

DIE PRÄPARATION UND KONSERVIERUNG DES FOSSILMATERIALS AUS DEM UNTERPLEISTOZÄN VON UNTERMASFELD

1. Einleitung

Die 1978 begonnenen und seitdem kontinuierlich fortgeführten Grabungsarbeiten in der unterpleistozänen Komplexfundstelle Untermaßfeld erbrachten über 12000 bestimmbare Wirbeltierreste (R.-D. Kahlke 1997a, in diesem Band a). Es handelt sich hierbei um postcraniale Skelettelemente bzw. deren Fragmente, Bezahnungen, isolierte Zähne sowie in seltenen Fällen um weitgehend komplette Schädel. Nachgewiesen werden konnten bislang Reste von Vertretern folgender Tiergruppen: Ostracoda, Mollusca, Pisces, Amphibia, Testudinata, Aves, Bovidae, Cervidae, Hippopotamidae, Suidae, Rhinocerotidae, Equidae, Elephantidae, Canidae, Ursidae, Mustelidae, Hyaenidae (incl. Koprolithen), Felidae, Insectivora, Lagomorpha, Rodentia, Primates (R.-D. Kahlke 2001).

Alle Fundstücke, mit Ausnahme der überwiegenden Menge ausgeschlammter Kleinvertebratenreste (zumeist vom Bearbeiter konserviert), werden in den Laboratorien der Quartärpaläontologie Weimar präpariert (Wiederherstellung des ursprünglichen anatomisch-morphologischen Originalzustandes im Rahmen objektiver Möglichkeiten), konserviert (stoffliche und fazielle Erhaltung über längere Zeiträume) und in Sammlungsmagazinen aufbewahrt. Die Präparations- und Konservierungsmethoden sind so ausgerichtet, daß eine anschließende wissenschaftliche Bearbeitung bestmöglich unterstützt wird. In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll, den Nutzern des Sammlungsmaterials einen detaillierten Überblick der einzelnen Präparationsmethoden und der eingesetzten Chemikalien zu geben.

Erfahrungsgemäß fehlen großen Teilen paläontologischer Sammlungen häufig exakte Angaben zur Präparation und Konservierung. Oftmals herrscht deshalb Unklarheit über Art und Chemismus verwendeter Imprägnierungsmittel und Kleber. Zur genauen Beurteilung des Zustandes der Präparate aber, insbesondere hinsichtlich einer Langzeitprognose zur Stabilität des behandelten Fossilmaterials und der zu wählenden Aufbewahrungsbedingungen, erweisen sich chemische Spezifizierungen der verwendeten Substanzen als Grundvoraussetzung. Weiterhin unverzichtbar sind derartige Angaben für die sich an die Präparation anschließenden chemischen und physikalischen Untersuchungsmethoden des Fossilmaterials, z.B. für absolute Altersbestimmungen (eventuelle Verfälschung der Isotopenverhältnisse) oder Elektronenmikroskopie (mögliche Veränderung der Ultrastrukturen). Prinzipiell kann jede mechanische oder stoffliche Veränderung am geborgenen Fossilmaterial – z.B. hervorgerufen durch dessen Naßreinigung, Imprägnierung und Verklebung beispielsweise mit organischen Substanzen – die Ergebnisse weiterer Untersuchungen beeinflussen oder die sinnvolle Anwendung spezieller Methoden unmöglich machen. Darüber hinaus nur erwähnt werden soll die Problematik möglicher Veränderungen von Knochenoberflächen während der Bergung und Präparation.

Die in vorliegendem Beitrag verwendete Nomenklatur der bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts entwickelten bzw. eingesetzten chemischen Substanzen wurde der jeweiligen zeitgenössischen Literatur entlehnt, um eine weitgehende Authentizität der Stoffbeschreibungen zu gewährleisten. Teilweise entstammen die Angaben den Original-Produktbeschreibungen der Hersteller. Zur besseren Vergleichbarkeit der Substanzbezeichnungen in historischer und aktueller Fachliteratur, aber auch des kommerziellen Sprachgebrauchs, werden in einigen Fällen entsprechende Synonyme angegeben. Diese entstammen überwiegend den Arbeiten von Hucke u. Bleck (1985) sowie Bleck (1990).

Die in der Fundstelle Untermaßfeld angewandten Bergungsmethoden im Gelände entsprechen im wesentlichen den allgemein üblichen Handhabungen der zumeist ebenfalls in Lockersedimenten grabenden Archäologen (Keiler 1995, 7-10). Erhaltungsbedingt notwendige Vorkonservierungen von Problemmaterial werden mit der gleichen Kunstharzlösung vorgenommen, die auch in der Endkonservierung zum Einsatz kommt (vgl. Abschn. 3.). Die Ausgrabung des Fossilmaterials sowie die endgültige Freilegung der in Sandblöcken geborgenen Wirbeltierreste (Taf. 68) oder von *in-situ*-Befunden im Präparationslabor erfolgt zumeist auf manuell-mechanischem Wege unter Verwendung verschiedenartiger Kratzer, Nadeln, Spatel und Pinsel und gelegentlichem Einsatz von Gipsstaffagen zur Sicherung bruchgefährdeter Präparate. Auf derartige Arbeitsschritte wird hier nicht detaillierter eingegangen (s. Keiler 1995). Nachfolgend werden die darüber hinaus gehenden Spezialmethoden und Techniken beschrieben. Den Schwerpunkt bildet hierbei die konsolidierende Kunstharzimpregnierung von instabilem Fossilmaterial.

2. Erhaltung des Fossilmaterials

Die Wirbeltierreste von Untermaßfeld wurden hauptsächlich als Einzelfunde oder polyspezifische Knochenkonzentrationen, in selteneren Fällen auch als Teilskelette angetroffen (R.-D. Kahlke 1997b, 2001). Die Funde waren in eine rotbraune bis gelbliche, feinkörnige Sedimentmatrix (Fein- bis Mittelsande) fluviatilen Ursprungs eingebettet. Im nördlichen, nordöstlichen und östlichen Fundstellenbereich (Untere Fluviatile Sande) war ein deutlich geschichtetes Sediment zu beobachten, während der nordwestliche Fundstellenbereich (Obere Fluviatile Sande, Rinnenfüllung) auf den ersten Blick keine deutliche Schichtung erkennen ließ. Hier handelte es sich um einen homogeneren Sedimentkörper mit erkennbar höherem Schluffanteil (ausführlich hierzu R.-D. Kahlke, in diesem Band b).

Die maximale Aufschlußtiefe der Grabungsstelle erreicht im Nordwesten 4,5 m unter Flur. Sowohl die Deckschichten, als auch die fluviatilen Sande führen in unterschiedlicher Intensität Muschelkalkgeröll. Bemerkenswert ist darüber hinaus ein im Südosten der Fundstelle in den sandigen Schichtkörper eingeschobener grobklastischer Hangschuttfächer. Dieser entstammt dem hangwärts anstehenden Muschelkalk (R.-D. Kahlke, in diesem Band b). Einer durch Sicker- und Schichtwässer beförderten Carbonatimpregnation der fossilführenden Sande ist der exzellente Erhaltungszustand des Großteils der überlieferten Fossilien zu verdanken.

Zwei Aspekte spielten bei der Entstehung der Fossilakkumulation in der Fundstelle Untermaßfeld eine wesentliche Rolle: In einem ufernahen Ruhigwasserbereich des damaligen Flusses wurden im Anschluß an Hochflutereignisse schwimmfähige Kadaver bzw. Kadaverreste verschiedener Wirbeltierarten abgelagert (vgl. R.-D. Kahlke 2001). Ein Teil dieser Kadaver wurde anschließend von aassfressenden Raubtieren zerlegt und wohl auch teilweise verschleppt, wie entsprechende Biß- und Fraßspuren an zahlreichen Fundstücken belegen. Insbesondere die Hyäne *Pachycrocuta brevirostris* (Aymard, 1846) war offenbar in der Lage, selbst die widerstandsfähigen Pachydermenlangknochen aufzubrechen, wie dies u.a. durch beidseitig stark benagte Diaphysenstümpfe illustriert wird. Aktivitäten von *Pachycrocuta* im unmittelbaren Fundstellenbereich wurden auch durch fossile Exkrememente (Koprolithen) nachgewiesen (Turner, in diesem Band; Keiler, in diesem Band).

