

Zeitschrift: Archäologie der Schweiz : Mitteilungsblatt der SGUF = Archéologie suisse : bulletin de la SSPA = Archeologia svizzera : bollettino della SSPA

Herausgeber: Schweizerische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte

Band: 11 (1988)

Heft: 3

Artikel: Die Plasmabehandlung : eine neue Restaurierungsmethode archäologischer Metallfunde

Autor: Veprek, Stan / Eckmann, Christoph / Müller, Felix

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-9946>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Plasmabehandlung: Eine neue Restaurierungsmethode archäologischer Metallfunde

Stan Veprek, Christoph Eckmann, Felix Müller

Im Laufe der letzten fünf Jahre wurde am Anorganisch-Chemischen Institut der Universität Zürich in enger Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Landesmuseum eine neue Methode für die Restaurierung metallischer Funde entwickelt und an zahlreichen Fundobjekten getestet. Insgesamt wurden mehr als 13000 Eisenobjekte und über hundert Silber- und Bronze-funde mit Erfolg restauriert und konserviert. Über die bisher erzielten Resultate berichten die einschlägigen Veröffentlichungen¹, auf die für weitere Details verwiesen wird. Die Methode eignet sich am besten für Frischfunde, bei denen sie eine sehr einfache Entfernung der Agglomeratkruste ermöglicht, die ja bisher abgeschliffen werden musste.

Unser Artikel befasst sich mit der Restaurierung eines alten Fundkomplexes aus der Tiefenau bei Bern, der zwischen 1849 und 1851 ausgegraben wurde². Über die seinerzeit durchgeführten Konservierungen liegt keine Dokumentation vor. Der Zustand der Objekte lässt den Schluss zu, dass sie höchstwahrscheinlich in Leinöl gekocht und in Wachs getränkt wurden. Mehrere Gegenstände wurden zudem noch mit einer glänzenden Lackschicht überzogen. Eine Freilegung wurde von den früheren Restauratoren grösstenteils nicht vorgenommen.

Im folgenden werden das Vorgehen bei der Plasma-Restaurierung und Konservierung kurz beschrieben und die bisher erzielten Resultate und Erkenntnisse zusammengefasst, sodann die Restaurierung des Fundkomplexes aus der Tiefenau kommentiert. Bei mehreren Objekten konnte nach der Plasmabehandlung die ursprüngliche Oberfläche freigelegt werden, obwohl diese seit mehr als 137 Jahren der atmosphärischen Wirkung ausgesetzt waren. Das Ausbleiben der Nachkorrosion ist vermutlich auf die alte Konservierung mit Leinöl und Wachs zurückzuführen.

Die neue Konservierungs- und Restaurierungsmethode

Das Vorgehen wird am Beispiel der Eisenrestaurierung beschrieben. Bei anderen Metallen ergeben sich einige kleine Unterschiede, die anderswo beschrieben sind³. Auch bei Eisenfunden ergeben sich gelegentlich geringfügige Abweichungen von dem Standardverfahren, die ihrerseits von dem Zustand des Objektes abhängig sind. Über derartige Einzelheiten kann nur aufgrund von Erfahrung im Einzelfall entschieden werden. Eine ausreichende Ausbildung des Restaurators ist deswegen für die erfolgreiche Anwendung der neuen Methode unumgänglich.

Das Standardverfahren basiert auf zwei nacheinander folgenden Plasmabehandlungen:

Die Frischfunde werden zunächst in einer Niederdruckentladung in Wasserstoff und Methan bei einer Temperatur von 250 bis 350° C während etwa zwei Stunden »vorbehandelt«. Wegen der hohen chemischen Reaktivität des Gasplasmas wird die Agglomeratkruste partiell reduziert und demzufolge brüchig. Nach dieser Vorbehandlung kann die Kruste mit einem Skalpell relativ leicht entfernt werden. Das mühsame Schleifen und Sandstrahlen fallen weg. Das schonende Vorgehen ermöglicht dem Restaurator, feinste Details der ursprünglichen Oberfläche zu entdecken, die beim Schleifen und Sandstrahlen sonst verloren gingen. Dies gilt auch für den Fall, wenn die ursprüngliche Oberfläche des Objektes als Metalloxid vorliegt. Mehrere Beispiele dazu können in den Referenzen⁴ gefunden werden.

Nach dem Freilegen werden die Objekte in einem Plasma in einem Gemisch aus Wasserstoff, Methan, Stickstoff und Argon bei etwa 400° C während etwa 20 Stunden nachbehandelt und anschliessend in Wachs (COSMOLOID 80H) getränkt. Dadurch werden sie gegen Nachkorrosion geschützt.

