

## RESTAURIERUNG UND KONSERVIERUNG VON BERNSTEINFUNDEN AUS MITTELBRONZEZEITLICHEN GRABHÜGELN

Die Planungen zur Erweiterung eines Logistikzentrums nördlich der Ortschaft Ilmendorf (Stadt Geisenfeld, Lkr. Pfaffenhofen a. d. Ilm, Bayern) führten im Herbst/Winter 2008/2009 zu einer insgesamt siebenmonatigen Ausgrabung. Die wesentlichen Befunde waren mittelbronzezeitliche Grabhügel, in denen u. a. ein umfangreiches Bernsteinensemble geborgen wurde. Auf dessen restauratorischer und konservatorischer Behandlung liegt hier der Schwerpunkt.

### Ausgangsbasis

Das Planungsgebiet befindet sich in einem Bereich, in dem neben zahlreichen Luftbildbefunden auch obertägige Denkmäler in Form von insgesamt 15 Grabhügeln erkennbar waren (**Abb. 1**). Nicht zuletzt diesem Erhaltungszustand der Geländedenkmäler waren die Versuche der Unteren Denkmalschutzbehörde und des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege (BLfD) geschuldet, eine Umplanung mit dem Ziel des Denkmalerhaltes zu erreichen. In einer Abwägung seitens des kommunalen Entscheidungsträgers wurde jedoch der »Standortentwicklung« Vorzug gegenüber dem Denkmalerhalt gegeben.

Entsprechend der bayerischen Rechtsprechung war somit eine Rettungsgrabung im Vorgriff auf die eigentlichen Baumaßnahmen durchzuführen. Für die Finanzierung solcher Rettungsgrabungen ist der Initiator des Bauvorhabens verantwortlich<sup>1</sup>. Ebenso ist auch die Finanzierung der Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen archäologischer Funde



**Abb. 1** Luftbild des Geländes im Gewerbegebiet Ilmendorf vor dessen Erschließung. In dem kleinen quadratischen Wald und östlich davon lagen bzw. liegen die noch obertägig sichtbaren Grabhügel. Erkennbar sind außerdem einige kreisförmige Befunde, die jedoch im Zuge der Ausgrabung 2008/09 nicht mehr dokumentiert werden konnten. Es ist zu vermuten, dass die Befunde seit Entstehung des Luftbildes restlos erodiert sind, denn vergleichbare Luftbildbefunde in den westlich benachbarten Flächen wurden während der dortigen Ausgrabungskampagnen 1992-1998 noch als Reste von Kreisgräben und Grabhügeln angesprochen (Luftbildarchiv Nr. 7334\_206\_5707\_25\_Ilmdorf, BLfD).

zu den Verantwortlichkeiten der Träger von Bauvorhaben zu zählen<sup>2</sup>.

Die Feldarbeiten fanden vom 14. März 2008 bis zum 7. April 2009 statt. Trotz des strengen Winters konnte unter Zuhilfenahme beheizbarer Zelte bis auf wenige Tage kontinuierlich, wenn auch mit reduzierter Mannschaft gearbeitet werden. Nach Abschluss der Dokumentation, Fundreinigung und Berichtslegung durch die Grabungsfirma wurde in der Zeit vom 1. März bis zum 31. Oktober 2010 die



**Abb. 2** Übersicht über den östlichen Teil der Grabungsfläche von Süden. Im Hintergrund (Norden) ist der gerodete Mischwald zu erkennen (Foto A-D-V GmbH).

Mitverfasserin Bettina Berger im Rahmen der sogenannten Projektwerkstatt des BLfD mit den notwendigen Konservierungsarbeiten betraut.

Die Ausgrabungen umfassten insgesamt eine Fläche von 37 100 m<sup>2</sup>. Auf einer Fläche von rund 10 000 m<sup>2</sup> befand sich ein kleiner Mischwald mit einem 60-100 Jahre alten Baumbestand. Innerhalb dieses Waldes konnten bei einer der Grabung vorangehenden Geländeaufnahme elf Grabhügel identifiziert werden. Vier weitere Hügel lagen deutlich verflacht außerhalb des Waldes. Die restliche Fläche wurde vor Beginn der Ausgrabung als Wiese genutzt. In diesem Bereich wurde der Oberboden maschinell abgetragen und anschließend eine Flächengrabung durchgeführt (**Abb. 2**). Im Bereich der Grabhügel wurden zunächst die rund 500 Bäume gefällt, Strauch- und Astwerk, Nadeln sowie Blätter entfernt und somit ein »besenreines« Planum des Waldbodens hergestellt. Die Baumstümpfe verblieben im Boden und wurden erst im Zuge der Ausgrabung der Grabhügel sukzessive freigelegt und dann entnommen. Die Ausgrabung der Grabhügel erfolgte in durch Quadranten unterteilte Sektoren nach natürlichen Schichten. In einigen Hügeln wurden, in Anpassung an die Befundsituation, alle Funde dreidimensional eingemessen<sup>3</sup>.

## Geländebefunde

Unter den Siedlungsbefunden sind insgesamt drei rekonstruierbare Hausgrundrisse erwähnenswert. Besonders gut erhalten war ein zweischiffiger Bau mit leicht bootsförmigem Umriss mit maximal 29,5 m Länge und 9 m Breite. Der Nord-Süd-orientierte Grundriss weist schmale Außenwandgräben auf, die teilweise durch eine zusätzliche Pfostenreihe verstärkt wurden. Im Süden sprechen Pfosten-setzungen für einen antenartigen Vorbau. Der Zugang, erkennbar an der Unterbrechung des Wandgrabens, befand sich mittig in der südlichen Querwand und war ca. 2,5 m breit. Zu diesem Befund finden sich zahlreiche Vergleiche in bronzezeitlichen Siedlungen der näheren und weiteren Umgebung (z. B. Bankus 1995. – Nadler 1997).

Eine weitere Befundgattung sind insgesamt drei Kreisgräben mit Durchmessern von 5,3 m, 10,3 m und 53,5 m. Alle drei Befunde weisen einen Sohlgraben auf. Weiterhin ist jeweils eine Unterbrechung des Grabens belegt. Diese, als Zugänge gedeuteten Unterbrechungen, lagen im Süden, Nordosten bzw. Südwesten der drei Gräben. Der kleinste Kreisgraben wies im Inneren eine quadratische Vierpfostenstellung von 2,2 m Kantenlänge auf, die auf der Mitte der östlichen Seite von einem aus der Achse verschoben Pfosten begleitet wurde. Die Funktion dieser Pfostenstellung bleibt auch aufgrund fehlender Funde unklar. Die beiden größeren Gräben lieferten ebenfalls nur wenig mittelbronzezeitliches Fundmaterial; in ihrem Inneren fanden sich keine weiteren eindeutig zuzuordnenden Befunde. In den angelegten Grabenprofilen konnten keine Hinweise auf vom Inneren her eingelagertes Material entdeckt werden, das eventuell von einem durch die Gräben umgrenzten Erdhügel stammte. Somit muss auch für die großen Kreisgräben eine klare Funktionszuweisung unterbleiben.

Den Schwerpunkt der Arbeiten bildete die Ausgrabung von zehn der oben genannten 15 Grabhügel, wobei sich im Zuge der Arbeiten herausstellte, dass es sich bei einem der im Gelände erkennbaren Hügel tatsächlich um zwei miteinander »zusammengewachsene« Hügel handelte. Somit waren auf





**Abb. 3** Auswahl der Beigaben aus Grab 904 sowie verlagerte Funde aus diesem Grabhügel (Dolchklänge und goldener Lockenring), deren Zugehörigkeit zur Bestattung 904 nicht geklärt ist (Foto St. Friedrich, ASM).

dem Gelände insgesamt 16 Hügel überliefert, von denen elf in der Kampagne 2008/2009 ausgegraben wurden<sup>4</sup>. Die Hügel waren kreisförmig bis oval und wiesen Durchmesser zwischen 11,1 und 25,5 m auf, die noch erhaltene Höhe lag zwischen 0,45 und 1,02 m. Gemeinsam ist den Hügeln eine hohe Dichte an Einzelfunden in der Hügelschüttung sowie in acht Fällen ein durch die bodenkundliche Beurteilung nachweisbar ähnlicher Hügelaufbau<sup>5</sup>. Zudem zeichnen sich alle Bestattungen in den Hügeln durch eine sehr schlechte Knochenhaltung aus. Anhand der Beigaben können dennoch mindestens zwei Körperbestattungen und vier Brandschüttungsgräber rekonstruiert werden, die in die mittlere Bronzezeit zwischen 1600 und 1300 v. Chr. datiert werden. Hinzu kommt eine eisenzeitliche Nachbestattung.

## Funde

Das Fundspektrum der Grabung besteht im Wesentlichen aus Einzelscherben, die aus den Hügelschüttungen der Grabhügel stammen. Außerdem wurden auffallend viele Silexgeräte geborgen. Vollständige Gefäße und Bronzegegenstände liegen nur in geringen Stückzahlen vor, ermöglichen aber dennoch eine chronologische Einordnung der Befunde. Hervorzuheben sind die gut erhaltenen Beigaben der Gräber 904, 716 und 304 (Abb. 3-6).

Bei der Vorstellung der restauratorischen Maßnahmen beschränken wir uns auf die Bestattung aus Befund 304 (Abb. 7). In diesem mutmaßlichen Körpergrab einer Frau befanden sich rund 250 Bernsteinfunde, zumeist zylindrisch geformte Perlen mit einem Durchmesser von durchschnittlich 0,5 cm.



**Abb. 4** Auswahl der Beigaben aus Grab 716 (Foto St. Friedrich, ASM).



**Abb. 5** Auswahl der Beigaben aus Grab 304, hier die zehn bronzenen Stachelscheiben mit den bronzenen Nadeln (Foto St. Friedrich, ASM).

Dazwischen wurden rechteckige und segmentförmige Schieber aus Bernstein mit jeweils fünf Bohrungen und einige kleine dreieckige Anhänger geborgen. Im selben Bereich, teils zwischen den Perleihen, wurden Spirälrollchen aus Bronze, Glasperlen, ein Steinanhänger sowie eine linsenförmige Perle dokumentiert. Aufgrund der Fundverteilung im Grab wird dieses Areal als Kopfbereich angesehen, Skeletteile sind nicht erhalten.

