, wobei es sich um Schluffe und Feinsande der Hangendserie gehandelt haben dürfte, die ein Alter von etwa 9 Millionen Jahren gehabt haben dürften, in das Pannonian resp. in die Lithozone L5 einzustufen wären. Sie dürften der bereits im Obermiozän bis Pliozän als Folge der Hebung des Molassebeckens einsetzenden starken Erosion zum Opfer gefallen sein.

Schriftenverzeichnis

- Moosauer, M., Bachmaier, T., Gebhard, R. & Schubert, F. (1998): Die befestigte Siedlung der Bronzezeit bei Bernstorf, Ldkr. Freising. Vorbericht zur Grabung 1995-1997. - Univ. Regensburg (Lehrstuhl für Vor- und Frühgeschichte), Archäologische Forschungen in urgeschichtlichen Siedlungslandschaften, Festschrift G. Kossack zum 75. Geb., S. 269-280, Regensburg.
- Moosauer, M. & Bachmaier, T. (2000): Bernstorf. Die versunkene Stadt aus der Bronzezeit. - K. Theiss Verlag, 111 S., Stuttgart.

Unger, H.J. (1989): Die Lithozonen der Oberen Süßwassermolasse Südostbayerns und ihre vermutlichen zeitlichen Äquivalente gegen Westen und Osten. - Geologica Bavarica, 94:195-237, München.

Dank

Verfasser dankt Frau T. Bachmaier für ihre Hilfe bei der Aufnahme der Kiesgrubenwand und bei allen angefallenen Vermessungsarbeiten.

Erding Februar 1998 und Januar 2001

Durch Brandeinwirkung veränderte Lockersedimente des bronzezeitlichen Walls bei Bernstorf

Heinz Josef Unger

Kurzfassung

Aus dem abgebrannten mittelbronzezeitlichen Holz-Lehm-Wall von Bernstorf (Landkreis Freising, Gemeinde Kranzberg) wurde unterschiedlich stark gefrittetes Sedimentmaterial entnommen und untersucht.

Es konnten vier Brennphasen an den Sedimenten, die beim Aufbau des Walls verwendet wurden, ermittelt werden. Der Temperaturbereich, der diese Veränderungen (Frittung bis schwache Sinterung) am Sedimentmaterial bewirkte, lag zwischen etwa 200°C bis etwa 1300°C.

Diese annähernden Temperaturwerte wurden aus Veränderungen an den Feldspäten und Glimmern, aus den unbeeinflussten Quarzkörnern und aus der entstandenen Porosität abgeleitet.

Inhalt

Vorwort	13
1. Einleitung	13
2. Veränderungen an Lockersedimenten durch Hitzeeinwirkung	14
2.1. Definition verwendeter Begriffe	15
2.2. Bestimmung und Benennung der in Bernstorf ergrabenen, durch Hitze veränderten Sedimente	15
3. Mikroskopische Untersuchung der gefritteten Lockersedimente vom niedergebrannten Bernstorfer Wall	19
3.1. Die Proben und ihre Aufbereitung	19
3.2. Die mikroskopische Bearbeitung	23
3.2.1. Das Ausgangsmaterial	23
3.2.2. Die mikroskopische Durchsicht	23
3.2.2.1. Brennphase 1 - Sehr schwach gefrittetes Sedi- mentmaterial	24
3.2.2.2. Brennphase 2 - Mäßig gefrittetes Sedimentmaterial	24
3.2.2.3. Brennphase 3 - Mäßig bis etwas stärker gefritte- tes Sedimentmaterial	24
3.2.2.4. Brennphase 4 - Stark gefrittetes Sedimentmate- rial mit Ansätzen von Sinterung	29
4. Ergebnisse	30
5. Literatur	39

Vorwort

In den Jahren 1993 und 1994 wurde von Frau T.Bachmaier bei Übersichtsbegehungen auf den Feldern westlich des Weilers Bernstorf (Landkreis Freising, Gemeinde Kranzberg) angeschlacktes, teilweise stark rotbraun gefärbtes Bodenmaterial gefunden.

Erste Vermutungen und Zuordnungen gingen in Richtung einer alten, eventuell frühmittelalterlichen Eisenverhüttung (M.Moosauer 1996).

Bei ersten Sondierungen durch M.Moosauer und T.Bachmaier wurde 1994 verkohltes Holz entdeckt. Eine erste ¹⁴C-Bestimmung an diesem Holz durch Prof.Dr. M.A.Geyh (Hannover) erbrachte eine zeitliche Datierung zwischen 1675 bis 1510 v. Chr. Damit mußte die Hypothese einer frühmittelalterlichen Eisenverhüttung, abgesehen vom fehlenden Erzmaterial, verworfen werden. Die Erklärung für die gefundenen angeschlackten Sedimente und die verkohlten Hölzer mußte einer Grabung vorbehalten bleiben.

1. Einleitung

Bei den seit 1994 laufenden flächigen Grabungen durch M.Moosauer und T.Bachmaier wurde langsam zur Gewißheit, daß die angeschlackten Sedimente wahrscheinlich Überreste einer durch Feuer zerstörten Holz-Lehm-Mauer eines Gebäudes oder eines Walls sind. Als östlich der Grabung in drei Profilschnitten ein parallel laufender Spitzgraben auftauchte, war der Beweis für einen ehemaligen Wall aus Holz und Lehm mittelbronzezeitlichen Alters erbracht.

Beim derzeitigen Wissensstand dürfte es sich tatsächlich um eine Holz-Lehm-Konstruktion zur Umwallung eines zu sichernden Areals gehandelt haben. Ihr durch die Grabung nachgewiesener Aufbau wurde wie folgt ermittelt: Unterschiedlich dicke Stämme (siehe dazu Beitrag von A.Selmeier in diesem Band), senkrecht gesetzt und in waagrechten Lagen angeordnet, bildeten den Kern des Walls. Diese Grundkonstruktion wurde mit lehmig-sandigem Bodenmaterial, wie es in der Umgebung reichlich zur Verfügung stand, so auf- und ausgefüllt, daß im Inneren eine zusätzliche Stabilisierung stattfand und nach außen eine mit Lehm-Verputz ummantelte Brustwehr mit Lafebene und abfallender Schräge innen entstanden (Abb.1).

Ob dieser Wall durch natürliche Einwirkung (etwa Blitzschlag) oder durch menschliches Zutun (Eroberung) abbrannte, kann nicht beantwortet werden. Jedenfalls brannte dieser Wall irgendwann eines Tages um 1500 v.Chr. ab.

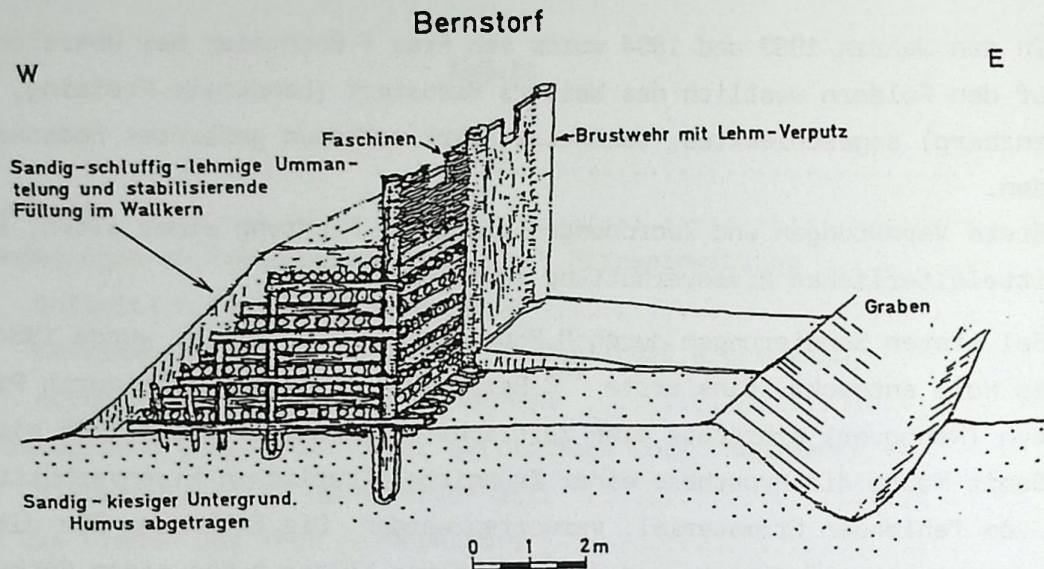


Abb.1 Vermutlicher Aufbau des mittelbronzezeitlichen Walls bei Bernstorf.
(Rekonstruktion verändert nach M.Moosauer).

Für einen Laien dürfte es schwer vorstellbar sein, daß eine mit sandig-tonigem Lehm ausgefüllte und verputzte Holzkonstruktion so ohne weiteres abbrennen konnte. Dazu ist zu bemerken, daß eine große Menge Holzes das Skelett dieses Walls bildete und daß die Füllmassen und der Außenverputz nicht so verdichtet diese Holzkonstruktion umschlossen, daß nicht noch genügend Porosität in Form größerer und kleinerer Hohlräume vorlag. Vom Ausgräber wurde gesprächsweise der Vergleich mit einem Holzkohlenmeiler verwendet, um sich in etwa den Vorgang des Niederbrennens dieses Walls vorzustellen. Nur, im Gegensatz zum kontrollierten Holzkohlenbrand handelte es sich ab einem gewissen Zeitpunkt bei diesem Brand um ein unkontrolliertes Niederbrennen.

2. Veränderungen an Lockersedimenten durch Hitzeeinwirkung

Während der mehrjährigen Grabungen kam eine Vielzahl von unterschiedlich stark durch Feuereinwirkung veränderter Lockersedimente zum Vorschein. Zuerst wurden diese gehärteten, rotgefärbten, unterschiedlich stark verschlackten Fundstücke als "Glasschlacken", später als gefrittetes Füll- bzw. Verputzmaterial angesprochen.

2.1. Definition verwendeter Begriffe

Als **Lockersedimente** werden hier Lehm, Schluff, Ton und kiesiger Sand im geologischen Sinn verstanden. Es handelt sich dabei um zutage anstehende Sedimente tertiären und quartären Alters (siehe dazu auch den Beitrag zur Geologie), die, miteinander vermischt, beim Bau des Walls Verwendung fanden. Die **Korngrößen** dieser Sedimente liegen für Ton, Schluff und Lehm zwischen 0,002 - 0,02 mm Durchmesser, für Sand zwischen 0,02 - 2 mm und für die Feinkiese zwischen 2 - 20 mm Durchmesser. Diese mit humosem Material vermischten Tone, Lehme, Schluffe und kiesigen Sande dürften in trockenem Zustand eine mittlere Porosität zwischen 25-35% gehabt haben (als **Porosität** bezeichnet man die Summe aller Hohlräume eines Sediments).

Zur **Petrographie**: Die hier vorliegenden **Sande** und **Feinkiese** bestehen hauptsächlich aus kantengerundeten bis kantigen Quarzen unterschiedlicher Körnung mit wechselnden Anteilen an Glimmer (hauptsächlich Kaliglimmer = Muskowit = $(\text{KAl}_2(\text{OH},\text{F})_2)$) und Feldspäten (Kalifeldspat = Orthoklas = $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$).

Schluffe sind ein Gemisch aus Feinsand und Grobton mit einem meistens erhöhten Glimmergehalt. Aus diesen Glimmern entstehen bei der Verwitterung Tonminerale der Illit-Gruppe.

Die hier anzutreffenden **Tone** sind ein Gemisch aus Aluminiumoxid und Siliziumdioxid als Verwitterungsprodukte feldspatführender Gesteine.

Lehm ist ein durch Eisenoxid und Sand stark verunreinigter Ton.

Chemisch betrachtet haben wir es bei den genannten Lockersedimenten hauptsächlich mit Silizium, Eisen und Aluminium (Feldspat, Glimmer) zu tun.

Der **Schmelzpunkt** für Aluminium liegt bei 660°C, Orthoklas (Feldspat) schmilzt bei 1170°C, der Schmelzpunkt von Eisen (in den Alpha-, Gamma- und Delta-Modifikationen) schwankt zwischen 906°C und 1528°C, Quarz schmilzt bei 1710°C (Silizium bei 1410°C). Auf diese Schmelzpunkte wird bei der mikroskopischen Beurteilung noch zurückzukommen sein.

2.2. Bestimmung und Benennung der in Bernstorf ergrabenen, durch Hitze veränderten Sedimente

Wie sind die durch Hitzeeinwirkung veränderten Lockersedimente vom Bernstorfer Wall einzustufen und anzusprechen?

Als **Schlacke** bezeichnet man bei Schmelzprozessen (z.B. Eisenschmelzen) entstehende, aufgeschmolzene Massen, die als Abfallprodukte aus den Schmelzöfen

abgezogen und auf Halde verworfen werden. Dieses Schlackenmaterial aus taubem Nebengestein eines Erzes war also bereits aufgeschmolzen und führt meistens noch wechselnde prozentuale Anteile des erschmolzenen Erzes. Schlacken aus Eisen-, Blei-Zink- oder Kupferschmelzen haben unterschiedliche Textur.

Von **Schlacke** kann man also definitionsgemäß in Bernstorf nicht sprechen.

Eine weitere Möglichkeit böte der Begriff der **Frittung**: Unter **Fritten** (gefrittet; engl. baked, frit; Fritte (ital. fritta von friggere, lat. frigere = backen, rösten) versteht man "eine pulverförmige oder aus oberflächlich verbundenen Partikeln bestehende Masse bis zum Erweichen erhitzen, so daß die einzelnen Teile zusammenkleben oder sintern, ohne daß die ganze Masse in vollkommenen Fluß gerät" (Meyers, Großes Konversations-Lexikon, 6. Aufl., 7. Bd., 1905, S. 159; Leipzig, Wien).

Nach Klein et al. (1973:325) bezeichnet man mit **Fritte** eine "aus Rohstoffen zusammengeschmolzene, abgekühlte und gekörnte Glas- oder Glasurmasse", wobei lösliche Rohstoffe in unlösliche Verbindungen übergeführt werden.

Eine weitere Definition von **fritten** ist (Großer Brockhaus, 4. Bd., 1954, S. 309; Wiesbaden): "Eine pulverförmige (oder aus losen Komponenten bestehende - Anmerkung des Verfassers) Mischung bis zur beginnenden Erweichung und zum oberflächlichen Aneinanderhaften der Teilchen zu erhitzen".

Die am Bernstorfer Wall ergrabenen, durch Hitzeeinwirkung veränderten Sedimente sind entsprechend obiger Definitionen am ehesten als **gefrittete Lockersedimente** zu bezeichnen.

Auch im Begriff der **Sinterung**, aus dem Keramikbrand übernommen, finden sich einige Aspekte, die auf die gefritteten Lockersedimente von Bernstorf zutreffen: Ein Gemisch aus Tonmineralien, Quarz und Feldspat, wie wir es hier als Ausgangsmaterial vorliegen hatten, besteht zunächst ausschließlich aus kristallinen Bestandteilen. Bei genügend langem und hohem Brand schmilzt zunächst der Feldspat. Der Temperaturbereich, indem diese Aufschmelzung vor sich geht, hängt von der Zusammensetzung des vorliegenden Ausgangs-Sedimentgemisches ab und beginnt beispielsweise bei tonigen Massen etwa zwischen 700°C und 950°C. Die beginnende Schmelze löst ihrerseits die thermischen Zerfallsprodukte der Tonminerale (Spinell, Mullit) und später auch den Quarz auf. Wird der Schmelzvorgang durch vorzeitige Beendigung des Brandes unterbrochen, so tritt Verflüssigung nur partiell ein (wenn überhaupt), wobei die Zähflüssigkeit noch zu groß ist, um alle Zwischenräume zwischen den Kristallen auszufüllen. Es besteht also noch eine gewisse Porosität.

Wird der Brand mit genügend hoher Brenntemperatur weiter fortgesetzt, so füllt die Schmelze allmählich alle kristallinen Zwischenräume aus. Den dabei

eintretenden Verlust der Porosität bezeichnet man als **Sinterung**. Diese Modifikation dürfte bei den Bernstorfer Massen nur in Einzelfällen erreicht worden sein.

Auch zum Brennvorgang selbst können noch einige Begriffe aus der Keramikherstellung angeführt werden: Bei starker Luftzufuhr, also im vorliegenden Fall etwa bei starkem Wind, träte das Phänomen des oxidierenden Brandes ein, bei mangelhafter Luftzufuhr, im Falle Bernstorfs infolge der lehmig-sandigen Abdeckung, könnte es zu einem reduzierenden Brand gekommen sein, wobei bei unvollständiger Verbrennung (Holzkohlen) die Bildung von Kohlenmonoxid mit starker Rauch- und Rußentwicklung auftrat.

Die Veränderungen an den Lockersedimenten des Bernstorfer Walls beim Niederbrennen kann man ohne weiteres auch mit einigen Phasen beim Ziegelbrand vergleichen, wobei nur in wenigen Abschnitten wahrscheinlich Temperaturen zwischen 900°C bis 1100°C, in denen Ziegeltone gebrannt werden, erreicht wurden.

Interessante Parallelen zwischen den gefritteten Sedimenten vom Bernstorfer Wall und Gesteinen, die hohen Temperaturen ausgesetzt werden, lassen sich aufzeigen.

Folgende Unterteilung nahmen Moos & Quervain (1948:176) bei Gesteinen vor, die hohen Temperaturen ausgesetzt wurden:

- a. **Kaustizierbereich (- temperatur):** Bereich, in welchem Karbonatgesteine CO_2 abgeben (bei ca. 195°C). Da im Sand um Bernstorf kaum Karbonatkörner auftreten, ist über diesen Bereich keine Aussage möglich.
- b. **Bereich des Backens:** Temperaturspanne (meist recht groß), innerhalb der Tone unter Wasserabgabe verfestigen (erste Reaktion in festem Zustand). Dies ist mit einer Volumsabnahme verbunden, die sich in äußerem Schwinden und in einer daraus resultierenden Porosität (meist beides zugleich) äußert. Ein Porenschluß findet beim Backen noch nicht statt. Dieser Bereich wird beim Brennvorgang am Bernstorfer Wall erreicht.
- c. **Sinterbereich (- temperatur):** Bereich, in welchem einerseits zwischen den Gesteinskomponenten stärkere Reaktionen in festem Zustand sich abspielen, andererseits die ersten Schmelzerscheinungen meist an Beimengungen auftreten. Beide Vorgänge haben einen Porenschluß und meist eine erhebliche Verfestigung des Materials zur Folge. Dieser Bereich wird, wenn auch nur in geringem Umfang, am Bernstorfer Wall erreicht.