Die Beständigkeit der so behandelten Objekte gegen Nachkorrosion wurde in

Feuchtkammern bei hundertprozentiger Luftfeuchtigkeit und etwa 45° C an mehreren hundert Objekten getestet. Von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen, haben die meisten Objekte auch nach 8 bis 15 Monaten keine Korrosionserscheinungen gezeigt. Im Falle einiger weniger Objekte, die eine geringfügige Korrosion gezeigt haben, konnte diese durch wiederholte Nachbehandlung im Plasma gestoppt werden. Allerdings muss betont werden, dass auch die sorgfältigsten Tests dieser Art die Korrosionsbeständigkeit der Objekte in einem Museum nicht hundertprozentig garantieren können, da die jeweiligen Lagerungsbedingungen stark variieren. So haben zum Beispiel einige hundert Fundstücke, die unsere Tests während mehreren Monaten einwandfrei überstanden haben, bereits nach zwei Monaten Lagerung in einem Museum leichte Oberflächenkorrosion gezeigt. Eine Überprüfung des Lagerortes hat gezeigt, dass die dort herrschende Atmosphäre stark sauer war. Die Verlagerung der Objekte in einen anderen Raum hat das Problem gelöst. Auch bei sorgfältiger Lagerung können gelegentlich vereinzelte Korrosionserscheinungen auftreten. Über eine geeignete, objektspezifische Nachbehandlung muss von Fall zu Fall entschieden werden.

Am Anfang unserer Untersuchungen wurden die Plasmaparameter und die Behandlungsdauer so gewählt, dass die oxidierte Oberfläche des Objektes zum Metall reduziert wurde. Unter diesen Bedingungen konnten die in der Oxidschicht eingelagerten Chloride weitgehend entfernt werden⁵. Im Laufe der späteren Anwendung der Methode für die Behandlung archäologischer Funde stellten wir jedoch fest, dass die vollständige Reduktion der Oxidschicht nachteilig ist, da die entstandene metallische Oberfläche brüchig wird. Aus diesen Gründen wird heute auf die vollständige Reduktion der Oxide und die damit verbundene vollständige Entfernung von Chloriden verzichtet. Nichtsdestoweniger weisen die so behandelten und konservierten Objekte die oben beschriebene Korrosionsbeständigkeit auf⁶.

Abb. 1 zeigt einen Schweizer Dolch (Länge ca. 40cm) während der Behandlung in einer Niederdruckentladung im Wasserstoff. Die Entladung wird durch eine Hochfrequenzspannung aufrechterhalten. Die Hochspannung wird an die um das Glasrohr gewickelten äusseren Elektroden angelegt. Vor der Anwendung einer Gleichstromentladung sei aus Sicherheitsgründen abgeraten (Hochspannung von einigen 1000 V). Darüberhinaus führt diese Ankoppelungsart bei Gegenständen mit Ablagerungen an der Oberfläche (dies gilt wohl für fast alle archäologischen Funde) zu starken Inhomogenitäten der Entladung und dadurch auch zu ungleichmässiger Behandlung.

Die Entladung wird bei einem Druck von etwa einer Tausendstel Atmosphäre betrieben. Demzufolge besteht auch bei einem eventuellen Zerspringen des Glasreaktors durch unvorsichtige Manipulation keine Explosionsgefahr. Um die Sicherheit auch beim Dauerbetrieb in einem Museum zu gewährleisten, wurde mit Hilfe der Firma VACOTEC in Reconville JU eine betriebssichere und wesentlich grössere Apparatur entwickelt. Diese garantiert auch bei groben Bedienungsfehlern eine einwandfreie Betriebssicherheit. Ein Prototyp befindet sich am Anorganisch-Chemischen Institut der Universität Zürich seit etwa zwei Jahren im Dauerbetrieb.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden zum Teil im Rahmen des Nationalen Forschungsprojektes NFP 16 des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung durchgeführt. Sie werden auch nach dessen Beendigung fortgesetzt. Im Rahmen einer Zusammenarbeit und unter Berücksichtigung des zeitlich Möglichen werden auch weiterhin Restaurierungs- und Konservierungsarbeiten von Objekten aus verschiedenen Fundorten durchgeführt.