Es gibt Hinweise darauf, daß die Kadaverreste z.T. mit Weichkörperresten sowie gemeinsam mit pflanzlichen Resten eingebettet wurden. Gelegentlich waren in den Grabungsabschnitten unmittelbar seitlich und oberhalb von Fundanreicherungen Sedimentabrisse zu beobachten, die auf Sackungserscheinungen in Folge postsedimentären Substanzabbaus und Verdichtung der eingebetteten Organismenreste hindeuten könnten. Auffällig war in diesem Zusammenhang eine hohe Anreicherung von Xylitflittern im unmittelbaren Bereich der Fossilanhäufung (vgl. auch R.-D. Kahlke 1997b, 398). Diese Xylite entstammen angeschwemmten und postsedimentär inkohlten Pflanzenteilen (z.B. Holz). Sowohl vor und während als auch nach Abschluß des Sedimentationsprozesses wurden die organischen Bestandteile der Kadaverreste mikrobiell-chemisch abgebaut und durch Sicker- und Schichtwässer ausgelaugt. Durch chemische Analyse des Knochenmaterials von Untermaßfeld konnte belegt werden, daß diese Prozesse zu einer völligen Entfernung organischer Komponenten führten (Keiler 1995, 7).

Auch die primäre mineralische Matrix der Skelettreste unterlag während der Fossildiagenese starken Veränderungen. Die im Vergleich zum rezenten Knochen nahezu verdoppelten Karbonatwerte (CO_3^{3-} ca. 13%) des Untermaßfelder Knochenmaterials und eine damit einhergehende Verringerung der Phosphatwerte stehen im Einklang mit der Auffassung von Pflug u. Strübel (1967, 21), daß mit zunehmendem geologischen Alter der Calciumphosphat-Anteil schwindet (vgl. auch White u. Hannus 1983, 316-322). Außerdem fand bei dem vorliegenden Fossilmaterial eine Karbonatimprägnierung statt. Mikrofaziell lassen sich zudem Erscheinungen beobachten, die einerseits in Richtung einer Demineralisierung (Lösungsvorgänge) tendieren, in anderen Fällen hingegen eine Remineralisierung (überschwere fossile Knochen) zur Folge hatten.

Als problematisch für die Präparation erwiesen sich vor allem die mehlig-seifigen Erhaltungszustände (vgl. Tab. 1). Die betroffenen Fundstücke zeigen einen erheblichen Substanzverlust, der zu spürbarer Gewichtsverringerung führte. Hierzu trugen offenbar verschiedene Ursachen bei. Ein Hauptfaktor dürfte in der angesprochenen Tendenz zur Demineralisierung liegen, deren Ursache wahrscheinlich in einer lokal begrenzten Änderung des chemischen Milieus zu sehen ist. Auch präsedimentäre Einflüsse könnten den späteren Überlieferungszustand der Fossilien negativ beeinflusst haben. Es gibt mehrfach Anzeichen dafür, daß abgefleichte Knochen erodierenden Witterungseinflüssen, vermutlich relativ hohen Temperaturen bzw. tageszeitlichem Temperaturwechsel, ausgesetzt waren. Faziell lassen sich solche Fundstücke an der typischen längs zum Knochen verlaufenden parallel angelegten Rißbildung erkennen. Gleichzeitig zeigen diese Fundstücke eine unterschiedlich stark ausgeprägte Neigung zur Aufspaltung der oberen Kompaktalamellen bzw. zu einem »prismatischen« Zerfall der Kompakta. Weitere Ursachen für partielle Änderungen des chemischen Milieus dürften z.B. im Zusammenhang mit dem mikrobiell-chemischen Abbau der organischen Reste aufgetreten sein.

Gelegentlich wurden sogar innerhalb horizontal gelagerter, artikuliert aufgefundenener Knochenverbände unterschiedliche Erhaltungszustände beobachtet. So zeigt ein rechtes Vorderbein von *Stephanorhinus etruscus* (Falconer, 1859) [IQW 1999/26 644 (Mai 26 173), Q 107] in Fundlage an seiner Oberseite im Bereich des Humerus eine feste, gut mineralisierte Erhaltung mit einigen Rissen. In gleicher Weise ist das Olecranon der Ulna erhalten. Demgegenüber sind der gesamte Radius, der distale Abschnitt der Ulna und der noch identifizierbare Bereich des Metacarpus feinsplittrig-weich bis seifig-mehlig erhalten. Derart prägnante mikrofazielle Unterschiede können verschiedene Ursachen haben. Möglich ist, daß zeitweise nur ein Teil des Knochenverbandes sedimentbedeckt war, und lediglich freiliegende Bereiche einer Verwitterung ausgesetzt waren. Auch postsedimentäre Änderungen im chemischen Mikromilieu, die je nach Einbettungslage nur auf Teile des Knochenverbandes einwirkten, sind denkbar. Feine Unterschiede im Migrationsverhalten von Schicht- und Sickerwässern könnten dabei eine wesentliche Rolle gespielt haben.

Die Unterseite des genannten Knochenverbandes weist ebenfalls unterschiedliche Erhaltungszustände auf, ist aber im Vergleich zur Oberseite etwas besser überliefert. Dies spricht dafür, daß die unterschiedliche Erhaltung vor allem auf Witterungseinflüsse zurückzuführen ist, denen die Liegendseite weniger stark ausgesetzt war.

Da eine beträchtliche Anzahl der Knochen an den Oberflächen z.T. starke Wurzelätzspuren unbestimmten Alters aufweisen (vgl. R.-D. Kahlke 2001), darf hier ein zusätzlicher Mechanismus partiellen Substanzverlustes vermutet werden. Auch wenn keine fossile Bodenbildung im Sandkörper der Fundstelle nachgewiesen werden konnte, ist davon auszugehen, daß zumindest eine temporäre Vegetationsbedeckung vorhanden war. Rezente Tiefwurzler sind in der Lage, selbst mehrere Meter mächtige Horizonte zu durchdringen. Mehrfach wurden in der Fundschicht, aber auch im liegenden Auesediment, bislang nicht datierte Wurzelröhrensinter festgestellt (vgl. Ellenberg u. R.-D. Kahlke 1997, 45, Taf. 14,1). Im Zuge des Grabungsfortschrittes konnte beobachtet werden, daß in offenen Grabungsabschnitten, deren Deckschichten bereits entfernt waren, schon nach einem Jahr ca. 30 bis 50 cm tiefe Durchwurzungen einer krautigen Vegetation erfolgten. Die erosive Kraft einer solchen Wurzelbildung und insbesondere die entsprechende Beeinflussung des chemischen Bodenmilieus in den ersten Dezimetern unterhalb eines Bewuchses sollte als Ursache für die Verrundung von Knochenoberflächen durch phyto-

gene Lösungsvorgänge nicht unterschätzt werden. Nicht jede sogenannte »Abrollungsspur« muß zwangsläufig durch mechanische Einflüsse eines längeren Flußtransportes verursacht sein. Eine Besonderheit natürlicher Konservierung stellen Stücke dar, die in einem karbonatzementierten Sand des Südbereiches der Grabung angetroffen wurden (vgl. Ellenberg u. R.-D. Kahlke 1997, 45). Charakterisiert war dieser Grabungsabschnitt durch einen in den sandigen Schichtkörper eingeschobenen Muschelkalk-Hangschuttfächer. Die hier lagernden Fossilien waren durch die Möglichkeit unmittelbarer Carbonatzuführung besonders gut gegenüber Schwankungen im chemischen Milieu der Fundschicht geschützt. Trotz außerordentlich guter Erhaltungszustände war hier der präparative Aufwand wegen der nötigen mechanischen Freilegung der Fundstücke aus dem Carbonatsinter relativ hoch.

3. Imprägnierungstechnik

Die Festigung mürben und feinsplittrigen Knochen- und Zahnmaterials erfordert eine mitunter recht aufwendige Vorbehandlung. Vorschläge zur Fossilfestigung kennt man bereits aus der Literatur des 19. Jahrhunderts. Verschiedene Autoren beschrieben mehr oder weniger taugliche Anwendungsversuche mit diversen »Präparationslacken«. Hauptprobleme der Imprägnierungstechnik stellen seither insbesondere das z.T. schlechte Eindringvermögen der jeweils verwendeten Lösungen und Dispersionen in die zu stabilisierende Knochensubstanz sowie das daraus resultierende Abblättern von Lackschichten auf der Oberfläche der Präparate oder auch die Versprödung und der damit einhergehende Festigkeitsverlust der behandelten Stücke dar (ausführlich dazu Keiler 1995, 11-16). Im 20. Jahrhundert wurden verschiedene synthetische Stoffe zur Imprägnierung von mürbem Fossilmaterial eingesetzt. Der jeweilige Erfolg oder Mißerfolg der gewählten Methode zeigte sich oft erst nach längerer Zeit. Dies gilt auch für die während der vergangenen 20 Jahre zur Verfestigung der Untermaßfelder Funde eingesetzten Substanzen.