(Die folgenden Bereiche d. und e. werden in Bernstorf nicht erreicht; dies erlaubt Rückschlüsse auf die beim Niederbrennen des Walls erreichten Temperaturen).

- d. **Deformationsbereich:** Liegt etwa 100 - 200°C über dem Sinterbereich.

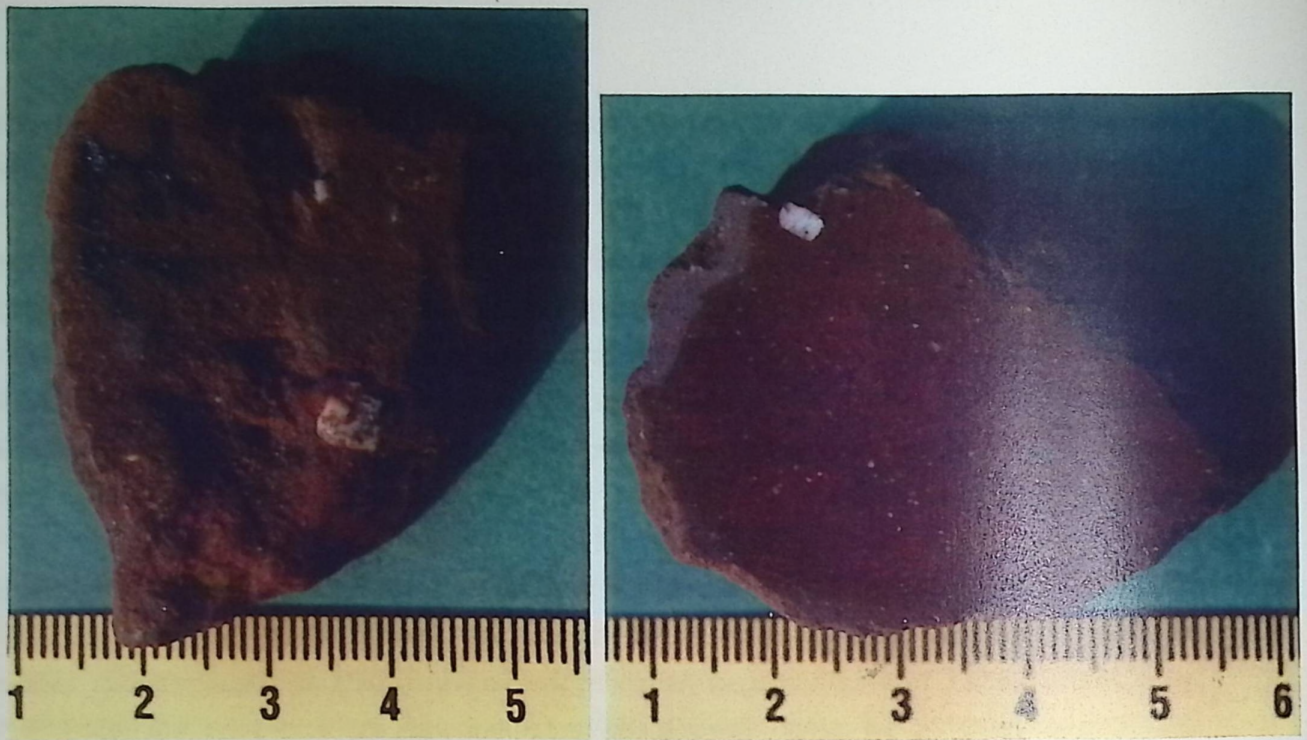


Abb.2 Sehr schwach gefrittetetes Sedimentmaterial (Probe B-M17). Die Quarzkörner schwimmen in einer dichten, braunen Grundmasse.

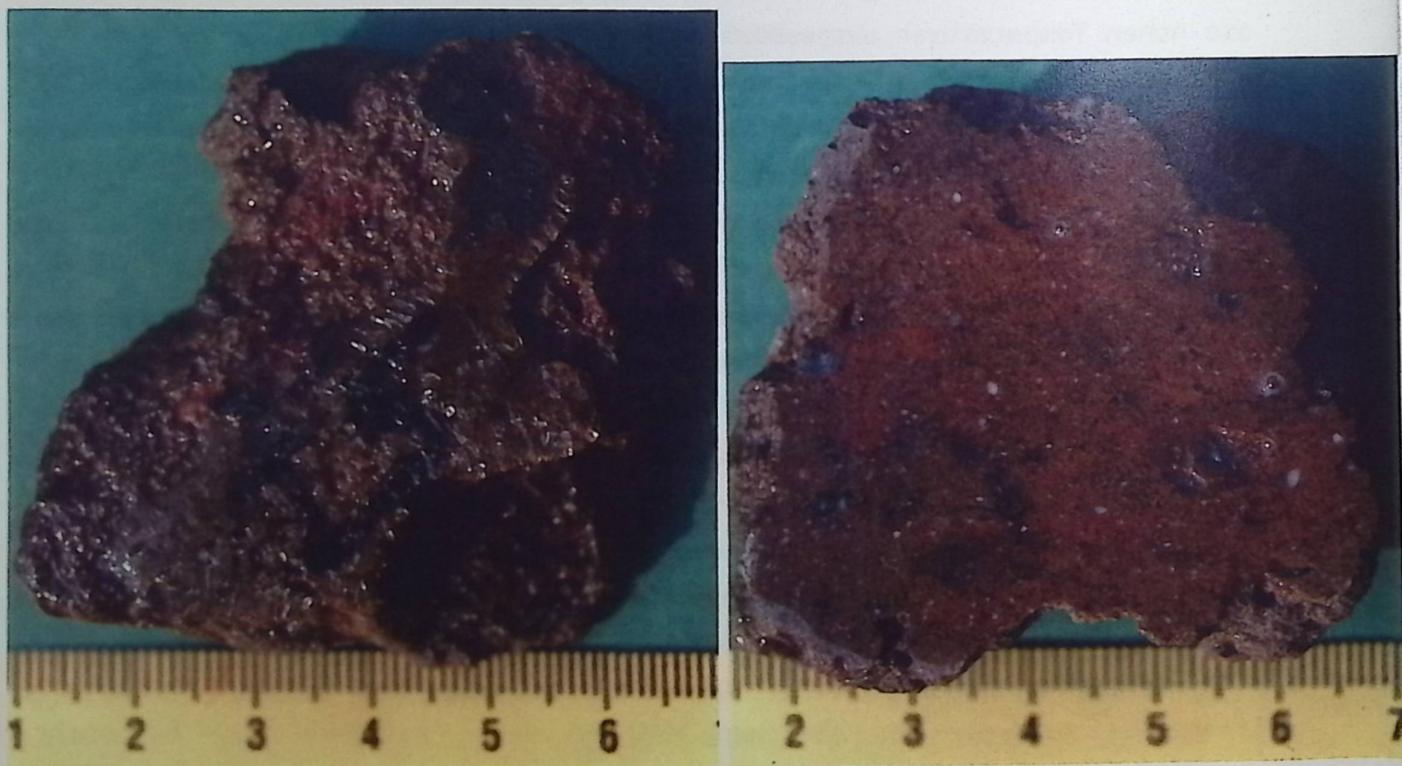


Abb.3 Mäßig gefrittetetes Sedimentmaterial (Probe B-M25). Die Quarzkörner schwimmen in einer zwar noch dichten, doch bereits Risse zeigenden und vereinzelt porös werdenden Grundmasse.

Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln

e. Schmelzbereich (- temperatur).

Zusammenfassend kann man die am Bernstorfer Wall ergrabenen, durch Hitzeeinwirkung veränderten Sedimente als **gefrittete, selten gesinterte Lockersedimente** bezeichnen.

3. Mikroskopische Untersuchung der gefritzten Lockersedimente vom niedergebrannten Bernstorfer Wall

3.1. Die Proben und ihre Aufbereitung

Aus der Fülle der bei der Grabung zu Tage gekommenen, schwach, mäßig und stark durch Hitzeeinwirkung veränderten Sedimente wurden 47 Proben ausgewählt (B-M1 bis B-M47), die, nach dem makroskopischen Befund, die ganze Bandbreite der erkennbaren Veränderungen überdecken.

Alle Proben wurden plan geschliffen. Die Proben B-M1 bis B-M11 wurden interessehalber mit Atlas Ago gehärtet, die übrigen Proben bis B-M47 wurden nicht gehärtet. Die Härtung brachte keine nennenswerten Vorteile (eher Verzerrungen) bei der mikroskopischen Durchmusterung unter Auflicht.

Die plangeschliffenen Proben wurden nicht poliert, da es bei der Untersuchung nicht um die Frage nach dem mineralogischen Bestand der Probe, der bekannt war, sondern um die Textur und den Aufbau der Proben ging.

Nach der ersten Durchsicht aller angeschliffenen Proben wurden aus den vier sich abzeichnenden Texturbereichen 7 Proben (B-M17, B-M25, B-M33, B-M36, B-M37, B-M40 und B-M41) ausgewählt, die in Kunstharz eingebettet, plangeschliffen und schwach poliert wurden.

Die gehärteten Proben B-M1 bis B-M11 wurden, da durch das Härtungsmittel Veränderungen (resp. Verfälschungen wie beispielsweise die Vortäuschung eines Härtegrades, der nicht vorliegt) im Gesamteindruck hervorgerufen wurden, bei der Untersuchung nicht berücksichtigt.

Die durch das Härtungsmittel nicht veränderten Proben B-M12 bis B-M47 ließen sich makroskopisch in vier durch Hitzeeinwirkung unterschiedlich stark veränderte Gruppen unterteilen, die als **Brennphasen (Brennphase 1 bis Brennphase 4)** bezeichnet wurden.

Folgende Zuordnung der angeschliffenen Proben zu den einzelnen Phasen wurde vorgenommen (nach ansteigendem Frittungsgrad):

Brennphase 1: Sehr schwach gefrittet (Proben B-M12 bis B-M22) (Abb.2),

Brennphase 2: Mäßig gefrittet (Proben B-M23 bis B-M28) (Abb.3),

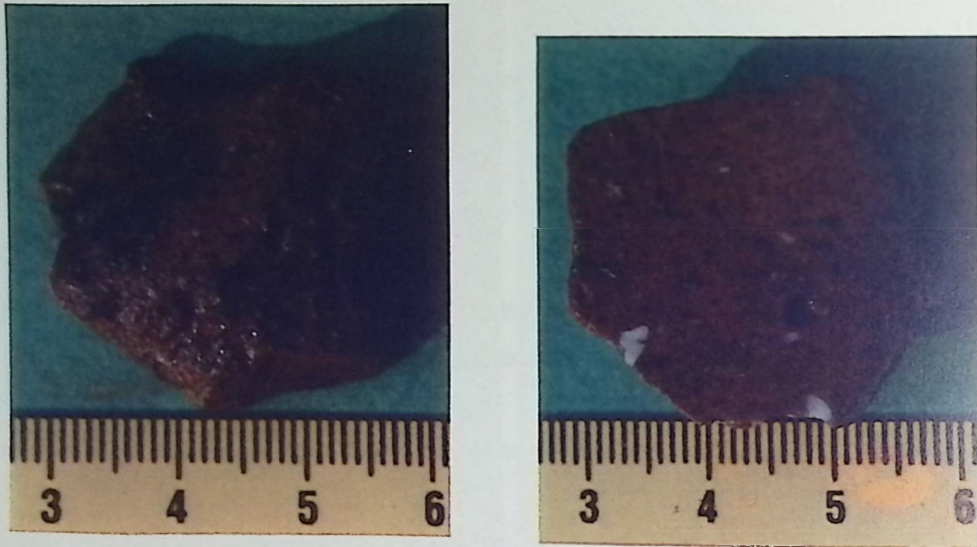


Abb.4 Mäßig bis stark gefrittetes Sedimentmaterial (Probe B-M33). Quarzkörner unverändert, Matrix mit beginnender Porosität.

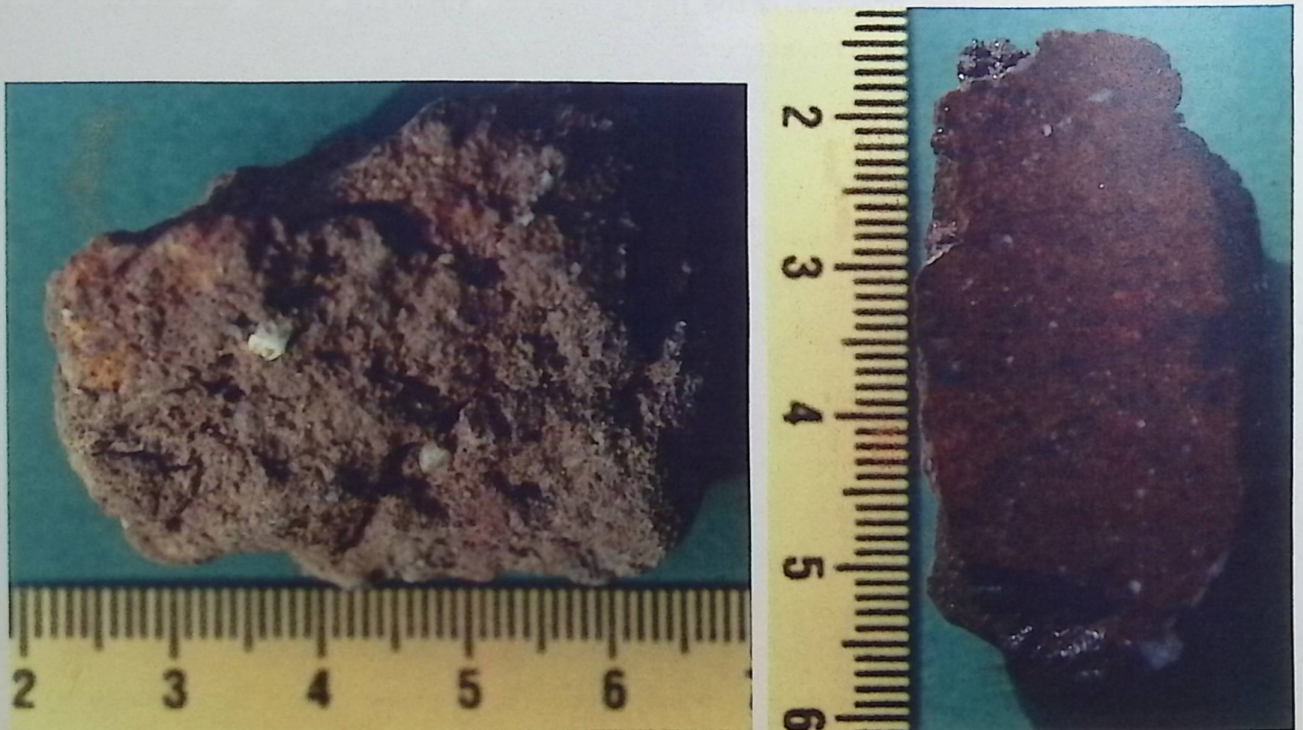


Abb.5 Stark gefrittetes Sedimentmaterial (Probe B-M36). Sedimentmaterial verbacken, Quarze unverändert, Porosität erkennbar.

Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln



Abb.6 Stark gefrittetes Sedimentmaterial
(Probe B-M37).

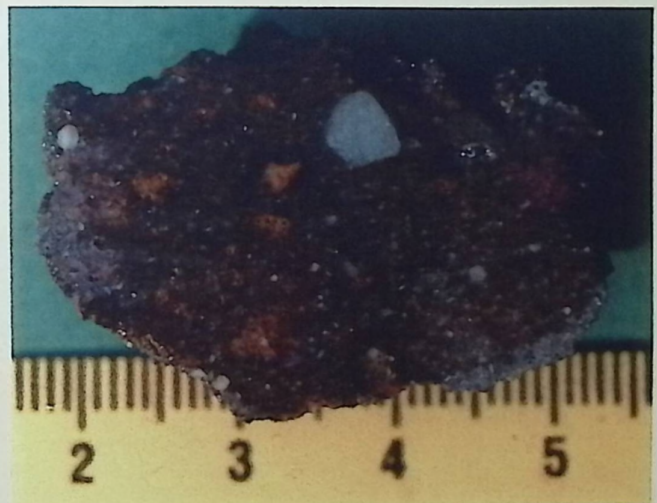


Abb.7 Stark gefrittetes Sedimentmaterial (Probe B-M40). Quarzfeinkiese schwimmen in einer porösen Matrix.

Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln



Abb.8 Stark gefrittetes Sedimentmaterial mit Ansätzen von Sinterung
(Probe B-M41).

Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln

Brennphase 3: Mäßig bis stark gefrittet (Proben B-M29 bis B-M34) (Abb.4) und
Brennphase 4: Stark gefrittet (Proben B-M35 bis B-M47, wobei die Proben B-M35 bis B-M39 nochmals einen Übergang zwischen den Phasen 3 und 4 repräsentieren) (Abb.5-8).

Wie nicht anders zu erwarten, ist diese nach makroskopischen Kriterien vorgenommene Phasen-Unterteilung ein Behelf, der eine annähernd den Temperaturbereichen entsprechende Zuordnung ermöglichen soll.

3.2. Die mikroskopische Bearbeitung

3.2.1. Das Ausgangsmaterial

Wie oben bereits erläutert, dürfte das Wall-Skelett aus Baumstämmen und Rundhölzern mit einem Gemisch aus Lehm, Ton, Schluff und feinkiesigem Sand ausgefüllt und verputzt gewesen sein. Ob es sich dabei um eine dichte Packung zwischen und über den Hölzern oder nur um eine Holzkohlenmeiler-ähnliche Ummantelung gehandelt hat, kann hier nicht beantwortet werden.

Die für die äußere Abdeckung verwendeten Ausgangssedimente, die in der Umgebung des Walls vorlagen und z.T. heute noch anstehen und die, regellos vermischt, die lehmig-tonig-schluffig-sandige innere und äußere Packung ergaben, setzen sich petrographisch aus Quarzkörnern unterschiedlicher Körnung (Feinsand bis Feinkies), aus Feldspäten, Glimmern, eisenhaltigem Lehm und sandigem Ton zusammen. Die mineralogisch-chemische Zusammensetzung dieser Sedimente wurde bereits weiter oben erläutert.

Als Kriterien bei der mikroskopischen Durchmusterung im Auflicht wurden die Textur, die Quarzkörner, die Glimmer und die Feldspäte, die Porosität und der Frittings-Sinterungs-Grad der Proben resp. ihre Veränderungen im mikroskopischen Bild der Brennphasen-Gliederung zugrunde gelegt.