Im Brustbereich, zwischen zwei gravierten und punzierten, bronzenen Blecharmreifen, wurden zehn Stachelscheiben, zwei Nadeln und weitere Bronzespirälrollchen geborgen. Unter den Stachelscheiben hatten sich organische Materialien des Gewandes, Fragmente des Skelettes und entomologische Reste erhalten. Aus diesem Grund wurden diese Bereiche in kleinen Abschnitten *en bloc* geborgen. Der schlechte Erhaltungszustand der organischen Reste





**Abb. 6** Auswahl weiterer Beigaben aus Grab 304 (Foto St. Friedrich, ASM).

ließ kaum Spielraum für eindeutige Interpretationen. Das Gewebe der textilen Reste konnte zwar nicht vollständig rekonstruiert werden, jedoch sprechen mehrere Befunde für eine Körperbindung. Bei nur einem etwas besser erhaltenen Textilfragment laufen zwei Fäden (Fadensystem 1) unter einem im 90°-Winkel dazu liegenden Faden (Fadensystems 2). Allerdings kann beim Durchlaufen der Systematik eines  $\frac{1}{2}$  Körpers keine Regelmäßigkeit nachgewiesen werden. Es könnte sich demnach auch um ein anderes Muster handeln. Mit Gewissheit kann nur gesagt werden, dass es sich bei dem Textil nicht um ein ausschließlich leinwandbindiges Gewebe handeln kann. Die Breite der Fäden beträgt ca. 0,8mm. Beide Fadensysteme sind in S-Richtung gedreht, eine Bestimmung der Faserart war weder mittels Durchlichtmikroskopie noch durch Rasterelektronenmikroskop (REM)-Aufnahmen eindeutig möglich. Bei der entomologischen Untersuchung der ange- troffenen Reste, durchgeführt von Frank Reckel (LKA München), wurden Vertreter aus zwei ver-



**Abb. 7** Fundsituation des Kopf- und Brustbereichs im Frauen- grab 304 (Foto A-D-V GmbH).

schiedenen Insektengruppen nachgewiesen. In den Erdresten um die Stachelscheiben und unter den Textilresten wurden Fragmente von Röhrenschildläusen identifiziert. Diese stellen keine typischen leichenbesiedelnden Insekten dar und können somit auch nicht zwingend mit der Grablege in Zusammenhang gebracht werden. Auch aufgrund des sehr guten Erhaltungszustandes muss damit gerechnet werden, dass die gefundenen Röhrenschildläuse deutlich jünger sind. Bei der zweiten Art von Insektenresten, die zwischen den textilen Resten gefunden wurden, handelt es sich um Puppenhüllen von »echten« Fliegen (Familie der *Muscidae*). Diese gehören zu den leichenbesiedelnden Insekten, die in einer etwas späteren Besiedlungswelle auftreten. An diesem Punkt kam die Frage auf, ob man aus diesem Befund schlussfolgern kann, dass die frische Leiche für erstbesiedelnde Insekten vorübergehend unzugänglich war; jedoch kann dies nicht eindeutig angenommen werden, denn die meisten Fliegenarten wandern zur Verpuppung bis zu mehrere Meter in die Umgebung ab und könnten demnach durch die in den Blöcken begrenzte Probenentnahme nicht mehr erfasst worden sein (Reckel 2011). Schlussfolgerungen in Bezug auf eine bestimmte Jahreszeit, in der die Tote bestattet wurde, können aus der nachgewiesenen Fliegenart nicht gezogen werden.

## Archäologischer Bernstein – Restaurierung

### Erstversorgung

Die Befundsituation im Kopfbereich wurde während der Grabung in insgesamt fünf Plana freigelegt und zeichnerisch (M. 1:1), wie fotografisch dokumentiert. Die Erstversorgung der feuchten Bernsteinfunde während der Grabung bestand darin, jede einzelne Perle in einem mit Wasser befüllten PE-Grippbeutel zu verpacken, um sie damit vor dem Austrocknen zu schützen. Anschließend wurden die Funde unmittelbar an das BLfD übergeben und dort

bis zu den Restaurierungsarbeiten dunkel sowie kühl bei konstant 3 °C gelagert.

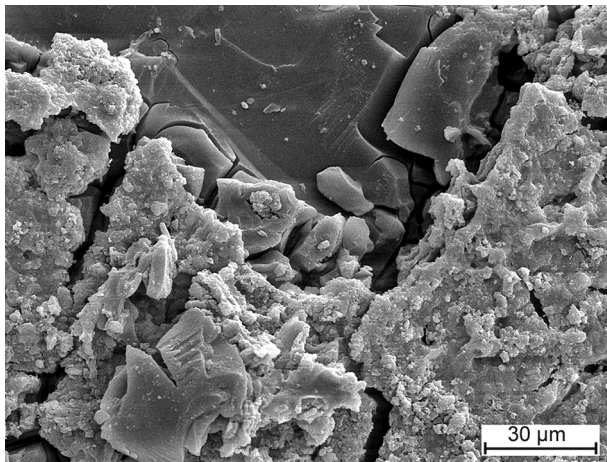
### Zielsetzung und konservatorischer Anspruch

Die Anforderung an die Restaurierung war ein möglichst auswertbarer Endzustand des gesamten Bernsteinkolliers. Die Erstversorgungsmaßnahme stellte hierzu eine neue Herausforderung an die Restaurierung. Bislang konzentrierten sich die Konservierungsmaßnahmen auf trockenes biolithisches Material. Bernstein als Nassfund verursachte eine neue Fragestellung, die Auswirkungen auf die Wahl der Methode hatte.

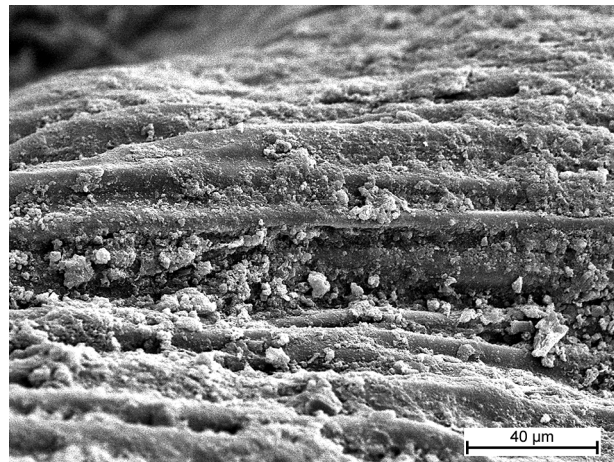
Rund ein Drittel der Bernsteinperlen war zerbrochen. Die Schäden beliefen sich von glatten Brüchen quer durch die Schieber bis hin zu komplexen vielteiligen Zersplitterungen auch der kleinen Perlen. Um die Perlen in einen auswertbaren Zustand zu überführen, musste eine Klebung der Bernsteinobjekte mit vorangehender Trocknung durchgeführt werden. Der unterschiedliche Erhaltungszustand der einzelnen Bernsteinperlen erschwerte die Entscheidung hinsichtlich einer geeigneten Konservierungsmaßnahme. Während manche Perlen, die unter Wasser begutachtet wurden, einen sehr stabilen Eindruck machten, waren andere Bernsteinfunde aus konservatorischer Sicht als kritisch einzustufen.

Unter mikroskopischer Betrachtung zeigten die Oberflächen der meisten Perlen ein deutliches Krakelee. Ein oberflächlicher Formverlust war nur bei wenigen Stücken gegeben. An frischen Bruchstellen wurde ersichtlich, dass ein fließender Übergang der verwitterten Oberfläche zum Kernmaterial besteht. Dies wird ebenfalls in der REM-Aufnahme sichtbar, bei welcher der obere Bereich Einblicke in das besser erhaltene Kernmaterial preisgibt (**Abb. 8**). In den Vertiefungen des Krakelees haben sich Sedimente aus dem umliegenden Erdreich angelagert. An mehreren Perlen wurden auf der Oberfläche schwarze Flecken und eine dickflüssige, faserige Schicht festgestellt. Auch hier zeigt eine REM-Aufnahme deutlich den Mikrofilm auf der Oberfläche eines Bernsteinsplitters (**Abb. 9**). Diese Indikatoren deuten auf





**Abb. 8** REM-Aufnahme der abgebauten Oberfläche (Foto Ch. Gruber, BLfD).



**Abb. 9** REM-Aufnahme des mikrobiologischen Befalles auf der Bernsteinoberfläche (Foto Ch. Gruber, BLfD).

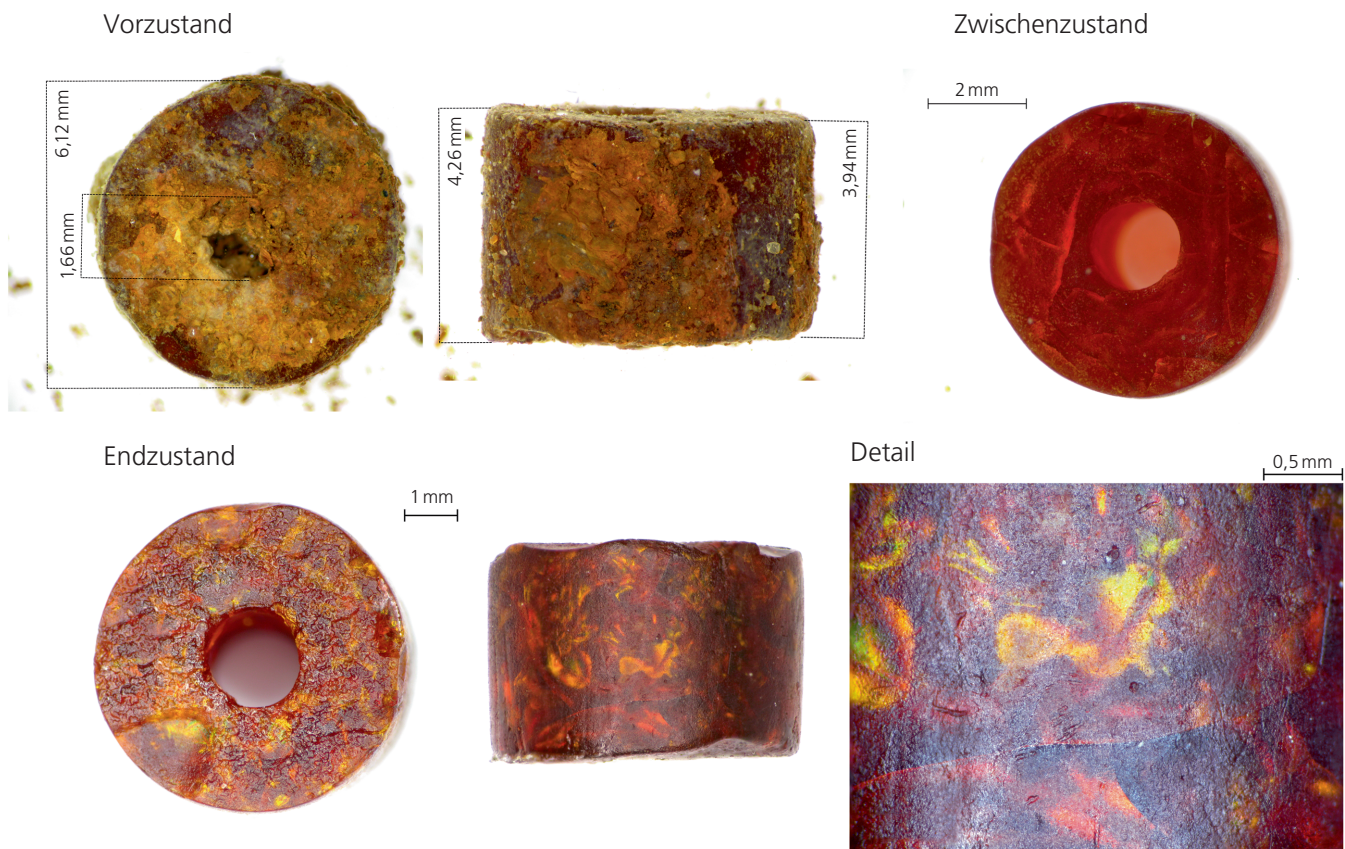
einen rezenten mikrobiologischen Befall der Perlen hin. Auch die PE-Grippbeutel, in denen die Perlen bis zu den Restaurierungsarbeiten lagerten, wiesen auf der Innenseite mikrobiologischen Befall auf. Trotzdem hatte die Erstversorgungsmaßnahme der Grabungsfirma einen relativ guten Erhalt der Bernsteinartefakte zur Folge. Zum Vergleich mit den nass gelagerten Objekten stehen Bernsteinperlen zur Verfügung, die irrtümlicherweise zusammen mit angrenzenden Bronzeröllchen nicht in Wasser verpackt wurden und dadurch vertrocknet sind. Auch Bernsteinperlen aus einem Gefäß eines angrenzenden Grabhügels, die mit den im Block geborgenen Scherben und Erdreich belassen wurden, trockneten aus. Diese unkontrollierte Austrocknung hatte zur Folge, dass die Oberflächen dieser Perlen stark abgebaut wurden und bröselten.

