

Richtlinien zur Bergung, Entnahme und Archivierung von Skelettproben für palaeogenetische Analysen

[Guidelines for the recovery, acquisition and storage of skeletal samples for palaeogenetical analyses]

JOACHIM BURGER¹, RUTH BOLLONGINO¹

¹ AG Palaeogenetik, Institut für Anthropologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55099 Mainz, Deutschland

Zusammenfassung

Neben einer kurzen Beschreibung der nennenswerten Kontaminationsquellen enthält dieser Artikel in kurzer Form eine Auflistung der Richtlinien zur DNA-Kontaminationsvermeidung bei der Bergung und Archivierung menschlicher und tierlicher Skelette. Folgende Aspekte werden dabei behandelt: 1) Utensilien für kontaminationsarmes Graben und Beprobungen und Angaben zu ihrem Gebrauch 2) anatomische Beschreibung optimaler Beprobungsstellen am Skelett 3) Größe, Gewicht und Zahl der Proben und 4) Vorschläge zur optimalen Überführung und Lagerung von Skelettmaterial. Es werden darüberhinaus drei sogenannte „Bergungsstufen“ unterschieden, die verschiedene Reinheitsgrade der Bergung und Archivierung beschreiben und zugleich als Leitfaden im Feld dienen können.

Schlüsselwörter: Palaeogenetik, Probennahme, Bergung, Archivierung

Summary

This article summarizes the major sources of DNA contamination and provides a short list of procedures to avoid contamination during the sampling and storage of human and animal skeletal remains. This checklist provided in this article includes 1) a list of paraphernalia used for contamination-free excavation and sampling and instructions on their use 2) an anatomical description of the optimal skeletal elements for destructive sampling 3) the recommended size, weight, and number of samples 4) suggestions on how samples are ideally transported and stored after the excavation. Three “recovery grades” are defined. They represent different levels of “cleanness” of the excavation procedure and subsequent storage and may serve as field manual.

Keywords: palaeogenetics, sampling, storage

Einleitung

Im lebenden Organismus liegt DNA in Hartgeweben wie Knochen und Zähnen in äußerst geringen Mengen vor. Nach dem Tod eines Organismus, anschließender Autolyse und Fäulnis verschlechtert sich der Zustand der DNA in Knochen und Zähnen immer weiter und nimmt auch mengenmäßig rapide ab. Sie degradiert in Abhängigkeit von vielfältigen Millieufaktoren, allen voran Temperatur, pH-Wert und Feuchtigkeit im Erdreich (Burger *et al.* 1999). In der Folge ist die Menge und Qualität der alten DNA schon nach wenigen Monaten derart reduziert, dass endogene DNAs aus einem Skelett exogenen DNA-Kontaminationen

mengenmäßig unterlegen sein können. Um Kontamination zu vermeiden und möglichst reine und authentische prähistorische DNA-Moleküle zu erhalten, sind daher besondere Vorsichtsmaßnahmen geboten. Viele dieser Antikontaminationsregeln treten erst in den molekulargenetischen Labors selbst in Kraft. Doch bereits während der archäologischen Bergung und Archivierung können entscheidende Maßnahmen getroffen werden, die über den zukünftigen Analyseerfolg mitentscheiden. Neben der Vermeidung von Kontaminationen bei der Grabung stellt auch die sachgemäße Lagerung nach der Bergung dabei einen entscheidenden Faktor dar.

Im Folgenden werden die Vorsichtsmaßnahmen geschildert, die zu treffen sind, um Skelette bzw. Teile davon adäquat zu bergen und zu archivieren. Archäozoologische Proben sind dabei wesentlich geringeren Kontaminationsgefahren ausgesetzt als menschliche, so daß hier unterschiedliche Bergungsstrategien dargestellt werden (s.u.). Da darüber hinaus komplexe Grabungssituationen nicht immer eine optimale Bergungsstrategie erlauben, werden drei verschiedene „Stufen“ der Bergung und Archivierung unterschieden, um den verschiedenen Realitäten bei der Grabung und anschließenden Aufbewahrung von bioarchäologischem Fundgut gerecht zu werden. Abgesehen von den hier vorgestellten Richtlinien, die überschaubar und einfach gehalten sind, ist es wichtig, dass die möglichen Kontaminationsquellen dem Ausgräber, Kurator oder Studenten auch theoretisch bewusst sind, so dass er neue Situationen und Ausnahmen vom beschriebenen Schema kompetent selbst einzuschätzen in der Lage ist und entsprechend darauf reagieren kann. Grundsätzlich sind Kontaminationen zu unterscheiden die vor bzw. während der Analyse im Labor stattfinden.