Die Temperaturspannen wurden nach den Reaktionen von Feldspat und Glimmer sowie an Hand der feststellbaren Porositätszunahme ermittelt.

3.2.2. Die mikroskopische Durchsicht

Die angeschliffenen Proben wurden unter dem Mikroskop im Auflicht untersucht. Die Beschreibung jeder Probe und Brennphase erfolgt

- a. nach makroskopischen und
- b. nach mikroskopischen Kriterien (unter dem Mikroskop-U.d.M.).

3.2.2.1. Brennphase 1 – Sehr schwach gefrittetes Sedimentmaterial (Proben B-M12 bis B-M22)

Hellbraunes bis rötlichbraunes, schwach feinkiesiges, stark absandendes, schluffig-toniges Sediment; sehr schwach gefrittet. Keine Porosität (entstanden durch Hitzeeinwirkung) erkennbar. (Abb.9).

U.d.M.: Dichte Lagerung der fein-bis grobkörnigen Quarzkörner; Körner kantig bis kantengerundet; einzelne eingestreute kantengerundete Feinkiese; schluffig-lehmig-tonige Matrix; Schluff kaum gefrittet, lediglich rotbraun bis hellbraun durch das Feuer verfärbt. **Keine Porosität.** Kaum verfestigt, daher stark absandend. Feldspäte und Glimmer unverändert. Insgesamt ist die Ausgangstextur erhalten. (Abb.10).
Vermuteter Temperaturbereich: um 200°C.

3.2.2.2. Brennphase 2 – Mäßig gefrittetes Sedimentmaterial (Proben B-M23 bis B-M28)

Braunes, mehr oder minder dichtes Sediment, schwach absandend, schwach feinkiesig. Keine Porosität erkennbar. Im Gegensatz zur Phase 1 durch Hitzeeinwirkung stärker verfestigt (Abb.11).

U.d.M.: Sehr viele Quarzkörner, fein-bis grobkörnig, kantig bis kantengerundet, abschnittsweise dichte Kornlagerung, mit mäßig gefrittetem, schluffig-tonig-lehmigem Material im Intergranularraum. Nur vereinzelt zeigt das Matrixmaterial Tendenz zur Bildung einer sekundären Porosität. Jedenfalls ist noch keine nennenswerte Volumsreduzierung in der Matrixmasse festzustellen. Insgesamt härter und weniger absandend bei beginnender Verbackung infolge von Hitzeeinwirkung als in Phase 1. Feldspäte und Glimmer ohne sichtbare Veränderungen in Habitus und Struktur. Die Feldspäte zeigen infolge der Hitzeeinwirkung vereinzelt Risse. (Abb.12).

Vermuteter Temperaturbereich: 300°C bis 400°C.

3.2.2.3. Brennphase 3 – Mäßig bis etwas stärker gefrittetes Sedimentmaterial (Proben B-M29 bis B-M34)

Braunes, braungraues, mäßig dicht bis dicht gepacktes, makroskopisch abschnittsweise schwach poröses, sandig-feinkiesiges, mäßig bis etwas stärker gefrittetes Sedimentmaterial (Abb.13).



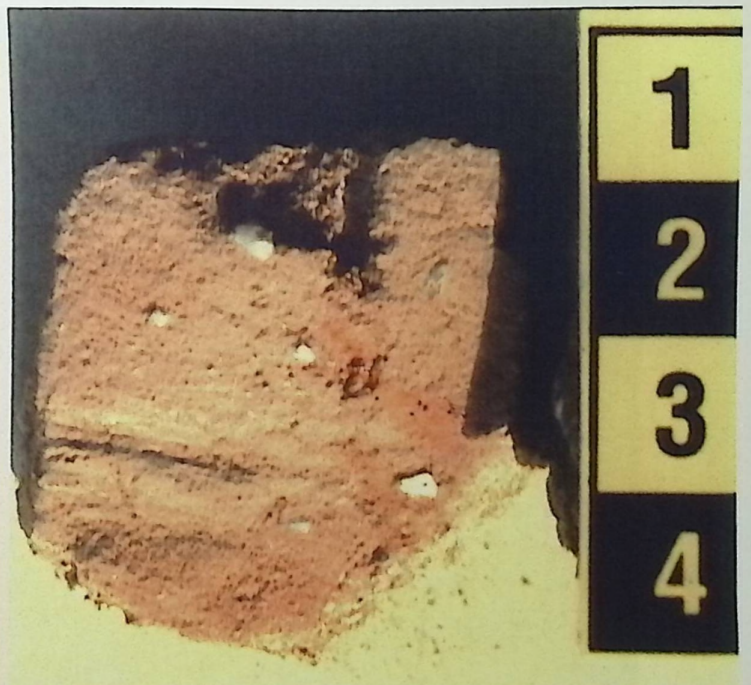
B-M12



B-M15



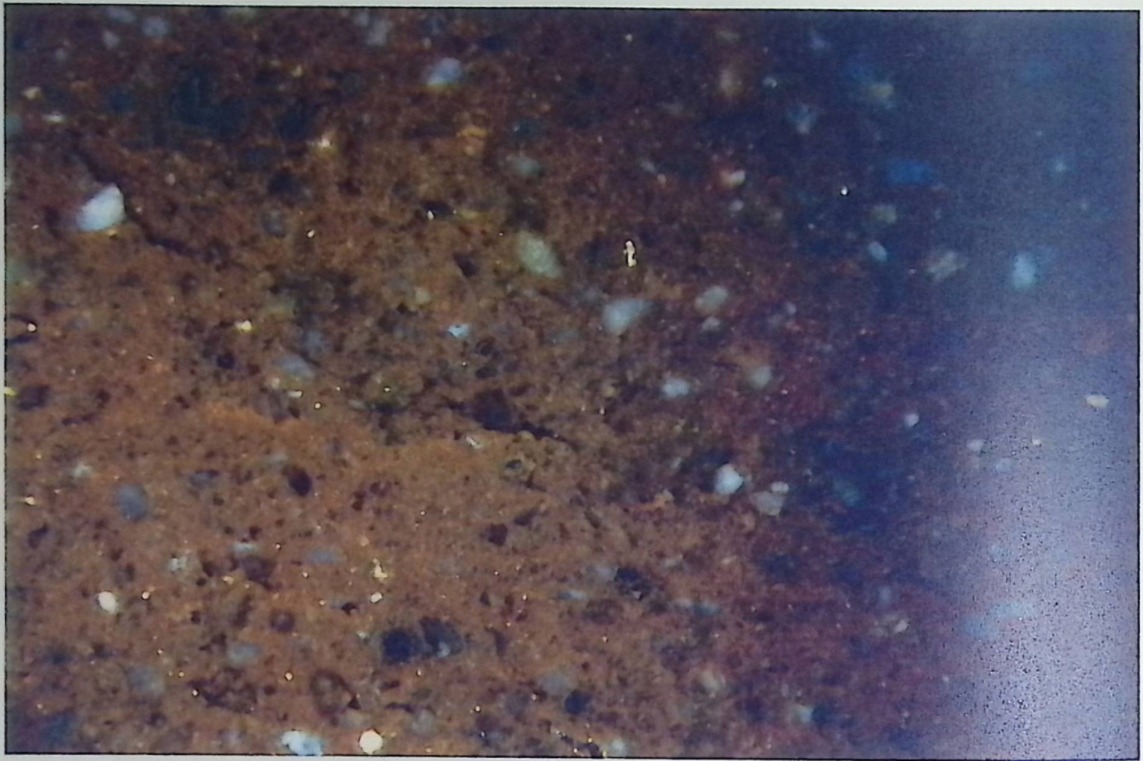
B-M19



B-M22

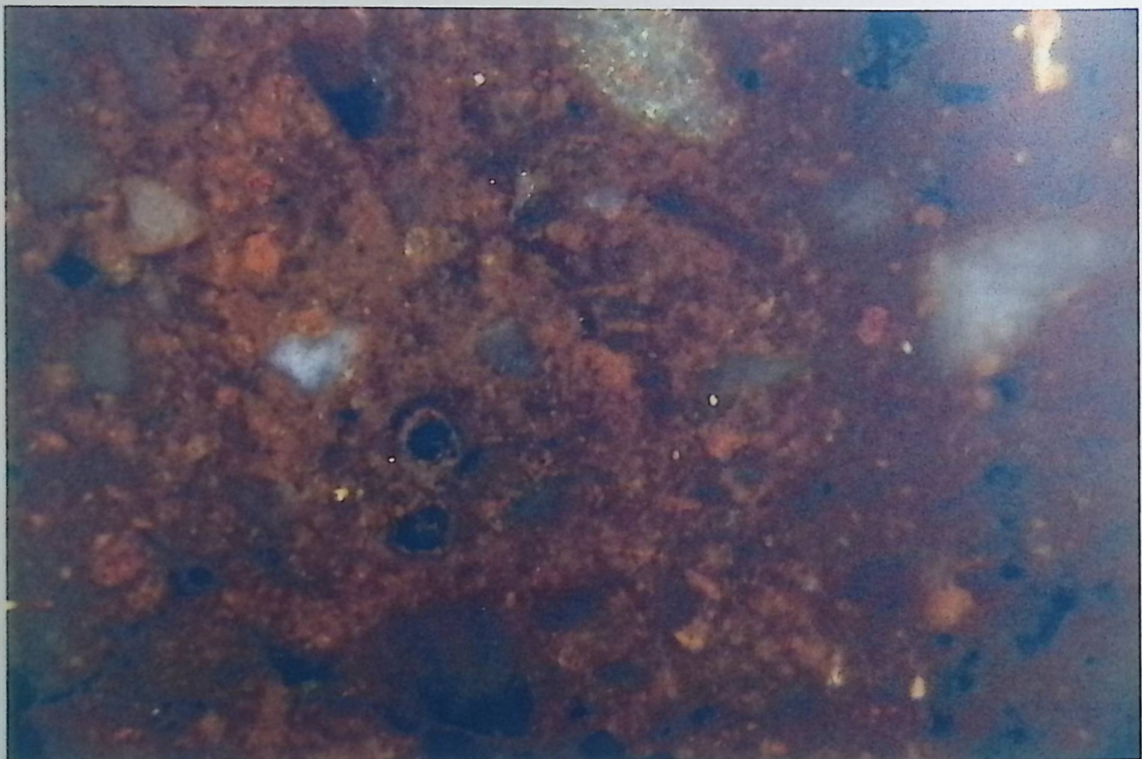
Abb.9 Brennphase 1 - Sehr schwach gefrittetes Sedimentmaterial. Quarzfeinkiese lagern in einer dichten, lehmig-schluffig-sandigen Matrix. Durch Hitzeeinwirkung ist das Sediment schwach braun gefärbt.

Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln



Unter dem Mikroskop

10x



40x

Abb.10 Brennphase 1 - Sehr schwach gefrittetes Sedimentmaterial. Probe B-M17 (siehe auch Abb.2). Kantige bis kantengerundete Quarzkörner schwimmen in einer dichten, schluffig-lehmig-tonigen Matrix. Hellgelbliche Punkte = Feldspäte. Glimmer unverändert. Keine Porosität erkennbar.

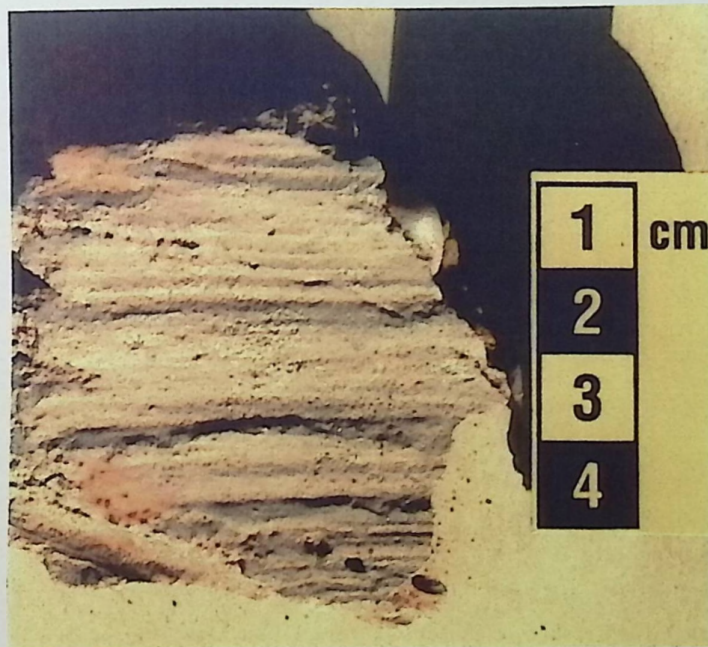
Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln



B-M23



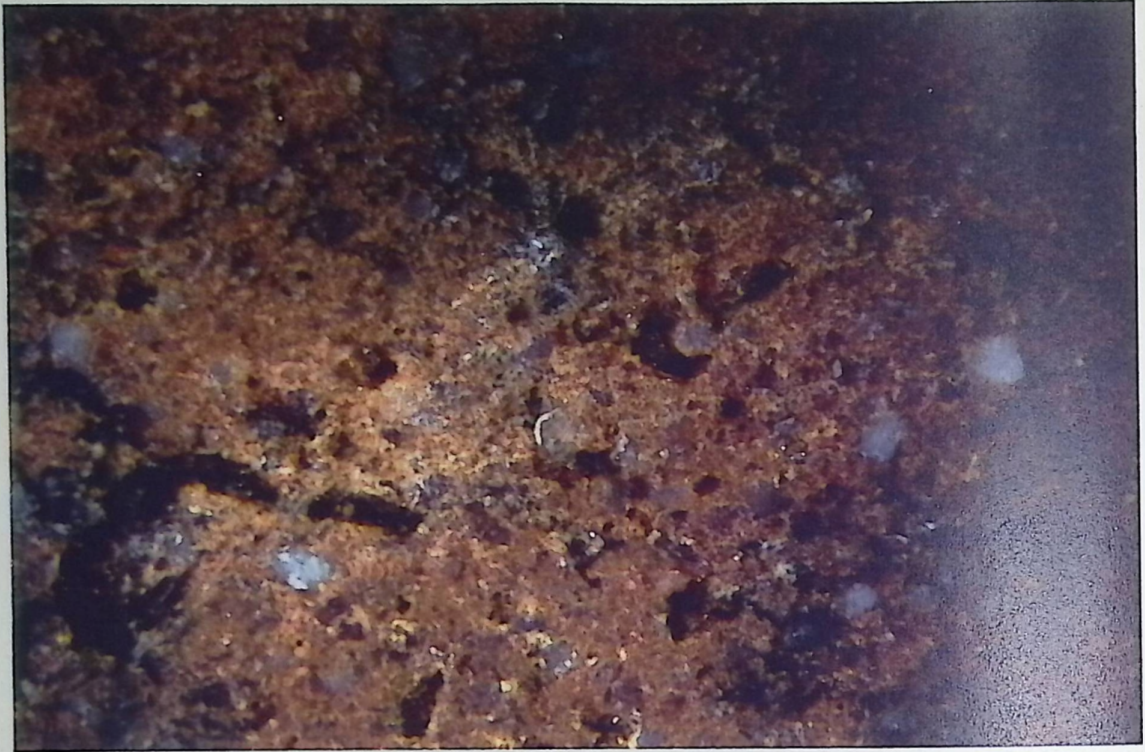
B-M24



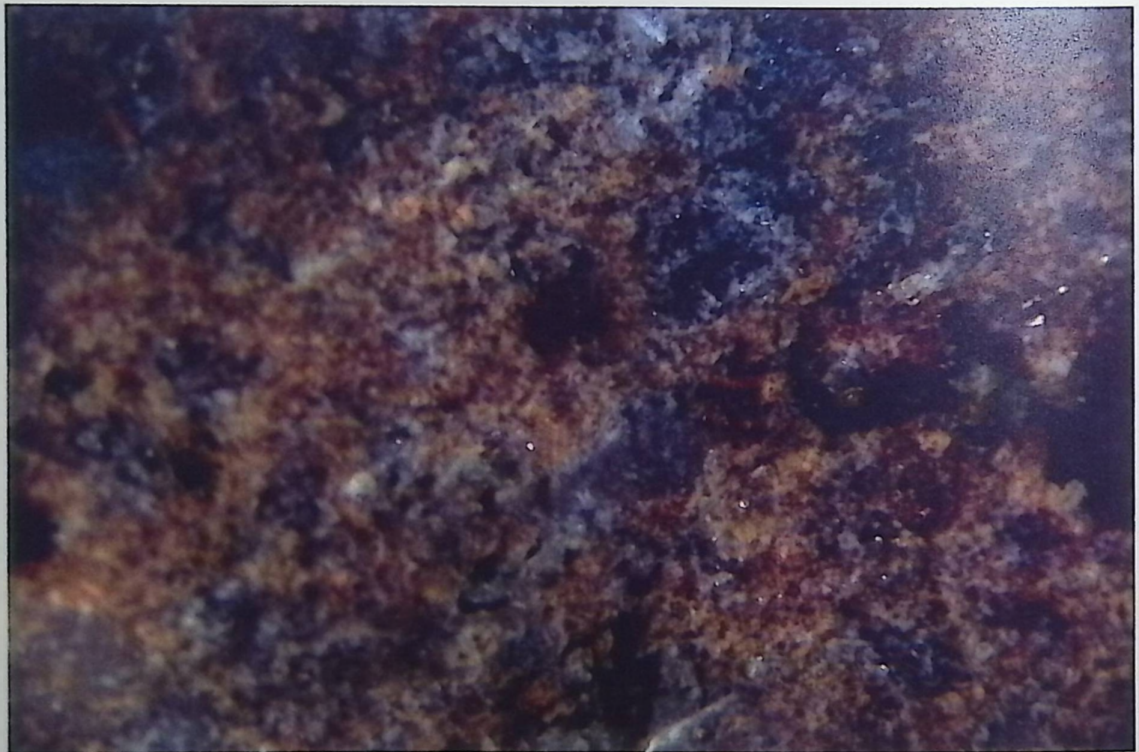
B-M27

Abb. 11 Brennphase 2 - Mäßig gefrittetes Sedimentmaterial. Durch Hitze rötlichbraun gefärbtes Sedimentmaterial, etwas stärker verbacken mit beginnender Verklumpung; schwach absandend; dichte Matrix mit Quarzfeinkiesen. Keine Porosität erkennbar. Probe B-M27: Holzabdruck erkennbar, schwach verfestigt (gebacken).

