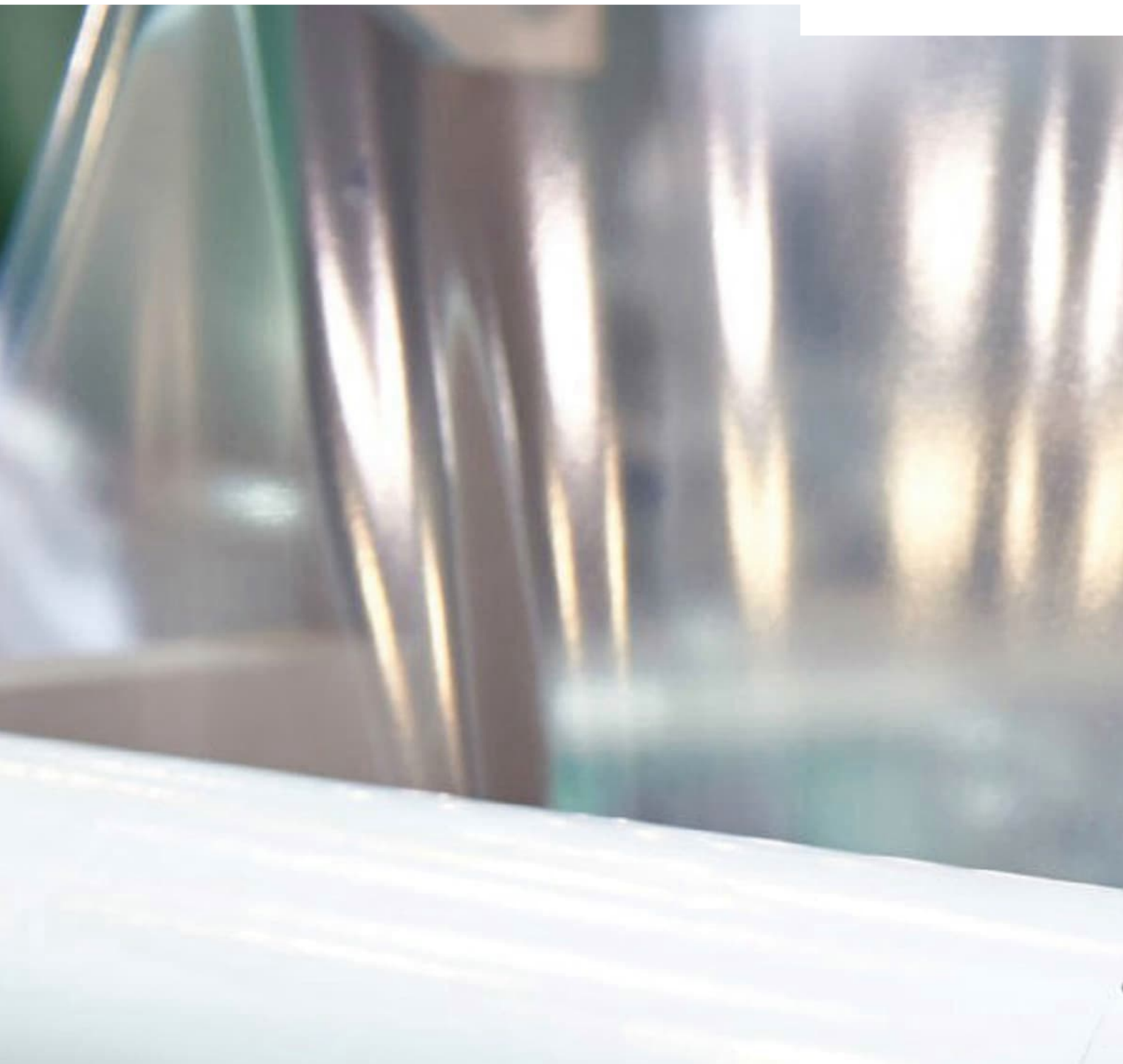


# Die Evaluierung des Vakuum-Skin-Verfahrens zur Verpackung archäologischer Kleinfunde an der Archäologischen Staatssammlung München

Veronika Mayr, Katharina Meier zu Verl



## Die Evaluierung des Vakuum-Skin-Verfahrens zur Verpackung archäologischer Kleinfunde an der Archäologischen Staatssammlung München

Veronika Mayr, Katharina Meier zu Verl

Seit 2012 werden in der Archäologischen Staatssammlung München (ASM) konservatorisch gesicherte Funde aus bayerischen Gräberfeldern des Frühmittelalters mit einem speziell zur Langzeitverwahrung entwickelten Verfahren verpackt. Dieses Verfahren, das unter dem Projektnamen „Grundsicherung“ läuft, dient dazu, die gesicherten Fundobjekte auf eigens dafür angefertigte Archivkartons anzuordnen und mit Hilfe einer Vakuum-Skin-Maschine mit thermoplastischer Polyethylen-Folie zu fixieren. Dadurch wird eine rein mechanische Stabilisierung der teils sehr fragilen Objekte gewährleistet. Die sogenannten Tableaus, die in Euronormkisten stapelbar sind, ermöglichen eine platzsparende und gut einsehbare Lagerung. Der Arbeitsablauf ist zeitsparend und ressourcenschonend, da große Fundmengen gleichzeitig bearbeitet werden können und nur wenig Verpackungsmaterial benötigt wird. Seit 2012 wurden auf diese Weise Funde aus 35 Grabungsprojekten – über 15.000 Einzelfunde – bearbeitet und eingelagert. Im Jahr 2024 erfolgte erstmals eine Evaluierung des Verfahrens hinsichtlich der Langlebigkeit der Materialien und der Effektivität der konservatorischen Wirkung, mit dem Ziel, die zukünftige Anwendung bei Bedarf anzupassen. Die Evaluierung wurde bewusst einfach gehalten, um eine unkomplizierte Methode für ein zukünftiges, regelmäßiges Monitoring zu schaffen.