Generell sind vor der Auswahl einer passenden Imprägnierungsmethode zwei Hauptfaktoren zu beurteilen. Zunächst bedingt der konkrete Überlieferungszustand des Fossilmaterials (chemische und physikalische Eigenschaften) das zu wählende Imprägnierungsmittel. Das Mittel selbst muß sowohl gegenüber den zu verfestigenden Fossilien verträglich sein als auch die erforderlichen physikalischen Eigenschaften (Durchdringungsvermögen, Endhärte und Elastizität, Alterungsbeständigkeit, Löslichkeit der Festschubstanz) aufweisen.

Eine nicht unerhebliche Menge der Untermaßfelder Wirbeltierreste wurde in weniger guten Überlieferungszuständen freigelegt. Die betroffenen Stücke wiesen entweder die oben genannten substantiellen Verluste auf oder sie waren stark zerscherbt.

Grabungs- jahr	(1) seifig- mehlig	(2) fein- splittrig weich	(3) fein- splittrig fest	(4) groß- splittrig fest	(5) intakt	Gruppe (1) + (2) Anteil am Gesamtmaterial
1992	58 St.	116 St.	100 St.	29 St.	48 St.	49,5%
1993	0 St.	22 St.	13 St.	103 St.	169 St.	7,2%
1994	8 St.	25 St.	15 St.	20 St.	25 St.	35,5%
1995	13 St.	35 St.	28 St.	29 St.	9 St.	42,1%

Tab. 1 Erhaltungszustände des in den Jahren 1992 bis 1995 geborgenen Fossilmaterials der Fundstelle Untermaßfeld.

Der hohe, insbesondere während der in den in Tab. 1 genannten Jahren festgestellte Anteil an problematischen Überlieferungszuständen macht deutlich, daß bei der Bergung und späteren Präparation der Funde recht unterschiedliche Methoden anzuwenden waren. Vor allem Stücke in seifig-mehligem bzw. feinsplittrig-weichen Erhaltungszuständen, bedurften eines erheblichen präparativen Aufwandes (Taf. 68). Oftmals mußten bereits im Gelände substanzstabilisierende Maßnahmen ergriffen werden.

3.1. Cellulosenitrat-Tränkung

Seit 1978 kamen für das Untermaßfelder Fundmaterial verschiedene Imprägnierungsmittel zur Anwendung. Die älteste praktizierte Methode ist die Behandlung mit sogenanntem Geiseltallack (1978-1989). Bei Geiseltallack handelt es sich um eine Lösung von mehrfach »nitrierten« (veresterten) Cellulosen, deren »Nitrierungsgrad« (Veresterungsgrad) gelegentlich um 2,5 vermutet wird. Verbürgte Angaben ließen sich in der Literatur bislang nicht finden. Die Begriffe »Nitrierungsgrad« oder »Nitrierungsstufe« treffen lediglich eine Aussage über das Estergleichgewicht bzw. über den durchschnittlichen Zustand des Estergemisches, nicht jedoch über die Struktur des Einzelmoleküls. Da die Gemische aber verschiedenartig inhomogen sind, enthalten sie Fraktionen mit unterschiedlichen Molekulargewichten sowie unterschiedlichem Veresterungsgrad (vgl. Hess 1928, 351 f.; Lieser 1953, 58 f.).

Die exakte Herkunft des zunächst zur Präparation des Untermaßfelder Fossilmaterials eingesetzten Geiseltallackes (Altbestände) konnte nicht mehr ermittelt werden. Augenfällig war, daß die Behältnisse (Blechfässer), in denen der Lack gelagert wurde, bereits innen starken Rostansatz zeigten, so daß der Lack eine rötlich-braune Färbung annahm (Beobachtung Verf. 1985). Außerdem hatte sich am Boden der Lackfässer eine geleeartige Schicht gebildet, die sich in organischen Lösungsmitteln nur unvollständig oder gar nicht lösen ließ. Als universelles Lösungsmittel wurde im Präparationslabor ein nicht näher spezifizierter »Nitroverdünner« benutzt. Vermutlich handelte es sich um ein Gemisch organischer Lösungsmittel (zum generellen Problem der Lösungsmittel für Cellulosenitrate s. Gnamm 1946, 141-207). Selbst eine Handelsbezeichnung gäbe allein meist keinen Aufschluß über die Zusammensetzung der Gemische, da die jeweiligen Hersteller oft nicht über die enthaltenen Komponenten informieren. Auch die einschlägige Restaurierungsliteratur hilft bei diesem Problem in der Regel nicht weiter. So findet sich beispielsweise bei Hucke u. Bleck (1985, 82) unter dem Stichwort Nitroverdünnung lediglich die Mitteilung »Gemisch aus Estern, Ketonen, aliphatischen und cyclischen Kohlenwasserstoffen. Verwendung: Lösungs- und Verdünnungsmittel für Produkte auf Nitrocellulosebasis«.

Cellulosenitrat-Lacke wurden seit den 30er Jahren zur Präparation von fossilen Wirbeltierresten eingesetzt und unter verschiedenen Bezeichnungen und Synonymen in der Literatur geführt, so beispielsweise als Zapon-Lack (Handelsbezeichnung seit 1892; Unger 1988, 102), Celluloid-Lack, Kollodium-Lack, Zellulosenitrat-Lack, Ence-Lack, NC-Lack, Nitro-Lack, Geiseltal-Sprimoloid-Lack bzw. kurz Geiseltallack, Photoxylin-Lack, Pyroxylin-Lack (zur Geschichte und Herstellung vgl. auch Piest et al. 1913). Da Cellulosenitrat-Lacke äußerst empfindlich gegen Restfeuchte des zu behandelnden Materials reagieren, wurden im Gelände keine Stabilisierungen von Untermaßfelder Wirbeltierresten mit Geiseltallack vorgenommen. Durch Bodenfeuchtigkeit käme es hier regelmäßig zur Bildung von weißlich verfärbten Lackhäuten.

Im Labor wurden die Untermaßfelder Fundstücke mit fließendem Leitungswasser und unter Zuhilfenahme kleiner Bürsten oberflächlich gereinigt, anhaftendes Sediment wurde entfernt. Anschließend trocknete man die Stücke auf einem mit Wärmelampen (erhöhter Infrarotanteil) bestrahlten Trockentisch schonend. Rißbildungen am Material traten nicht auf. Die Imprägnierung des Fundmaterials wurde fast ausschließlich im sogenannten Streichverfahren vorgenommen, das heißt, die Oberflächen der Funde wurden nach dem etwaigen Zusammenkleben von Splittern (vgl. Abschn. 4.) mit verdünntem Geiseltallack unter Verwendung meist kleiner bis mittelgroßer Pinsel eingestrichen. Hierdurch bildete sich ein dünnes Lackhäutchen auf den Oberflächen der Präparate. Poröse Stücke wurden durch mehrfaches Auftropfen von Geiseltallack stärker getränkt und so stabilisiert.

Trotz der an sich gut handhabbaren Geiseltallack-Methode zeigten sich bei der Anwendung gravierende Nachteile. Den Cellulosenitrat-Lacken und somit auch dem Geiseltallack wurden regelmäßig sogenannte Weichmachungsmittel (ältere Bezeichnung Weichhaltungsmittel), kurz Weichmacher genannt, beigemischt. Diese bewirken nach vollständiger Trocknung eine hohe Elastizität (Dehnbarkeit) der Lacke. Leider erwies sich dieser Effekt als nicht dauerhaft. Die dem Geiseltallack beigemischten Weichmacher Campher (= Kampfer) und diverse Phthalsäureester (Phthalate, Handelsbezeichnung der ehemaligen I. G. Farbenindustrie AG Frankfurt/M. z. B. Palatinol C = Dibutylphthalat) exhalieren im Laufe der Zeit. Durch den Verlust an Weichmachern setzte ein Versprödungsprozeß der Cellulosenitrat-

Lacke ein, der gelegentlich zum Abblättern von Lackschichten, Rißbildungen und Festigkeitsverlust von imprägnierten Fossilien führt. Insbesondere Kampfer zeigt eine starke, in der Literatur bereits beschriebene Flüchtigkeit (Münzinger 1935, 63-64; Gnam 1946, 403), bei Dibutylphthalat scheint dieser Prozeß länger zu dauern (Anonymus 1937, 118).