Aufnahmen: Dr. A. Niemeyer, Köln



Unter dem Mikroskop .10x



40x

Abb.12 Brennphase 2 - Mäßig gefrittetes Sedimentmaterial (Probe B-M25) (siehe auch Abb.3). Quarze, Glimmer, Feldspäte unverändert vorliegend. Keine Porosität erkennbar. Schwarze Einlagerungen: Holzkohle.

Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln

U.d.M.: Sehr viele Quarzkörner, mittel-bis grobkörnig; Körner kantig bis kantengerundet; einzelne kantengerundete Quarzfeinkiese. Intergranularraum durch mäßig bis stärker gefrittete Schluff-Lehm-Matrix dicht gefüllt. Beginnende Anlösung und Aufschmelzung an den Glimmern und damit ansatzweise beginnende sekundäre Porosität durch Volumsverminderung der Matrixmasse erkennbar. Vereinzelt noch stark veränderte Glimmer vorliegend. Feldspäte noch vorhanden, jedoch schon stark rissig.

Vermuteter Temperaturbereich: 400°C bis 700°C. (Abb.14)

3.2.2.4. Brennphase 4 - Stark gefrittetes Sedimentmaterial mit Ansätzen von Sinterung (Proben B-M35 bis B-M47)

Braungraues, rotbraun-grau-violettes, poröses, z.T. dichtes, sandig-kiesiges, stark gefrittetes bis ansatzweise gesintertes (glasig aufgeschmolzenes) Sedimentmaterial. (Abb.15).

U.d.M.: Sehr viele Quarzkörner, fein-bis grobkörnig; Körner kantig bis kantengerundet; an den Quarzkörnern ist keine Veränderung durch Hitzeeinwirkung nachzuweisen. Einzelne eingestreute kantengerundete Quarzfeinkiese, ebenfalls ohne erkennbare Veränderungen durch Hitzeeinwirkung.

Die schluffig-lehmig-tonige Matrix z.T. nun aufgeschmolzen und als glasiger Überzug die Quarzkörner ummantelnd und einbettend (Proben B-M45 bis B-M47). Durch die An- und Aufschmelzung der Matrixmasse entstanden sekundäre Porositäten durch den auftretenden Volumsverlust. Innerhalb der aufgeschmolzenen schluffigen Partien fallen schwarz gefärbte Einlagerungen auf, die als eingebettete inkohlte organische Substanzen (Holz) bestimmt wurden.

In einigen Anschliffen sind rissige, z.T. auseinandergeplatzte Feldspäte noch erkennbar, im allgemeinen jedoch finden sich in diesem Material keine Feldspäte und Glimmer.

Die aufgeschmolzene Matrixmasse des schluffig-lehmig-tonigen Ausgangsmaterials umfließt und ummantelt als glasiger Überzug die unveränderten Quarzkörner; im Intergranularraum liegt nun eine hohe sekundäre Porosität vor. (Abb.16-18).

In den Proben B-M35 bis B-M39 sind die Feldspäte noch vorhanden bei beginnender Rissigkeit und erkennbaren Anlösungserscheinungen von den Rändern her (je nach Lage zum glasig aufgeschmolzenen Bereich).

Die Veränderungen an den Sedimenten durch Hitzeeinwirkung hängen allgemein davon ab, in welcher Position das betreffende Stück zur Hitzequelle befand. Da der Wall in sich zusammenstürzte lagerten bei der Ausgrabung unterschiedlich gefrittete Sedimente neben- und übereinander.

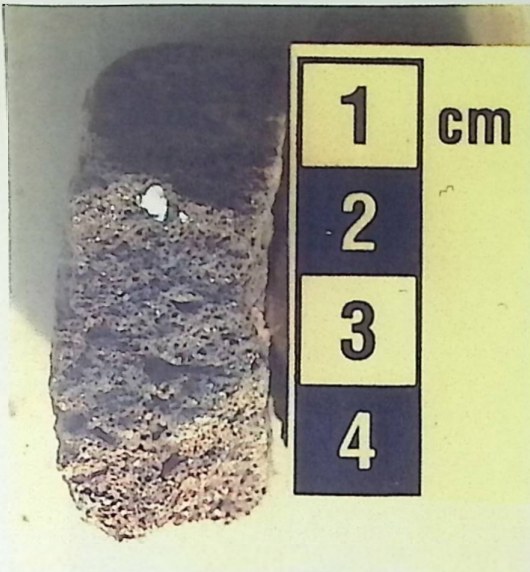
Vermuteter Temperaturbereich: 700°C bis max.1300°C.

Die Temperatur, die die Schluff-Lehm-Ton-Matrix glasig aufschmolz dürfte um 1300°C gelegen haben und erst im oxidierenden Brand gegen Ende des Wallabbrennens erreicht worden sein. Da die Quarzkörner - vollkommen unbeeinflusst - von dieser glasig aufgeschmolzenen Masse ummantelt werden, kann die Temperatur nicht über 1300°C gelegen haben. Da es sich andererseits bei den glasigen Schmelzprodukten nur um einen mehr oder minder geringen Prozentsatz (geschätzt 20-25% der gefrittetten Masse) handelt, dürfte die im größten Teil erreichte und wahrscheinlich über einige Zeit vorgehaltene Temperatur um 1000°C gelegen haben.

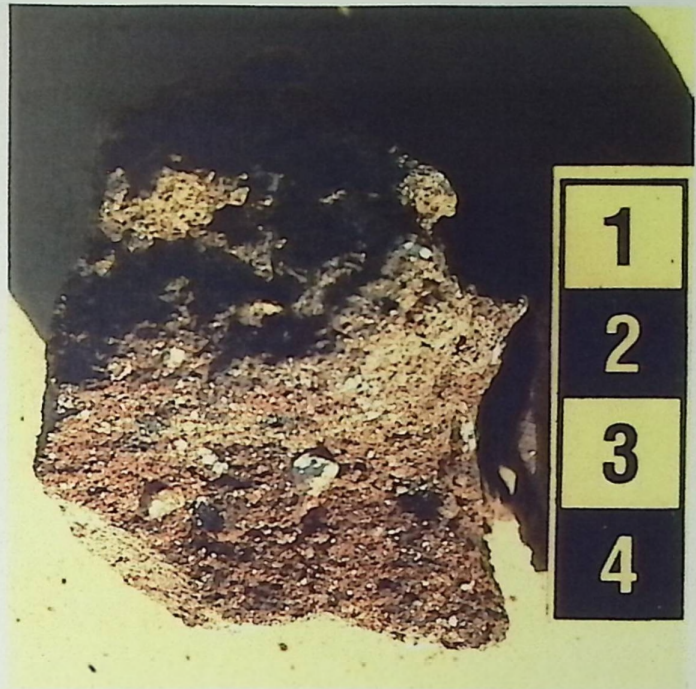
4. Ergebnisse

Der mittelbronzezeitliche Wall von Bernstorf baute sich aus einem Holz-Skelett aus eingetieften senkrecht stehenden Pfosten und querlagernden Spalt- und Rundhölzern unterschiedlicher Stärke auf. Diese Holzkonstruktion wurde von einem Schluff-Lehm-Ton-Sand-Gemisch ummantelt und wahrscheinlich auch in seinem Inneren mehr oder minder zur Stabilisierung ausgefüllt. Bei diesem Sediment-Gemisch, das sich aus den zu Tage in der Umgebung anstehenden Gesteinen zusammensetzte handelte es sich um eine inhomogen gemischte Masse der einzelnen Komponenten. So konnte ein überwiegend feinkiesiger Sand, vermischt mit wenig schluffigem Material direkt neben einem schwach sandigen Schluff-Lehm-Gemisch lagern, was natürlich beim Brand unterschiedliche Veränderungen an den Sedimenten nach sich zog. Da man die Basis des hölzernen Wall-Skeletts offensichtlich direkt auf den anstehenden feinkiesigen Sand legte, d.h. man hob die Bodenkrume bis zum gewachsenen Boden zwecks Drainage ab, erscheint die Wallsohle im ergrabenen Abschnitt im Profil etwas eingetieft. Durch das Abziehen der Bodenkrume erreichte man, daß das in den Wall eindringende Regenwasser in den sandigen Untergrund versickern konnte und somit Staunässe vermieden wurde.

Das hölzerne Wall-Skelett war außen von einer lehmig-tonig-sandigen Verputzschicht bedeckt, im Inneren wahrscheinlich mit demselben Material stabilisiert. Am Top des Walls ist eine hölzerne Palisade aus Faschinen zu vermuten.



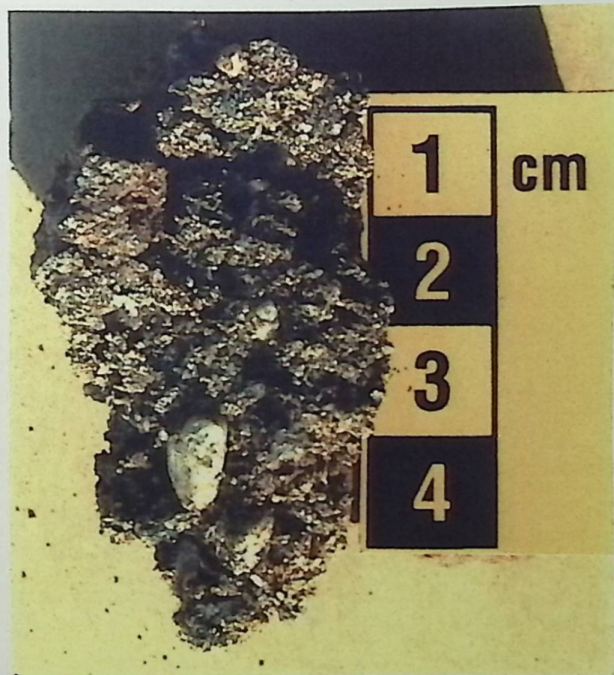
B-M30



B-M31



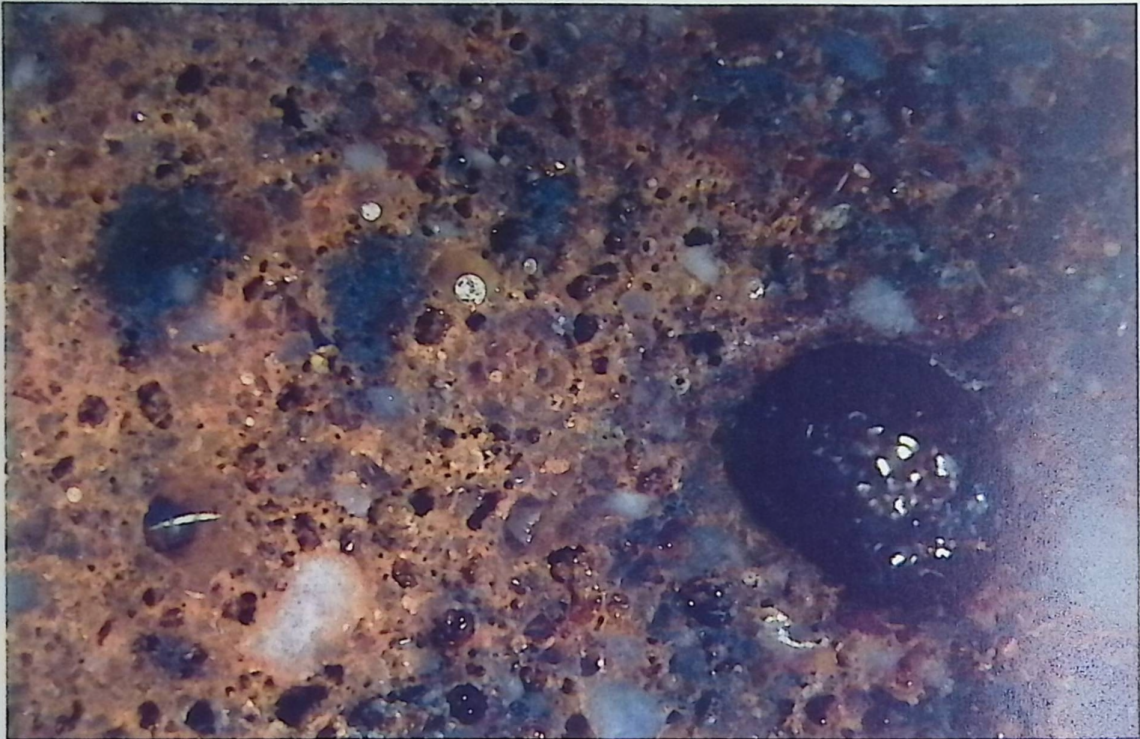
B-M32



B-M34

Abb.13 Brennphase 3 - Braunes, braungraues, hellviolett, abschnittsweise schwach poröses, sandig-kiesiges, mäßig bis stärker gefrittetes Sedimentmaterial.

Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln



Unter dem Mikroskop

14x



40x

Abb.14 Brennphase 3 - Mäßig bis stärker gefrittetes Sedimentmaterial. Im Mikrobild erkennbar die unveränderten mittel-bis grobkörnigen Quarze. Intergranularraum durch stärker gefrittete Schluff-Lehm-Matrix dicht gefüllt und erkennbare beginnende sekundäre Porosität. Feldspäte noch vorhanden, jedoch bereits rissig.