Der öffentliche Auftrag der Archäologischen Staatssammlung München (ASM) besteht im Sammeln, Erforschen und Bewahren des kulturgeschichtlichen Erbes aus den vergangenen Jahrtausenden der Menschheitsgeschichte im Gebiet des heutigen Bayern sowie in dessen Vermittlung an gegenwärtige und zukünftige Generationen. Ein beträchtlicher Teil der bayernweit ausgegrabenen Funde gelangt früher oder später in die Sammlung. Mit den heute gängigen Restaurierungsstandards ist eine vollständige restauratorische Bearbeitung aller Objekte zeitlich nicht möglich. Gleichwohl ist für die Verwaltung und Bewahrung einer so umfangreichen Sammlung ein schlüssiges System unerlässlich, das sowohl den Erhalt als auch den kurzfristigen Zugriff auf die Bestände gewährleistet.

An der ASM fanden unter der Leitung von Egon Blumenau und Rupert Gebhard Anfang der 2000er Jahre erste Pilotprojekte zur Erforschung geeigneter Verpackungssysteme zur Lagerung der Funde, u. a. in Kooperation mit dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege (BLfD), statt. Das BLfD erprobte gasdichte Verpackungsmöglichkeiten, bei denen die klimatische Konditionierung der Funde in den Verpackungen erfolgte, um von der Luftfeuchtigkeit der

### *Evaluation of the vacuum skin packaging process for small archaeological finds at the Archaeological State Collection Munich*

*Since 2012, finds from Bavarian early medieval burial grounds that have been preserved by conservators at the Archäologischen Staatssammlung München (ASM) have been packaged using a process specially developed for long-term storage. This process involves arranging the preserved artefacts on custom-made archival cardboard sheets and securing them with thermoplastic polyethylene film using a vacuum skin machine. This ensures mechanical stabilisation of the objects, which are often highly fragile. The so-called tableaux, which can be stacked in Euronorm boxes, allow for space-saving and easily accessible storage. The process saves time and resources, as large quantities of finds can be processed simultaneously and only a small amount of packaging material is required. Since 2012, finds from 35 excavation projects – over 15,000 individual finds – have been processed and stored using this method. In 2024, the method was evaluated for the first time regarding the durability of the materials and the effectiveness of the conservation approach, with the aim of reassessing further procedures for the collection. The evaluation was deliberately kept simple in order to create an uncomplicated method for future regular monitoring.*

Lagerungsorte weitgehend unabhängig zu sein. Für die ASM standen die visuelle Zugänglichkeit, die Handhabbarkeit und die Möglichkeit weiterer Untersuchungsmethoden im Mittelpunkt. Die Objekte sollten hierfür vor allem mechanisch stabil und gleichzeitig platzsparend gesichert und die Lagerungsorte entsprechend konditioniert werden. Die Methode ist so konzipiert, dass auch weitere Untersuchungsmethoden, wie Röntgen, möglich bleiben.

Am besten geeignet erschien hier das in der Verpackungsindustrie übliche Vakuum-Skin-Verfahren. Mit diesem Verfahren hatte das Museum für Vor- und Frühgeschichte in Berlin seit 1995 bereits gute Erfahrungen gemacht. Dabei werden gereinigte und gesicherte Funde auf stabilem Archivkarton ausgelegt und mit Hilfe einer Vakuum-Skin-Maschine mit thermoplastischer Polyethylen-Folie (PE-Folie) fixiert.

Gasdichte Verpackungen sowie das Skin-Verfahren konnten im Rahmen des Forschungsprojekts „Massenfunde in archäologischen Sammlungen“<sup>1</sup> untersucht und evaluiert werden. Die Kulturstiftung des Bundes förderte das Projekt von 2007 bis 2011 im Rahmen des „Programms zur Konservierung und Restaurierung von mobilem Kulturgut“ (KUR).

## Material und Methode

Es befasste sich einerseits mit der Weiterentwicklung geeigneter Konservierungsverfahren für organische Nassfunde, andererseits – mit dem Schwerpunkt archäologische Eisenfunde – mit der Evaluierung gängiger Behandlungen (v. a. Entsalzung) sowie mit Lager- und Verpackungsmethoden.<sup>2</sup> Die Skin-Verpackung wurde dabei sowohl unter konservatorischen Gesichtspunkten als auch aufgrund des geringen Zeit- und Kostenaufwands als geeignet für die Langzeitlagerung archäologischer Kleinfunde bewertet.

Auf diesen Erkenntnissen und den Ergebnissen des KUR-Forschungsprojekts basierend rief die ASM im Oktober 2012 ein Projekt ins Leben, das dieses Verfahren zur konservatorisch sicheren, zeit- und platzsparenden Lagerung großer archäologischer Fundmengen anwenden und weiterentwickeln sollte, die so bezeichnete Grundsicherung. Der Fokus lag auf frühmittelalterlichen Grabinventaren aus Grabungsprojekten in Bayern. Dafür wurden bisher unbearbeitete, über viele Jahre eingelagerte Funde der Sammlung ausgewählt. Die Funde wurden trocken von Hand oder mit dem Feinstrahlgerät gereinigt, gegebenenfalls stabilisiert sowie fotografisch und durch Röntgenaufnahmen dokumentiert. Einige der im Folgenden vorgestellten Arbeitsschritte können auch von angeleiteten Hilfskräften durchgeführt werden. Weiterführende Maßnahmen, wie etwa die Eisenent-salzung oder Restaurierung der Funde, sind bisher nicht Bestandteil der Maßnahmen.