Um einen Überblick über die Abbaugrade der Bernsteine zu erhalten, wurde der sehr unterschiedliche Erhaltungszustand jeder Perle kategorisiert. Dabei wurden die rund 250 Objekte mikroskopisch betrachtet und mit digitaler Mikrofotografie dokumentiert, um sie schließlich in fünf Kategorien einzuordnen. Den Grundstein für eine Kategorisierung des Erhaltungszustandes hat Alexandra Jeberin in ihrer Diplomarbeit über archäologischen Bernstein gelegt (Jeberin 2003). Als Resultat ihrer Abschlussarbeit kam sie u. a. zu dem Schluss, dass Objekte mit unterschiedlichem Zerfallsgrad auch unterschied-

licher Behandlung bedürfen. Jeberin stellt in ihrer Arbeit als problematisch fest, dass das fehlende Wissen um Abbauprozesse zu einer Vielzahl von unterschiedlichen Konservierungsmethoden führe. Die Bernsteinfunde würden von den zuständigen Bearbeitern nach deren subjektiver Beurteilung bewertet und behandelt, weil eine einheitliche, objektive Bewertung oder ein Bewertungskatalog nicht verfügbar sei (Jeberin 2003, 9).

Da es auch derzeit keine weiteren Ausführungen dazu gibt, müssten in erster Linie weitere Parameter evaluiert werden. Diese grundlegende Forschungsarbeit war jedoch nicht Bestandteil dieses Projektes, weshalb der Abbaugrad der Bernsteinperlen angelehnt an Jeberins Bewertungskriterien beurteilt wurde.

Nach der mikroskopischen Sichtung, fotografischen Dokumentation des Vorzustandes und Vermessung der Perlen aus Befund 304 wurde exemplarisch von fünf Perlen ein Arbeitsblatt zusammengestellt. Diese fünf Perlen repräsentieren die verschiedenen Stadien des Zerfalles besonders gut und wurden deshalb zur Kategorisierung des Gesamtkomplexes herangezogen. Nachfolgend sind die fünf unterschiedlichen Kategorien A bis E genauer erläutert. In den **Abbildungen 10-14** wird der Vorzustand der Perlen jeweils zunächst in der Aufsicht unter Wasser gezeigt; daneben aufgesteckt auf eine Nadel der nasse Perlrücken. Im Zwischenzustand ist die Perle nach der Reinigung mit Haarpinseln unter Wasser zu



**Abb. 10** Kategorie A (Foto B. Berger, BLfD).

sehen. Hierzu ist zu bemerken, dass in dieser Phase des Projektes eine Bewertung für das Konservierungskonzept getroffen werden muss. Die poröse Oberfläche und die Risse des Krakeeles sind mit Wasser gefüllt und zeigen mitunter nicht das vollständige Ausmaß an Zerstörung. Bedingt durch den Brechungsindex des Wassers wirkt die Oberfläche oft besser erhalten, als sie in Wirklichkeit ist. Optische Merkmale für einen fortgeschrittenen Abbaugrad waren gezackte, helle Außenränder. Als weiteres Merkmal gilt die Kruste aus anhaftendem Sediment. Bei den besser erhaltenen Perlen konnte diese Kruste leicht mit feinen Haarpinseln reduziert werden. Je schlechter der Erhaltungszustand, desto inhomogener war die Oberfläche. Das anhaftende Sediment konnte nicht entfernt werden, ohne die abgebaute Oberfläche zu zerstören, und wurde aus diesem Grund bei einigen Perlen belassen. In der unteren Zeile der **Abbildungen 10-14** ist die Perle be-

reits nach der Tränkung in Polyethylenglycol abgebildet (Aufsicht, Perlücken, Detail der Oberflächenstruktur). Eine genauere Erklärung zur Tränkung erfolgt in den folgenden Abschnitten.

#### Kategorie A

Perlen aus dieser Kategorie sind gut erhalten und je nach Bernsteinart transluzent mit Flinten oder opak. Sie besitzen eine glatte und homogene Oberfläche, bei der Bearbeitungsspuren noch erhalten sind. Die Sedimentkruste ist sehr feinkörnig sowie dicht und lässt sich leicht mit Pinseln oder Dentalbürstchen in destilliertem Wasser wegwischen oder zerstörungsfrei mit Holzstäbchen abnehmen (**Abb. 10**).

#### Kategorie B

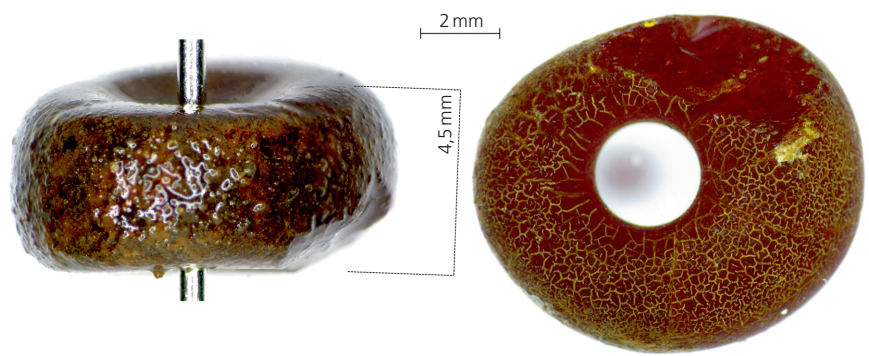
Die Oberfläche ist deutlich krakeliert, jedoch noch erhalten. Die Risse weisen eine gleichmäßige Netz- oder Gitterstruktur auf. Der Bernstein wirkt den-



Vorzustand



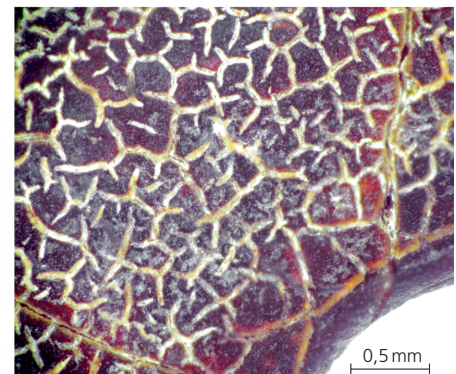
Zwischenzustand



Endzustand

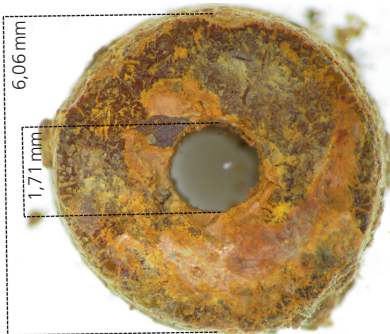


Detail

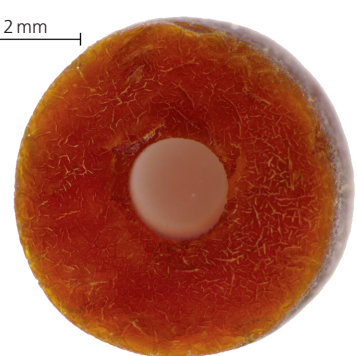
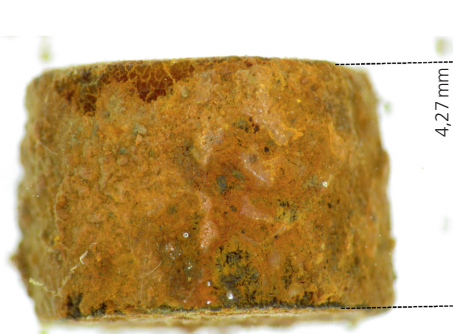


**Abb. 11** Kategorie B (Foto B. Berger, BLfD).

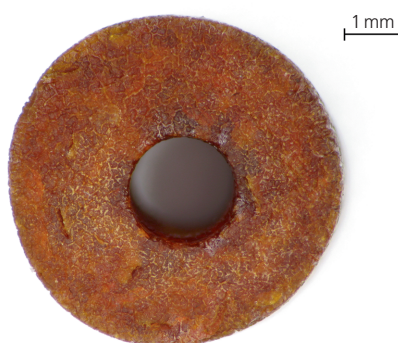
Vorzustand



Zwischenzustand



Endzustand



Detail



**Abb. 12** Kategorie C (Foto B. Berger, BLfD).





**Abb. 13** Kategorie D (Foto B. Berger, BLfD).

noch homogen und scheint auf den Inseln zwischen den Rissen transluzent. Die sandigen Partikel des Sedimentes sitzen lose in den Rissen und können mit Pinseln im Wasser leicht entfernt werden (**Abb. 11**).

#### Kategorie C

Die Oberfläche ist krakeliert und körnig, ihr ursprünglicher Zustand kaum noch wahrnehmbar. Trotzdem ist die Oberfläche gegenüber mechanischen Einwirkungen (Reinigung mit Pinsel) stabil. Auch transluzente Bernsteinarten wirken hier opak. Die Partikel der Sedimentkruste sind sehr feinteilig, generell jedoch ist die Kruste inhomogen (**Abb. 12**).