Schwer wiegt außerdem eine fehlende Alterungsbeständigkeit der Cellulosenitrate. In der Literatur finden sich insbesondere Angaben zur Lichtempfindlichkeit und zu Zerfallssymptomen sowie zum Festigkeitsverlust (Münzinger 1935, 97f.; Hücke u. Bleck 1985, 9; Unger 1988, 103; Shashoua et al. 1992, 113f.; weitere Lit. hierzu in Keiler 1995, 13-14). Als Ursache fehlender Alterungsbeständigkeit wird neben einer Empfindlichkeit vor allem gegen den UV-Anteil des Lichtes auch eine säurekatalytische Esterhydrolyse angegeben (Selwitz 1988).

In der Praxis lassen sich viele der in der Vergangenheit eingesetzten, weniger geeigneten Cellulosenitrate mittels Lösungsmittelwäsche ganz oder zumindest teilweise aus den Präparaten entfernen. Stücke, die eine solche Behandlung nicht überstehen würden, können in der Regel mit modernen Imprägnierlösungen in zufriedenstellender Weise nachgetränkt werden. Zumindes kann die innere Stabilität der meisten Präparate erhöht werden. Noch bleibt unklar, ob Wechselwirkungen zwischen den Cellulosenitrat und neuen Tränkungsmitel auftreten können. Bislang sind solche Nebeneffekte allerdings nicht bekannt geworden.

Die geschilderte Problematik bei der Imprägnierung des Untermaßfelder Fundmaterials mit Cellulosenitrat erforderte eine Suche nach Alternativen. Zunächst wurde ein Aminharz der Harnstoffharz-Sorte HL 3 mit Kollodiumanteil (Cellulosenitrat, quantitativer Anteil nicht bekannt) und Weichmacherzusatz (Dibutylphthalat 6%), gelöst in Butanol (Synonyme Butylalkohol, Butan-1-ol) und Ethylacetat (Synonyme Essigäther, Essigester, Essigsäureethylester, Ethansäureethylester), auf seine Brauchbarkeit getestet (Hersteller ehemaliger VEB Lackfabrik Waltershausen/Thüringen). Anhand der vorliegenden chemischen Spezifizierung war ersichtlich, daß es sich um ein Kunstharzgemisch mit Kollodiumanteil (Cellulosenitrat) handelt. Da aber von vornherein die Absicht bestand, den Cellulosenitrat-Anteil zu eliminieren, wurde eine Versuchsreihe zur Imprägnierung mürben Fossilmaterials in Gang gesetzt. Es lag der Schluß nahe, daß ein Harnstoffharz-Cellulosenitrat-Gemisch nicht nur intern stabil sei, sondern auch bei der Nachbehandlung von cellulosenitratgetränkten Altpräparaten eine entsprechende Verträglichkeit aufweist.

Es wurden gereinigte und getrocknete Neufunde, aber auch Altmaterial mit dem neuen Kunstharzgemisch behandelt. Zerscherbte Neufunde wurden vor dem Zusammenkleben getränkt. Bei geringer Festigkeit geschah dies durch druckloses Einlegen in das dünnflüssig zubereitete Imprägnierungsmittel, ansonsten im Streichverfahren. Die zu tränkenden Funde wurden in der Lösung belassen, bis keine Luftbläschen mehr entwichen. Anschließend wurden die tropfnassen Stücke oberflächlich mit einem Lappen abgetupft und unter dem Abzug getrocknet. Mehrfaches Einlegen der Stücke in Lösungen mit zunehmenden Feststoffgehalten (ohne Zwischentrocknung) verstärkte den konsolidierenden Effekt.

Eine Tränkung der Einzelfragmente vor einer Verklebung erweist sich aus verschiedenen Gründen als günstig. Durch die Imprägnierung der oft bröckeligen oder abkreibenden Bruchstellen werden diese zunächst verfestigt, so daß die spätere Klebefuge eine höhere Bruchsicherheit aufweist. Sehr dünnflüssige Kleber können natürlich in gleicher Weise wirken. Eine erst nach der Verklebung vorgenommene Tränkung würde die Klebefuge unter Umständen schädigen, insbesondere durch stabilitätsmindernde Anlösungseffekte und mögliche chemische Veränderung des ausgehärteten Klebers.

Dieses Problem bestand auch bei der Nachbehandlung von Altpräparaten. Bei jedem aus Fragmenten zusammengesetzten Präparat wurde individuell entschieden, ob eine cellulosenitrat auslaugende Lösungsmittelwäsche vorangeschickt werden mußte oder ob das Stück in eine Imprägnierlösung eingelegt werden konnte. Wenn möglich, wurde hierbei auf ein vorsichtiges Zerlegen des zu behandelnden Stückes in seine Einzelteile orientiert, um auch den alten Klebstoff zu ersetzen. Bei einem wegen mangelnder Stabilität der Funde zu hohen Bruchrisiko konnten die entsprechenden Stücke unter Schonung der alten Klebefugen nur äußerlich und partiell durch Auftropfen von Kunstharzlösung oder im Streichverfahren verfestigt werden.

Nachdem die ersten Versuchsreihen mit genanntem Kunstharzgemisch gute bis sehr gute Ergebnisse erbracht hatten (1987), wurde wegen der Cellulosenitrat-Problematik der Kollodiumanteil aus der Imprägnierungslösung eliminiert. Überraschenderweise härtete das reine Aminharz nicht vollständig aus, sondern blieb über Monate hin klebrig. Hieraus resultierte eine stark verringerte Endfestigkeit des Imprägnierungsmittels bzw. der Präparate. Die dauerhafte Klebrigkeit des Kunstharzes machte eine normale Handhabung entsprechender Funde unmöglich. Anfänglich wurde vermutet, daß der Dibutylphthalat-Anteil für diesen Negativeffekt verantwortlich sei. Dieser Weichmacher wurde folglich ebenfalls eliminiert. Aber auch danach blieb die klebrige Konsistenz des Aminharzes erhalten. Offensichtlich handelte es sich bei dem Aminharz um ein spezielles Weichharz, welches zur Plastifizierung der Hauptkomponente, dem Cellulosenitrat, beigemischt war. Somit wurde klar, daß auf diesem Wege keine befriedigenden Ergebnisse erzielt werden konnten. Alternativ mußten demzufolge weitere Kunstharze auf ihre Verwendbarkeit zur Festigung von fossilem Knochen- und Zahnmaterial untersucht werden.

Gelegentlich wurden Acrylate unterschiedlicher Zusammensetzung zur konsolidierenden Behandlung mürben Knochenmaterials eingesetzt. Zu nennen sind hier die Sorten der Handelsbezeichnungen Bedacryl L, der Acrylsäureester Paraloid, oft gelöst in Toluol (Synonyme Methylbenzen, Toluol), und das Polybutylmethacrylat Vinalak 5909. Die vom Verf. im Jahre 1989 mit einem weiteren auf Acrylsäureester basierenden, als wässrige Lösung vorliegenden Imprägnierungsmittel der Bezeichnung ZEMIFORM-ISO am Untermaßfelder Fossilmaterial angestellten drucklosen Tränkungsversuche erbrachten leider keine für eine konsolidierende Imprägnierung günstigen Ergebnisse. Als Negativfaktor ist in erster Linie das mangelnde Durchdringungsvermögen der Kunstharzlösung zu nennen, lediglich die sichtbaren spongiösen Abschnitte der behandelten Fossilfragmente konnten einigermaßen ausreichend imprägniert werden. Aus diesem Grunde wird ZEMIFORM-ISO nicht zur stabilisierenden Trängung der Untermaßfelder Fossilien eingesetzt (ergänzende Literatur zu Acrylaten bei Keiler 1995, 15).

3.2. Polyvinylbutyral-Trängung

1992 wurden Testreihen mit einer weiteren Kunstharzsorte der Handelsbezeichnung »WALA-Holzbeize E farblos« angestellt. Es handelt sich hierbei um ein flüssiges lösungsmittelhaltiges (Butanol und Ethylacetat, nicht quantifiziert) Gemisch (20: 1) eines nicht näher spezifizierten Polyvinylacetals und eines Carbamidsäureharzes (Hersteller ehem. Waltershäuser Lackfabrik GmbH) (Keiler 1994, 115, 1995, 14). Abweichend von den Angaben des Sicherheitsdatenblattes (Anonymus 1993, 1) enthielt die Kunstharzlösung kein Aceton. Das untersuchte Imprägnierungsmittel wurde zu den oben beschriebenen Anwendungsbereichen eingesetzt. Die Ergebnisse waren durchweg sehr zufriedenstellend, Komplikationen wurden bisher nicht bekannt. Da sich aber diese Kunstharzlösung aus zwei Harzkomponenten zusammensetzte und damit das erhöhte Risiko späterer Wechselwirkungen auftritt, bestand weiterhin das Bestreben, eine einkomponentige Imprägnierungslösung ohne Weichmacher- oder Härterzusätze zu entwickeln.