Eine zentrale Herausforderung für das Skin-Verfahren besteht in der Sicherstellung gleichbleibender Qualität der eingesetzten Materialien und Techniken über Jahrzehnte hinweg. Dazu zählen die zuverlässige Beschaffung der Materialien in gleichbleibender Qualität sowie die Weitergabe des erforderlichen Wissens an zukünftige Mitarbeitende der ASM. Auch diese Überlegungen flossen in die Evaluierung ein. Ziel war es, ein einfaches, präzises und möglichst objektives Bewertungssystem zu entwickeln, das auch von wechselnden Mitarbeitenden über Jahre hinweg einheitlich angewendet werden kann.

Das Verpacken mittels Skin-Methode wird in der ASM bei der Grundsicherung von Massenfunden angewendet. Der mehrstufige Ablauf bezieht Archäologen, Restauratoren und die Depotverwaltung mit ein. Er beginnt mit der Inventarisierung der Funde im hauseigenen System. Anschließend erfolgt die Fundbearbeitung, bei der verbliebene Erdanhaftungen, Verschmutzungen sowie sichtbare Korrosion entfernt werden (Abb. 1). Glasperlen, Knochen- und Eisenerfakte werden bei Bedarf geklebt. Parallel dazu erfolgt die Fundbestimmung durch die zuständigen Archäologen oder Numismatiker. Weitergehend bearbeitete oder geklebte Objekte werden gesondert fotografiert.

Im nächsten Schritt werden alle Objekte gemeinsam mit auf säurefreiem Papier gedruckten Beschriftungen auf Tableaus aus Archivkarton ausgelegt. Die Kartons werden in vorgefertigten Maßen für die Skin-Maschine bestellt, die Tableaus mit 53 cm x 35 cm sind etwas kleiner als die Innenmaße der verwendeten Euronormkisten<sup>3</sup>. Bei großformatigen Objekten, wie beispielsweise Langwaffen, begrenzt die Arbeitsfläche der Skin-Maschine (Abb. 2) die maximale Größe des Tableaus (max. 95 cm x 35 cm Länge). Nach Anfertigung von Übersichtsaufnahmen werden die Kartons mit der PE-Folie überzogen („geskinnt“). Abschließend erfolgt das Röntgen der fertigen Tableaus. Übersichtsaufnahmen und Röntgenbilder dienen der Dokumentation sowie als Grundlage zur Auswahl für weitere wissenschaftliche Untersuchungen.

Im eigentlichen Skin-Prozess werden die konservierten Objekte auf dem zuvor perforierten Karton in der Skin-Maschine platziert. Die Folie wird auf ca. 500 °C erhitzt und dadurch flexibilisiert. Danach wird sie auf den Karton abgesenkt und verzahnt sich durch ein gleichzeitig angelegtes Vakuum mit der rauen Kartonoberfläche und den Objekten. So entsteht eine stabile Verankerung ohne klebende Beschichtungen,



1 Funde aus der Grundversorgung der ASM vor der konservatorischen Bearbeitung

wie sie in den 1990er Jahren und frühen 2000ern verwendet wurden.<sup>4</sup> Messungen auf der Objektoberfläche im Jahr 2014 ergaben deren kurzzeitige (wenige Sekunden dauernde) Erwärmung auf 123 °C, was als unbedenklich galt.

Die in der ASM seit 2012 verwendete Skin-Verpackung besteht aus zwei Materialkomponenten: einem 5 mm starken Trägerkarton aus Archivwellpappe<sup>5</sup> mit aufkaschierendem Archivkarton<sup>6</sup> und einer 150 µm dünnen Surlyn™-Folie<sup>7</sup> (Abb. 3). Diese einlagige, weichmacherfreie Polyethylen-Folie mit modifizierten Ionomerbindungen weist bei Raumtemperatur (20 °C) eine höhere Transparenz und Zähigkeit als herkömmliche PE-Folie auf.<sup>8</sup> Untersuchungen im Rahmen des KUR-Forschungsprojekts ergaben jedoch, dass ihre Schutzwirkung in Bezug auf Stabilität und Gasdurchlässigkeit nur geringfügig höher ist als die herkömmlicher PE-Folien.<sup>9</sup> Daher ist das Klima am Lagerort von zentraler Bedeutung und muss stabil gehalten und kontrollierbar sein, da die Skin-Verpackung zwar Klimaschwankungen abpuffert, jedoch weder wasserdampf- noch luftdicht ist. Energetisch langfristig vertretbar und konservatorisch sinnvoll sind hierfür Depotbedingungen von ca. 40 % rF, 19 °C.

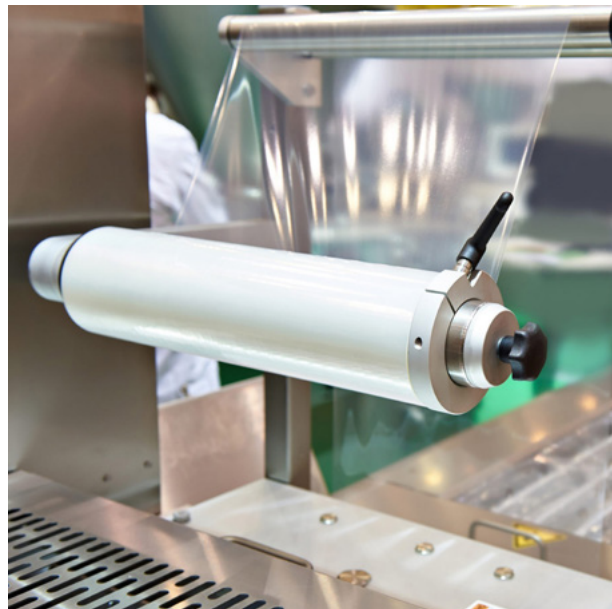
Die Beschaffung des für die Grundsicherung erforderlichen Materials erfolgt ausschließlich in großen Mengen und größeren zeitlichen Abständen. Einerseits werden dadurch kurzfristige Engpässe während einer Maßnahme sowie unvorhersehbare Qualitätsveränderungen vermieden, andererseits liefern viele Hersteller diese Spezialmaterialien nur in Großmengen. Da unklar ist, inwiefern die Hersteller die Produktionsweise dokumentieren und ob Änderungen in der Produktpalette oder -zusammensetzung erfolgen, werden Probestücke aller verwendeten Materialien im ASM archiviert. Auch hausinterne Personalwechsel machen eine genaue Dokumentation des Verfahrens notwendig.