Kontaminationsquellen im palaeogenetischen Labor

Im Umfeld eines Labors entstehen folgende Kontaminationsgefährdungen: zum einen die offensichtlichen Kontaminationen durch Bearbeiter und DNA aus der Umwelt, die entweder direkt oder über Chemikalien bzw. Laborutensilien auf die Probe gelangen; zum anderen bereits vervielfältigte (amplifizierte) Reaktionsprodukte aus vorherigen Analysen. Palaeogenetische Labors (Probenvorbereitung, DNA-Isolation, Erstellung von DNA Bibliotheken bzw. PCR-Ansatz) und Post-Amplifikationslabors (Arbeiten mit DNA-Bibliotheken, Sequenzierung, Klonierung etc.) sind daher am besten in verschiedenen Gebäuden oder zumindest Gebäudeteilen untergebracht. Übertragungen von Amplifikationsprodukten in ein palaeogenetisches Labor stellen ein potenziertes Risiko dar, das nur durch extreme infrastrukturelle Reinstraumbedingungen und entsprechende laborseitige Handlungsanweisungen vermieden werden kann. Archäologen und Kuratoren betrifft dies aber nur insofern als Postlieferungen unbedingt an eine vom üblichen (post-Amplifikation) Laborbetrieb gesonderte Anschrift erfolgen müssen, idealerweise direkt vor die palaeogenetischen Labors. Darüber hinaus obliegen die weiteren Dekontaminationsmaßnahmen den Palaeogenetikern und werden hier nicht näher ausgeführt (eine ausführliche Beschreibung findet sich in Burger 2006).

Kontaminationsquellen bei der Bergung oder Archivierung

In den meisten Fällen sind es Epithelzellen, die über die Hautoberfläche oder den Mundinnenraum aber auch durch Kot, Sputum und Urin (siehe Bollongino *et al.* 2008) in die Umgebung gelangen und das Untersuchungsgut kontaminieren können. Bei Tieren können es zusätzlich Produkte der Tierhaltung und -verwertung wie Fleisch, Wurst, Käse, Leime und Bindemittel oder aus Tieren gewonnene biologische Laborchemikalien sein. Zusätzlich kann ein Skelett durch die Leichensäfte eines Kadavers, der in seiner Nähe (etwa im gleichen Grab) verweste, stark kontaminiert werden. Abgesehen von solchen speziellen Fällen stellen die Ausgräber selbst und die ubiquitäre DNA aus der Umgebung die größte Gefahr dar. Folgende Richtlinien erläutern, wie und an welchen Stellen diese Verunreinigungen zu vermeiden bzw. zu reduzieren sind.

Regeln zur Kontaminationsvermeidung

Tier

Bei der Bergung und Archivierung archäozoologischer Proben ist darauf zu achten, dass möglichst wenig menschliche DNA aber v.a. keine Essensreste auf das Skelett gelangen. Dies kann durch das Tragen von Einmalhandschuhen und Gesichtsmaske ausreichend sichergestellt werden.

Da Leitungswasser immer verunreinigt ist und Kontamination tief in das Knochenmineral eindringen lässt, sollten Proben nie gewaschen und allerhöchstens durch eine trockene Bürste leicht gesäubert werden.

Mensch

Für humanes Material gelten folgende Regeln:

Regel 1: Zwei Paar Einmalhandschuhe übereinander tragen. Dabei Plastikhandschuhe (am besten aus Latex, alternativ Vinyl, Nitril oder Neotril) mit spitzen Fingern am oberen Ende, d.h. am Rand der Manschette, aus der Box nehmen ohne sie flächig zu berühren (s. Abb. 1–3). Es ist entscheidend, daß Handschuhe am vorderen Teil, d.h. an Handfläche, Handrücken und Fingern, nicht mit bloßen Händen berührt werden, da hierdurch der Handschuh kontaminiert würde. Das untere Paar Handschuhe wird konstant getragen, das obere regelmäßig gewechselt, vor allem dann, wenn i) eigene oder fremde Hautpartien berührt wurden ii) unsaubere Gegenstände berührt wurden iii) längere Pausen entstanden sind.