Aufnahmen: Dr.A,Niemeyer, Köln



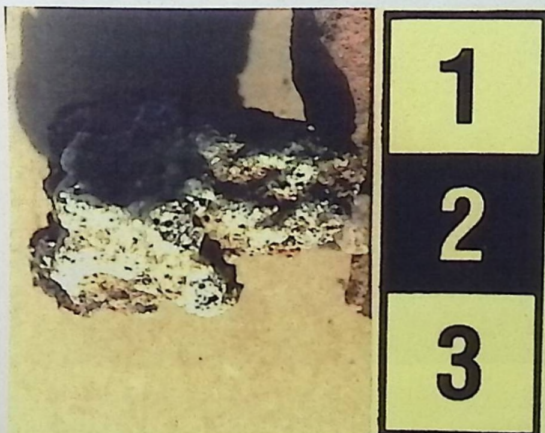
B-M42



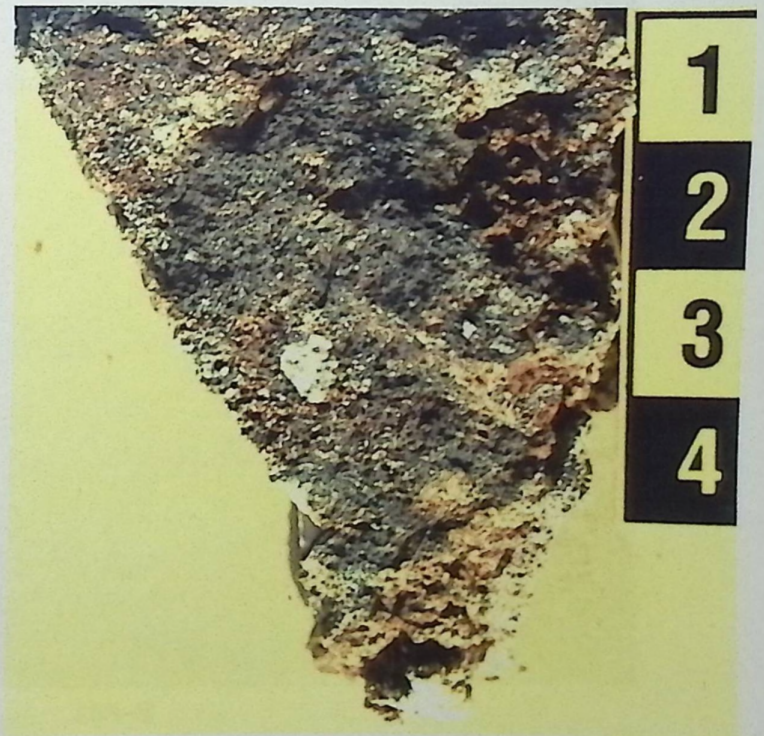
B-M45



B-M46



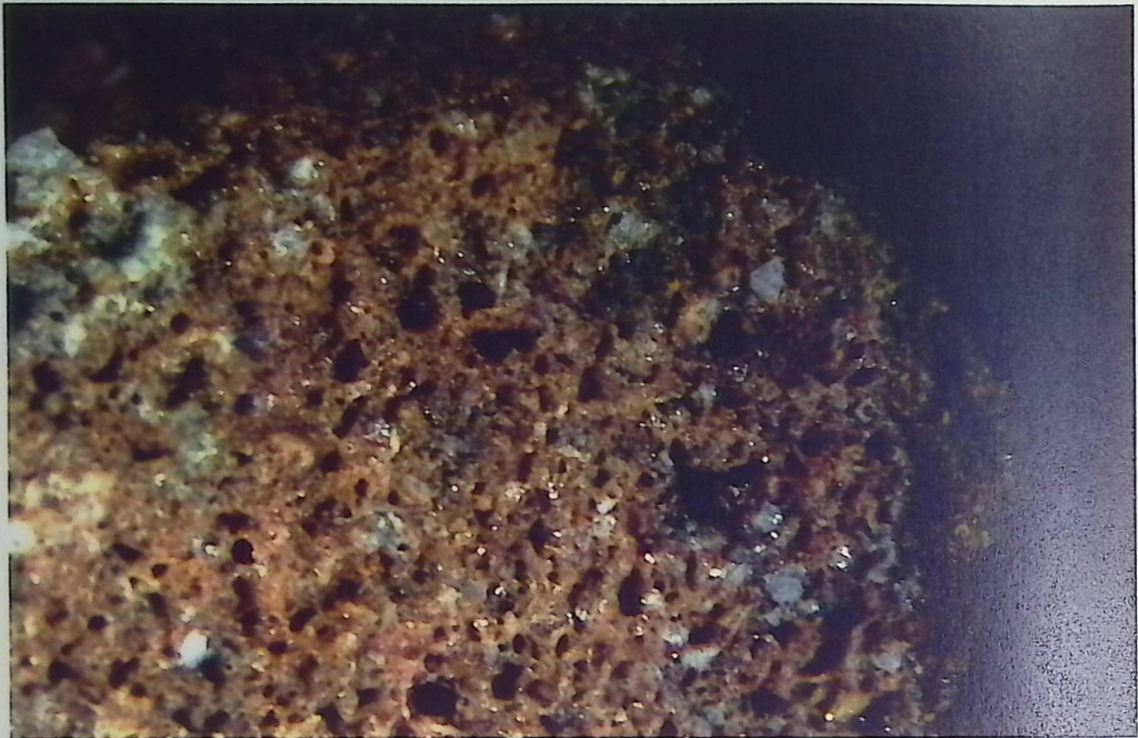
B-M47 -Glasiger Überzug



B-M47

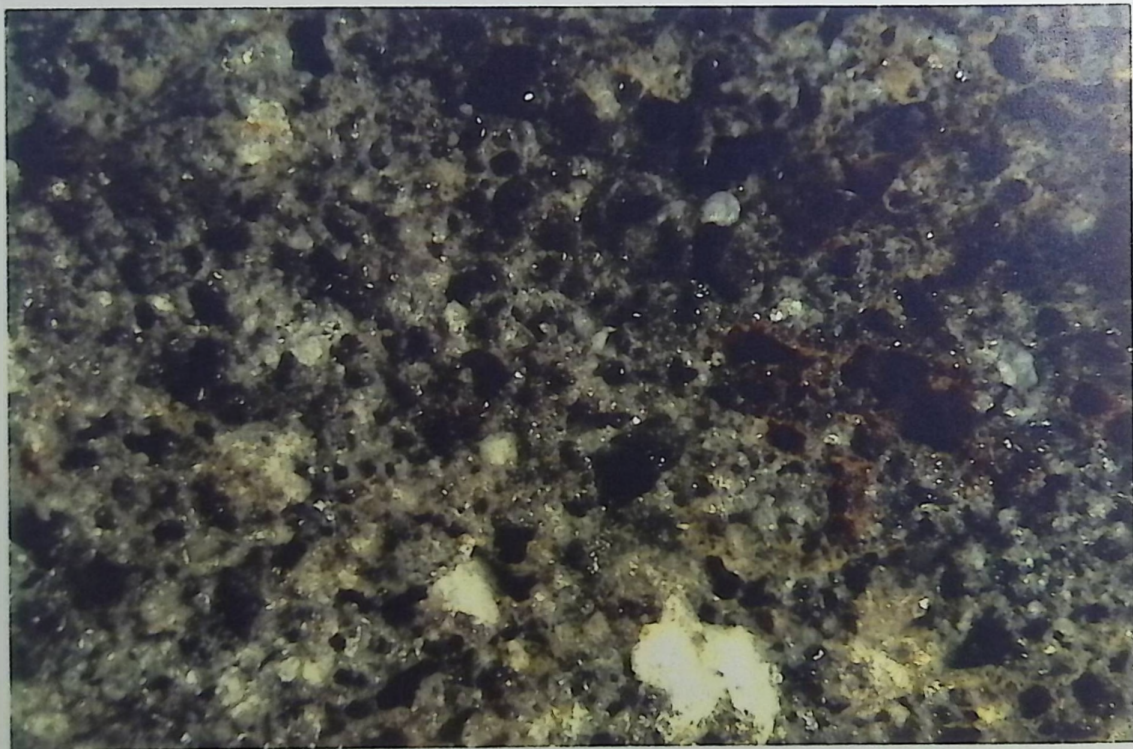
Abb.15 Brennphase 4 - Ausgewählte Beispiele des rotbraun-violett-braun-grauen, porösen, stark gefritteten bis schwach gesinterten Sedimentmaterials.

Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln



B-M36

Quarzkörner, z.T.glasig ummantelt. Die z.T.angeschmolzene Matrix zeigt durch Volumsverlust eine hohe Porosität (schwarz). Vergr.10x.

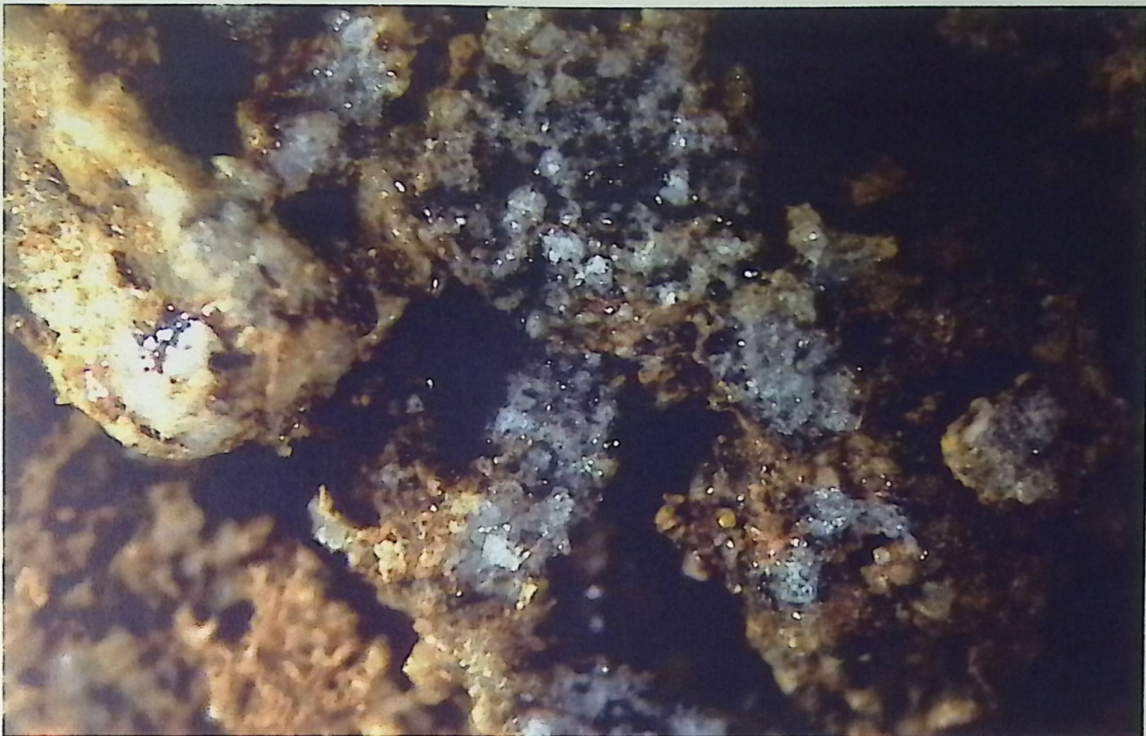


B-M41

Quarzkörner von aufgeschmolzener, glasiger Matrixmasse vollkommen eingebettet. Hohe Porosität erkennbar. Vergr. 10x.

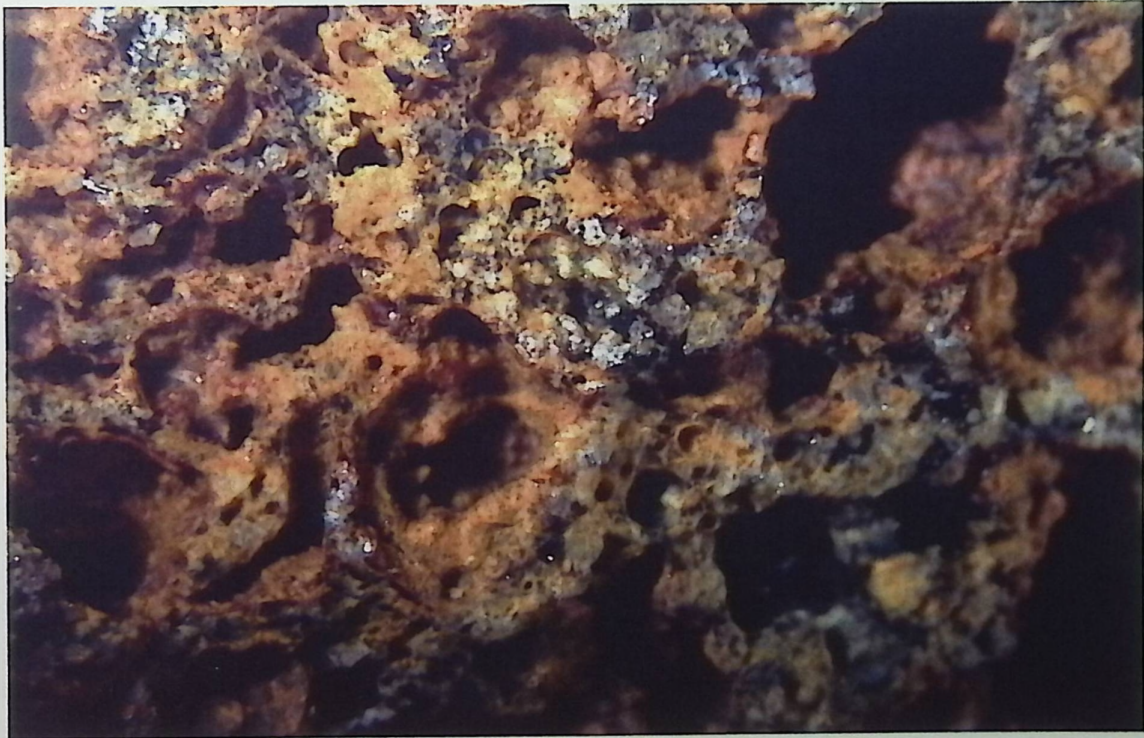
Abb.16 Brennphase 4 - Unter dem Mikroskop.

Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln



B-M40

Glasig umflossene Quarzkörner. Kaum noch Matrixmasse vorhanden. Sehr hohe Porosität. Vergr.10x.



B-M45

Quarzkörner schwach glasig ummantelt. Matrixmasse durch Hitzeeinwirkung verbacken. Hohe Porosität. Vergr.10x.

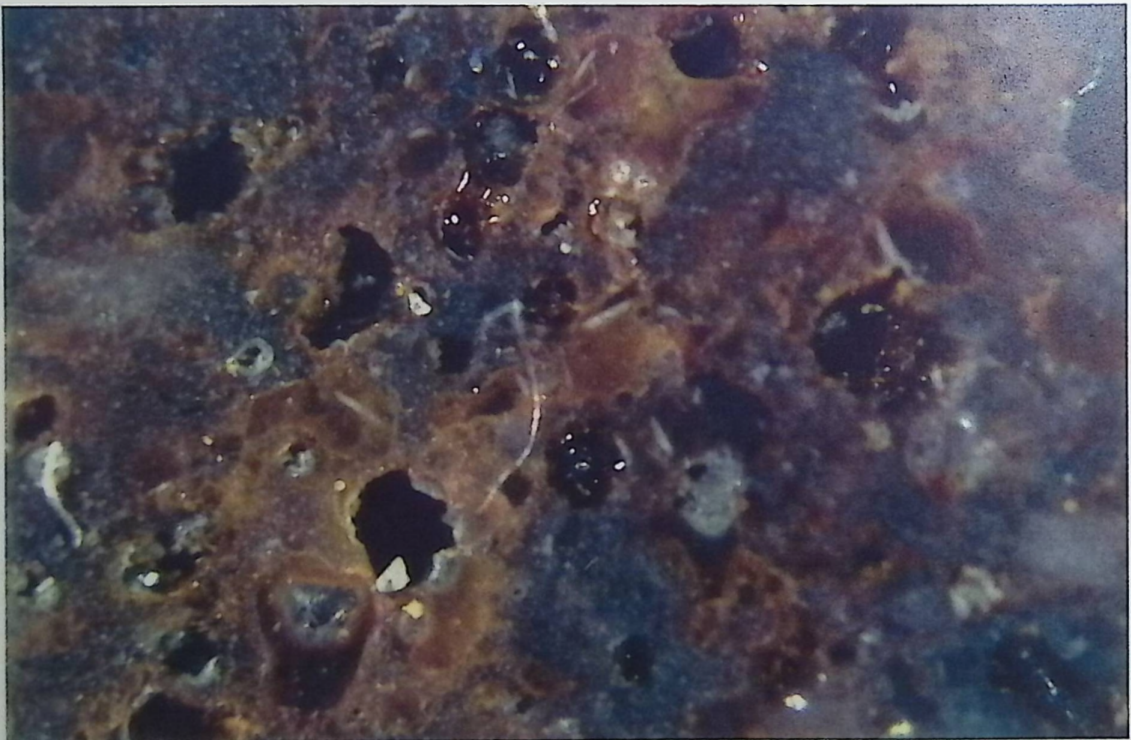
Abb.17 Brennphase 4 - Unter dem Mikroskop.

Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln



B-M37

Quarzkörner mit glasiger Ummantelung bei hoher Porosität durch das Anschmelzen der Matrixmasse. Vergr.10x.



B-M37

Glasige Matrixmasse mit einzelnen eingebetteten, unbeeinflussten Quarzkörnern. Hohe Porosität. Vergr.40x.

Abb.18 Brennphase 4 - Unter dem Mikroskop.

Aufnahmen: Dr.A.Niemeyer, Köln

Irgendwann um 1500 v.Chr. und irgendwie geriet dieser Wall in Brand. Als brennbares Material kamen die verbauten Spalt- und Rundhölzer unterschiedlicher Stärke im Inneren und die Palisade am Top des Walls in Frage. Jedes Rund- und Spaltholz, im Verbund lagernd, erwies sich bei diesem Brand als Hitzequelle, wobei jedes dieser Hölzer das umgebende Füll- oder Abdeckmaterial mit der beim Brand entstehenden Temperatur beeinflusste und veränderte. Je näher das Sedimentmaterial dem Brandherd (=Holz) lagerte, umso größer war die Beeinflussung und die sich daraus ergebenden Veränderungen an seiner Textur.

Den Brandverlauf kann man sich folgendermaßen vorstellen: Solange die Schluff-Lehm-Sand-Abdeckung die Hölzer im Inneren noch einigermaßen abdichtete, entwickelte sich im Wallinneren, infolge mangelnder Luftzufuhr, ein reduzierender Brand, wobei sich die Hölzer bis zur Verkohlungs-temperatur erhitzten. Vermutlich erfolgte dieses Anbrennen des Walls von oben, von der Palisade, nach unten.

Durch die beim reduzierenden Brand im Inneren des Walls entstehende Hitze, die im übrigen gar nicht so hohe Temperaturen erreicht haben muß, wurde die schluffig-tonig-sandige Ummantelung des Walls von innen her gefrittet und brüchig, schließlich zerstört und mit dem ungehinderten Luftzutritt ins Innere schlug der reduzierende Brand schlagartig in einen bis zu 1300°C sich erhöhenden, unkontrollierten, oxidierenden Brand um. Erst beim oxidierenden Brand konnte von der bereits Verkohlungs-temperatur erreichten Holzkohle die maximale Temperatur von etwa 1300°C erzeugt werden. Bei etwa 300°C im reduzierenden Feuer hat die Holzkohle ihre optimale Verkohlungs-temperatur und somit ihren höchsten Heizwert erreicht und ist sehr leicht entzündlich. Tritt in diesem Stadium plötzlich Sauerstoff hinzu, explodiert das Feuer buchstäblich im oxidierenden Brand.

Durch die bei diesem Abbrennen entstandenen Veränderungen an den schluffig-tonig-lehmig-sandigen Sedimenten der Füll- und Verputzmassen konnten im makroskopischen- und mikroskopischen Bild Charakteristika festgestellt werden, die eine Einteilung in 4 Brennphasen ermöglichten. Wie oben beschrieben umfassen diese nachweisbaren Veränderungen an der Textur der Sedimente eine Temperaturspanne zwischen 200°C (Brennphase 1) und Maximal 1300°C (Brennphase 4). Es handelt sich dabei um Näherungswerte, die sich aus den Veränderungen an der Textur der Sedimente, Erfahrungen aus dem keramischen Brand und aus dem Holzkohlenmeiler-Brand ableiten ließen.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß infolge der Inhomogenität der abdeckenden und ausfüllenden Schichten kein einheitliches Bild erwartet wurde. Man sollte nicht vergessen, daß jedes Holzstück für sich durch das Feuer zu einem Hitze-zentralpunkt wird, um den herum, schematisch, alle 4 Brennphasen an den Sedimenten auftreten müßten. Ist nun beispielsweise ein Rundholz vom Schluff-Ton-

Sand-Gemisch nicht dicht ummantelt, könnte das sehr wohl durch den leichteren Luftzutritt beim oxidierenden Brand zu einer wesentlich höheren Temperatur geführt haben, wodurch andere Veränderungen am Sediment entstehen hätten können, als wäre das Holz dicht eingebettet gewesen.

Analog zur Holzkohlen-Herstellung könnte, durch die nach oben steigenden heißen Gase (ab 300°C), beim beginnenden oxidierenden Brand die obere Wallabdeckung, also das Walldach, von innen her den höchsten Temperaturen ausgesetzt gewesen sein und auf den Brandherd gestürzt sein. Dabei wurden die Holzkohlen, die bei der Grabung gefunden wurden, vor dem vollständigen Verbrennen bewahrt.

Es gibt eine Vielzahl von nicht faßbaren Einflüssen, die einen außer Kontrolle geratenen Brand steuern und den Brandverlauf beeinflussen können. Im Gegensatz zum kontrollierten und gesteuerten keramischen- oder Holzkohlen-Meiler-Brand handelte es sich hier um ein vollkommen unkontrolliert ablaufendes Geschehen, das beispielsweise durch die am Hang aufsteigenden Winde abschnittsweise zu einem wahren Inferno entarten konnte.

Die von den Brennphasen 1 bis 4 repräsentierten Temperaturbereiche sind ein Gerüst, das sich am Frittungs-Sinterungs-Zustand der Sedimente, an den Feldspäten und Glimmern und an der sekundär entstandenen Porosität orientiert. Es basiert also hauptsächlich auf makro-mikroskopischer Beobachtung und nicht auf Brennversuchen an den Sedimenten. An letzteres wurde zwar gedacht, doch ist es heute wahrscheinlich unmöglich auch nur eine annähernd repräsentative Mischung der Sedimente, wie sie beim Wallbau verwendet wurden, herzustellen. So wäre jeder Brennversuch wieder mit unkalkulierbaren Unsicherheiten zusätzlich behaftet und würde eine Exaktheit vortäuschen, die bei diesen Vorgaben nicht zu erreichen ist.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß es sich beim Füll-,Ummantelungs-und Verputzmaterial des Bernstorfer Walls um eine Mischung aus ehemals an der Oberfläche lagernden schluffig-lehmig-tonig-sandigen Sedimenten handelte, die durch den Brand des hölzernen Wall-Skeletts unterschiedlich stark gefrittet wurden und in einzelnen Abschnitten den Sinterungsgrad erreichten. Das heißt, daß diese Sedimente Temperaturen zwischen 200°C bis maximal 1300°C ausgesetzt waren (je nach ihrer Lage zur Hitzequelle) und dabei ihre Textur und Struktur unterschiedlich stark veränderten. Die Maximal-Temperatur von etwa 1300°C resultiert aus dem unveränderten Zustand der Quarzkörner der verarbeiteten Sande, dem Verschwinden der Feldspäte und Glimmer und der entstandenen Porosität der Matrix.