#### Kategorie D

Die Oberfläche weist eine helle gelb-orangefarbene bis braune Verwitterungsschicht auf, die durch mechanische Einwirkung leicht lösbar ist. In diesem

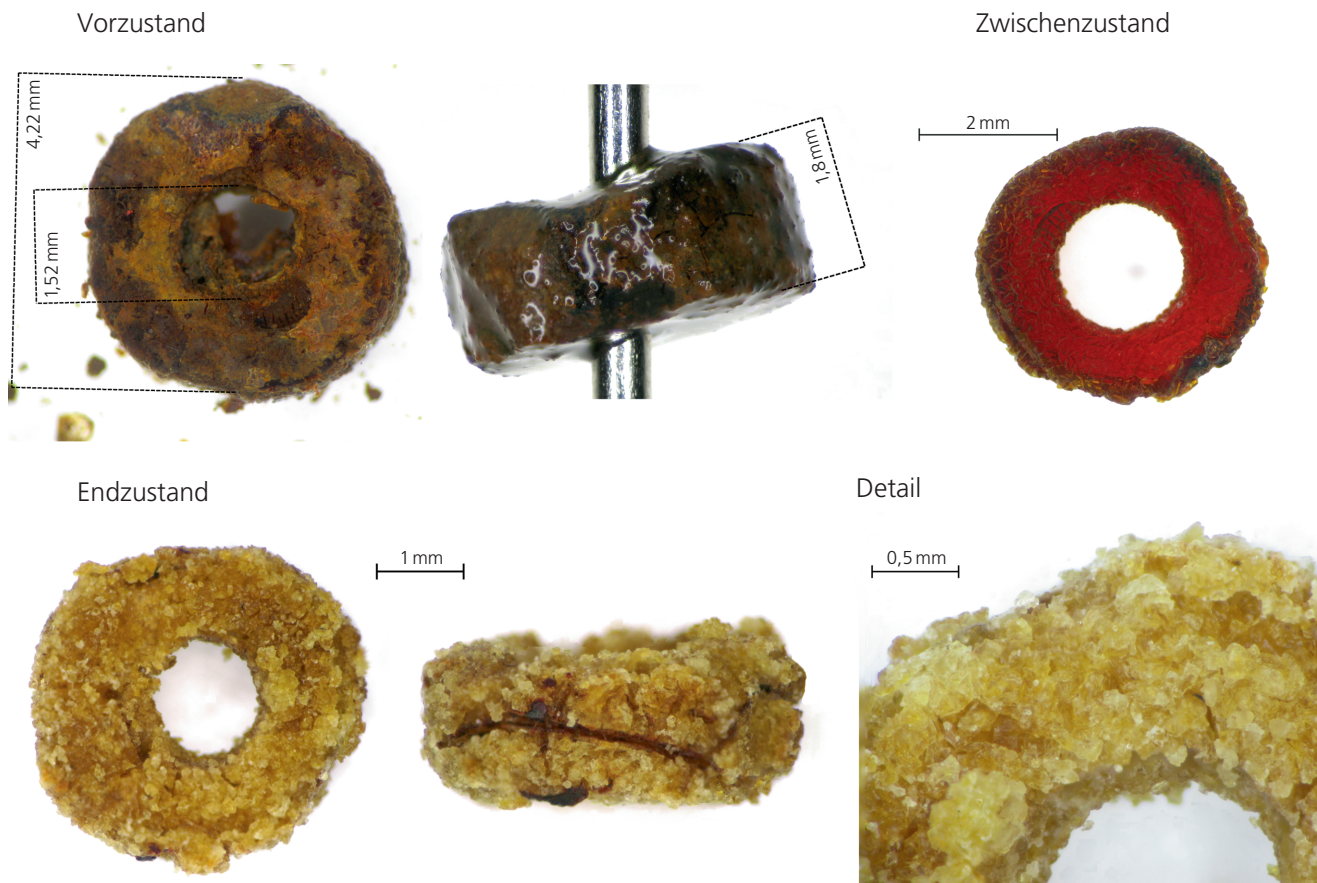
Beispiel ist der farbliche Unterschied vom opaken zum transluzenten Bereich dieser Bernsteinart besonders deutlich. Das durch Verwitterungsprozesse abgebaute Material wirkt deutlich körniger und instabiler. Die anhaftende Sedimentkruste ist inhomogen und weist meist schleimige Bestandteile auf. Hier handelt es sich um den bereits angesprochenen mikrobiologischen Befall, der den Abbau der Oberfläche vermutlich beschleunigt (**Abb. 13**).

#### Kategorie E:

Die Oberfläche ist weitestgehend abgebaut. Bei der Reinigung mit weichen Haarpinseln löst sich die Oberfläche mit der ebenfalls inhomogenen, oft auch schleimigen Sedimentkruste leicht ab. Die Oberfläche ist trotz Festigung körnig (**Abb. 14**).

Interessant ist, dass nach dem Abgleich mit der Grabungszeichnung keine Korrelation bezüglich eines





**Abb. 14** Kategorie E (Foto B. Berger, BLfD).

Bereiches im Kollier und dem Abbaugrad der jeweiligen Bernsteine festgestellt werden konnte. Perlen der Kategorie A lagen zwischen Perlen der Kategorien E und D usw. Daraus lässt sich schließen, dass die Zerfallsursache nicht ausschließlich in der Grabungssituation, folglich im umliegenden Erdreich, zu suchen ist, sondern unter Umständen in der Materialbeschaffenheit selbst.

### Entstehung, Modifikation und Zerfall von Bernstein

Das Material Bernstein bildet sich unter bestimmten Bedingungen nach Jahrmillionen aus der Harzflüssigkeit verschiedener Baumarten in der Erde. In der Nordhemisphäre finden sich diese fossilen Harze vor allem in Sedimenten der Kreidezeit, des Tertiärs und des Quartärs (Ganzelewski / Slotta 1996). Einige

Pflanzen, die Harz für den späteren Bernstein lieferten, konnten identifiziert werden. Für Europa wichtig ist beispielsweise die Kaurifichte, die vereinzelt im Baltischen Bernstein nachgewiesen wurde (Krumbiegel / Krumbiegel 2005, 73). Baltischer Bernstein oder Succinit ist ein Sammelbegriff für fossile Harze mit einem Masseanteil von 3-8% Bernsteinsäure. Liegt dieser Wert darunter, so spricht man von Retinit. Die Bernsteinsäure zeichnet sich beispielsweise bei der FTIR-Analyse (Fourier-Transformation-Infrarot-Spektrum) auf dem infraroten Spektrum signifikant ab und wird daher als »Baltische Schulter« bezeichnet. Archäologischer Bernstein ist oft sehr stark verwittert. In diesem Falle sind FTIR-Analysen mit Vorsicht durchzuführen, denn bei zu starker Verwitterung ist die »baltische Schulter« im FTIR nicht mehr ermittelbar, kann jedoch durch Kernresonanz-Spektroskopie über  $^{13}\text{C}$ -CP-MAS-Mustervergleiche nachgewiesen werden (Lühr 2004, 20).



**Abb. 15** Diese Perle wurde mit Rapsöl gekocht. Beim schnellen Abkühlen bildeten sich Sonnenflinten im zuvor transparenten Material (Foto B. Berger, BLfD).

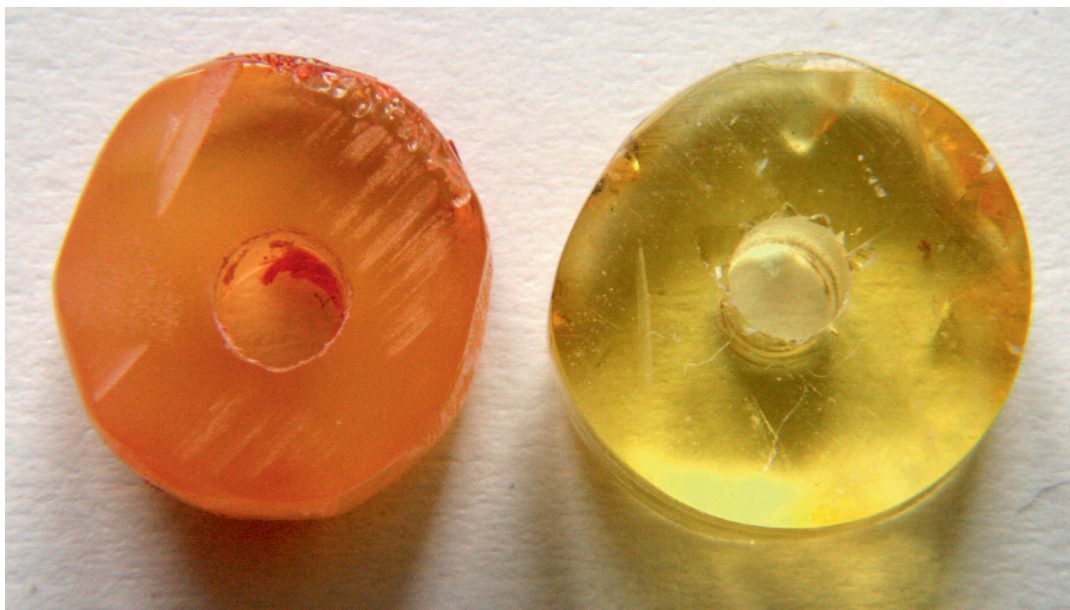
Bei den Bernsteinperlen aus Grab 304 in Ilmendorf handelt es sich nach einer Bestimmung, durchgeführt vom Rathgen Forschungslabor in Berlin, um baltischen Bernstein. Es wurden zwei Perlen und ein Schieber der Kategorien A-B mittels FTIR beprobt. Die Zusammensetzung der fossilen Harze erklärt sich auch in den Abläufen während der »Bernsteinbildung«. Das noch flüssige Harz besteht zum größten Teil aus Harzsäuren und aus flüchtigen aromatischen Verbindungen, die oberflächennah immer mehr ausdampfen. Im Inneren der Harzausscheidungen werden die flüchtigen Bestandteile jedoch in das sich durch Polymerisation verfestigende Material eingeschlossen. Die Polymerisation – ein Vernetzen und Organisieren innerhalb der Harz-Struktur – dauert mehrere tausend Jahre und vermutlich halten diese Prozesse in einem geringen Teil bis heute an. Die eigentliche Versteinierung oder Fossilisation des Harzes wird von der Diagenese bestimmt. Dabei wird ein Mechanismus in Gang gesetzt, bei dem freie Radikale in der Gegenwart von Hitze und Druck bestimmte Prozesse durchlaufen (Shashoua 2002). Nach dieser Wandlung erhält man z. B. Copal, das gemäß seines Stadiums als rezent-fossil

bezeichnet wird, im Gegensatz zu Bernstein einen noch höheren Anteil an niedermolekularer Struktur besitzt und damit andere chemisch-physikalische Eigenschaften aufweist. So ist Copal im Gegensatz zu Bernstein beispielsweise vor allem in polaren Lösungsmitteln löslich. Um aus Copal Bernstein zu erhalten, müssen diese Zustände, die Verflüchtigung der Terpene, Polymerisation und das Umlagern der Struktur im Sediment, Jahrtausende andauern.