1



2



3

Abb. 1–3: Einmalhandschuhe nur am Rand der Handschuhmanschette anfassen und überziehen. Mit angelegtem erstem Handschuh den zweiten Handschuh entnehmen und ebenso überziehen. Danach ein zweites Paar Handschuhe nach demselben Muster über das erste Paar ziehen. Das Oberpaar kontinuierlich wechseln, das untere nur nach größeren Arbeitseinheiten oder wenn es kontaminiert wurde.

Regel 2: Werkzeuge erst mit Mineralwasser (sollte wenn möglich einen Spritzer Spülmittel aus der Flasche enthalten) und Küchenpapier gründlich abwischen. Nicht einreiben, sondern Oberfläche systematisch abstreifen. Es sollte stilles Mineralwasser verwendet werden und die Flasche frisch geöffnet sein. Die Wasserflasche vorher von außen mit Bleiche (s.u.) abwischen. Zum Abwischen und als Ablage frisch geöffnetes Küchenpapier verwenden (Abb. 4).

Danach werden alle relevanten Grabungsutensilien mit Haushaltsreiniger auf Chlorbasis abwaschen. Dieser ist als „Chlorix“ im Supermarkt, im Ausland auch als „Eau de Javel“ erhältlich. Es handelt sich hierbei um eine bisweilen als Bleiche bezeichnete Lösung < 5% Natriumhypochlorid (NaClO; engl.: *bleach* bzw. *sodium*

hypochlorite). Werkzeuge in Bleiche eintauchen oder damit besprühen und/oder mit Bleiche-feuchtem Küchenpapier abwischen. Wichtig ist, dass die Bleiche die gesamte Oberfläche bedeckt und dort wirken kann. Diese Dekontamination kann am besten in bzw. über einer Plastikschiene erfolgen (s. Abb. 5).

Regel 3: Gesichts- und Haarmaske tragen (Abb. 6). Trotzdem nicht unnötigerweise über die Probe beugen. Haare von Anfang an gut unter der Haarmaske verpacken und nicht mit Handschuhen zurückschieben. Ein Haartuch unter der Haarmaske hilft hier.

Regel 4: Langärmeliges Hemd und lange Hosen tragen.

Regel 5: Alleine arbeiten. Turbulenzen und Gegenwart anderer Menschen vermeiden.



Abb. 4: Folgende Gegenstände sind zusätzlich zum Grabungsbesteck zur Beprobung mitzuführen: 1) mehrere Liter stilles Mineralwasser, 2) Spülmittel bzw. Flüssigseife aus der Flasche, 3) verpacktes Küchenpapier, 4) Haushaltsreiniger auf Chlorbasis, 5) Becher bzw. Gläser zum Abspülen, 6) Zange, 7) Pinzetten. Nicht notwendig aber hilfreich: Enghalslaborflasche.



Abb. 5: Werkzeuge und Utensilien sollen zweimal mit Küchenpapier mechanisch gereinigt werden Küchenpapier beim ersten Mal mit Seifenwasser und beim zweiten Mal mit Chlorreiniger tränken. Danach sollen sie über einem Gefäß mit Chlorbleiche abgespült werden.

Regel 6: Ganzes zu beprobendes Skelettelement möglichst sofort, zügig und mit Erdreich bedeckt entnehmen. Nicht säubern. Gleich verpacken, nicht waschen, trocken und kühl lagern. Es sollten möglichst intakte Knochen bzw. Zähne entnommen werden. Die eigentliche Probenentnahme mit der Säge kann später im Labor durchgeführt werden. Stark fragmentierte Knochen vermeiden. Geschlossene Zahnwurzeln bevorzugen. Das verbleibende Skelett kann nach Entnahme des zu beprobenden Skelettelements anschließend ohne spezielle Dekontaminationsmaßnahmen, also ganz „normal“ geborgen werden.

Sowohl bei Mensch- als auch bei Tierproben sollten pro Grabungsabschnitt eine Knochenprobe einer anderen Spezies genommen werden, um eine Kontamination durch das Liegemilieu überprüfen zu können.