Die Plasmabehandlung und das Freilegen der Objekte aus der Tiefenau

Die behandelten Eisenobjekte stammen aus dem sogenannten keltischen Massenfund von der Tiefenau auf der Engehalbinsel nördlich der Stadt Bern⁷. Der vor allem aus Waffen, Wagenbestandteilen und Eisenbarren zusammengesetzte Fundkomplex wurde bereits im Jahre 1849 entdeckt und gehoben. Während seine Deutung lange Zeit umstritten blieb, kann die Datierung auf die mittlere und späte Latènezeit (genauer etwa 250 bis 50 v.Chr.) einge-

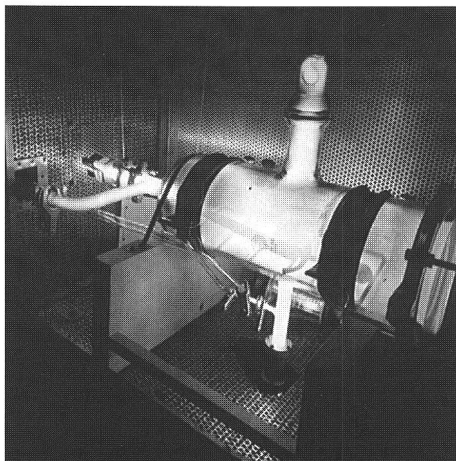


Abb. 1
Ein Schweizer Dolch (Länge ca. 40cm) während der Behandlung in einer Hochfrequenzentladung im Wasserstoff. Die Hochfrequenzspannung wird an die um das Glasrohr gewickelten Elektroden angelegt. Foto ACI, Univ. Zürich.
*Traitement d'un poignard suisse.
Pugnale svizzero in trattamento.*

schränkt werden. Der weitaus grösste Teil der heute noch vorhandenen Gegenstände befindet sich im Bernischen Historischen Museum. Da die rund 180 Eisengegenstände zum Teil bereits früher zu unbekannten Zeitpunkten und mit verschiedenen, ebenfalls unbekannten Methoden konserviert worden sind, zeigte ihr Erhaltungszustand ein vielfältiges Bild. In den meisten Fällen war die sichtbare Oberfläche mit einer starken Agglomeratschicht aus Bodenresten und Eisenoxiden überdeckt und oft mit einem glänzenden Lack gefestigt. Bei vielen Objekten vermuten wir, dass sie in Leinöl gekocht und in Wachs getränkt wurden. Deswegen wiesen die Objekte in der Regel eine stabile, nur selten spröde und rissige Oberflächenbeschaffenheit auf, was sie für eine Behandlung mit dem Plasma als geeignet erscheinen liess. Von besonderem Interesse war die Frage, wie sich die alten Restaurierungs- und Konservierungsversuche unbekannter Art auf den Verlauf und das Resultat der Plasmabehandlung sowie auf die geplanten Neuuntersuchungen des gesamten Fundkomplexes auswirken würden.

Im Vergleich mit den schon vorher gesammelten Erfahrungen an latènezeitlichen, römischen und mittelalterlichen Altertümern⁸ mussten die Tiefenauer Altfunde, verglichen mit der oben erwähnten Standardbehandlung, während einer relativ langen Dauer dem Plasma ausgesetzt werden, bis die Agglomeratschicht genügend erweicht wurde. Der Grund lag in den Lack- und Bindemittelresten, die zunächst