Während der Bildung des Bernsteins spielen auch Mikroorganismen eine wahrscheinlich nicht unwesentliche Rolle. Geobiologen der Universität Göttingen erhielten bei einer Studie über die Differenzierung der Mikroorganismen Informationen zu verschiedenen Arten von Organismen aus Lebensräumen, die bis zum Paläogen reichen. Es wird differenziert nach Mikroorganismen, die in das frische, noch flüssige Harz während des Eozäns eingelagert wurden, solche, die während verschiedener Umlagerungen in den Bernstein durch Risse eingedrungen sind, und jene, die sich in jüngster Zeit auf der Oberfläche des Bernsteins angesiedelt haben. Bei der schichtweisen Untersuchung mit dem Elektronenmikroskop wurde auch sichtbar, dass die rezent mikrobiologischen Organismen biologischen Verfall verursachen und damit den Zerfall beschleunigen (Beimforde u. a. 2008, 98). Somit kann man davon ausgehen, dass Bernstein immer einen Nährboden für Mikroorganismen darstellte und immer von mikrobiellen Ansammlungen beeinträchtigt wird.

Nach dem Prozess der Diagenese wurde der Bernstein vom Menschen aus der Erde oder am Strand des Meeres geborgen und verarbeitet. Seit der Antike wurde darüber berichtet, dass der Mensch Bernstein nach seinem Geschmack veränderte. Plinius empfahl zur Klärung opaken Bernsteins Ferkelfett und in Rezepten des vorigen Jahrhunderts wird Rübsamenöl zur »Verbesserung der Qualität, da Öl die Luft austreibt« angewandt (Helm 2005, 84. 94). Auch die sogenannten »Sonnenflinten«, kleine Sprünge im Inneren des Steins, werden durch schnelles Abkühlen künstlich erzeugt (**Abb. 15**). Bei Färberversuchen mit Krapp (**Abb. 16**) und Sandelholz wurde ersichtlich, dass sich vor allem der trübe Bern-





**Abb. 16** Link Perle mit Krapp gefärbt; Rechts eine ungefärbte Perle (Foto B. Berger, BLfD).

stein gut färben lässt. Wie in **Abbildung 17** ersichtlich, neigt das durch die Färbung zusätzlich strapazierte Material, hier die Verwitterungskruste, verstärkt zum Abplatzen. Ob auch den Menschen der Bronzezeit diese weiteren Modifikationsmöglichkeiten – neben dem offensichtlichen Zurichten der Objekte – bekannt waren, kann nur vermutet werden.

Wie sich die Modifikation auf das Material und seine Abbauprozesse auswirkt, ist nach heutigem Kenntnisstand schwer einzuschätzen. Auch inwieweit durch die Bodenlagerung im archäologischen Kontext die Farbigkeit verändert wird oder verloren geht, ist noch nicht erforscht. Generell fehlt im Bezug auf Bernstein jegliche Erfahrung, welche chemischen Veränderungen sich im Erdreich in einem archäologischen Kontext vollziehen. Auch der Einfluss anhaftender Materialien wie Bronze oder organischer Materialien ist noch ungeklärt.

Erste Anhaltspunkte zu den Zerfallsprozessen von Bernstein mittels naturwissenschaftlicher Analysemethoden wurden in den letzten Jahren erarbeitet. Hier sind vor allem Yvonne Shashoua und Gianluca Pastorelli zu erwähnen, welche die Auswirkungen von Luftsauerstoff, Strahlung und Feuchtigkeit



**Abb. 17** Abplatzungen an der Verwitterungskruste nachdem die Perle mit Krapp gefärbt wurde (Foto B. Berger, BLfD).

auf Bernstein prüften (Shashoua 2002. – Pastorelli 2009).

Nach Pastorellis Erkenntnissen spielen vor allem die Rückreaktion der Veresterung und die irreversible Verseifung der Ester beim Zerfall des Bernsteins die Hauptrollen. Weniger stabile Verbindungen, die



**Abb. 18** Unkontrolliert ausgetrocknete Perle aus dem Gefäßinhalt des Befundes 716. – Außendm. 5,65 mm, Innendm. 1,94 mm (Foto B. Berger, BLfD).

vom Materialgefüge vorwiegend gelöst werden, beschreibt Norbert Vávra in einem Artikel über die chemische Zusammensetzung von Bitterfelder Bernstein (Vávra 2008, 69). Er erwähnt, dass diese niedermolekularen Substanzen mit herkömmlichen Lösemitteln lösbar seien und vermutlich die Rolle von natürlichen Weichmachern besäßen. Diese Bestandteile sind neben den hochmolekularen Anteilen die sensiblen Stoffe. Sie gehen eher Wechselwirkungen mit eingebrachten Konsolidierungsmitteln ein und sind zu guter Letzt vermutlich auch die erste Angriffsfläche bei der Einwirkung von Sauerstoff, Strahlung und Feuchtigkeit. Beim Zerfall entstehen freie Radikale, die sich mit dem Luftsauerstoff verbinden, die Strahlung katalysiert diese Prozesse; dies hat eine fortschreitende Polymerisation und damit eine Degradation von außen nach innen zur Folge.

Shoushua beschreibt eine verstärkte Empfindlichkeit der Bernsteinoberflächen auf Feuchtigkeit bei vorgeschrittenem Abbaugrad (Shashoua 2002, 9). Die durch Veresterung verursachte Austrocknung der Oberfläche, wird von Restauratoren als typische Krakelee-Bildung beschrieben.

Interessant für die restauratorische Praxis ist auch die Erkenntnis aus den Alterungsversuchen von Shashoua und Pastorelli. Diese zeigen, dass Bernstein bei der Lagerung sowohl bei hoher wie auch bei niedriger Feuchtigkeit sehr sensibel reagiert.

Die Bernsteinperlen des Grabfundes aus Ilmendorf wurden daher nach Abschluss der Restaurierungsarbeiten zur Zwischenlagerung in Aluminiumverbundfolie mit Sauerstoffabsorbieren (Ageless Z) und Stickstoffrückbegasung eingeschweißt. Das Klima um die Bernsteinfunde wurde zuvor in PS-Laborbehältern auf 55% RLF eingestellt.

### Tränkung von Bernstein-Nassfunden am Beispiel Geisenfeld-Ilmendorf

Bei den Bernsteinfunden aus Geisenfeld-Ilmendorf hatte die Erstversorgungsmaßnahme wohl den guten Oberflächenerhalt der Bernsteinartefakte zur Folge. Jedoch stellte sich durch die Maßnahme auch eine neue restauratorische Aufgabe. Der Bernstein musste demnach als Nassfund behandelt werden. Die Erfahrungen bei organischen Funden wie Leder oder Textil, die bei der Trocknung der Hysterese unterliegen, verdeutlichen die Problematik der in Wasser oft scheinbar besser erhaltenen Funde. Der Vergleich mit den unkontrolliert luftgetrockneten Bernsteinperlen aus benachbarten Befunden (Abb. 18) legte die Notwendigkeit einer Intervention auch für die Nassfunde nahe.

Die Bernsteinfunde konnten nicht, wie im Vorfeld geplant, konstant getrocknet werden. Eine Tränkung der in Wasser eingelagerten Bernsteinfunde sollte einem weiteren Verlust der geschädigten Substanz entgegenwirken, indem das Tränkungsmedium stellvertretend für das Wasser die Struktur im trockenen Zustand stützt. Das Tränkungsmedium muss dementsprechend wässrig gelöst werden können und in der molekularen Ebene sowohl die feinen Haarrisse als auch das oberflächliche Krakelee ausfüllen. Aus diesem Grund wurde eine Tränkung in steigender PEG-Lösung in Betracht gezogen. Da bei der Tränkung mit PEG (Polyethylen-



**Abb. 19** Tabelle des Arbeitsprozesses  
(Grafik B. Berger, BLfD).

		Bernstein-	
		Schieber:	Perlen:
Tränkung mit Polyethylen- glycol (PEG)	Tränkungsmittel	Dauer	Dauer
	PEG 400, H <sub>2</sub> O dest. 1:1	15 Tage	10 Tage
	PEG 1000, H <sub>2</sub> O dest. 1:1	15 Tage	9 Tage
	PEG 2000, H <sub>2</sub> O dest. 1:1	15 Tage	11 Tage
	PEG 4000, H <sub>2</sub> O dest. 1:1	15 Tage	10 Tage
Trocknung mit ARTSORB	Trocknung bei relativer Luftfeuchte in % und ca. 20C°	Dauer	Dauer
	95% RLF	48 Stunden	48 Stunden
	80% RLF	48 Stunden	48 Stunden
	70% RLF	48 Stunden	48 Stunden
	60% RLF	48 Stunden	48 Stunden
	55 %RLF	Lagerung	Lagerung

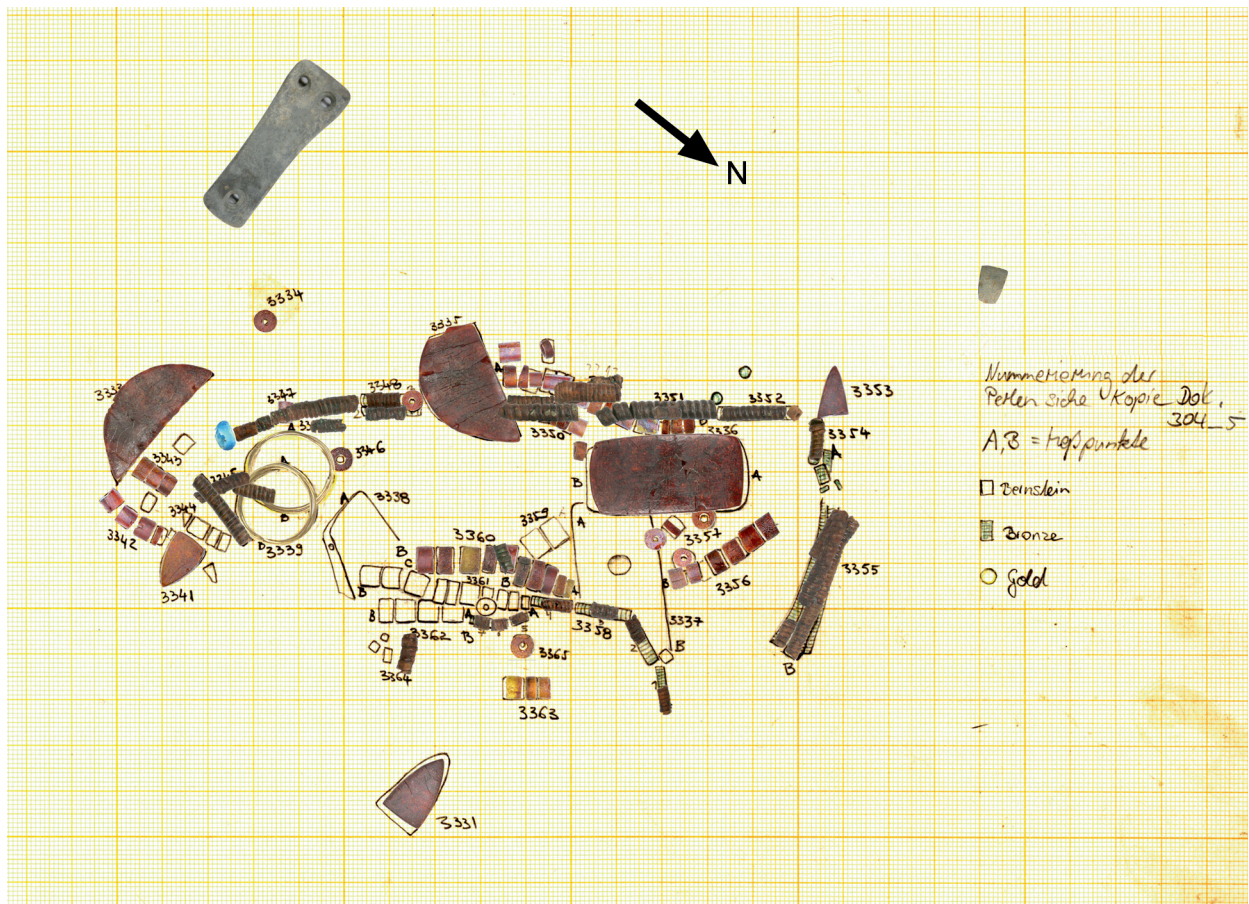
glycol) keine vorhergehende Entwässerung der Funde nötig ist und es seit rund 50 Jahren Erfahrungen in der Restaurierung mit dieser Tränkungsmethode gibt, empfahl sich der Einsatz. Auch wurden gute Ergebnisse mit PEG als Tränkungsmittel für andere Kaustobiolithe erzielt. Vor einigen Jahren wurden Ringe aus Gagat im Landesamt für Denkmalpflege von Britt Nowak-Böck mit PEG getränkt, die bis heute einen unverändert stabilen Eindruck machen.