Nach der Bergung

Niedrige Temperaturen und geringe Feuchtigkeit sind dem DNA-Erhalt über längere Zeiträume zuträglich. Die archäologische Bergung eines Skeletts stellt eine kritische Phase für den DNA-Erhalt dar, denn wechselnde Umweltfaktoren sind noch schlechter für das Molekül als moderat schlechte Erhaltungsbedingungen (Alley 2007). Deswegen sollte das entnommene Skelettelement nun nicht einer Reihe von

Umgebungswechseln ausgesetzt, sondern möglichst direkt in die eine oder andere Form der Archivierung überführt werden. Folgende Richtlinien sind dabei zu beachten:

Regel 7: Skelette nicht waschen oder mit Wasser besprühen

Regel 8: Zu beprobende Skelettelemente auf der Grabung solange wie möglich im Schatten und möglichst in einer Kühlbox halten. Zu vermeiden sind Lagerräume, die sich durch Sonneneinstrahlung aufheizen. Falls es vor Ort keine Möglichkeit zur Kühlung gibt, können die verpackten Skelettelemente notfalls auch wieder vergraben werden, um sie an heißen Tagen kühl zu halten.

Regel 9: nach der Bergung die verpackten Skelettelemente bzw. Proben möglichst schnell in eine kühle, trockene Umgebung bringen. Am besten in einen Kühlschrank. Feuchte Skelettelemente sollten dort aber nur für einige Tage gelagert werden, da sonst vermehrt Degradierung durch Bakterien und Schimmelpilze droht.

Regel 10: Feuchte Skelettelemente: kurzfristige Lagerung im Kühlschrank, ansonsten kühl halten, in Papier einwickeln und langsam in einem Karton austrocknen lassen. „Schwitzen“ in geschlossenen Plastiktüten vermeiden. Knochen oder Zähne niemals zum Trocknen in direktes Sonnenlicht oder auf eine Wärmequelle legen.

Regel 11: Mittelfristig sollte eine DNA Probe bei +4 °C aufbewahrt werden. Plant man, einen Knochen oder Zahn langfristig zu archivieren, so geschieht dies idealerweise bei -20°C in einer dichten Plastiktüte. Eine handelsübliche Gefriertruhe ist hierfür ausreichend. Wiederholtes Auf- und Einfrieren vermeiden. Für Konstanz sorgen!

Wahl des Probenmaterials

Folgende Vorschläge müssen im Einzelfall stets nach kuratorischen, musealen bzw. archäozoologischen oder anthropologischen Gesichtspunkten abgewogen werden. Es sollten nicht unnötigerweise Skelettelemente zerstört werden. Die folgenden Vorschläge gelten nicht für wertvolles Fossilmaterial wie etwa jungpaläolithischen Hominine oder ausgestorbene Spezies. Es müssen die Bedürfnisse der klassischen morphologischen Methoden abgewogen werden, um gegebenenfalls Messpunkte oder diagnostisch relevante Merkmale zu bewahren. Die Entnahme sollte von geschultem Personal vorgenommen werden, um morphologische Messpunkte, Bearbeitungsspuren etc. zu verschonen. Die genetische Beprobung sollte zuerst erfolgen, anschließend kann der Knochen für eine morphologische Untersuchung gesäubert werden. Proben sollten nicht gehärtet oder anderweitig behandelt, sondern das ganze, ungewaschene Skelettelement an ein palaeogenetisches Labor überführt werden.

Knochen können auch innerhalb eines Skeletts sehr unterschiedlich erhalten sein. Als Material eignen sich jede Art von Knochenkompakta (insbesondere Diaphysen von Langknochen, Abb. 7) und Zähne mit geschlossenen Zahnwurzeln (v.a. Molaren). Spongiöse Strukturen (Wirbel, Becken etc.) sind nicht geeignet. Gut erhaltene Proben zeichnen sich dadurch aus, dass sie schwer und hart sind. Weiche, leichte und poröse Proben sind in der Regel nicht geeignet. Eine helle Färbung ist tendenziell einer dunklen vorzuziehen, die Härte des Materials ist jedoch ausschlaggebend (die Oberfläche sollte man z.B. nicht leicht einritzen können). Kalk- bzw. Sinterablagerungen sind nicht störend, im Gegenteil, sie fördern die Erhaltung der DNA. Bereiche, die stark von Mikroorganismen zersetzt sind, sind zu vermeiden. Morphologisch vollständige Knochen sind auch molekular besser erhalten als fragmentierte. Knochen und Zähne von Kindern sind wenn möglich zu vermeiden, da die Zähne häufig nicht geschlossen sind und die Kompakta weniger ausgeprägt ist.