In der Folgezeit wurde versucht, den dominierenden Feststoff (Polyvinylacetal) gesondert zu beschaffen und als Lösung einzusetzen. Vom Hersteller der Einzelkomponenten (Hoechst AG) konnten detailliertere Angaben zum Chemismus in Erfahrung gebracht werden. Bei dem Carbamidsäureharz handelte es sich um einen mit Formaldehyd kondensierten Carbamidsäureester der Handelsbezeichnung RESAMIN HF 450 (Anonymus 1987, 1), der als elastifizierendes Weichharz diversen Lacken beigemischt ist (Anonymus 1981, 2). Das Polyvinylacetal (Synonym Polyvinylbutyral, im weiteren Text ausschließlich unter dieser Bezeichnung geführt) mit dem Handelsnamen Mowital B 30 H wird vom Hersteller folgendermaßen spezifiziert: Trockengehalt an Polyvinylacetal (Acetalgruppe ausgedrückt als Polyvinylbutyral) 75-77%, Polyvinylacetat (Acetylgruppe ausgedrückt als Polyvinylacetat) ca. 3%, Polyvinylalkohol (Hydroxylgruppe ausgedrückt als Polyvinylalkohol) 18-21%. Der Polymerisierungsgrad wird mit 30 angegeben. Aus den genannten Eigenschaften ergibt sich die Löslichkeit des Polyvinylbutyrals. Eine beliebige Löslichkeit bieten Lösungsmittel folgender Gruppen: Alkohole – Methanol, Ethanol, n-Propanol, i-Propanol, n-Butanol, i-Butanol, Diacetonalkohol, Benzylalkohol; Glykolether – Butylglykol, Methoxypropanol, Methoxybutanol (3-Methoxy-butanol-[1]); Ester – Meth-

oxypropylacetat, Essigsäure[3-methoxy-n-butyl]-ester, Glykolsäure-n-butylester, Milchsäureester; Ketone – Aceton, Methylethylketon, Cyclohexanon. Auch eine Reihe weiterer Verbindungen z.B. der Chlorkohlenwasserstoffe und Kohlenwasserstoffe sowie diverse Kombinationen der genannten Stoffe untereinander sind als Lösungsmittel geeignet (Anonymus 1988b, 1-3).

Der Hersteller geht von einer allgemeinen Wasserfestigkeit der auf Mowital-Basis hergestellten Lacke aus. Für 0,1 mm starke Lackfilme der Sorte B 30 H wird eine Wasseraufnahme nach 24h bei 20°C von 4-6% angegeben. Eigene Tests mit unterschiedlich dicken Trockenresten (bis 1,5 mm) des Lackes ließen nach 24-stündiger Wasserlagerung keine groboptischen Veränderungen erkennen. Als allgemeine physikalische Eigenschaften werden eine gute Elastizität, innere Stabilität sowie Lichtbeständigkeit genannt. Beim Einsatz als konsolidierendes Imprägnierungsmittel an mürbem fossilen Wirbeltiermaterial konnten diese Vorzüge über einen Beobachtungszeitraum von 6 Jahren (1992-98) bestätigt werden, u.a. an einem primär nicht ausmineralisierten und sekundär stark zerscherbten Schädel eines juvenilen *Mammuthus*-Individuums [IQW 1996/25 646 (Mei. 25 175), Taf. 69, 2]. Auch ließen sich frische, leicht bergfeuchte Funde einschließlich ihrer sandigen Sedimentmatrix im Gelände mit gutem Erfolg tränken (Taf. 68, 1). Allerdings wurde durch den erhöhten Wassergehalt entsprechend behandelte Geländefunde die Trocknung stark verzögert, was hinsichtlich des Bergungsfortschritts zu berücksichtigen war. Als Lösungsmittel des rieselfähigen feinkörnigen Pulvers (Polyvinylbutyral) wurde zumeist Isopropanol (Synonyme Isopropylalkohol, 2-Propanol, 2-Propylalkohol, β -Oxypropan) verwendet.

Auch zur Unterdruck-Imprägnierung von fossilen und rezenten Materialien ließ sich das getestete Polyvinylbutyral hervorragend einsetzen. Geeignet waren hierfür Fundstücke bzw. deren Fragmente, die zwar eine unzureichende (z.B. kreidige) Konsistenz aufwiesen, aber dabei noch über eine Grundstabilität verfügten. Die fossilen Reste wurden gegebenenfalls gereinigt und getrocknet, ansonsten aber völlig unbehandelt in ein mit gelöstem dünnflüssigen Polyvinylbutyral gefülltes mittelgroßes Exsikkatorgefäß (\varnothing ca. 30 cm) eingelegt. Sodann evakuierte man 10 min lang mit einer Vakuumpumpe das über dem Flüssigkeitsspiegel befindliche Gas. Während dieses Prozesses wurden aus kleinen Rissen und Hohlräumen der Fossilsubstanz durch Volumenzunahme [Boyle-Mariotte'sches Gesetz ($P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$, hieraus folgt: halber Druck = doppeltes Volumen)] vergrößerte Gasmengen aus den Stücken abgesaugt. Anschließend ließ man das entstandene Vakuum auf Normaldruck zusammenbrechen. Dabei verringerte sich das Gasvolumen in den Fundstücken, so daß die Kunstharzlösung in die entstandenen freien Porenräume eindringen konnte. Diese Prozedur, dreimal hintereinander durchgeführt, sicherte eine gute Durchtränkung porösen Materials und eine entsprechend hohe Endfestigkeit. Die dem Exsikkatorgefäß nach der Kunstharzbehandlung entnommenen Stücke wurden mit einem alkoholfuchten Lappen (z.B. Baumwolle oder Leinen) von überschüssigem Tränkungsmittel an der Oberfläche befreit und auf speziellen Siebrosten in einem explosionsgeschützten Absaugschrank luftgetrocknet. Nach 24 Stunden vorgenommene Vergleichsmessungen an imprägnierten Kreidestücken ergaben eine Gewichtszunahme von 8,64% (Vergleichsprobe drucklose Tränkung bis zur optisch kontrollierten Sättigung: 4,94%). Damit wurde ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht. Die mit der Vakuummethode verfestigten Wirbeltierreste überzeugten durch ihre homogene Festigkeitszunahme. Bei der Polyvinylbutyral-Tränkung handelt es sich um eine reversible Methode. Falls erforderlich, läßt sich das Tränkungsmittel durch Lösungsmittelwäsche aus den imprägnierten Präparaten wieder entfernen.

Es sei erwähnt, daß auch das Polyvinylbutyral der Sorte »B 20 H« mit gleichem Erfolg getestet wurde. Zum Einsatz kommt derzeit in der Vorkonservierung und Präparation jedoch ausschließlich »Mowital B 30 H«.

4. Klebetechnik

Nach erfolgter konsolidierender Imprägnierung werden zusammengehörige Knochen- bzw. Zahnsplitter mit Kunstharzen an den Paßstellen verklebt und damit die zerscherbten Fundstücke entsprechend ihrer ursprünglichen Form rekonstruiert. Grundsätzlich wird hierbei auf eine dauerhafte Verklebung geachtet. Allerdings muß auch die Möglichkeit einer nachträglichen Öffnung der Klebenähte berücksichtigt werden.