Zur Lagerung werden – abhängig von Kisten- und Regalhöhe – je drei Tableaus mit 3 cm hohen Abstandshaltern aus Ethafoam in Euronormkisten (beides aus Polyethylen) übereinandergestapelt und diese mit selbstklebenden Etiketten beschriftet (Abb. 4, 5). Eingeskinnte Langwaffen passen häufig nicht in Standardkisten und werden daher auf ihren überlangen Tableaus in speziell angefertigte Langwaffenschachteln aus Museumskarton<sup>10</sup> gelegt.

Die verwendeten Materialien sind laut Herstellerangaben langlebig und inert, sie sind jedoch nicht für die langjährige Lagerung von archäologischen Funden entwickelt worden. Eine regelmäßige Evaluierung und Überprüfung der Materialien bleiben daher unerlässlich, um mögliche negative Auswirkungen auf die verpackten Objekte frühzeitig zu erkennen und die Methode gegebenenfalls anzupassen.



2 Skin-Maschine der Firma Illig in den Restaurierungswerkstätten der ASM



3 Surlyn-Folie, die zum Einskinnen verwendet wird



4 Geskinnte Tableaus in beschrifteter Euronormkiste, fertig zur langfristigen Lagerung im Depot



5 Auch raumgreifende Objekte, wie die Pferdetrense, können mit der Folie überzogen werden.

### Vorgehensweise

Im Jahr 2023 wurde beschlossen, das Skin-Verfahren erstmals zu evaluieren. Zu diesem Zweck sollten ausgewählte Tableaus unterschiedlichen Alters bewertet und miteinander verglichen werden. Die Evaluierung begann im Juni 2024.

Zunächst erfolgte eine repräsentative Auswahl von Grabungskomplexen aus den vergangenen zwölf Jahren. Hinzu kam das erste Großprojekt (Grabung Manching) bei dem 2007 das Skin-Verfahren mit einem dünneren, flexibleren Karton<sup>11</sup> sowie einer anderen Folie Anwendung fand.

Alle Grabungskomplexe wurden zunächst visuell bewertet und fotografisch dokumentiert. Anschließend sollten ausgewählte Tableaus geöffnet und die Materialien sowie der Zustand der Funde im Detail begutachtet werden. Basierend auf den Ergebnissen können weiterführende Untersuchungen in Erwägung gezogen werden, etwa für Metallobjekte der Vergleich neuer Röntgenaufnahmen mit den direkt nach dem Skinieren angefertigten, für Folie und Karton Stabilitätsmessungen (bspw. Zugfestigkeitsmessungen).

Die Auswahl der untersuchten Grabungskomplexe erfolgte nach folgenden Kriterien:

**Jahr der Grundsicherung:**

Neben dem ältesten Skin-Projekt eines Grabungskomplexes (Manching) sowie dem ältesten Projekt nach dem aktuellen Verfahren (Petting) wurden weitere Grabungskomplexe berücksichtigt, deren Durchführung mindestens fünf Jahre zurückliegt.

**Materialvielfalt:**

In den gewählten Grabungskomplexen sollten alle gängigen Materialien archäologischer Funde vertreten sein (Eisen, Kupfer, Silber, Glas[perlen], Knochen/Geweihe/Horn/Zahn, organische Reste). Gold, Keramik und Glasgefäße bleiben in der Regel ungeskinnt. Goldfunde verwahrt die ASM im Tresor. Gefäße werden wegen ihrer raumgreifenden Form von den anderen Funden getrennt ebenfalls an anderen Depotstandorten gelagert.

**Materialumfang:**

Eine Mindestanzahl von zehn Tableaus pro Grabung dient dazu, zu erkennen, ob bestimmte Schäden vereinzelt oder systematisch auftreten.

**Tableau-Typen:**

Soweit vorhanden, fanden beide Tableau-Typen Berücksichtigung (Kleinfunde auf rechteckigen Tableaus in Euronormkisten sowie Langwaffentableaus in Museumskarton).

Die Projektauswahl ist in Tabelle 1 zusammengefasst (Tab. 1).

**Bewertungskriterien**

Die optische Beurteilung der mit Folie überzogenen Tableaus erfolgte durch den Vergleich mit den Fotografien und Röntgenaufnahmen, die kurz vor dem Einskinnen aufgenommen worden waren.

Die Bewertung sowie die Festlegung der weiteren Vorgehensweise erfolgten anhand eines vierstufigen Systems:

**1. keine sichtbare Veränderung:**

keine weitere Handlung notwendig  
→ erneute Evaluierung in fünf bis zehn Jahren

**2. leichte Veränderungen:**

kleine Abplatzungen (Fragmente bis zu 1 mm bzw. im Verhältnis zum Objektzustand und -größe), Zunahme der Eisenkorrosion, sonstige optische Veränderungen  
→ je nach Material weitere Untersuchungen erforderlich; engmaschigere Kontrolle (zwei bis drei Jahre)

**3. starke Veränderungen:**

deutlich erkennbare Schäden, z. B. aktive Korrosion, größere Fragmente als bei Stufe 2, Brüche  
→ Anpassung des Systems notwendig: Bisherige Funde können eingeskinnt bleiben, sollten aber z. B. anders gelagert werden; für zukünftige Grabungskomplexe wird das System entsprechend angepasst.

**4. Gefährdung (akute Gefährdung des Objekterhalts):**

unverhältnismäßig schnelle, neu auftretende und fortschreitende Korrosion; starke Oberflächenveränderungen; ungeeignetes Lagerklima (zu hohe relative Luftfeuchtigkeit oder Temperatur); instabile Folie und/oder Karton; Schimmelbefall: sofortige Maßnahmen erforderlich, Herausnehmen der Funde, Konservierung und anderweitige Lagerung.