5. Literatur

- Engelhardt, W.v.(1960): Der Porenraum der Sedimente. - Mineralogie und Petrographie in Einzeldarstellung, 2.Bd., 207 S.; Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- Klein, A.et al.(1973): Islamische Keramik. - Ausstellungskatalog des Hetjens-Museums Düsseldorf und des Museums für Islamische Kunst, Berlin.
- Linck & Jung (1960): Grundriß der Mineralogie und Petrographie. - 3.Aufl., 415 S.; Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Moos, A.v. & Quervain, F.de (1948): Technische Gesteinskunde. - Lehrbücher und Monographien aus den exakten Wissenschaften, 15: Mineralogisch-geotechnische Reihe, Bd.I, 221 S.; Birkhäuser, Basel.

Dank

Verfasser dankt Herrn Dr.Adelbert Niemeyer (Köln) für die Aufnahmen unter dem Mikroskop, ein schwieriges Unterfangen, da keine hochglanzpolierte Fläche unter dem Auflicht lag.

Erding im Februar 1998

Verkohltes *Quercus*-Holz aus dem bronzezeitlichen Schlackenwall von Bernstorf, Landkreis Freising, Bayern

Charring *Quercus*-wood from the Bronze Age vitrified hill-fort of
Bernstorf, district Freising, Bavaria

Alfred Selmeier

Kurzfassung

Verkohlte Holzreste aus dem Schlackenwall von Bernstorf werden anhand von Dünnschliffen anatomisch beschrieben. Die Holzreste gehören zur Gattung *Quercus*, Eiche, Familie Fagaceae. Der mikroskopische Feinbau ist an einigen Proben ausreichend erhalten geblieben und zeigt größte anatomische Ähnlichkeit mit der Holzstruktur von *Quercus robur* L., (*Q. pedunculata* EHRH.), der Stiel- oder Sommerliche.

Summary

Charring wood remains, excavated from the vitrified hill-fort of Bernstorf, district Freising, Germany, Bavaria, are described anatomically. The minute anatomy of the charring wood structure (thin slides) shows the nearest affinity with the wood from *Quercus robur* L., (*Q. pedunculata* EHRH.), pedunculate oak, family Fagaceae.

Minute anatomy: Growth rings distinct, wood ring-porous, 0,8-2,5 (mean 1,3) mm wide. Earlywood pores large, distinctly visible to the naked eye, forming a conspicuous band 2-4 pores in width; tangential vessel diameter 250-300 µm; transition from early- to latewood abrupt; late-wood pores abundant, barely visible to the naked eye but distinct with a hand lens, small, tangential diameter 16-40-(60) µm; perforation plates of the vessels exclusively simple; tyloses present. Parenchyma apotracheal-diffus, in transversale section polygonal, tangential cell diameter 10-15 µm. Libriform, ground tissue, fine to medium. Rays unstoried, homocellular or nearly so; broad rays many-seriate, 270-300 µm wide; uniseriate rays abundant between the broad rays, variable in height, e.g. 9 cells (150 µm).

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Alfred Selmeier, Institut für Paläontologie und historische Geologie der Universität München, Richard-Wagner-Str. 10, D-80333 München.

E-mail: a.selmeier@lrz.uni-muenchen.de

1. Einleitung

Auf der Suche nach früher Eisenverhüttung stieß Herr Dr. med. MANFRED MOOSAUER 1994 mit Freunden aus dem Archäologischen Verein Freising in Bernstorf (Abb. 1) auf ein etwa 120 m langes und 5 m breites Schlackenband. Unter dem stark gebrannten Lehm Boden vermutete Dr. Moosauer eine prähistorische Verhüttungsanlage (HEPP 1995). Die von ihm seit 1994 veranlaßten Grabungen belegen, daß es sich um eine vorzeitliche, vermutlich bronzezeitliche Wallanlage handelt. Nach KRESTEN (1996) sind in West-Europa derzeit etwa 220 Schlackenwälle bekannt. Eine umfassende Darstellung der Grabungen und der damit verbundenen Entdeckungen (Keramik- und Goldfunde) bietet eine reich bebilderte Buchpublikation (MOOSSAUER & BACHMEIER 2000).

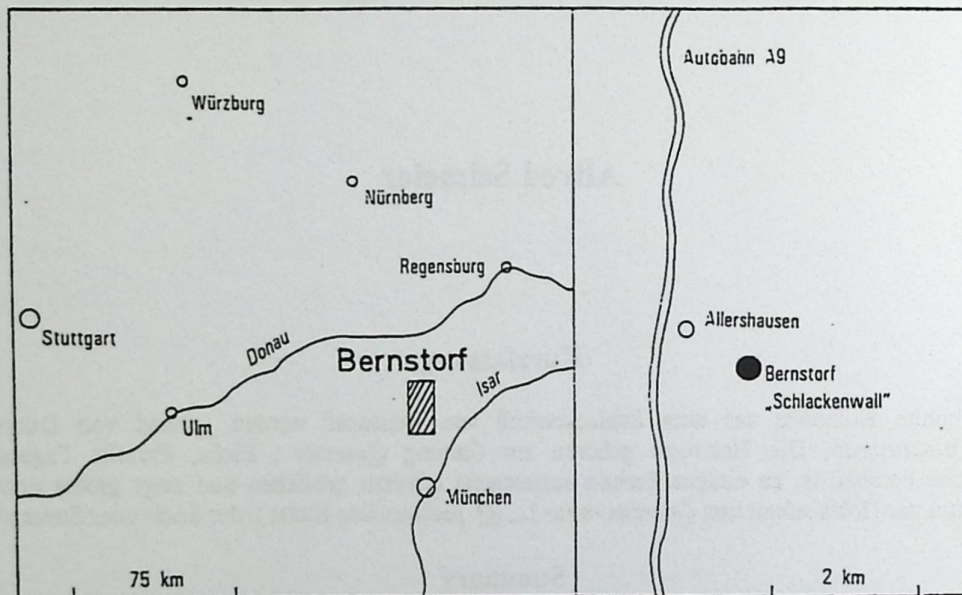


Abb. 1: Geographische Lage der Fundstelle Bernstorf, Oberbayern. Autobahn (A 9) - Ausfahrt Allershausen ca. 30 km nördlich von München. - Zeichnung K. Dossow.

Die Holzkohlenreste von Bernstorf könnten auf folgende Weise entstanden sein (schriftliche Mitteilung Moosauer 1996): Zum Aufbau der Wallanlage wurden Rundhölzer kreuzweise aufgeschichtet und die Zwischenräume mit sandig-lehmigem Material aufgefüllt. Durch zufällige Entzündung, Blitzschlag oder Brandlegung, kam es zu großer Hitze-Entwicklung; der im Sand vorhandene Feldspat (KAlSi_3O_8) begann zu schmelzen. Die beim Brand erreichte Temperatur lag bei maximal 1300°C (Beitrag Unger in diesem Band). Das verbaute Sedimentmaterial unterlag durch den Brand einer schwachen Sinterung (Unger 2001b:11ff).

2. Verkohltes Eichenholz der Grabung Bernstorf

2.1 Material

Im Frühjahr 1995 brachte Herr Dr. Moosauer verkohlte, brüchige, teils bröselige Holzproben zur anatomischen Bestimmung. Zusätzliches verkohltes Material konnte bei einem Besuch der „Grabung Bernstorf“ am 27. Sept. 95 vom Verfasser aufgesammelt werden. Herr Dr. MARTIN KIRCHNER, München, entnahm am gleichen Tag ausgewählte Erdproben zur Pollenanalyse. Blütenstaub war jedoch nicht nachweisbar. Für eine botanische Untersuchung standen somit nur verkohlte Holzproben zur Verfügung.

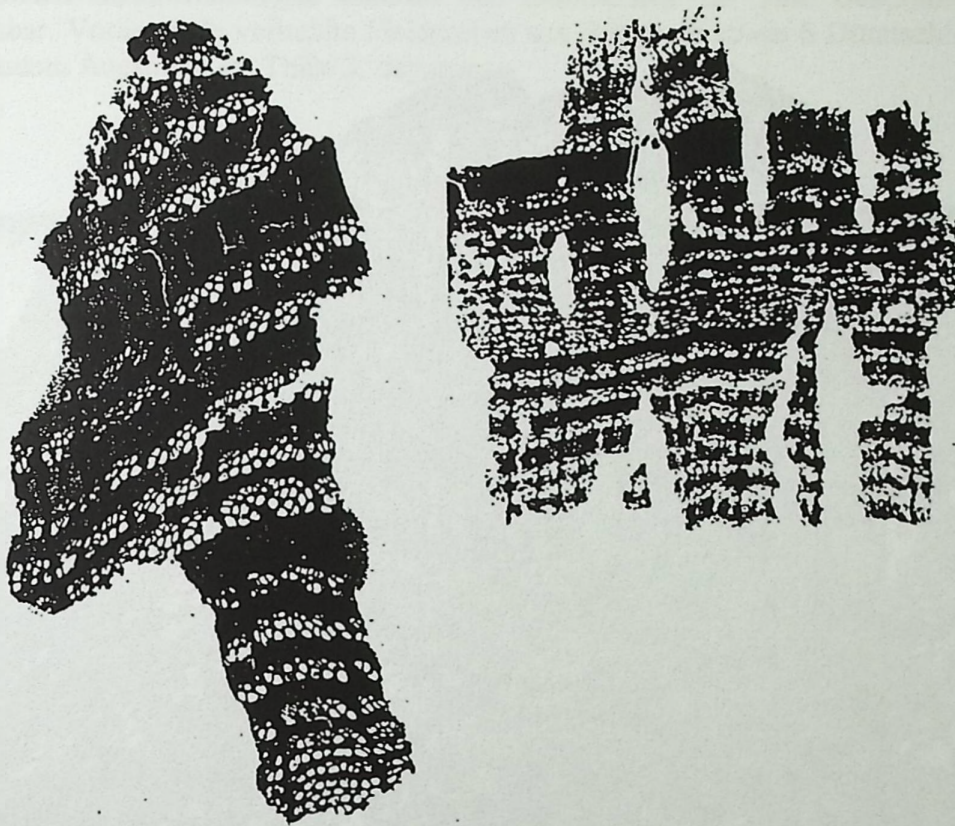


Abb. 2: Querschliffe. Links verkohlter Holzrest mit unterschiedlich breiten Zuwachszonen. Rechts: Radial orientierte Risse im verkohltem Holzgewebe. - x 5.

2.2 Eigenschaften der Holzkohle

Je nach den unterschiedlichen Vorgängen bei der Verbrennung (Gebläse) und der Art der nachträglichen Lagerung besteht Holzkohle in der Regel zu 75-80% aus dem Element Kohlenstoff. Bezogen auf das ursprüngliche Holzmaterial beträgt der Volumenschwund 35-45%, der Massenschwund 60-75%. Die chemische Zusammensetzung sowie die Ausbeute an Holzkohle sind von der Verkohlungstemperatur abhängig (250-1500°C; häufig nur 400-550°C). Einige weitere Kenngrößen der Holzkohle sind die Dichte (0,15-0,40 g/cm³), die Reaktionsfähigkeit und die spezifische Wärmeleitfähigkeit. Wie Laborversuche belegen, widersteht die Holzkohle hohem Druck ohne daß sich Deformationen oder Gewebeflexuren

ergeben. Wird jedoch ein kritischer Druck überschritten, bricht das Zellgerüst ohne vorherige Verbiegung spontan zusammen. Die Gefügezerstörung unterschreitet hierbei die axiale Länge der Holzfasern.

Beim Brennvorgang einer Holzprobe sind a) Entzündungstemperatur, b) Brennen, c) Nachglühen zu unterscheiden. Physikalische, morphologische und anatomisch-mikroskopische Eigenheiten des Holzes sowie die verwendete Holzart, rezent etwa 25000 Holzarten, bestimmen den Grad der Brennbarkeit (Oxidation). Über interessante, erhalten gebliebene mikroskopische Holzstrukturen an experimentell verbrannten *Dichrostachys*- und *Salix*-Gehölzen berichten PRIOR & ALVIN (1983). In diesem Zusammenhang wird erwähnt, daß verkohlte Holzreste in der Archäologie zu selten untersucht und somit zu wenig ausgewertet werden: „The role of archaeological charcoals as palaeoclimatic indicators has been largely ignored“.

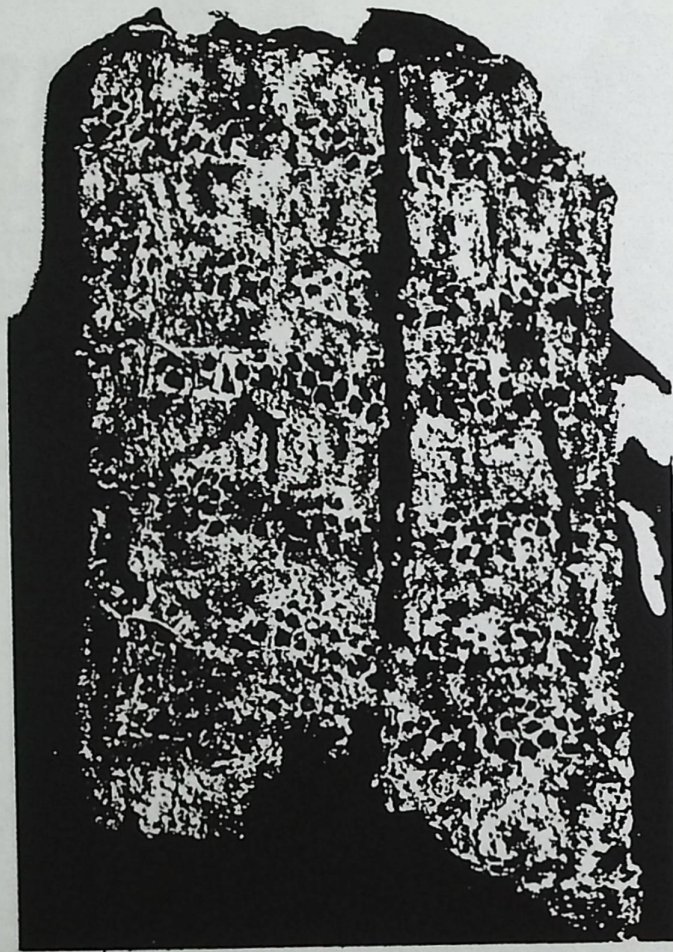


Abb. 3: Querbruch einer verkohlten Holzprobe mit sechs Zuwachszonen. Originalgröße der Holzprobe 2 x 1,4 cm.

2.3 Dünnschliffe der Holzkohlenreste

Anatomische Holzbestimmungen sind nur möglich, wenn lichtdurchlässige, dünne Schnitte oder dünne Schliffe vorliegen. Da die Holzkohlenreste, ein poröses und bröckeliges Material, nicht schneidfähig sind, wurden die Holzstückchen mit flüssigem Kunstharz durchtränkt. Vom ausgehärteten Kunstharzblock und somit auch von der darin eingebetteten

Holzkohle lassen sich nun maschinell kleine Scheibchen abschneiden. Diese wurden auf Objektträger (Glas) geklebt und anschließend mit Korundpulver solange auf rotierenden Glasscheiben „dünn geschliffen“, bis die Holzkohle die eventuell erhalten gebliebene Zellstruktur erkennen läßt. Die lichtdurchlässigen Dünnschliffe sind etwa 20-30 μm dick (1 μm = 1/1000 mm). Bei mikroskopischer Betrachtung der Schliffe sieht man, falls erhalten geblieben, den anatomischen Feinbau des in früher Vorzeit verbrannten Holzes.

Mit Hilfe dieser und anderer hier nicht geschildeter Präparationsmethoden ist es möglich, selbst nach Jahrtausenden (archäologische Funde) oder nach Millionen Jahren (versteinerte Holzfunde), die konservierte Zellstruktur „alter Hölzer“ wieder sichtbar zu machen. Die zur Bestimmung erforderlichen Dünnschliffe wurden in den Richtungen quer, tangential längs und radial längs angefertigt. Die Präparation erfolgte durch Herrn HEINZ MERTEL, München. Geringste Abweichungen des Sägeblattes vom vorgegebenen Winkel der 3 genannten Schnittrichtungen machen den Dünnschliff für eine Bestimmung bereits unbrauchbar. Vorliegende verkohlte Holzproben aus Bernstorf sowie 6 Dünnschliffe sind im Naturmuseum Augsburg, im Thäle 3, deponiert.

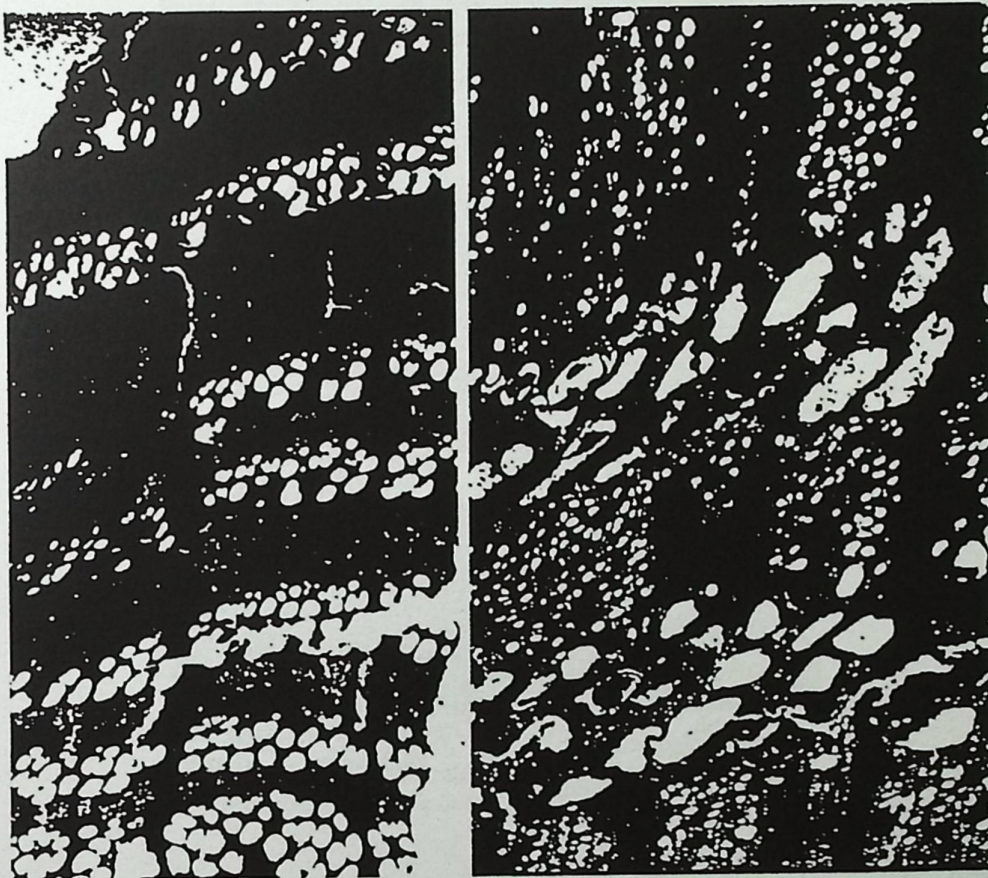


Abb. 4: Querschliffe. Links (x 11): Sechs unterschiedlich breite Zuwachszonen mit jeweils 3-4 Lagen großer Frühholzporen. – Rechts (x 55): Frühholzporen durch tangentialen Druck deformiert, Übergang zu den kleinen Spätholzgefäßen ist abrupt.