In den Jahren 1978-1988 wurde das Untermaßfelder Fundmaterial ausschließlich, bis 1989 noch gelegentlich mit einem Klebstoff der Bezeichnung Duosan rapid geklebt. Die Produkt-Beschreibung des Herstellers, der ehem. VEB Filmfabrik Wolfen, weist als Hauptbestandteil Cellulosenitrat (16,0%) gelöst in Aceton (34,0%), Ethanol (8,7%), Methylacetat (7,0%), Aethylacetat (3,5%), Butanol (5,6%), Butylacetat (8,0%), Methanol (3,5%), Toluol 8,0% unter Zusatz der Weichmacher Palatinol C (= Dibutylphthalat, 4,0%) und Kampfer (1,7%) aus. Bei dem Hauptbestandteil (Feststoff) des Duosan-rapid-Klebers handelt es sich um eine nicht vollständig veresterte Cellulose, also einen Salpetersäureester mit einem 2,5-fachen »Nitrierungsgrad«. Diese Cellulosenitrate wurden zur Herstellung der Trägerschicht von Foto- und Kinefilmen verwendet. Nach der Silberrückgewinnung aus diesen Filmen fiel als Nebenprodukt eine mittelviskose »Nitrocellulose«-Lösung an, die als sog. Alleskleber unter der Bezeichnung Duosan rapid in Aluminiumtuben und Glasflaschen bis ca. 1990 in den Handel kam (Anonymus 1988a). Da es aus gleichen Gründen wie beim Einsatz des Geiseltallacks (Versprödung, chemische Instabilität) nicht angeraten war, den genannten Cellulosenitrat-Klebstoff weiterhin einzusetzen, mußte auch hier eine Alternative gefunden werden (Keiler 1991, 81-84).

Seit 1988 wurden zwei Epoxidharz-Kleber auf ihre Verwendbarkeit zur Verklebung von Knochen- und Zahnsplintern getestet. Es handelte sich um die Zweikomponentenkleber (Harz und Härter) HELAPOX-Minutenkleber und HELAPOX-transparent (Hersteller ehem. VEB Leuna-Werke). Beide Sorten wurden in kleinen Mengen aus ihren Einzelkomponenten im Verhältnis 1:1 angemischt. Insbesondere bei HELAPOX-Minutenkleber bestand die Gefahr, daß beim Anmischen größerer Klebermengen die exotherme Harz-Härter-Reaktion zu einer Überhitzung des Klebergemisches führen konnte. Folglich wurde zumeist mit dem weniger heftig reagierendem HELAPOX-transparent gearbeitet.

Günstig auf die zukünftige Klebefuge wirkte sich bei den Epoxidharzen nicht nur die an sich hartelastische und hochfeste Verbindung des Klebers aus, sondern auch die reaktionstypbedingt (Polyaddition) nur geringfügige Schrumpfung des ausgehärteten Epoxidharzes (<0,2%). Gelegentlich erforderliche Teilergänzungen von Fundstücken werden durch die Möglichkeit, beiden Klebersorten hohe Anteile von Feststoffen (z.B. Schleifstaub, Pulverfarben) beimengen zu können, begünstigt.

HELAPOX-Minutenkleber wurde nach einer Anmischzeit von etwa 30 s auf die zu verbindenden Paßflächen dünn aufgetragen und sodann wenige Minuten unter leichtem Preßdruck zusammengehalten bzw. entsprechend fixiert. HELAPOX-transparent war bis zu 30min und länger verarbeitbar. Die zusammengefügte Stücke mußten deshalb im Sandkasten, z.B. mit Gummibändern fixiert, bis zur Aushärtung des Kunstharzes in Paßlage gehalten werden. Erst nach 24 Stunden war die Polyadditionsreaktion vollständig abgeschlossen. Aus der Klebefuge frisch ausgetretenes Harz konnte entweder sofort mit einem lösungsmittelfeuchten Pinsel abgewischt oder nach der Aushärtung mit einem erhitzten Skalpell entfernt werden. Gut bearbeiten ließ sich das feste Epoxidharz auch mit Dentalschleifkörpern. Mußte in seltenen Fällen die Klebefuge wieder geöffnet werden, konnte durch längeres Befeuchten oder Einlegen des gesamten Stückes in Lösungsmittel (gut geeignet Ethylacetat oder Aceton) der Kleber aufgequollen und somit erweicht und brüchig gemacht werden. Anschließend ließ sich die Klebefuge mit etwas Geschick öffnen. Epoxidharze sind nach Hücke u. Bleck (1985, 65) im polyaddierten Zustand auch in einem Gemisch aus 93% Methylenchlorid und 7% Methanol löslich.

Wegen der grundsätzlich guten Ergebnisse hat sich die Verklebung von Fossilfragmenten mit Epoxidharzen bewährt, insbesondere beim Zusammenfügen flächiger Paßstellen und von mittelgroßen bis sehr großen Fragmenten. Bei den genannten Klebern sowie generell beim Umgang mit Reaktionsharzen ist besondere Vorsicht gegenüber den oft Hautirritationen verursachenden flüssigen Einzelkomponenten angeraten.

Seit 1990 wurde zur Präparation des Untermaßfelder Knochenmaterials eine andere Epoxidharzsorte mit der Bezeichnung »Weicon Epoxyd Minutenkleber« (Vertrieb durch Firma Krantz/Bonn) eingesetzt. Insbesondere der Härter, N(3-Dimethylaminopropyl)-1,3-Propylendiamin enthaltend, kann auf Haut und Augen sensibilisierend wirken. Harz und Härter (je 12ml) befinden sich getrennt in einer Doppelkartusche, mit der sich die gewünschten Klebermengen bequem dosieren lassen. Es handelt sich um einen schnellhärtenden (Topfzeit temperaturabhängig ca. 5min) transparenten Kleber mit sehr hoher

Klebkraft, der elastisch-stoßfeste, zug- und schlagfeste Verbindungen verschiedenster Materialien (z.B. Metall, Glas, Keramik, Naturstein, Holz, diverse Hartkunststoffe) herstellt.

Zur Verklebung kleiner und kleinster Paßstellen wurde seit 1990 noch eine weitere Klebersorte getestet, ein dünnflüssiges einkomponentiges kalthärtendes Cyanacrylat, das unter dem Namen Geodur S 40 über den Fachhandel zu beziehen ist (Firma Krantz/Bonn). Da dieser Kleber u.a. auf Aethylestern basiert, gestalten sich dessen Moleküle naturgemäß etwas größer als bei den ebenfalls in der Präparation gebräuchlichen Methylester-Klebern. Somit liegen die Verankerungspunkte der Moleküle im Polymerisat etwas weiter auseinander, was eine höhere Endelastizität des ausreagierten Klebers bewirkt (Anonymus o. J., ca. 1997). Frisch ausgehärtete (7 Tage), etwa 0,5 mm starke Kleberfilme überstanden eine Faltung um 180° bruchfrei (Testreihe Verf.). Mit Geodur S 40 ist es möglich, auch Paßstellen mit starken Toleranzen in der Bruchfuge zu überbrücken. Vor einer vorzeitigen Polymerisation ist das flüssige Harz durch spezielle Stabilisatoren geschützt. Anionische Starter, basisch reagierende Oberflächen oder auch geringe absorbierte Feuchtigkeitsmengen (40-70% relative Feuchte) setzen die Polymerisation in Gang, u. U. in Sekundenschnelle.

Die Handhabung des genannten Klebers ist ausgesprochen einfach. Die zu verbindenden Fossilfragmente wurden vor Verklebung von anhaftenden Schmutzpartikeln bzw. eventuellen Fettschichten z.B. durch Lösungsmittelwäsche gereinigt, gegebenenfalls durch Kunstharztränkung gefestigt (vgl. Abschn. 3. 2.). Mittels Tropfflasche wurde das flüssige Harz sparsam auf die Paßstelle eines der Fossilfragmente aufgetragen (durchschnittlich ein Tropfen pro 4 cm² Verklebungsfläche). Sodann mußten die beiden Fossilfragmente unter leichtem Preßdruck zügig zusammengefügt werden. In der Regel hatte der Kleber bereits nach einigen Sekunden angezogen, das Stück konnte zur Aushärtung abgelegt oder in gleicher Manier weitere Fragmente angefügt werden. Mit etwas Geschick ließen sich mehr als zwei Fragmente gleichzeitig verkleben. Stets mußte jedoch auf exakte Paßlage geachtet werden, da ausreagierte Klebefugen nicht mehr korrigierbar sind. Auch in gesättigt feuchtem Milieu (bergfeuchtes oder frisch naßgereinigtes Fossilmaterial) sind gute Klebeergebnisse zu erzielen. Größere Flächen konnten ebenfalls in vorgeschildelter Weise durch punktförmigen Harzauftrag verklebt werden, ohne daß Sprödrübe durch zu massiven Kleberauftrag zu befürchten waren. Allerdings verzögern sauer reagierende Oberflächen den Polymerisationsprozeß bzw. können diesen im Extremfall völlig verhindern. Einem eventuell zu geringen Feuchtigkeitsangebot (Unterschreitung 30% relativer Feuchte) kann durch leichtes Anhauchen der noch offenen Klebefuge vorgebeugt werden. Mißlungene Verklebungen lassen sich durch mechanisches Aufbrechen der Klebefugen – theoretisch außerdem durch Kochen in starker Natronlauge – rückgängig machen.