**Tabelle 1** Bei den gewählten Grabungskomplexen handelt es sich mit Ausnahme von Manching (vorgeschichtlich, keltisch) um Funde aus frühmittelalterlichen Gräberfeldern.

Grabung	Grabungsjahr	Skin Jahr	überprüfte Tableaus	überprüfte Langwaffen
Manching	1996–99	bis 2007	49	0
Steinheim	1996	2014	6	6
Pforzen	1996	2016	13	5
Erpfting	1998	2013	17	6
Penzing	1999	2016	9	6
Eußenheim	2000	2015	6	5
Petting	2011	2013, 2015	16	11

## Bewertung

Bei der Evaluierung wurde vorrangig der Zustand der Eisenfunde überprüft, da diese den Großteil der eingeskinnten Funde ausmachen und bei unsachgemäßer Lagerung stark korrodieren und zerfallen können. Daneben waren auch Funde aus Buntmetall und Silber(-legierungen), Tierknochen und -zähne, Glasperlen und organische Reste für die Beurteilung von Bedeutung.

Vor dem Einskinnen wurden in den vergangenen Jahren lediglich Übersichtsaufnahmen (d. h. ein Bild in Aufsicht pro Tableau) mit Kompaktkameras in mittlerer Auflösung angefertigt. Es zeigte sich, dass sich Details darauf nur schwer vergleichen lassen, wodurch kleinere Veränderungen kaum erkennbar sind. Dennoch ist beispielsweise Eisenkorrosion aufgrund der Farbveränderung ausreichend deutlich sichtbar.

Bei der Betrachtung mit bloßem Auge wirkten die Objekte auf den eingeskinnten Tableaus unverändert. Soweit auf den Aufnahmen des Vorzustands ersichtlich, setzte sich bereits vorhandener Flugrost auf der Oberfläche nicht fort; neue Risse oder ähnliche Schäden wurden ebenfalls nicht beobachtet. Dies konnte auch mit den stichprobenartigen Röntgenaufnahmen bestätigt werden (Abb. 6). Bei allen untersuchten Standard-Tableaus ab 2012 war die Folie weiterhin bis zu den Kanten ausreichend mit dem Karton verzahnt. Bei einzelnen Tableaus mit Langwaffen löste sich die Folie stellenweise am Rand der Kartons. Dabei handelt es sich vermutlich nicht um eine Alterungserscheinung, sondern um die Folge eines zu knapp zugeschnittenen Kartons. Ein zu geringer Abstand zwischen Objekt und Kante verhindert eine ausreichende Verzahnung von Folie und Karton.



6 Vergleich Röntgenaufnahme von 2013 (links) und 2025 (rechts) von Tableau Nr. 8, Petting



7 Tableau Nr. 24 vom Grabungskomplex Petting kurz vor dem Einskinnen im Jahr 2013



8 Eingeskinntes Tableau Nr. 24 kurz vor dem Öffnen im Jahr 2024



9 Tableau Nr. 24 zeigt nach dem Öffnen einige lose Fragmente der Funde.

Im nächsten Schritt wurde die Folie von zwei Tableaus aus Petting (Nr. 24 und Nr. 46) entfernt (Abb. 7, 8, 10). Dabei kamen ein Warmluftföhn, eine Schere und ein Skalpell zum Einsatz, um die Folie vorsichtig von den Funden zu lösen. Es zeigte sich, dass trotz guter Flexibilisierung der Folie durch die Wärme einige Partikel der Objektoberflächen auf der Unterseite haften blieben. Davon betroffen waren vereinzelt pudrige Objekte aus Kupferlegierung, korrodiertes Eisen, aber vor allem anhaftende organische Auflagen. Diese werden in der ASM generell nicht gefestigt, um auch in Zukunft weitere Untersuchungen zu ermöglichen.

Auf den Aufnahmen nach dem Entfernen der Folie sind zahlreiche lose Partikel zu erkennen, bei denen es sich überwiegend um Erdenhaftungen handelt, da zu Beginn der Grund sicherungsmaßnahme viele Objekte vor dem Einskinnen nicht vollständig gereinigt worden waren (Abb. 9, 11). Dennoch kam es insbesondere bei den Eisenobjekten zu erkennbaren Oberflächenschäden, vor allem in Form von Abplatzungen bis zu 1 mm. Ein Eisenstäbchen (Inventar Nummer 2011, 4968 c) war zudem mittig gebrochen, was im eingeskinnten Zustand nicht sichtbar war. Auf der Röntgenaufnahme von 2013 war das Stäbchen noch nicht gebrochen. Diese Schäden sind auf die chemischen Abbau- und Alterungsprozesse der Funde bzw. stärkere mechanische Belastung zurückzuführen, die durch die Folie und die Lagerung bei geringerer Luftfeuchtigkeit und Temperatur verlangsamt, aber nicht gestoppt werden können. Die eingesetzten Skin-Materialien – Folie und Karton – zeigten keine Verformung, Verfärbung oder Geruchsentwicklung. Die Funde der beiden geöffneten Tableaus wurden im Anschluss auf einem frischen Karton erneut eingeskinnt (Abb. 12).

Zwischen den einzelnen Grabungskomplexen konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Die Bewertungen erfolgten gemäß dem oben beschriebenen Bewertungssystem, zunächst rein optisch durch die Folie. Hier stand vor allem der Verbund Objekt – Tableau – Folie in Aufsicht als Gesamtbild zur Bewertung. Im Anschluss wurde die Folie bei zwei Tableaus aus einem Grabungskomplex exemplarisch entfernt und die Funde und Materialgruppen konnten einzeln genauer betrachtet werden. Die Ergebnisse fassen Tabelle 2 und 3 zusammen (Tab. 2, 3).