2.4 Anatomische Beschreibung (Abb. 2 – 10)

Zwei Querschliffe mit maximal 2 x 2,3 cm Holzkohlen-Fläche sind für eine xylem-anatomische Bestimmung ausreichend erhalten geblieben. Die 4 vorliegenden Längsschliffe (tangential, radial) zeigen jedoch nur wenige histologische Details.

Zuwachszonen an den Bruchstücken und Querschliffen bereits mit bloßem Auge deutlich sichtbar, an einem breiteren Dünnschliff etwa 14 - (19) Zuwachszonen, Breite 0,8 - 2,5 (Mittel 1,3) mm, etwa 7 fehlende bzw. extrem schmale Zuwachszonen (0,3 mm) unterbrechen in der Mitte eines Querschliffes das „normale Wachstum“ des verwendeten Holzes.

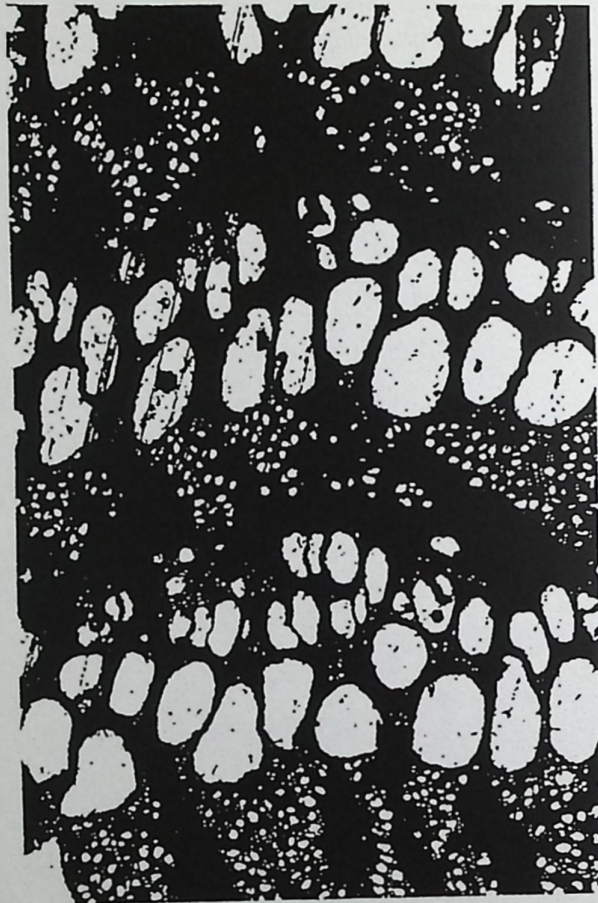


Abb. 5: Querschliff. Drei Zuwachsgrenzen mit großen Früh- und zahlreichen kleinen Spätholzgefäßen. - x 55.

Gefäße (Wasserleitbahnen) typisch ringporig angeordnet, Frühholzgefäße häufig in 2-3-(4) konzentrischen Lagen, Gefäße im Frühholz sehr groß, tangentialer Durchmesser etwa 250 - 300 µm, Querschnittsformen der Frühholzporen häufig etwas deformiert, bisweilen tangential gepreßt. Spätholzgefäße erheblich kleiner, gegenüber den Frühholzporen meist scharf abgesetzt, einzeln oder gruppiert zu 2-(3) Gefäßen, tangentialer Durchmesser 18 - 40 - (60) µm; Durchbrechungen der Gefäße einfach, im Lumen großer Frühholzgefäße teils blasenförmige, rundliche Thyllen.

Parenchymzellen innerhalb des Grundgewebes relativ schwer erkennbar, apotracheal-diffus, im Querschnitt polygonal, dünnwandig, tangentialer Durchmesser 10-15 μm .

Libriform (Holzfasern) bildet das Grundgewebe, Durchmesser im Querschnitt etwa 8-10 μm .

Holzstrahlen homozellulär, in zwei verschiedenen Größen; in unregelmäßigen Abständen zeigen die Querschliffe kompakte, dunkle Holzstrahlen, tangential z. B. 270 - 300 μm breit. Zwischen den breiten Strahlen sind nur einreihige Holzstrahlen, im Querschliff schwer erkennbar; einreihige Strahlen im Tangentialbild z. B. 9-stöckig und 150 μm hoch.

Gelbe Inhaltsstoffe (Verbrennungsprodukte?) sind im Bereich einiger Spätholzzonen (Querschliffe) sichtbar.

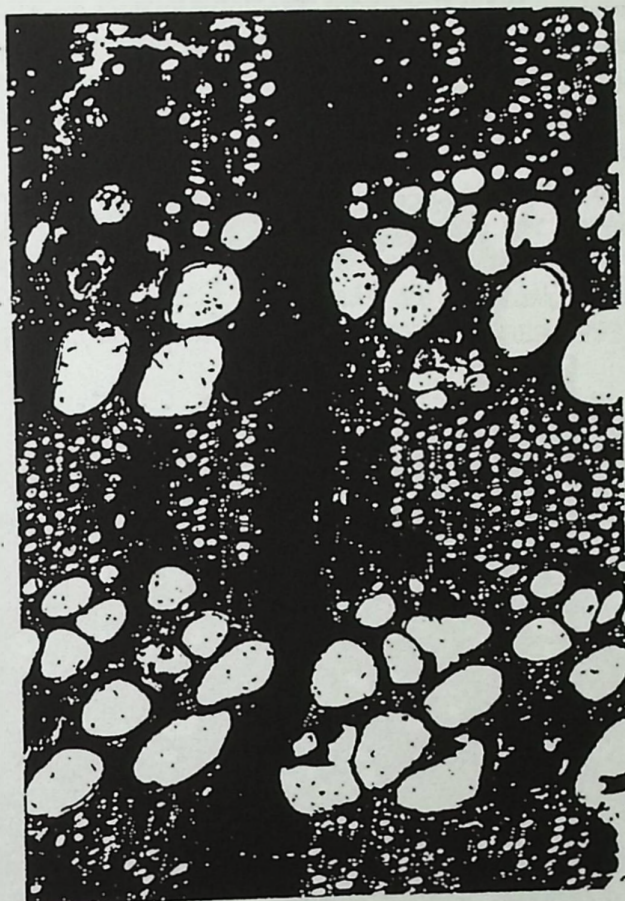


Abb. 6: Querschliff. Ein breiter, kompakt-dunkler, radial verlaufender Holzstrahl unterbricht das noch zellulär erhalten gebliebene Holzgewebe. - x 55.

2.5 Anatomische Bestimmung

Die xylem-anatomische Identifikation der verkohlten Holzreste von Bernstorf erfolgt a) durch Vergleich mit rezenten Schnittpräparaten, b) durch Vergleich mit anatomischen Beschreibungen und Abbildungen, c) aufgrund eigener Erfahrungen beim Bestimmen fossiler Eichenhölzer (SELMEIER 1971, 1986, 1992; SELMEIER & VELITZELOS 2000).

Vergleich mit rezenten Schnittpräparaten

Die Holzproben aus Bernstorf wurden mit folgenden Dünnschnitten einer institutionellen Xylothek (Institut für Holzforschung, Technische Universität München) verglichen (STERN 1988: 229-230):

Quercus petraea LIEBL. - HM Nr. 3754 und HM Nr. 3719, Rumänien..

Quercus petraea (MATT.) LIEBL. - HM Nr. 13955, Utrecht NL/U 18.

Quercus sessiliflora SALS. - HM Nr. 1854, drei Präparate

Quercus sessiliflora - RAKF Nr. 4078

Quercus robur L. - HM Nr. 1853, Schweden

Quercus robur L. - HM Nr. 3717, Rumänien

Quercus pedunculata EHRH. - RAKF Nr. 8507, Wontorf

Quercus pedunculata EHRH. - RAKF Nr. 4071, Polen

Quercus robur L. - Präp. ECKSTEIN, BAF, Probe 1

Quercus robur L. (*Q. petraea* LIEBL). - HM Nr. 854, Britisch Isles.

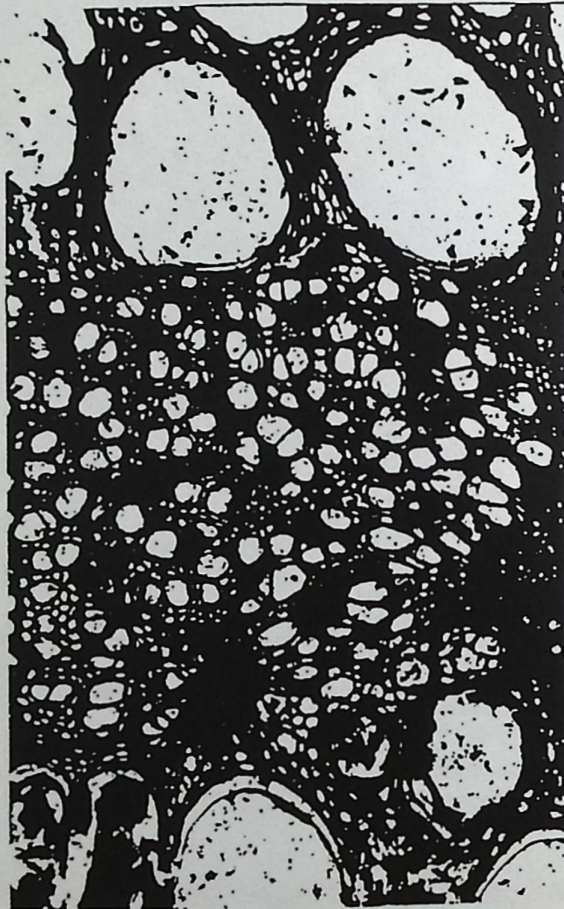


Abb. 7: Querschliiff. Zwei ovale, große Frühholzgefäße liegen an der unmittelbaren Zuwachsgrenze zum äußersten Spätholz. Zwischen den kleinen Spätholzporen sind die noch kleineren Querschnittsformen der Holzfasern erhalten geblieben. - x 125.

Zur weiteren Absicherung der Bestimmung wurden anatomische Beschreibungen und Mikrophotographien von Eichenhölzern in den Publikationen bei nachfolgend erwähnten Autoren verglichen:

BRAZIER & FRANKLIN (1961); CARLQUIST (1988); CUTLER, RUDALL, GASSON & GALE (1987); GREGUSS (1959); GROSSER (1977); HUBER & ROUSCHAL (1954); ILIC (1991); METCALFE & CHALK (1950); SCHWEINGRUBER (1978, 1990); WAGENFÜHR (1989); „standard references“ in GREGORY (1994: 57- 60).

Die Kombination der in den verkohlten Holzproben von Bernstorff erhalten gebliebenen anatomischen Merkmale (ringporig, geschlossener Porenkreis aus großen Gefäßen, einfache Gefäßdurchbrechungen, Gefäße mit Thyllen, breite und einreihige Holzstrahlen) spricht eindeutig für die Gattung *Quercus* (Eiche).

Die holzanatomische Bestimmung der Gattung *Quercus* ist infolge einer speziellen Kombination von gut erkennbaren, diagnostisch eindeutigen Merkmalen weder schwierig noch fraglich. Dagegen ist die holzanatomische Identifizierung einer bestimmten *Quercus*-Art in vielen Fällen mit Unsicherheiten belastet oder sogar unmöglich. Dies wird verständlich, da der Gattung *Quercus* in der geologischen Jetztzeit über 320 verschiedene Holzarten zugeordnet werden. Hinzu kommen erhebliche anatomische Abweichungen des mikroskopischen Bildes je nach der topographischen Lage der jeweils entnommenen Probe innerhalb eines Baumindividuums (Stamm-Höhe, Ast, Zweig, Wurzel). Ferner sind erhebliche abiotische Einflüsse der Umwelt auf die mikroskopisch-anatomische Xylem-Struktur zu berücksichtigen (CHAPMANN 1988, SCHWEINGRUBER 1993).

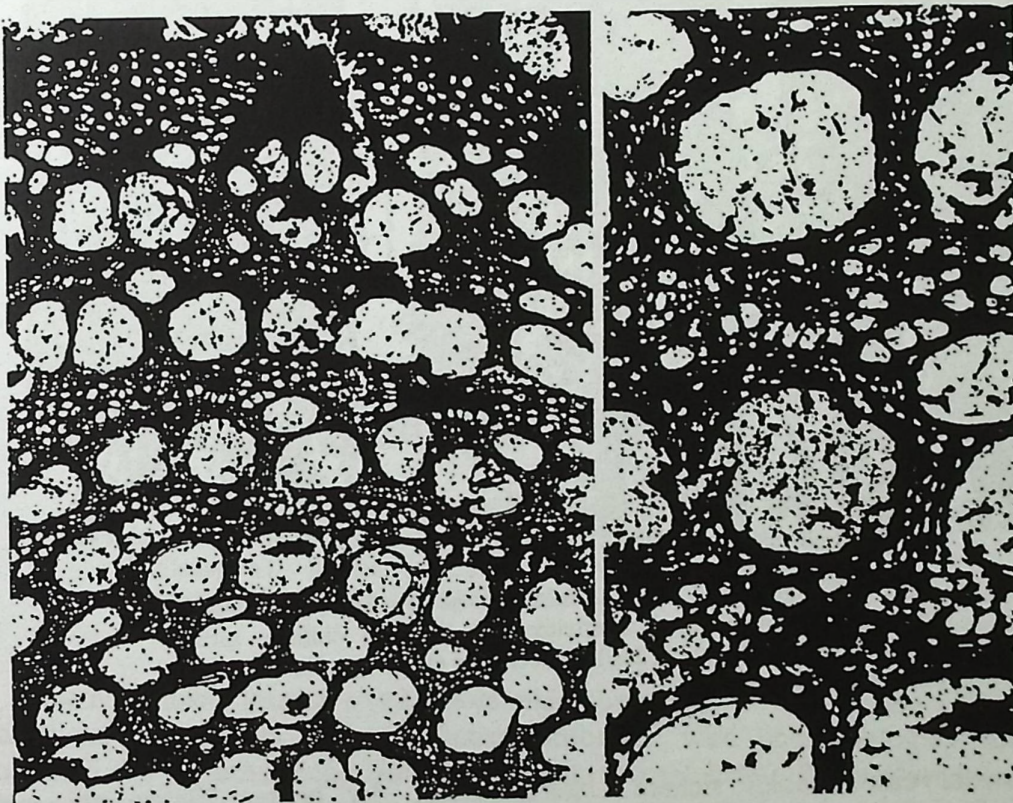


Abb. 8: Querschliff. Extrem schmale Zuwachszonen mit fast fehlendem Spätholz. Waren die Wachstumsbedingungen ungünstig ?
- Links (x 55), rechts (x 125).

Bei der mikroskopischen Identifizierung der Holzkohle von Bernstorf erweist es sich als hilfreich, daß die drei in Mitteleuropa heimischen *Quercus*-Arten anatomisch vielfach untersucht und eingehend beschrieben sind. Die Roteiche, *Quercus rubra* L., heute ein bekannter Park-, Straßen- und Forstbaum, kommt für einen Vergleich mit dem verkohlten Eichenholz aus Bernstorf nicht Betracht. Beheimatet in N-Amerika, ist der Baum erst seit etwa 200 Jahren in Europa eingebürgert. Für die bronzezeitliche, archäologische Fundstelle von Bernstorf, kommen als Brennmaterial somit nur zwei *Quercus*-Arten in Frage. Es sind dies

- a) Stiel- oder Sommereiche - *Quercus robur* L.,
Synonym: *Q. pedunculator* EHRH.
- b) Trauben- oder Wintereiche - *Quercus petraea* LIEBL.
Synonym: *Q. sessiliflora* SALISB.



Abb. 9: Tangentiale Längsschliffe. Links (x 55): Durchbrechungen der axial verlaufenden Wasserleitbahnen (Gefäße) einfach, nicht treppenförmig. – Rechts (x 250): Teilbereiche einreihiger Holzstrahlen undeutlich erkennbar.

Obwohl eine absolut sichere Unterscheidung der beiden Eichenarten aufgrund holzanatomischer Merkmale nicht in jedem Einzelfall möglich ist (GROSSER 1977: 130), existieren wissenschaftliche Befunde, die eine Unterscheidung an umfangreicherem Material ermöglichen. Die Stieleiche neigt im Bereich breiterer Zuwachszonen (> 1mm) im Frühholz zur Ausbildung eines mehrlagigen, konzentrischen Porenringes. Die Breite des Porenringes

im Frühholz variiert bei *Quercus robur* L. somit in Abhängigkeit von der jeweiligen radialen Ausdehnung der Zuwachszone. Dagegen tendiert die Traubeneiche, *Quercus petraea* LIEBL., auch bei breiteren Zuwachszonen nur zu einem meist 1-2-reihigen, sehr schmalen Porenkreis. Die verkohlten Holzreste von Bernstorff haben nachweislich breite Porenringe mit mehreren konzentrischen Lagen (Abb. 2 - 6). In jüngster Zeit sucht man noch zusätzlich nach quantitativen Unterschieden zwischen den beiden Eichenarten (FRERE, HERMANN & AVELLA-SHAW 1996).

Ergebnis: Nach Abwägung aller Befunde, kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß die verkohlten Holzreste der archäologischen Fundstelle Bernstorff von *Quercus robur* L., von der Stiel- oder Sommereiche, stammen.



Abb. 10: Tangentiale Längsschliffe. Links (x 125): Einreihige Holzstrahlen im Spätholz sowie rundliche Thyllen in einem breiten Frühholzgefäß. Rechts (x 250): Blasenförmige Ausstülpungen (Thyllen) im Lumen eines Frühholzgefäßes.