Eine unbemerkte mehrfache Beprobung des gleichen Individuums sollte strikt vermieden werden. Dies kann



Abb. 6: Bei der Beprobung Kopfhabe, Gesichtsmaske, langärmeliges Hemd und zwei Paar Einmalhandschuhe übereinander tragen.

durch die Auswahl gleicher Skelettelemente (z.B. nur linke Femora), bzw. durch Beachtung von Größen- und Robustizitätsunterschieden oder der Unterschiedlichkeit von Fundschichten erreicht werden.

Die Proben sollten aus möglichst ungestörten Befunden stammen. Sind weitere Beprobungen für Radiokarbondatierungen und Isotopenanalysen geplant sein, bietet es sich an, eine einzige größere Probe für alle Analysen zu nehmen. In diesem Fall werden die Isotopenproben in den palaeogenetischen Labors abgetrennt und weitergeleitet. Nicht umgekehrt!

Tier

Generell sollte man Knochen mit dichter und nicht gebrochener Kompakta nehmen, also Langknochen, Phalangen, Metacarpalia und -tarsalia. Bei größeren Tieren (Rind, Pferd) eignen sich – wenn nicht vermeidbar – auch die Wirbel, Becken, Schädel oder Hornzapfen sind noch weniger geeignet. Für die gängigen Haustiere bestehen außerdem folgende Erfahrungen:

Rind: Optimal sind Zahnwurzeln, Phalangen (Fingerknochen), Metapodien (Mittelhand- bzw. Mittelfußknochen) und Talus (Sprungbein). Gut sind die Stellen an Langknochen mit starker Kompakta. Weniger gut: Schädel, scapula (Schulterblatt) und costae (Rippen).

Schwein: Gut sind ganze Zähne, Phalangen, Metapodien und Talus – soweit nicht zu klein. Der Schaft der Langknochen ist besser als die Epiphysen.



Abb. 7: Optimale Probenentnahmestellen an einem Langknochen sind die biomechanisch stark beanspruchten Stellen der Dia- und Metaphysen, also dort, wo die Kompakta des Knochens am dicksten ist. Hier sind die vier besten Entnahmestellen markiert.

Schaf/Ziege: bevorzugt sind Langknochen, ansonsten Zähne. Metapodien soweit ausgewachsen und vollständig. Nicht gut sind Hörner.

Mensch

Alternative 1: Zwei Molaren bzw. Prämolaren

- Bei Zähnen wird der ganze Zahn benötigt. Alternativ kann nur die Wurzel verwendet werden, so daß die Krone mithilfe einer Säge abgetrennt und zurückgeführt werden kann. Zahnzement enthält viel DNA (Adler *et al.* 2010) ist aber auch kontaminationsgefährdet.
- Zerbrochene, abasierte oder stark kariöse Zähne eignen sich nicht.

Alternative 2: Ein Molar bzw. Prämolare und ein Knochenstück aus einem Langknochen in folgender Reihenfolge i) vier Stellen am *Femur* (Oberschenkel) wie in Abb. 7 dargestellt ii) ebenso an der *Tibia* (Schienbein) iii) ebenso am *Humerus* (Oberarm) iv) Felsenbein (*pars petrosa ossis temporalis*)

- Es sollten immer Knochenstücke mit dicker Kompakta genommen werden. Die spongiöse Struktur des Knochens ist ungeeignet.
- Größe des Knochenstücks: etwa 1cm × 3 cm (Abb. 7).

Alternative 3: ein längeres oder zwei kleinere Knochenstücke

- Wenn möglich, dann entfernt von *post-mortem* Bruchstellen beproben, da hier Wasser und Mikroorganismen vermehrt die Degradierung der DNA vorangetrieben haben.