10 Detail des eingeskinnten Tableaus Nr. 24 mit kleinen gelösten Partikeln



11 Detail des geöffneten Tableaus Nr. 24. Bei den losen Partikeln handelt es sich vor allem um Erdenhaftungen, nur vereinzelt auch um Korrosionspartikel



12 Detail des neu geskinnten Tableaus Nr. 24. Vor dem Schließen wurden gelöste Partikel abgenommen

Tabelle 2 Bewertung nach Materialgruppen/Fundart vor und nach dem Entfernen der Folie

Material/Fundart	Beobachtungen	Bewertung durch die Folie	Bewertung nach Folienentfernung
Eisen	vor dem Öffnen: einzelne Stellen mit Flugrost unverändert, bereits auf Aufnahmen vor dem Skinnen sichtbar; nach dem Öffnen: Korrosion kann sich im Inneren fortsetzen und zu Abplatzungen sowie bei filigranen Objekten (z. B. Nadeln, Ahlen) zu Brüchen führen. Oberflächliche Verluste sind ebenfalls erkennbar, die durch Verankerung in der Folie – trotz Flexibilisierung beim Ablösen – zusätzlich begünstigt werden.	sehr gut	gut bis akzeptabel
Sonderfall Langwaffen	Korrosion wie bei anderen Eisenobjekten; vereinzelt Ablösen der Folie durch zu geringe Kontaktfläche zwischen Karton und Folie um das Objekt	gut	keine Bewertung, es wurde kein Tableau geöffnet
Kupferlegierungen	vor dem Öffnen: unveränderter Zustand; nach dem Öffnen: Bei instabilen Oberflächen (Korrosionsprodukten) bleiben Partikel an der Folie haften.	sehr gut	gut
Silber	vor dem Öffnen: soweit ersichtlich unveränderter Zustand; eine leichte Zunahme der Oxidation kann nicht ausgeschlossen werden, lässt sich anhand älterer Fotos nicht eindeutig belegen; nach dem Öffnen: Bei empfindlichen, instabilen Oberflächen bleiben Partikel an der Folie haften.	gut	gut
Knochen/Zahn	unveränderter Zustand	sehr gut	sehr gut
Glas	Empfindliche gelbe Glasperlen zeigen geringe Partikelanhaftungen an der Folie.	gut	gut bis akzeptabel
Keramik/Stein	unveränderter Zustand	sehr gut	sehr gut
Textil (Gewebe)	vor dem Öffnen: soweit ersichtlich unverändert; nach dem Öffnen: Bei fragilen Oberflächen bleiben Partikel an der Folie haften.	sehr gut	gut bis akzeptabel
Bernstein	soweit ersichtlich unveränderter Zustand; keine pudrigen Oberflächen vorhanden	sehr gut	gut

Tabelle 3 Bewertung der Verpackungsmaterialien der Einskin-Methode

Materialart	Beobachtungen	Bewertung
Materialart	Der seit 2012 und bis heute verwendete Karton ist ausreichend formstabil; keine Farbänderung oder sonstige Alterungserscheinungen erkennbar	sehr gut
Trägerkarton	Die seit 2012 und bis heute verwendete Folie zeigt keine Veränderungen hinsichtlich Stabilität oder Farbe.	sehr gut
Surlyn™ Polyethylenfolie	kein Ablösen der Etiketten festgestellt	sehr gut
Avery®	teilweise Staubablagerungen aufgrund vorübergehender Lagerung in der Werkstatt ohne Deckel	gut
Klebeetiketten	keine Veränderungen erkennbar	sehr gut

## Ergebnisse

Seit 2012 wurden mit Hilfe des Vakuum-Skin-Verfahrens große Fundmengen aus allen gängigen archäologischen Materialien platzsparend, visuell einsehbar und mechanisch gesichert aufbewahrt. Nach bis zu zwölf Jahren zeigen sich lediglich geringfügige Veränderungen an den eingeskinnten Funden. Eisenfunde waren von einer langsam fortschreitenden Korrosion betroffen, da sie weder entsalzt noch unter besonders niedriger Luftfeuchtigkeit gelagert wurden. Diese Entwicklung war zu erwarten. Die Korrosion scheint deutlich schwächer und langsamer zu verlaufen, dies lässt sich zum einen auf das stabilere Klima im Depot (Abb. 13) zurückführen, zum anderen ließ sich jedoch auch in der Werkstatt mit instabilerem Klima ein Unterschied an Flugrostbildung von nicht eingeskinnten und geskinnten Funden beobachten.

Neben dem Röntgenbild konnten die eingeskinnten Objekte auf den Tableaus auch in situ geringfügig bewegt und dadurch überprüft werden, ob Brüche oder größere Fragmente vorlagen. Dies war – mit Ausnahme eines Objekts auf einem der geöffneten Tableaus – nicht der Fall.

Organische Auflagen sowie pudrige Oberflächen bleiben beim Entfernen der Folie teilweise an dieser haften. Stabile organische und mineralische Materialien (wie Knochen, Horn, Zahn, Glas) blieben bislang unverändert.

Im Vergleich zu anderen gängigen Verpackungsmethoden, die bei archäologischen Funden zur Anwendung kommen, bietet das Skin-Verfahren zwei wesentliche Vorteile: Im Gegensatz zum Einschweißen der Funde in die etwas dickeren, aluminiumbeschichteten Folien<sup>12</sup> oder der Lagerung in Klimakisten stellt es eine platz-, materialsparende und zudem kostengünstige Methode dar. Der Tableauekarton ist zudem biologisch abbaubar und erweist sich damit als umweltfreundliche Alternative. Ein Austausch abgenutzter oder undicht gewordener Materialien (z. B. mit eingeschweißten Konditionierungsmitteln) entfällt. Auch im Vergleich zur Lagerung in Schubladen oder in Museumskartons ist das Verfahren vorteilhaft: Es erlaubt eine gute Einsehbarkeit und sorgt zusätzlich für eine mechanische Stabilisierung und Sicherung der Funde. Andere Sammlungen, die geskinnte Objekttableaus hängend lagern, berichten von starken Verwölbungen und Rissen der Tableaus.<sup>13</sup> Die Skin-Methode ist an sich reversibel, da sich die Folie mit heißer Luft wieder erwärmen, ausdehnen und vom Objekt ablösen lässt, und ermöglicht zudem Untersuchungen wie Röntgen oder RFA-Messungen direkt in der Verpackung.