Jedoch birgt der Einsatz von PEG auch gewisse Risiken. Polyethylenglycole sind strukturell gesehen Ester-Verbindungen. Aus diesem Grund haben sie den Nachteil, dass sie sauerstoffempfindlich sind. Bei der Einwirkung von Luftsauerstoff und UV-Licht bilden sich hochreaktive Hydroperoxide. Der Zerfall der instabilen Hydroperoxidverbindung geschieht meist radikalisch (Lautenschläger 2009). Um dies zu verhindern, wird empfohlen, PEG unter Ausschluss von Luftsauerstoff und dunkel zu lagern. Eine andere Möglichkeit, die in der Restaurierung noch nicht erprobt worden ist, besteht darin, die Reaktionen mit Antioxidantien und Chelatbildnern, wie z.B. EDTA, zu schützen. Diese Komplexbildner würden ebenfalls die vom umliegenden Erdreich eingewanderten Metallspuren, beispielsweise Eisenverbindungen oder Salze, inaktivieren. Da die Auswirkungen auf das bernsteinerne Material bisher nicht geklärt und daher die Reaktionen nicht abschätzbar sind, wurde kein Komplexbildner beigelegt.

Die Tränkung mit PEG wurde an zwei Perlen mit unterschiedlichem Erscheinungsbild (Kategorie A und C) am Beginn des Projektes getestet. Die Perlen wurden nach der Behandlung makro- und lichtmikroskopisch intensiv betrachtet und bewertet. Nach der Tränkung und der anschließenden Trocknung wies die Oberfläche, wie erwartet, einen seidenmatten, wachsigen Glanz auf. Durch das leichte Polieren mit einem weichen Haarpinsel kann man den Glanzgrad variieren und die Oberfläche verdichten. Da PEG im festen Zustand weißlich transluzent ist, bleibt dies an tiefen ausgefüllten Rissen sichtbar. Dies wirkt mitunter bei stark abgebauten Perlen störend.

Mikroskopisch betrachtet wiesen die Perlen nach der Tränkung, bis auf Perlen der Kategorie E, eine stabile Oberfläche auf. Die Risse des Krakelees wurden gefüllt. Eine Schrumpfung des Materials konnte nicht beobachtet werden. Die Eindringtiefe des Tränkungsmittels und andere Parameter eines Tränkungserfolges wurden nicht gemessen, sondern durch mikroskopische Betrachtung beurteilt. Möglichkeiten für genauere Untersuchungen oder Messungen standen im zeitlichen Rahmen dieses Projektes nicht zur Verfügung, müssten jedoch hinsichtlich einer wissenschaftlichen Evaluierung dieser Methode zwingend durchgeführt werden.

Das Ergebnis aus den Testreihen veranlasste für die weiteren Perlen des Kolliers wie folgt zu verfahren (Abb. 19):



**Abb. 20** Projektion der einzelnen Funde in die Grabungszeichnung (Montage B. Berger, BLfD).

Die Schieber des Kolliers wurden aufgrund ihrer Größe länger in den Lösungen belassen als die deutlich kleineren Bernsteinperlen.

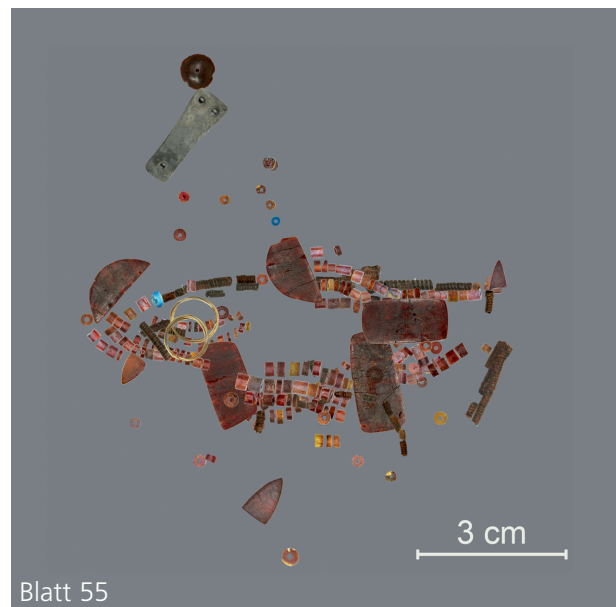
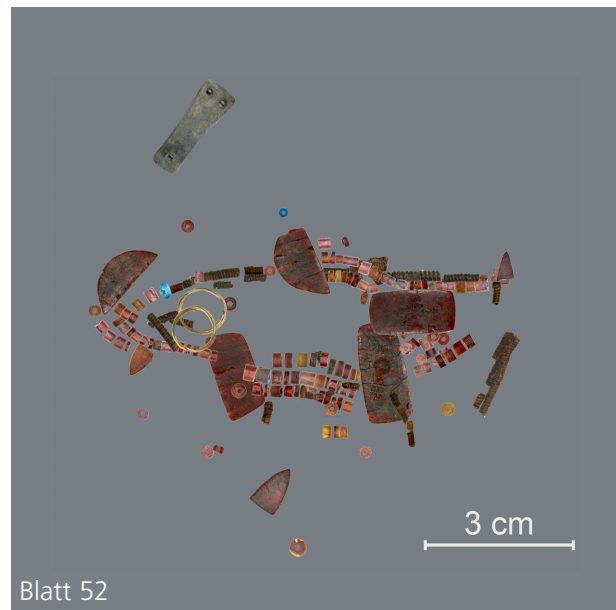
Nach Abschluss der Trocknung wurden die Perlen fotografiert, um den Zustand nach der Tränkung festzuhalten und auszuwerten. Wie oben gezeigt (Abb. 10-14), hatte die Tränkung in PEG gute Erfolge bis auf die Perlen der Kategorie E. Zu dieser Kategorie zählen ca. 4% der gesamten Perlen. Hier war die Tränkung unzureichend und ist nicht zu empfehlen.

### Beobachtungen bei vertrockneten Perlen

Einige wenige Bernsteinperlen aus Grab 304 lagen vertrocknet in den PE-Grippverschlussbeuteln vor.

Vermutlich reichte die beigegebene Wassermenge nicht aus, sodass das Wasser innerhalb der Zeitspanne zwischen Grabung und restauratorischer Aufarbeitung verdunstete. Dies ermöglichte jedoch die Erhaltungszustände zu vergleichen und den Erfolg einer nachträglichen Tränkung zu evaluieren. Schon bei dem Versuch, die Oberfläche der vertrockneten Perlen unter dem Mikroskop mit Haarpinseln zu reinigen, wurde beobachtet, dass sich die Oberflächen der Perlen in Wasser leichter und vor allem schonender reinigen ließen. Das Abkehren der sandigen Erde mit Haarpinseln bewirkte ein Verschleifen der Oberfläche. Um die Perlen schonend zu reinigen und später ein einheitliches Erscheinungsbild des gesamten Befundes zu erzielen, wurde versucht, die Perlen ebenfalls in steigender PEG-Lösung zu tränken. Dazu wurden die vertrockneten





**Abb. 21** Projektion der einzelnen Funde ohne Einblendung der Grabungszeichnungen der Plana 3a-d Süd (Blätter 51-55 der Grabungsdokumentation A-D-V) (Montage B. Berger, BLfD).

Perlen langsam befeuchtet. Anschließend wurden sie ebenfalls mit Haarpinseln gereinigt. Die erdigen Auflagerungen ließen sich im wässrig gelösten Zustand nur wenig besser lockern als zuvor im Trocknen. Auch wirkte die Oberfläche schon wie zuvor im trockenen Zustand weiterhin inhomogen und mürbe. Nach Abschluss der Tränkung zeichneten sich bei den vertrockneten Perlen die Austrocknung

und nachträgliche Konservierungsmethode deutlich ab. Die vertrockneten Perlen weisen eine hellere inhomogenere Oberfläche auf. Die pudernden und bröseligen Partikel wurden demnach durch die Tränkung lediglich oberflächlich gefestigt. Den Schäden, die durch die unkontrollierte Trocknung verursacht worden sind, konnte die PEG-Tränkung scheinbar nicht entgegenwirken. Demzufolge sind eine er-

neute Befeuchtung von trockenen Bernsteinfunden und eine anschließende Festigung durch eine steigende PEG-Tränkung nicht ratsam. Die Methode zielt auf Nassfunde ab, bei denen weitere Schäden durch Schrumpfen und unkontrolliertes Austrocknen verhindert werden sollen.

### Rekonstruktion des Bernsteinkolliers

Nach Abschluss der Konservierungsarbeiten wurde im Zuge des Projektes das Grab 304 anhand der Grabungszeichnung aufgearbeitet. Die Schritte der Befundrekonstruktion sollten dabei so transparent und nachvollziehbar wie möglich gestaltet werden. Darüber hinaus sollte die Möglichkeit bestehen, dass weitere Wissenschaftler die Arbeit auf einfache Art und Weise ausbauen oder weiterführen können.

Der Einsatz der digitalen Bildbearbeitung ermöglichte die Umsetzung dieser Anforderungen. Zunächst wurde der auf der Grabung dokumentierte Zustand der Funde mit dem Zustand nach der Konservierung verknüpft. Bilder des Endzustandes wurden dabei maßstabsgetreu in die gescannten Grabungszeichnungen platziert (**Abb. 20**)<sup>6</sup>. Dadurch konnten Schäden an den Perlen im Zeitraum von der Grabung bis zum Ende der Konservierungsarbeiten evaluiert oder Fehlinterpretationen in der Grabungszeichnung verstanden und behoben werden. Am Beispiel der teilweise während der Lagerung oder des Transportes beschädigten Spiralröllchen zeigte diese Vorgehensweise einige Erfolge.