Eine noch heute lesenswerte Monographie über die Stiel- und Traubeneiche behandelt die natürliche Verbreitung dieser Eichenart. Informiert wird über Biologie, Holzstruktur, Waldbau und die wirtschaftliche Nutzung (KRAHL-URBAN 1959). Beide *Quercus*-Arten sind von Europa bis Kleinasien verbreitet. Die Stiel- oder Sommereiche, *Q. robur* L., ist ein Baum der Auwälder und der Niederungen. Sie bevorzugt schwere Böden mit hohem Grundwasserstand. Dagegen wächst die Trauben- oder Wintereiche, *Q. petraea* LIEBL., vorwiegend auf leichteren, trockeneren, und sandigen Böden (Mittelfranken, Spessart und Rheinpfalz).

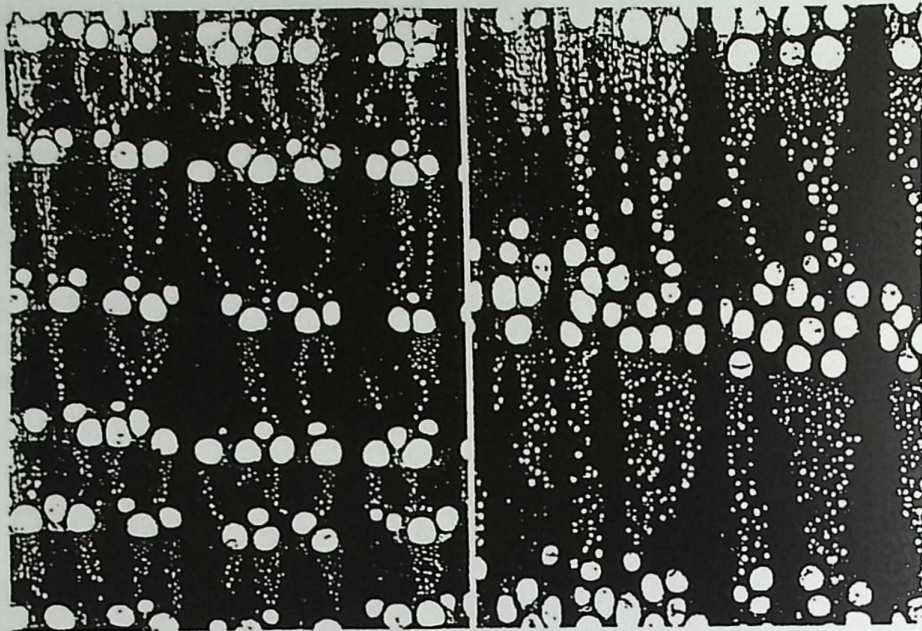


Abb. 11: Oben (Querschnitte): Anatomischer Vergleich zwischen dem Holz der Trauben- oder Wintereiche (links) und dem Holz der Stieleiche (Aufnahmen: H. MAYER-WEGELEIN). Die Holzkohlenreste aus Bernstorf zeigen in Übereinstimmung mit der Stieleiche (rechts) ebenfalls drei bis vier Lagen großer Frühholzporen.

Unten (Fruchtstände): Links Traubeneiche, *Quercus petraea* LIEBL. (*Q. sessiliflora* SALISB.). - Rechts Stieleiche, *Quercus robur* L. (*Q. pedunculata* EHRB.). Die Fruchtstände sind etwa 3-8 cm lang gestielt, daher der Name Stieleiche. (Zeichnungen G. KRÜSSMANN et al. 1976).

Für die Stieleiche existieren seit 1755 verschiedene zusätzliche Namen. Bekannt ist diese Eichenart u.a. als „Deutsche Eiche“ ferner als „English Oak“. Der mächtige Baum wird 20-30-(50) m hoch. Knorrige Äste sowie ein unregelmäßiger, nicht durchgehender Stamm sind typisch für seine Wuchsform. Langgestielte weibliche Blüten und langgestielte Früchte (Eicheln mit Becher) waren Anlaß für den deutschen Namen „Stieleiche“ (Abb. 11).

Weltweit wurden von vielen archäologischen Fundstellen verkohlte und subfossile Holzreste aus der Frühzeit menschlicher Tätigkeit xylem-anatomisch bestimmt (SELMEIER 1963, Pyrenäen; SELMEIER 1988, Iran, Bastām II; LANSER, SELMEIER & SKUPIN 1999). Wie

allgemein bekannt, stammen viele Holzreste archäologischer Fundstellen von Eichenhölzern (SCHWEINGRUBER 1976, Lang 1994). Die Holzkohlen aus Bernstorf sind somit ein weiterer Beweis für die vorgeschichtliche Verwendung dieser Bäume. Zweifellos ist die Familie der Fagaceae mit ihren drei Unterfamilien, darunter die Quercoideae, eine erdgeschichtlich sehr alte Familie. Bereits in der Kreidezeit existieren zahlreiche Arten. Im Tertiär waren alle heute bekannten Gattungen der Familie Fagaceae in reicher Formenfülle entwickelt.

3. Mikroskopische Bestimmung von Hölzern

3.1 Archäologische Funde

Folgenden Hinweise liefern kurze Informationen über klassische und moderne Methoden der Holzbestimmung, über weiterführende Literatur und über Bezugsadressen von Computer-unterstützten Systemen. Über grundlegende physikalische und chemische Vorgänge des aeroben und anaeroben Holzabbaus bei subfossilen und fossilen Hölzern informieren (u.a.) Publikationen von MÜLLER-STOLL (1951), GROSSER, FENGEL & SELMEIER (1974), GROSSER 1978 und SCHWEINGRUBER (1976, 1978). Die Methoden der Archäologie und eine Einführung in 15 verschiedene naturwissenschaftliche Techniken, darunter auch Beiträge über die Untersuchung von Hölzern (GROSSER), werden von HROUDA (1978) ausführlich und lesenswert besprochen.

3.2 Nadelhölzer

Die jetztzeitlichen Koniferen-Hölzer, Pinnatae, umfassen 9 Familien, 68 Gattungen mit etwa 580 Arten. Das Holzgewebe besteht zu 90 – 95 % nur aus einem einzigen Zelltyp, den sogenannten Tracheiden oder Holzfasern. Diese einfache, homoxyle Struktur liefert daher nur wenige anatomische Merkmale zur jeweiligen Abgrenzung der annähernd 600 Arten. Eine sichere Identifizierung aufgrund diagnostisch verwertbarer Merkmale, z. B. Form der Wandtupfel, ist daher besonders bei subfossilen und fossilen Hölzern vielfach mit Schwierigkeiten verbunden.

3.3 Laubhölzer

Unter den heutigen Laubhölzern (Dicotyledonae) existieren etwa 25000 verschiedene Holzarten. Einschließlich der holzigen Zwergsträucher, der Lianen, der Bäume und Sträucher, umfaßt das hierarchisch-taxonomische System etwa 340 Familien. Nur die marktgängigen Holzarten, etwa 500-1000 verschiedene Nadel- und Laubhölzer, sind sowohl mikroskopisch als auch in ihren technisch verwertbaren Eigenschaften hinreichend untersucht. Im Vergleich zu den Nadelhölzern haben die Laubhölzer spezielle, axial verlaufende Leitungsbahnen, die sogenannten Tracheen oder Gefäße. Die etwa 25000 Laubholzarten zeigen infolge wechselnder Kombination von vielen, unterschiedlichen Zelltypen eine nahezu unübersehbare Vielfalt und Variation in ihrer dreidimensionalen Feinstruktur. Diese anatomische Vielfalt, bedingt durch genetische Faktoren der jeweiligen Taxa, erfährt eine zusätzliche Prägung durch abiotische Faktoren der Umwelt. Beispiele: Licht, Temperatur, Niederschlag, Nährstoffe, Wind, Begrenzung des Wurzelraumes, mechanische Störungen, Luft- und Bodenbelastung, Brandschädigung (SCHWEINGRUBER 1993, CHAPMANN 1994).

Eine verbindliche Anleitung zu einer standardisierten Beschreibung von Laubhölzern liegt seit 1989 vor (Wheeler et al.). Diese sogenannte IAWA Liste (1989) berücksichtigt und erläutert 163 verschiedene Merkmale

3.4 Methoden der Holzbestimmung

Klassische Methoden und Hilfsmittel:

Zur Bestimmung eines Holzes unbekannter oder bekannter Herkunft werden jeweils Vergleiche mit bereits xylem-anatomisch identifizierten Holzproben durchgeführt. Beispiele: Vergleichsmuster als Brettchen oder Furniere, Makro- und Mikrofotographien von regionalen Holzfloren, Dünnschnitte von institutionellen Xylotheiken als Vergleichspräparate, langjährige eigene Erfahrungen, gedruckte dichotome oder tabellarische Bestimmungsschlüssel, Listen mit anatomischen Merkmalsübersichten, Hand- und Maschinenlochkarten, chemische Analysen von Inhaltsstoffen (WAGENFÜHR 1989, GROSSER 1977, 1978, SCHOCH 1990). In einem lesenswerten Überblick informieren in jüngster Zeit WHEELER & Baas (1998) über alle aktuellen Probleme der Holzbestimmung in Praxis und Wissenschaft.

Computer-unterstützte Verfahren:

Bei Computer-unterstützten Methoden (CD-ROM) kann die Bestimmung mit einem beliebigen anatomischen Merkmal begonnen werden (multiple entry). Der Bildschirm zeigt per Mausklick farbige, faszinierende mikroskopische Fotos von Dünnschnitt-Präparaten, geeignet für eine relativ rasche, eingrenzende Identifikation. Merkmalsübersichten und Hinweise auf Literatur stehen zusätzlich zur Verfügung. Ein in Europa bekanntes Programm, anwendbar unter MS DOS und MS Windows, ist DELTA/INTKEY (deutsch, englisch, spanisch). Bezug: Dr. H. G. Richter, Leuschnerstr. 91, D-21031 Hamburg. E-mail: hrichter@holz.uni-hamburg.de

4. Dank

Die Untersuchung der verkohlten Holzreste hat Herr Dr. med. M. MOOSAUER angeregt. Für die zeitaufwendige Anfertigung der Dünnschliffe danke ich Herrn HEINZ MERTEL, München. Für Filmentwicklung und Bildabzüge gilt der Dank Herrn G. BERGMEIER, für die Aufnahme des Querbruches (Abb.3) danke ich Herrn R. ROSIN. Herr Dr. D. GROSSER, Akademischer Direktor, Institut für Holzforschung, Technische Universität München, erlaubte den Zugang zur Xylothek und zur Spezialliteratur.

5. Literatur

- BRAZIER, J. D. & FRANKLIN, G.L. (1961): Identification of hardwoods. A microscope key. - VIII + 96 p., 32 pls.; London (Her Majesty's Stationary Office).
- CARLQUIST, S. (1988): Comparative Wood Anatomy. - 436 p., 101 figs.; Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo (Springer).
- CHAPMANN, J. L. (1994): Distinguishing internal developmental characteristics from external palaeoenvironmental effects in fossil wood. - Rev. Palaeobot. Palyn. 81: 19-32, 4 figs., 2 tabs.; Amsterdam.
- CUTLER, D. F., RUDALL, P. J., GASSON, P. E. & GALE, R. M. O. (1987): Root Identification Manual of Trees and Shrubs. - 245 p., 549 figs., 5 tabs.; London (Chapman and Hall).
- FRERE, H., HERMAN, M. & AVELLA-SHAW, T. (1996): On the use of quantitative anatomy to discriminate the wood of sessile (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and pedunculate oaks (*Quercus robur* L.) - IAWA, 17: 244-245; Leiden (Rijksherbarium).
- GREGORY, M. (1994): Bibliography of systematic wood anatomy of Dicotyledons. - IAWA Journal Supplement 1, 265 p.; Leiden (Rijksherbarium).
- GREGUSS, P. (1959): Holz Anatomie der europäischen Laubhölzer und Sträucher. - 2. Aufl., 330 S., 303 Taf.; Budapest (Akademiai Kiado).
- GROSSER, D. (1977): Die Hölzer Mitteleuropas. Ein mikrophotographischer Lehratlas. - 288 S., 87 Abb., 64 Taf., 3 Beil.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- GROSSER, D. (1978): Holzbestimmungen. - In: HROUDA, B. [Hrsg.], Methoden der Archäologie, S. 298-323; München (C.H. Beck).
- GROSSER, D., FENGEL, D. & SELMEIER, A. (1974): Untersuchungen an alten und fossilen Hölzern. - Forstwiss. Centralbl., 93: 332-346, 21 Abb.; München.
- HEPP, S. (1995): Antike Schlackenfunde. Alter der Eisenverhüttung bei Bernstorf noch nicht bekannt. - Südd. Zeitung, Nr. 122: 137; München.
- HROUDA, B. [Hrsg.], (1978): Methoden der Archäologie. Eine Einführung in ihre naturwissenschaftlichen Techniken. - 392 S., München (C.H. Beck).
- HUBER, B. & ROUSCHAL, Christine (1954): Mikrophotographischer Atlas mediterraner Hölzer. - 105 S., 184 Abb.; Berlin-Grunewald (F. Haller).
- IAWA Committee on Nomenclature (1989): IAWA list of microscopic features for hardwood identification. - IAWA Bull. n.s., 10: 219-332, 190 figs.; Leiden (Rijksherbarium).
- ILIC, J. (1991): CSIRO Atlas of Hardwoods. - 525 p., 11556 figs.; Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona (Springer).
- KRAHL-URBAN, J. (1959): Die Eichen. Forstliche Monographie der Traubeneiche und der Stieleiche. - 288 S., 110 Abb.; Hamburg u. Berlin (P. Parey).
- KRESTEN, P. (1996): Analyse des Schlackenwalles von Bernstorf, Bayern, BRD (Gero 15). - Geoarchäologie, Forschungsbericht R03, 11 S., 5 Abb., 3 Tab.; UV-Uppsala (Maschinen-schrift).
- KRÜSSMANN, G. (1976): Handbuch der Laubgehölze, I - 486 S., 791 Abb., 16 Taf.; Berlin u. Hamburg (P. Parey).
- LANG, G. (1994): Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. - 462 S., 177 Abb., 54 Tab.; Jena, Stuttgart, New, York (G. Fischer).
- LANSER, K. P., SELMEIER, A. & SKUPIN, K. (1999): Ein Auentrassenprofil der Lippe westlich von Lippstadt. - Geol. Paläont. Westf., 52: 59-79, 12 Abb., 1 Tab.; Münster.
- METCALFE, C.R. & CHALK, L. (1950): Anatomy of the Dicotyledons, 1 u. 2. - 1500 p., 317 figs., 6 tabs., 5 diagrams; Oxford (Clarendon Press).
- MOOSAUER, M. & BACHMEIER, T. (2000): Bernstorf - Die versunkene Stadt aus der Bronzezeit. - 111 S., 136 Abb.; Stuttgart (K. Theiss).
- MÜLLER-STOLL, W. R. (1951): Mikroskopie des zersetzten und fossilisierten Holzes. - In: Freund, H., Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. V (2): 725-816; Frankfurt a. Main.
- PRIOR, J. & ALVIN, K.L. (1983): Structural changes on charring woods of *Dichrostachys* and *Salix* from Southern Africa. - IAWA Bull. n.s., 4: 197-206, 25 figs.; Leiden (Rijksherbarium).

- SCHOCH, W. H. (1990): Möglichkeiten der Holzanalyse. In: Die ersten Bauern, Bd. 1: 43-52, 18 Abb.; Zürich (Schweiz. Landesmuseum).
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1976): Prähistorisches Holz. - *Academica helvetica* 2, 106 S., 29 Abb.; Bern, Stuttgart (P. Haupt).
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1978): Mikroskopische Holzanatomie. - 226 S., zahlr. Taf.; Reufen AR (Flück-Whith).
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1990): Atlas mitteleuropäischer Hölzer. - 802 S., 3473 Abb., 589 Zeichn.; Bern u. Stuttgart (P. Haupt).
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1993): Jahrringe und Umwelt Dendroökologie. - 474 S., zahlr. Abb.; Birmensdorf (Eidg. Forschungsanstalt WSL).
- SELMEIER, A. (1963): Étude botanique de charbons de la Grotte de la Vache à Alliat. - *Bull. Sec. Préhistorique de l'Ariège*, 58: 57-66, 8 figs. 4 tpls.; Ariège (France).
- SELMEIER, A. (1971): Ein verkieseltes Eichenholz aus jungtertiären Schichten Niederbayerns (Aidenbach). - *Mitt. Bayer. Staatsslg. Paläont. hist. Geol.*, 11: 205-222, 5 Abb., 2 Taf.; München.
- SELMEIER, A. (1986): Verkieselte Fagaceen-Hölzer aus jungtertiären Schichten Bayerns. - *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, 86: 233-247, 9 Abb.; Frankfurt a. M.
- SELMEIER, A. (1988): Holzfunde (im Iran). - In W. KLEISS [Hrsg.], *Bastam II, Ausgrabungen in den Urartäischen Anlagen 1977-1978*, S. 319-326, 2 Taf.; Berlin (Gebr. Mann Verlag).
- SELMEIER, A. (1992): Verkieselte Eichenhölzer, *Quercoxylon* KRÄUSEL 1939, aus jungtertiären Schichten des nordalpinen Molassebeckens. - *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, 147: 295-307, 5 Abb.; Frankfurt a. M.
- SELMEIER, A. & VELITZELOS, E. (2000): Neue Aufsammlungen von verkieselten Holzresten aus tertiären Schichten Griechenlands (Lesbos, Kastoria, Thrakien). - *Mitt. Bayer. Staatsslg. Paläont. hist. Geol.*, 40: 213-227, 10 Abb., 3 Tab.; München.
- STERN, W. L. (1988): *Index Xylariorum. Institutional wood collections of the world*. 3. - *IAWA Bull. n.s.*, 9: 203-252; Leiden (Rijksherbarium).
- WAGENFÖHR, R. (1989): *Anatomie des Holzes*. - 4. Aufl., 334 S., 143 Abb., 50 Tab., 146 Fotos; Leipzig (VEB).
- UNGER, H.J. (2001a): Grabung Bernstorf. Topographie und Geologie.- *Documenta naturae*, 134: 1-10; München.
- UNGER, H.J. (2001b): Durch Brandeinwirkung veränderte Lockersedimente des bronzezeitlichen Walls bei Bernstorf.- *Documenta naturae*, 134: 11-39; München.
- WHEELER, E. A. & BAAS, P. (1998): Wood identification - a review. - *IAWA*, Vol. 19: 241-264, 26 figs.; Leiden (Rijksherbarium).
- WHEELER, E. A., BAAS, P. & GASSON, P. E. (1989): *IAWA list of microscopic features for hardwood identification*. - *IAWA Bull. n.s.*, 10: 219-332, 190 figs.; Leiden (Rijksherbarium).