Insgesamt wurden mit Geodur S 40 bei der Wiederherstellung auch stark zerscherbter Fundstücke (einige hundert Fragmente) durchweg sehr stabile Präparate gefertigt. So gelang es beispielsweise, aus überwiegend 5 bis 10 mm messenden Knochen- und Zahnsplittern mehrere Carnivoren-Schädel [*Canis mosbachensis* Soergel, 1925; *Pachycrocuta brevirostris* (Aymard, 1846)] paßgerecht zusammen zu fügen [vgl. Ansicht Schädeldach von *C. mosbachensis* IQW 1996/25 895 (Mei. 25 424) Taf. 69, 1].

5. Ultraschallpräparation

Ultraschallgeräte verschiedener Art spielen seit Jahren in diversen Anwendungsbereichen der Fossilpräparation eine wesentliche Rolle. Neben den recht verbreiteten Ultraschall-Reinigungsbädern kommen seit längerem auch sogenannte Ultraschall-Handstücke zum Einsatz. Es handelt sich dabei um griffähnliche Sonden, in die verschieden geformte Arbeitsspitzen eingeschraubt werden können. Über ein Kabel mit dem Steuergerät verbunden, werden an der Sondenspitze unterschiedlich intensive Ultraschallwellen erzeugt. Berührt die Arbeitsspitze der Sonde einen Gegenstand, wird hier im Bereich von Millimeterbruchteilen Material von der Oberfläche abgetragen, ohne daß stärker nachgedrückt werden muß. Ein übliches Einsatzgebiet solcher Geräte ist die medizinische Zahnsteinentfernung. Ebenfalls werden diese Sonden in der Restaurierungstechnik eingesetzt, z.B. zur Entfernung von Sinterkrusten. Auch in der paläontologischen Präparation, insbesondere bei der Freilegung von Fossilien aus Festgesteinen, werden Ultraschall-Handstücke mit Erfolg benutzt. Benötigten Geräte der ersten Generation noch eine Wasserkühlung der sich schnell überhitzenden Sonde, ist dies bei moderneren Modellen nicht

mehr erforderlich. Durch hohle Arbeitsspitzen mit feiner Öffnung besteht jedoch weiterhin die Möglichkeit, bei der Freilegung einen Luft- oder Wasserstrahl einzusetzen.

Leicht verfestigte Lockersedimente, wie die standfesten Sande von Untermaßfeld, ließen sich mit dem Ultraschall-Handstück mühelos bearbeiten. Eingesetzt wurde die Ultraschalltechnik in erster Linie bei der Behandlung von Blockbergungen, *in-situ*-Funden sowie bei der Herstellung von Transfer-Präparaten. Ein nur leichter Kontakt der Arbeitsspitze mit dem Sediment führte bereits zum vollständigen Absanden der betreffenden Partie (Keiler 1995, 22, Taf. 20-21). Knochen- oder Zahnoberflächen dürfen dabei keinesfalls berührt werden.

Als besonderer Vorteil gegenüber der herkömmlichen kratzenden Freilegungstechnik hat sich die nahezu erschütterungsfreie, kraftsparende und zügige Arbeitsweise mit den Geräten erwiesen.

6. Transfermethode

Sämtliche Transfermethoden beruhen auf dem Prinzip der Übertragung von Originalsubstanzen (z.B. Fossilien, Sedimentoberflächen) auf künstliche Matrices. Die Umbettungsmaterialien können aus verschiedenen Stoffen (z.B. Wachse, Gipse, Kunstharze) bestehen. Zweck von Umbettungen sind die Stabilisierung bruchgefährdeter Fossilien (bei Bergung, Präparation, Aufbewahrung, Präsentation), Sicherung von Geländebefunden (Fundzusammenhänge, Sedimentfolgen) sowie Substitution von schrumpfenden oder sich chemisch verändernden Originalmatrices.

Bei der Präparation des Untermaßfelder Fossilmaterials wurde die Transfermethode bislang ausschließlich zur dauerhaften Fixierung und statischen Sicherung substantiell schlecht erhaltener Knochen (z.B. Scapulae mittelgroßer Säuger) und Knochenverbände angewandt. Entsprechende Funde wurden im Gelände vorsichtig an der Oberfläche freigelegt und mit verdünntem Präparationslack (Polyvinylbutyral gelöst in Iso-Propanol oder Ethylacetat) beträufelt, um ein oberflächiges Abkreiden oder Abbröckeln zu verhindern. Anschließend wurde der Fund auf einem Sedimentblock aufgesockelt, unterschrämt, die entstandene Rille ausgegipst, abgestochen und zur weiteren Behandlung in das Präparationslabor verbracht. Hier erfolgte die Übertragung des Fundes auf eine künstliche Matrix aus Gips oder Kunstharz (vorzugsweise Epoxidharz, da dieses eine mit Abstand geringere Schrumpfrate als andere Kunstharzsorten aufweist). Dazu wurde der Sandblock so ausgerichtet, daß die Fossiloberfläche annähernd horizontal lag. Mit einer Modelliermasse wurde um das Fundstück auf dem Sediment ein provisorischer Gießrand aufgebaut. Dieser Rand sollte die höchste Stelle des Fossils um ca. 3 cm überragen. Nun konnte auf die gesamte umfaßte Fläche eine je nach Bedarf unterschiedlich starke Epoxidharzschicht gegossen werden (bei ca. 30cm langen Stücken eine etwa 10mm dicke Schicht). Um eine zu starke Wärmeabgabe der exothermen Harz-Härter-Reaktion zu vermeiden, sollten langsam ausreagierende Epoxidharzsorten eingesetzt werden. Anderenfalls müßten mehrere dünne Schichten aufeinander gegossen werden.

Transparente Epoxidharze bieten die Möglichkeit, auch nach der Fossilübertragung die angegossene Fossilseite sichtbar zu halten. Nach klebfreier Aushärtung der Trägerschicht wurde an diese eine isolierende Lage Papier kaschiert und anschließend ein Gipstablett als Präparationsstaffage aufmodelliert. Nach Abbinden des Gipses wurde das gesamte Fundpaket gedreht, um die Fossilunterseite freizulegen. Hierbei wurde das anhaftende Sediment (Sand) in Quadratzentimeter-Schritten abgetragen und die jeweils sichtbaren Fossilpartien mit dem Imprägnierungsmittel (Polyvinylbutyral-Lösung) verfestigt bis die gesamte Fossilunterseite behandelt war. Überstehende Ränder der Epoxidharz-Trägerplatte wurden vorsichtig abgefräst sowie eventuell freiliegende Stellen mit einer feinen Schicht Original-Sediment beklebt. Die transparente Unterseite kann bei Erfordernis nachgeschliffen und poliert werden (vgl. Keiler 1994, 115-118). Zur Sicherung von fossilen Funden und Befunden konnten in analoger Weise mit handelsüblichem Streckmetall bewehrte Gipsplatten anmodelliert werden, so beispielsweise bei einem rechten Vorderbein von *Stephanorhinus etruscus* (Falconer, 1859) [IQW 1999/26 644 (Mei. 26 173)] (Taf. 70-71). Dabei sind die einfache Handhabung und der geringe Preis der eingesetzten Materialien von Vorteil, nachteilig erwiesen sich hingegen das höhere Gewicht des Präparates sowie die fehlende Transparenz der Trägerplattenunterseite.

Zusammenfassung

Die Grabungsarbeiten an der unterpleistozänen fluviatilen Komplexfundstelle Untermaßfeld erbrachten bislang über 12 000 Wirbeltierreste. Alle über den Zeitraum von 1978 bis 1998 zur Präparation und Konservierung benutzten chemischen Substanzen und Spezialtechniken werden vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt auf einer detaillierten Beschreibung von Verfahren und Chemikalien, die zur konsolidierenden und konservierenden Imprägnierung mürben und zerfallsgefährdeten Wirbeltiermaterials eingesetzt wurden. Insbesondere wird das Langzeitverhalten verschiedener Tränkungs- und Klebstoffe diskutiert. Ein Polyvinylbutyral, welches seit mehreren Jahren zur Verfestigung von Untermaßfelder Fossilmaterial benutzt wird, erwies sich als besonders geeignet.