Im Kopf und Halsbereich der Bestattung wurden die insgesamt vier relevanten Grabungszeichnungen als Ebenen digital übereinander gelegt (**Abb. 21**), die Funde nach Materialgruppen sortiert und innerhalb der Ebenen zugeordnet. So erhält jede Ebene die Materialgruppen Bernstein (Perlen und Schieber), Bronze (Spiralröllchen), Gold (Goldlockenringe), Stein (Steinanhänger) und Glas (blaue Glasperlen). Die Materialgruppen wurden auf einen neutralen grauen Hintergrund gesetzt. Dies bewirkt einen erhöhten Kontrast zu den Funden, der die Wirkung

der Farben verstärkt. Durch die Möglichkeit, die Materialien und Ebenen individuell ein- und ausblenden zu können, werden Zusammenhänge klarer. Wenn beispielsweise die Bernsteinperlen des Kolliers ausgeblendet werden (**Abb. 22**), sind die zusammenhängenden Spiralröllchen deutlich erkennbar. Diese stehen vermutlich mit dem Steinanhänger, aber vor allem mit den blauen Glasperlen in Verbindung. Die linsenförmige Perle, die sich oberhalb des Steinanhängers befindet, grenzt sich vom Fertigungsduktus, Erhaltungszustand und vom optischen Eindruck von den anderen Bernsteinperlen ab. Sie gehört vermutlich mit dem Steinanhänger und dem Spiralröllchen zu einem anderen Schmuckstück, das ebenfalls um den Hals oder auf dem Kopf getragen wurde.

Blendet man sämtliche Materialgruppen bis auf die Bernsteinperlen aus, wird das Kolloid in seiner verlagerten Position in der Erde und somit in seiner Fundsituation deutlich. Auffällig sind die drei rechteckigen und zwei halbkreisförmigen Schieber, die jeweils fünf Bohrungen quer durch den Schieber aufweisen. Dieses Merkmal lässt darauf schließen, dass es sich um ein fünfreihtiges Kolloid handelt. Werden nun die nicht mehr erhaltenen Schnüre der Bernsteinreihen hypothetisch eingezeichnet (**Abb. 23**), wird klar, dass sich die Bindung der Kette gelöst hat und sich dabei die einzelnen Abschnitte des Kolliers teilweise verdreht und gegeneinander verschoben haben.

Während der Konservierungsarbeiten wurden die einzelnen Bernsteinperlen nicht nur fotografisch dokumentiert, sondern auch am Mikroskop auf den Mikrometer genau vermessen. Die Längen der erhaltenen Perlenstränge konnten anhand dieser Daten eindeutig rekonstruiert werden. Die Messungen haben gezeigt, dass die oberen Perlenreihen zwischen den Schiebern keine geringere Anzahl an Perlen oder keine geringere Gesamtlänge (Addition der Länge der Bohrungen, durch die der Faden gefädelt wird) aufweisen. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass das Kolloid nicht halbrund auf dem Dekolleté auflag, sondern in einer geraden Position wie ein Kropfband um den Hals getragen wurde. Ein weiteres Indiz für die Tragweise um den Hals ist, dass die



errechnete Gesamtlänge des Kolliers rund 35 cm beträgt. Die Länge ergibt sich aus dem am längsten erhaltenen Perlenstrang mal vier und den Bohrungen durch die fünf Schieber.

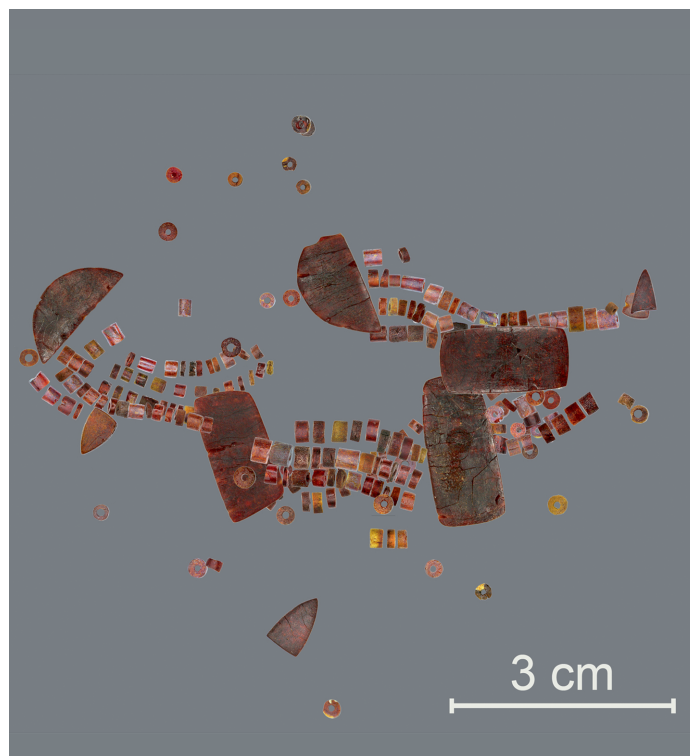
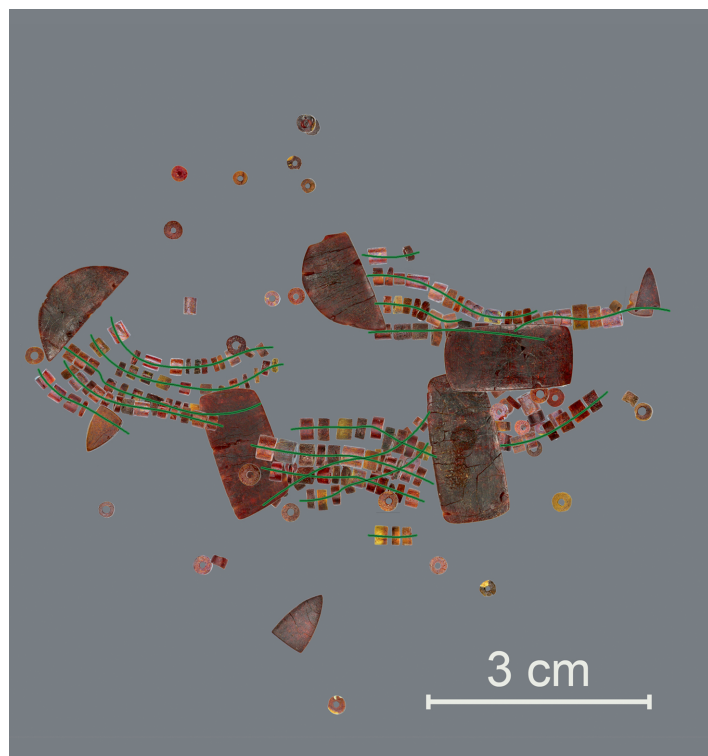
Bei dem Rekonstruktionsvorschlag liegen die Bernsteinperlen in einer geraden Position. Nur die klar rekonstruierbaren Perlenreihen sind hier aufgenommen, gestreute Perlen ohne ersichtlichen Zusammenhang wurden ausgeblendet (Abb. 24).

### Zusammenfassung und Ausblick

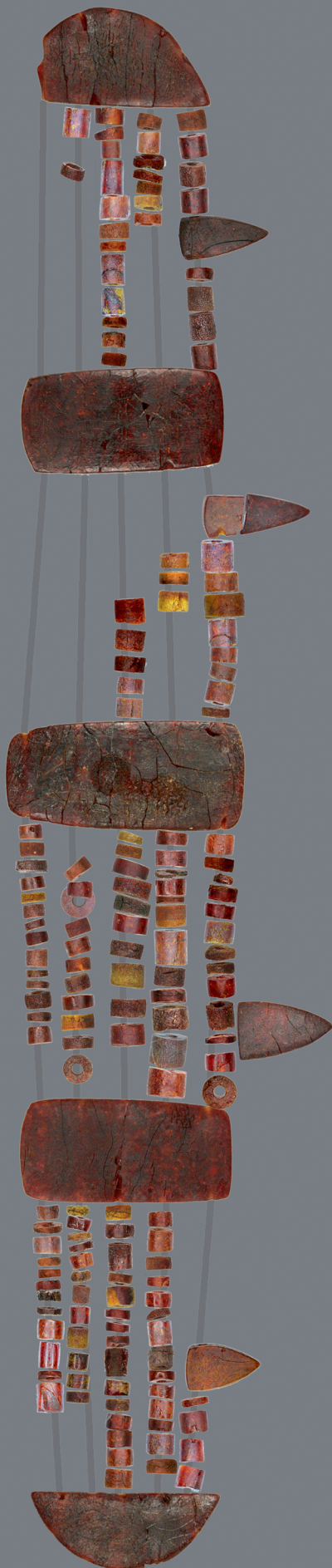
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Erstversorgung bei der Grabung, die feuchten Bernsteinperlen in Wasser zu lagern, zu empfehlen ist. Eine Tränkung von feuchten Bernsteinperlen wirkt Schäden entgegen, die bei einer Austrocknung von archäologischem Bernstein ohne Intervention drohen. Mit der Kategorisierung des Abbaugrades der einzelnen Perlen sollte eine Entscheidungshilfe für die Fragen, ob getränkt werden muss und wenn ja,



**Abb. 22** Materialgruppen Bronze, Gold, Stein, Glas und die linsenförmige Bernsteinperle (Montage B. Berger, BLfD).



**Abb. 23** Materialgruppe Bernstein, links hypothetisch eingezeichnete Schnüre (grün) (Montage B. Berger, BLfD).



welches das geeignete Konsolidierungsmittel ist, gegeben werden. Aufgrund der relativ langen Erfahrungen mit Polyethylenglycol (PEG) in der archäologischen Restaurierung für Nassfunde wurde diese Methode bei den Bernsteinfunden aus Ilmendorf angewandt. Dennoch sollte dieses Verfahren weiterhin kritisch betrachtet werden, da es keine Langzeitstudien über die Wechselwirkung mit Bernstein gibt und nicht klar ist, ob der Zerfall auf lange Sicht verlangsamt wird.

Bisherige Studien über Zerfallsursachen beziehen sich zumeist auf Rohbernstein, der durch seine Entstehung und Materialzusammensetzung anders als archäologischer Bernstein betrachtet werden muss. Der Wissensstand seitens der Archäologie und Restaurierung über die Auswirkungen der Modifizierung auf das Material, ist noch sehr eingeschränkt. Wenn alle Einflüsse auf das Material und die damit verbundenen Zerfallsursachen geklärt werden, müssen alternative, beständige Konsolidierungsmittel gefunden werden, um archäologischen Bernstein dauerhaft(er) zu erhalten.