Folie und Karton zeigten keine sichtbaren Alterungsanzeichen, weshalb davon auszugehen ist, dass die Skin-Methode über den evaluierten Zeitraum von mindestens zwölf Jahren stabil ist. Eine Ausnahme bildet in dieser Hinsicht der Komplex Manching, weil dafür im Jahr 2007 noch ein dünnerer, PE-beschichteter Karton (POLYBOARD® Skin-karton, Neutral weiß, 600g/m<sup>2</sup>)<sup>14</sup> verwendet wurde. Die Verbindung von Folie und Karton erfolgte in diesem Fall durch die Verschmelzung der erwärmten PE-Skinfolie mit der PE-Kartonbeschichtung. Diese Kartons verwölbten sich im Laufe der Jahre jedoch sehr stark, was in einigen Fällen ein Ablösen der Folie verursachte. Diese Beobachtung zeigt, dass die Wahl der Skin-Materialien einen erheblichen Einfluss auf die Haltbarkeit der Verpackung hat und die aktuell verwendete Materialkombination hier eine deutliche Verbesserung darstellt. Optische Alterungserscheinungen an den geskinnten Funden konnten aber auch unter diesen Bedingungen nicht festgestellt werden.



13 Euronormkisten in der Kompaktanlage des Depots der ASM

## Fazit

Die Evaluierung ergab, dass es sich beim Skin-Verfahren bislang um eine langlebige und gut geeignete Verpackungsmethode handelt, wie sie bei der Entwicklung des Verfahrens angestrebt wurde. Um eventuelle Alterungserscheinungen rechtzeitig zu registrieren, sind regelmäßige systematische Kontrollen geplant. Zu diesem Zweck erfolgte die Überarbeitung des Dokumentationsverfahrens, und ein neues Projekt (Funde aus der Grabung Pasing) diente ab 2016 als „Indikator“. Diese wurden 2024 geskinnt, sind mit elf Tableaus ausreichend umfangreich und beinhalten alle häufigen Materialien. Außerdem werden Aufnahmen, welche die Grabungsfirma vor und kurz nach der Erstversorgung in Form einer Reinigung und einer teilweisen Klebung machte, zur Verfügung gestellt. Hochauflösende Übersichts- sowie Detailaufnahmen während des Skin-Prozesses und die Dokumentation der Lagerungsbedingungen, etwa Schwankungen von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit sowie der Aufbewahrungsdauer des Grabungskomplexes Pasing an den verschiedenen Standorten, ermöglichen künftig genauere Evaluierungen.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Evaluierung haben sich außerdem folgende Veränderungen für den allgemeinen Ablauf ergeben:

1. Dokumentation und Monitoring: hochauflösende Übersichts- sowie gelegentlich Detailaufnahmen während des Skin-Prozesses und Dokumentation der Lagerungsbedingungen und Lagerungsdauer an den verschiedenen Standorten. Außerdem sollen, soweit vorhanden, Fundfotografien der jeweiligen Grabungsfirma in die Dokumentation miteinbezogen werden. Es wird ein Protokoll erstellt, das im Bedarfsfall selbsterklärend durch zukünftige Mitarbeitende der ASM ausgefüllt werden kann.

2. Maßnahmen beim Einskinnen: Das Herauslösen und Bewerten einzelner geskinnter Funde im Zuge der Evaluierung hat außerdem zu einer Anpassung im Umgang mit Objekten mit organischen Auflagen vor dem Skinnen geführt. Der direkte Kontakt mit der erwärmten Skinfolie soll künftig vermieden werden – etwa durch die zusätzliche Verpackung in Polystyrol-Schachteln oder durch das Abdecken mit zusätzlicher, beim Skin-Prozess nicht direkt erhitzter Folie. Fundstücke in PS-Schachteln werden außerdem mittels Plastazote gesichert, sodass die mechanische Belastung innerhalb der Schachteln zusätzlich geringgehalten wird. Gelbe Glasperlen sollen ebenfalls nicht mehr in Kontakt mit der erwärmten Folie kommen, da sie sich beim Wiederherauslösen als sehr fragil erwiesen haben. Beobachtet wurde, dass das häufig verwendete gelbe Pigment mit der Alterung eine pudrige Schicht auf der Oberfläche bildet. Ähnliche Probleme zeigen sich bei ungefestigtem Bernstein. Diese Fundgruppe soll ebenfalls extra verpackt unter der Skinfolie fixiert werden.

3. Verpackung: Ein genereller Mindestabstand der Objekte zur Tableaukante lässt sich bisher schwer angeben, da er stark von Gewicht und Geometrie des jeweiligen Objekts abhängt. Grundsätzlich sollte der Abstand von Objekt zur Kartonkante mindestens der Höhe des Objekts entsprechen, um das Ablösen der Folie an den Tableaukanten zu verhindern. Zukünftig sollen schwere oder dicht belegte Kartons verstärkt beobachtet werden, um gegebenenfalls Schwellenwerte zu erkennen, ab denen eine Gewichtsreduktion oder die Verwendung eines doppellagigen Kartons erforderlich wird. Entschieden wurde außerdem, dass künftig geschlossene Euronormkisten (ohne Grifflöcher) mit Deckel zum Schutz vor Staub bei der Einlagerung verwendet werden.