Probenentnahme mit Säge

Sollten Proben im Feld oder Archiv mit einer Säge entnommen werden, so sind abgesehen von der Säge selbst und evtl. Diamanttrennblättern folgende Artikel bereitzuhalten (s. Abb. 4 und 6).

- Schutzkleidung (siehe „Generelle Regeln zur Kontaminationsvermeidung“)
- Haushaltsbleiche, Küchenpapier, stilles Mineralwasser, Spülmittel in der Flasche, zwei Becher oder Gläser, eine Zange, zwei Pinzetten.

Es ist darauf zu achten, dass Arbeitsplatz und Geräte nach jedem Sägevorgang gründlich erst mit Seifenwasser und dann mit Bleiche (Sägeblätter müssen mindestens 5 min in Bleiche einwirken) gereinigt werden. Ein Erhitzen des Materials durch zu langes kontinuierliches Sägen sollte vermieden werden. Anthropologisches Material sollte wenn möglich von palaeogenetisch geschultem Personal gesägt werden.

Bemerkungen zur Probenmenge

Bei tierlichen Proben sind insgesamt 2 Gramm Probe ausreichend, um weitreichende genomische Analysen durchzuführen. Größere Probenmengen erleichtern das Prozedere bereits bei der Probenentnahme und vor allem im Labor, sind aber bei durchschnittlich erhaltenem Material nicht notwendig. Bei schlechteren Erhaltungsbedingungen (Jahresdurchschnittstemperatur des Fundplatzes >12°C) können größere Probenmengen die Erfolgsaussichten steigern. Bei menschlichen Knochen sinkt die Kontaminationsgefahr mit der zunehmenden Größe der Probe. Von größeren Knochenstücken können Oberflächen nämlich großzügiger abgenommen und verworfen werden, wodurch die Wahrscheinlichkeit steigt, dass die verbleibenden Stücke unkontaminiert sind.

Mit neuen DNA-Sequenzierungsmethoden können bereits jetzt ganze Genome aus einzelnen Knochen- und Zahnproben sequenziert werden. Zu kleine Proben können den Erfolg solcher aufwendigen Untersuchungen gefährden. Insofern gilt derzeit die Empfehlung, immer so viel Probenmaterial zu entnehmen, wie kuratorisch zu vertreten ist. In der Regel handelt es sich bei holozänen Skeletten ohne den Charakter der Seltenheit bzw. Einmaligkeit derzeit um Gewichte zwischen 2 und 6 Gramm bzw. eine Menge von maximal zwei Molaren. Es ist allerdings zu erwarten, daß methodische Fortschritte in naher Zukunft diese Mengenangaben weiter verringern werden.

| | | |
|--|---|---|
| | | |
| <p>Bergungsstufe 1: höchste Sicherheitsstufe für humane Skelette</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zwei Paar Handschuhe, regelmäßig wechseln 2. Gesichts- und Haarschutz 3. Nur 1 Bearbeiter am Skelett 4. Gewaschenes Grabungsbesteck (Bleiche und Mineralwasser) 5. Probe darf nicht mit Wasser oder starkem Sonnenlicht in Berührung kommen 6. Skelettelement (Zähne, Langknochen oder Felsenbein) vor Ort ohne Reinigung entnehmen und umgehend, einzeln verpackt kühl und trocken lagern <p>Lagerung:</p> <p><input type="checkbox"/> bei Raumtemperatur</p> <p><input type="checkbox"/> bei 4°C</p> <p><input type="checkbox"/> bei -20°C</p> | <p>Bergungsstufe 2: mittlere Sicherheitsstufe für menschliches Material; sehr gut für Tiere</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zwei Paar Handschuhe, regelmäßig wechseln 2. Wenn möglich Gesichts- und Haarschutz, ansonsten nicht über Probe beugen 3. Skelettelemente nicht waschen und am Tag der Bergung einzeln archivieren <p>Lagerung:</p> <p><input type="checkbox"/> bei Raumtemperatur</p> <p><input type="checkbox"/> bei 4°C</p> <p><input type="checkbox"/> bei -20°C</p> | <p>Bergungsstufe 3:</p> <p>Skelettelemente wurden traditionell ohne entsprechende Maßnahmen geborgen.</p> <p>Folgende Angaben können gemacht werden:</p> <p><input type="checkbox"/> gewaschen</p> <p><input type="checkbox"/> nicht gewaschen</p> <p><input type="checkbox"/> unsicher</p> <p><input type="checkbox"/> Lagerung kühl</p> <p><input type="checkbox"/> Lagerung trocken</p> <p><input type="checkbox"/> Unsicher</p> <p><input type="checkbox"/> behandelt mit (Klebstoffe etc.):</p> <p><input type="checkbox"/> Skelette wurden bereits anthropologisch untersucht durch:</p> |