Summary

Excavations at the Lower Pleistocene fluviatile site of Untermaßfeld have produced more than 12,000 vertebrate remains. All chemicals used and special techniques employed for the preparation and conservation of material between 1978 and 1998 are summarised. The detailed description focused on impregnation procedures and on the chemicals applied for consolidation and conservation of fragile vertebrate material liable to decay. In particular, the long-term behaviour of various impregnation and adhesive agents is discussed. For the fossil material of Untermaßfeld polyvinylbutyral was found to be very suitable, and has been used for several years.

Danksagung

Den Herren Dr. habil. R.-D. Kahlke und Dr. L. Maul (beide Weimar) danke ich für kritische Manuskriptdurchsichten. Die Firmen Hoechst AG und oelsauer Bauchemie (beide

Frankfurt a. M.) unterstützten in dankenswerter Weise die Tränkungsversuche durch kostenlose Überlassung von Chemikalienproben.

Literatur

Anonymus 1937: Lösungs- und Weichmachungsmittel für Lacke, Kunstleder und verwandte Gebiete. I. G. Farbenindustrie AG, 205 S. + 24 Taf., Frankfurt/M.

1981: Resamin HF 450 (bisher Uresin B). Technisches Merkblatt, November 1981. Hoechst AG, Verkauf Kunstharz. 2 S., Frankfurt/M.

1987: RESAMIN HF 450. DIN-Sicherheitsdatenblatt vom Juni 1987. Hoechst AG, Verkauf Kunstharze. 2 S., Frankfurt/M.

1988a: Duosan. Produkt-Beschreibung vom 20. 09. 1988. VEB Filmfabrik Wolfen. 2 S., Wolfen.

1988b: Mowital B 20 H, Mowital B 30 H, Mowital B 30 HH, Mowital B 40 H, Mowital B 60 H, Mowital B 60 HH, Mowital B 70 H. Technisches Merkblatt. Hoechst AG, Verkauf Kunstharze. 4 S., Frankfurt/M.

1992: Mowital B 30 H. DIN-Sicherheitsdatenblatt vom 27. 10. 1992. Hoechst AG, Verkauf Kunstharze. 5 S., Frankfurt/M.

1993: WALA-Holzbeize E farblos. DIN-Sicherheitsdatenblatt (DIN 52900) vom 05. 01. 1993. Waltershäuser Lackfabrik GmbH. 3 S., Waltershausen.

1997: Isopropanol kosmetische Qualität. Sicherheitsdatenblatt gemäß 93/112/EG vom 19. 02. 1997. Brenntag Chemiepartner GmbH. 8 S., Mülheim/Ruhr.

o. J. (nach 1989): Ethylacetat. Datenblatt. Erfurt Chemie Brenntag GmbH. 2 S., Erfurt.

o. J. (nach 1989): Ethylacetat. DIN-Sicherheitsdatenblatt. Erfurt Chemie Brenntag GmbH. 2 S., Erfurt.

o. J. (um 1997): Geodur S 40. Einkomponentenkleber auf Basis Cyanacrylat. Produktbeschreibung der Firma Krantz. 1 S., Bonn.

Bleck, R.-D. 1990: Stoffdatenblätter für Restauratoren. unpag., Mus. Ur- und Frühgesch. Thüringens; Weimar.

Ellenberg, J. u. Kahlke, R.-D. 1997: Die quartärgeologische Entwicklung des mittleren Werratal und der Bau der unterpleistozänen Komplexfundstelle Untermaßfeld. In: Kahlke, R.-D. (Hrsg.): Das Pleistozän von Untermaßfeld bei Meiningen (Thüringen). Teil 1. Röm.-Germ. Zentralmus., Monogr. 40, 1, 29-62 + Taf. 1-18, Mainz.

Gnam, H. 1946: Die Lösungsmittel und Weichmachungsmittel. 561 S., Wissensch. Verlagsges.; Stuttgart.

- Hess, K. 1928: Die Chemie der Zellulose und ihrer Begleiter. XX/836 S., Akad. Verlagsges.; Leipzig.
- Hucke, J. u. Bleck, R.-D. 1985: Chemikalien und Rezepte. Restaurierung und Museumstechnik 3, 113 S., Mus. Ur- und Frühgesch. Thüringens; Weimar.
- Kahlke, R.-D. 1997a: Zur Entdeckungs- und Erforschungsgeschichte der unterpleistozänen Komplexfundstelle Untermaßfeld. In: Kahlke, R.-D. (Hrsg.): Das Pleistozän von Untermaßfeld bei Meiningen (Thüringen). Teil 1. Röm.-Germ. Zentralmus., Monogr. 40, 1, 1-28, Mainz.
- 1997b: Bisheriger Gesamtbefund zur Geologie, Paläozoologie, Taphonomie, Ökologie und Stratigraphie der unterpleistozänen Komplexfundstelle Untermaßfeld. In: Kahlke, R.-D. (Hrsg.): Das Pleistozän von Untermaßfeld bei Meiningen (Thüringen). Teil 1. Röm.-Germ. Zentralmus., Monogr. 40, 1, 385-418, Mainz.
- in diesem Band a: Die Fortführung der Forschungsarbeiten zur unterpleistozänen Komplexfundstelle Untermaßfeld in den Jahren 1989-1996.
- in diesem Band b: Verbesserte geologische Standardprofile zur unterpleistozänen Komplexfundstelle Untermaßfeld.
- 2001: Die unterpleistozäne Komplexfundstelle Untermaßfeld – Zusammenfassung des Kenntnisstandes sowie synthetische Betrachtungen zu Genesemodell, Paläoökologie und Stratigraphie. In: Kahlke, R.-D. (Hrsg.): Das Pleistozän von Untermaßfeld bei Meiningen (Thüringen). Teil 3. Röm.-Germ. Zentralmus., Monogr. 40, 3, 931-1030 + Anl. I-XV, Mainz.
- Keiler, J. A. 1991: Klebstoffe kritisch betrachtet – ein Beitrag zur paläontologischen Präparationstechnik. Der Präparator 37, 2, 81-84, Bochum.
- 1994: Nutzung der Transfer-Methode zur Stabilisierung pleistozäner Wirbeltierreste. Der Präparator 40, 3, 115-118, Bochum.
- 1995: Bergung und Präparation pleistozäner Wirbeltierreste unter Berücksichtigung des Fossilmaterials der Komplexfundstelle Untermaßfeld/Südthüringen. Restaurierung und Museumstechnik 12, 31 S. + 24 Taf., Theiss; Stuttgart.
- in diesem Band: Die Koprolithen aus dem Unterpleistozän von Untermaßfeld.
- Koob, S. P. 1982: The instability of cellulose nitrate adhesives. The Conservator 6, 31-34, London.
- Lieser, T. 1953: Kurzes Lehrbuch der Cellulosechemie. 288 S., Borntraeger; Berlin.
- Münzinger, W. M. 1935: Technologie der Weichmachungsmittel. 120 S., J. F. Lehmanns Verl.; München.
- Pflug, H. D. u. Strübel, G. 1967: Umwandlungen im Wirbeltierknochen während der Fossilisation. Ber. Oberhess. Ges. Nat.- u. Heilkd. Gießen 35, 5-22, Gießen.
- Piest, C., Stich, E. u. Vieweg, W. 1913: Das Zelluloid. Beschreibung seiner Herstellung, Verarbeitung und seiner Ersatzstoffe. Monogr. über chemisch-technische Fabrikationsmethoden Bd. XXXI, 205 S., Verl. W. Knapp; Halle/S.
- Sauer, W. 1988: ZEMIFORM-ISO. Spezialkunststoff zum Härten und Stabilisieren von Stein/Metall/Holz. Firmenschrift. 3 S., oelsauer Bauchemie; Frankfurt/M.
- Selwitz, C. 1988: Cellulosenitrate in conservation. Research in Conservation 2, 1-69, Marina del Rey.
- Shashoua, Y., Bradley, S. M. u. Daniels, V. D. 1992: Degradation of cellulose nitrate adhesive. Studies in Conservation, 37, 113-119, London.
- Turner, A. in diesem Band: Remains of *Pachycrocuta brevirostris* (Carnivora, Hyaenidae) from the Lower Pleistocene site of Untermaßfeld.
- Unger, A. 1988: Holzkonservierung. Schutz und Festigung von Kulturgut aus Holz. 220 S., VEB Fachbuchverl.; Leipzig.
- White, E. M. u. Hannus, L. A. 1983: Chemical weathering of bone in archaeological soils. Amer. Antiquity 48, 31-322, Washington.