Der Bernsteinbefund aus Grab 304 wurde virtuell aufgearbeitet. Dabei entstand die Rekonstruktion eines fünfreiigen Kolliers, das vermutlich um den Hals getragen wurde. Die Aufarbeitung des Befundes mittels digitaler Bildverarbeitung ermöglichte eine anschauliche und vermittelbare Rekonstruktion des Befundes. Vor allem aber zielt diese Methode darauf ab, Arbeitsschritte nachvollziehbar zu gestalten. Damit sollen Fehlinterpretationen vorgebeugt werden und diese unter Umständen korrigierbar sein. Weiterhin ist durch das Resultat der digitalen Bildverarbeitung ein Grundstein für eine einfache, nahtlose Folgebearbeitung des Befundes gelegt.

**Abb. 24** Rekonstruktionsvorschlag  
(Montage B. Berger, BLfD).



## Anmerkungen

- 1) Die notwendigen Maßnahmen wurden in enger Abstimmung und allezeit gutem Einverständnis zwischen BLfD (Dienststelle Ingolstadt) und Vorhabensträger von einer privaten Grabungsfirma (A-D-V GmbH, Neuburg a.d. Donau) ausgeführt. In diesem Zusammenhang sei von Seiten des damals zuständigen Referenten des BLfD (Erich Claßen) den Verantwortlichen des Maßnahmenträgers, den Grabungsleitern (Roland Gläser und Sven Conrad) und der ganzen, bis zu 31 Personen umfassenden Grabungsmannschaft für die gute Zusammenarbeit gedankt.
- 2) Hierbei wird der bundesgesetzlichen Umsetzung der sogenannten Konvention von La Valetta gefolgt (BgbI. 2002, Teil II, Nr. 39, 2709-2719), der zufolge der Vorhabenshaushalt um jene Mittel erhöht werden soll, die neben der Deckung der Ausgrabungskosten, auch eine wissenschaftliche Zusammenfassung, Veröffentlichung und Aufzeichnung der Funde ermöglichen. Für diese sind Restaurierungs- und Konservierungsarbeiten grundlegend. Da der Umfang der notwendigen Arbeiten im Falle der mittelbronzezeitlichen Gräber von Ilmendorf nicht von Beginn an einschätzbar war, wurde eine Pauschale im Haushalt festgesetzt, die nach Abschluss der Ausgrabungsarbeiten in Anspruch zu nehmen war.
- 3) Eine bereits kurz nach Abschluss der Grabungsarbeiten begonnene Magisterarbeit hat sich methodisch u.a. dem Informationsgewinn durch die Einzeleinmessungen gewidmet (Kriens 2010).
- 4) Durch die geplanten Erweiterungen des Logistikzentrums in den nächsten Jahren sind die restlichen sich im Gelände befindenden Befunde ebenfalls gefährdet. Ihre Untersuchung wird seit 2011 im Rahmen von durch den Veranlasser der Baumaßnahme finanzierten Lehr- und Forschungsgrabungen der Ludwig-Maximilians-Universität München (Prof. Dr. Carola Metzner-Nebelsick) vorgenommen, die voraussichtlich bis 2015 andauern werden. Hierbei ist die sachgerechte Dokumentation durch Archäologen und Grabungstechniker, wie auch die fachgerechte Versorgung der Funde im Feld durch einen Restaurator gewährleistet. Die endgültige konservatorische Versorgung übernehmen die Restaurierungswerkstätten der ASM.
- 5) Die bodenkundliche Begutachtung wurde von Frau Dipl.-Geogr. Britta Kopecky-Hermanns, Burghelm, vorgenommen.
- 6) Der Eintrag der Funde in die Grabungszeichnung erfolgte mithilfe des Bildbearbeitungsprogrammes Adobe Photoshop CS 4.

## Abgekürzt zitierte Literatur

- Bankus 1995: M. Bankus, Frühe und mittlere Bronzezeit. In: K. H. Rieder / A. Tillmann (Hrsg.), Archäologie um Ingolstadt. Die archäologischen Untersuchungen beim Bau der B16 und der Bahnverlegung (Kipfenberg 1995) 53-88.
- Beimforde u. a. 2008: C. Beimforde / N. Querici / M. Reich / N. Reiter, Microbial diversity on and within Baltic and Bitterfeld amber. In: Rascher u. a. 2008, 98.
- Ganzelewski / Slotta 1996: M. Ganzelewski / R. Slotta (Hrsg.), Bernstein – Tränen der Götter. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 64 [Ausstellungskat. Bochum] (Bochum 1996).
- Helm 2005: D. Helm, Farben und Färben von Edelsteinen in der Antike (Heppenheim 2005).
- Jeberien 2003: A. Jeberien, Archäologischer Bernstein. Untersuchung verschiedener Festigungsmöglichkeiten (Hamburg 2003).
- Kriens 2010: B. Kriens, Zwei bronzezeitliche Grabhügel aus dem Gräberfeld von Geisenfeld-Ilmendorf (Bayern). Methodische Ansätze zur Dokumentation und Auswertung [Magisterarbeit Humboldt-Univ. Berlin 2010].
- Krumbiegel / Krumbiegel 2005: B. Krumbiegel / G. Krumbiegel (Hrsg.), Bernstein. Fossile Harze aus aller Welt. Fossilien Sonderband 7 (2005).
- Lautenschläger 2009: H. Lautenschläger, Polyethylenglykole & Co. Von Wirkungen und Nebenwirkungen. Kosmetische Praxis 2009. [www.dermaviduals.de/cms/upload/Publikationen\\_deutsch/KP-01-09-Polyethylenglykole.pdf](http://www.dermaviduals.de/cms/upload/Publikationen_deutsch/KP-01-09-Polyethylenglykole.pdf) (11. 4. 2012).
- Lühr 2004: C. Lühr, Charakterisierung und Klassifizierung von fossilen Harzen (unpubl. Diss. Univ. Duisburg-Essen 2004). <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DocumentServlet/Document-5618/Luehrgesamtdiss.pdf> (11. 4. 2012).
- Nadler 1997: M. Nadler, Langhäuser der Frühbronzezeit in Süddeutschland. Endglieder neolithischer Bautradition? In: K. Schmotz (Hrsg.), Vorträge des 15. Niederbayerischen Archäologentages (Rhaden / Westf. 1997) 161-188.
- Rascher u. a. 2008: J. Rascher / R. Wimmer / G. Krumbiegel / S. Schmiedel (Hrsg.), Bitterfelder Bernstein versus Baltischer Bernstein. Hypothesen, Fakten, Fragen. II. Bitterfelder Bernsteinkolloquium. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 236 (Bitterfeld 2008).
- Reckel 2011: F. Reckel, Protokoll zur Untersuchung von entomologischen Befunden aus dem bronzezeitlichen Frauengrab 304, Geisenfeld. Bayerisches Landeskriminalamt, München, Protokoll vom 10.2.2011.
- Pastorelli 2009: G. Pastorelli, Archaeological Baltic amber: degradation mechanism and conservation measures [unpubl. Diss. Univ. Bologna 2009]. [www.amsdottorato.cib.unibo.it/2259/1/Pastorelli\\_Gianluca\\_tesi.pdf](http://www.amsdottorato.cib.unibo.it/2259/1/Pastorelli_Gianluca_tesi.pdf) (17. 4. 2011).
- Shashoua 2002: Y. Shashoua, Degradation and inhibitive conservation of Baltic amber in museum collections [unpubl. Arbeitsbericht Dänisches Nationalmuseum Kopenhagen 2002].
- Vávra 2008: N. Vávra, Chemie des Baltischen und Bitterfelder Bernsteins: Methoden, Möglichkeiten, Resultate. In: Rascher u. a. 2008, 69-76.

### Restaurierung und Konservierung von Bernsteinfunden aus mittelbronzezeitlichen Grabhügeln

Im Rahmen eines Restaurierungsprojektes zu Funden aus Grabhügeln der Mittelbronzezeit, die 2008/2009 ausgegraben wurden, lag ein Schwerpunkt auf der Konservierung feuchter Bernsteinfunde. Neben einer Zusammenfassung der wesentlichen Ausgrabungsergebnisse wird in diesem Artikel ein Fokus auf die archäologischen Bernsteinsteine gelegt. Vor dem Hintergrund heutiger Konservierungsversuche zum dauerhaften Erhalt des Materials werden die Prozesse der Diagenese und des Zerfalles von Bernstein, sowie die verschiedenen Modifikationen des Materials durch den Menschen betrachtet. Bernstein als Nassfund warf neue Fragen auf, die Auswirkungen auf die Wahl der Konservierungsmethode hatten. Die rund 250 Bernsteinobjekte wurden nach eingehender Untersuchung in einer Polyethylenglycol-Lösung mit steigender Konzentration getränkt, anschließend getrocknet und bei konstanter relativer Luftfeuchtigkeit von 55 % mit Sauerstoffabsorbieren eingeschweißt. Nach Abschluss der Konservierungsarbeiten konnte aufgrund der detaillierten Grabungs- und Restaurierungsdokumentation eine virtuelle Rekonstruktion des Bernsteinkolliers vorgenommen werden.

### Restoration and conservation of amber objects from Middle Bronze Age burial mounds

One facet of a restoration project of archaeological finds from Middle Bronze Age grave mounds excavated between 2008 and 2009 centred on the conservation of amber beads preserved in wet conditions. After a summary of the significant archaeological findings from the excavation, this article mainly focuses on the amber artifacts. The diagenesis and decay processes of amber, as well as the various man-made modifications of the material are studied against the background of modern conservation practices that are used for a stabile preservation of the material. The state of preservation of the amber ar-

tifacts discovered in wet conditions raised new questions concerning the choice of methods used for their conservation. After a detailed examination of the approximately 250 amber objects, water was replaced by treating the artifacts with a solution of polyethylene glycol in increasing concentrations. The objects were then dried before being maintained at a constant relative humidity of 55 % and sealed in with oxygen absorbers. The detailed documentation of the excavation and of the restoration process enabled a virtual reconstruction of the amber necklace following the completion of the conservation work.

*A. N. Hartswick (ASM)*

### Restauration et conservation des objets en ambre mis au jour dans tumuli de l'Age du Bronze Moyen

Dans le cadre d'un projet sur la restauration de trouvailles provenant des tumuli du Bronze Moyen excavées en 2008/2009 une question principale était la conservation des objets en ambre préservés dans des conditions humides. Cet article se concentre, à part d'un résumé des résultats les plus importants de l'excavation, sur les objets archéologiques en ambre. Les processus de la diagenèse et de la décomposition de l'ambre ainsi que d'éventuelles modifications du matériel par l'homme sont considérés sous l'aspect des pratiques actuelles de conservation pour la préservation en permanence. L'ambre trouvé en milieu humide a soulevé de nouvelles questions qui avaient des conséquences pour le choix des méthodes de conservation. Après une recherche détaillée des environ 250 objets en ambre ceux-ci ont d'abord été traités avec une solution polyéthylène glycol de concentration croissante et ensuite séchés et emballés sous vide avec des absorbeurs d'oxygène dans une humidité atmosphérique constante de 55 %. En raison de la documentation détaillée des excavations et de la restauration, il était possible de faire une reconstruction virtuelle du collier en ambre après la conservation.

*C. Späth (ASM)*

## Schlagworte

Bayern / Mittlere Bronzezeit / Grabhügel /  
Bernsteinkonservierung