Abb. 8: Die drei verschiedenen Bergungsstufen spiegeln unterschiedliche Grade der Reinheit wieder. Sie dienen der Orientierung im Feld und der Kommunikation zwischen Archäologe und Palaeogenetiker. Die Beschreibungen der Bergungsstufen können ausgedruckt und mitgeführt werden. Mit Probenamen versehen und Kommentaren ergänzt kann je eine zur Probe in die Tüte gelegt zu werden.

Bergungsstufen

Zweifellos wird die tatsächliche Situation im Feld oder Archiv/Museum eine optimale Bergung nicht in jedem Fall zulassen. Für den Palaeogenetiker ist es jedoch wichtig die Bergungs- und Archivierungshistorie der Funde so gut wie möglich zu kennen. In diesem Sinne und als Zusammenfassung der obigen Regeln werden hier drei „Bergungsstufen“ unterschieden, nach denen Funde entnommen werden können (Abb. 8). Dabei stellt Bergungsstufe 1 den optimalen und wünschenswertesten Fall, vor allem für humanes Material,

dar. Bergungsstufe 2 ist die am ehesten realisierbare und sollte in Zukunft die Mindestanforderung darstellen, wenn weitere palaeogenetische Arbeiten geplant sind. Bergungsstufe 2 sollte auch Standard für archäozoologische Beprobungen sein. Auch wenn *ad hoc* keine Analysen geplant sind, empfiehlt es sich für zukünftige Forschungsvorhaben gemäß Bergungsstufe 2 ein Archiv zu generieren.

Bergungsstufe 3 stellt den üblichen Fall einer Altgrabung dar. Hier ist lediglich anzugeben, ob die Skelette gewaschen oder ungewaschen sind und wie sie archiviert wurden. Die in den Bergungsstufen ent-

haltenen Richtlinien sind jederzeit online unter <http://www.uni-mainz.de/FB/Biologie/Anthropologie/MoLA/Deutsch/Home/Home.html> (google-Suche: „*Palaeogenetik Mainz*“) abzurufen und werden dort kontinuierlich den neuesten methodischen Entwicklungen angepasst.

Die Beschreibung der Bergungsstufen kann auf Grabungen mitgeführt und durch eigene Angaben entsprechend ergänzt werden und dient auch der Kommunikation zwischen Archäologen und Palaeogenetikern.

Adresse:

Joachim Burger
AG Palaeogenetik
Institut für Anthropologie
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Saarstraße 21
D-55099 Mainz
Deutschland
Tel.: 0049-6131-3920981
E-mail: jburger@uni-mainz.de

Danksagung

Wir danken Amelie Scheu und Christina Geörg für wertvolle Kommentare.

Literatur

- Alley J 2007. *Entwicklung einer GIS-Datenbank zur Untersuchung der Einflüsse geographischer und klimatischer Faktoren auf den Erhaltungszustand alter DNA*. Masterarbeit, Mainz.
- Bollongino R, Tresset A, Vigne J-D 2008. *Environment and excavation: pre-lab impacts on ancient DNA analyses*. *Comptes Rendus Palevol*. 7(2–3): 91–98.
- Burger J, Hummel S, Herrmann B, Henke W 1999. *DNA preservation: A microsatellite-DNA study on ancient skeletal remains*. *Electrophoresis* 20(8): 1722–1728.
- Burger J 2006. *Zwischen Kontamination und Authentizität. Der Nachweis menschlicher DNA aus archäologischen Skeletten*. In: Niemitz C (ed.). *Brennpunkte und Perspektiven der aktuellen Anthropologie*. Mitteilungen der Berliner Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte, Beiheft 1. Berlin, 53–59.
- Adler CJ, Haak W, Donlon D, Cooper A, The Genographic Consortium 2011. *Survival and recovery of DNA from ancient teeth and bones*. *Journal of Archaeological Science*, in press.