Eine stichprobenartige Überprüfung der geskinnten Grabungskomplexe in Abständen von ca. fünf Jahren sowie eine sorgfältige Dokumentation gewährleisten, dass bei weiteren Veränderungen rechtzeitig reagiert und die Methode entsprechend angepasst und weiterentwickelt werden kann.

## Dank

Unser Dank gilt Dr. Catharina Blänsdorf, Dr. Brigitte Haas-Gebhard und Prof. Dr. Rupert Gebhard von der Archäologischen Staatssammlung München.

### Veronika Mayr

Restauratorin M.A.  
Archäologische Staatssammlung München  
Restaurierungsateliers  
Lerchenfeldstraße 2  
80538 München  
[Veronika.Mayr@archaeologie.bayern](mailto:Veronika.Mayr@archaeologie.bayern)

### Katharina Meier zu Verl

Dipl.-Rest. (Univ.)  
Archäologische Staatssammlung München  
Restaurierungsateliers  
Lerchenfeldstraße 2  
80538 München  
[k.meierzuerl@archaeologie.bayern](mailto:k.meierzuerl@archaeologie.bayern)

## Anmerkungen

- 1 MAZZOLA ET AL. 2011
- 2 WAGNER ET AL. 2011 / WAGNER ET AL. 2016 / GAN ET AL. 2024
- 3 Standard-Euronormkiste: 60 cm x 40 cm
- 4 BORN 1997, S. 297
- 5 Fa. Klug Conservation, Zollstraße 2, 87509 Immenstadt.  
Archivwellpappen EF 2.7 mm naturweiß 900 g/qm, Artikelnr.: 0211103 und EF 5.0 mm naturweiß 1160 g/qm, Artikelnr.: 02131176
- 6 Fa. Friedrich Römer GmbH, Bothmerstraße 11–13, 80634 München.  
Archivkarton Nr. 37 Hellgrau 300 g/qm, Artikelnr.: 01037309
- 7 Fa. Knapp, Dortmunder Straße 6–12, 68723 Schwetzingen,  
Handelsname auch „Polyskin S-Folie“
- 8 HANSELMANN 2008, Antwort-E-Mail auf eine Anfrage an die Fa.  
Knapp zu den Materialien der Skin-Verpackung, 27.02.1012
- 9 MAZZOLA ET AL. 2011, S. 15
- 10 Friedrich Römer, Whiteboard 1,5 mm, Bestell Nr. 10215801;  
Verarbeitung zu Kartonagen durch Firma Tobias Seidel  
Verpackungen nach Gerbl & Schwarz
- 11 Dieser Karton wurde auch für den 2013 geskinnten Anteil des  
Komplexes Petting verwendet, vermutlich um den Restbestand  
aufzubrauchen.
- 12 Häufig genutzt werden Beutel aus Escal- und Aluminiumverbund-  
Folie.
- 13 Gespräch mit Philipp Schmidt-Reimann, Leiter der Restaurierung  
des Museums für Vor- und Frühgeschichte der Staatlichen  
Museen Berlin, vom 24.06.2025. Gespräch mit Dr. Anja Pütz vom  
Aschheimuseum in Aschheim, vom 8.07.2025. Das Aschheimuseum  
lagert Funde, welche 2004 bis 2005 in der ASM geskinnt wurden.  
Die auftretenden Verwölbungen sind mit dem damals verwendeten  
sehr dünnen Skinkarton in Zusammenhang zu bringen und traten  
schon kurz nach dem Einskinnen auf.
- 14 MAZZOLA ET AL. 2011, S. 33

## Literatur

- BORN 1997:**  
Herrmann Born, Skinverpacken archäologischer Eisenfunde. In: Archäologisches Nachrichtenblatt, Bd. 2, Heft 3, 1997, S. 288–293
- GAN ET AL. 2024:**  
Weimin Gan, Michael Hofmann, Friedrich E. Wagner und Rupert Gebhard, Texture measurements of archaeological objects at STRESS-SPEC neutron diffractometer. In: Applied Physics A, Bd. 130, 2024, Artikelnummer 659, <https://doi.org/10.1007/s00339-024-07790-3> [Zugriff: 08.01.2025]
- HANSELMANN 2008:**  
Ralf Hanselmann, Ionomere, Römpp Online: <http://www.roempp.com/prod/> [Zugriff: 14.01.2025]
- MAZZOLA ET AL. 2011:**  
Cristina Mazzola, Peter Albert, Waldemar Muskalla und Markus Wittköpper, Das KUR-Projekt: Massenfunde in archäologischen Sammlungen, online-Publikation auf der Internetseite des Hornemann-Instituts; [http://193.175.110.9/hornemann/german/epubl\\_txt/2012\\_KURProjekt\\_Mazzola.pdf](http://193.175.110.9/hornemann/german/epubl_txt/2012_KURProjekt_Mazzola.pdf) [Zugriff: 05.06.2019]
- WAGNER ET AL. 2011:**  
Ursula Wagner, Thibault Demoulin, Rupert Gebhard, Werner Häusler, Christina Mazzola, Ina Meissner und Friedrich E. Wagner, The stabilization of archaeological iron objects: Mössbauer and XRD studies. In: Hyperfine Interact, Bd. 208, 2012, S. 111–116.
- WAGNER ET AL. 2016:**  
Friedrich E. Wagner, Rupert Gebhard, Werner Häusler, Ursula Wagner, Peter Albert, Hermann Hess, Zsolt Révay, Petra Kudejová und Krzysztof Kleszcz, Study of archaeological iron objects by PGAA, Mössbauer spectroscopy and X-ray diffraction. In: Hyperfine Interact, Bd. 237, 2016, Artikelnummer 30

## Abbildungsnachweis

- Abb. 1, 2, 4–13: Archäologische Staatssammlung München  
Abb. 3: <https://andra-pak.pl/de/produkt/surlin-skinfolie/>  
Titel: Detail aus Abb. 3

## Lizenz

Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz  
CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.