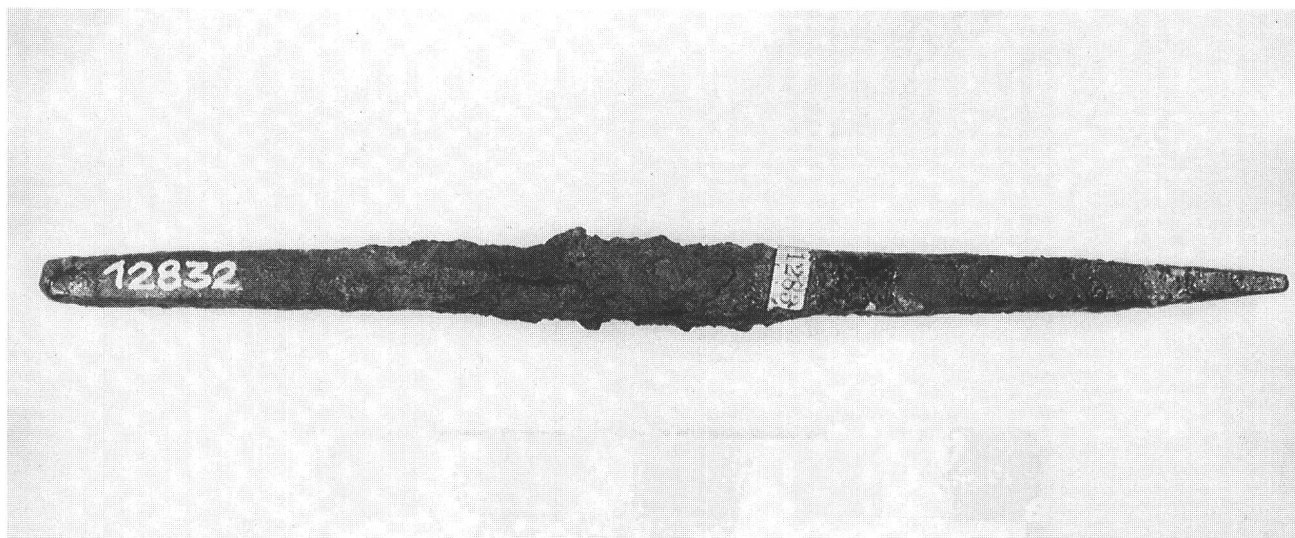
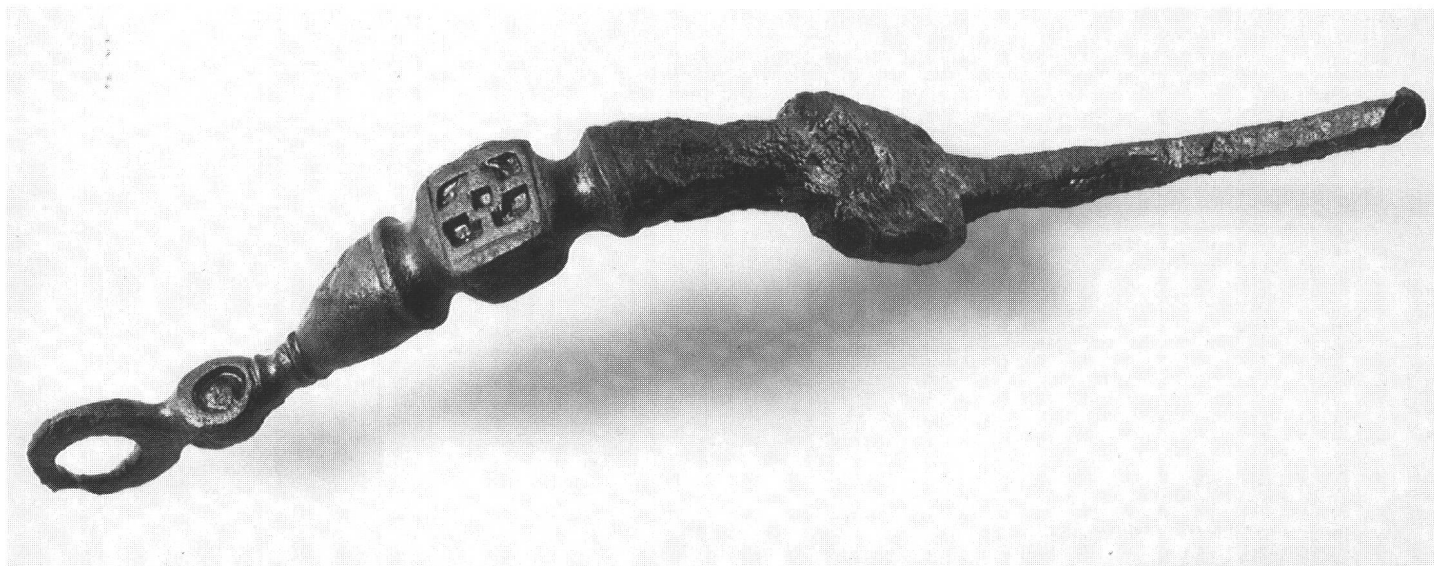
entfernt werden mussten. In einigen Fällen wurde sogar ein Sauerstoffplasma eingesetzt, um diese Stoffe bei niedrigen Temperaturen zu verbrennen. Deswegen gestalteten sich auch die anschliessenden Freilegungsarbeiten mit dem Skalpell als relativ mühsam, und die Plasmavorbereitung musste bei vielen Objekten wiederholt werden. Dadurch war der Zeitaufwand grösser als üblich, dennoch war er um ein vielfaches geringer als bei den konventionellen Methoden wie Sandstrahlen und Schleifen.

Im weiteren ist die Qualität der freigelegten Oberfläche, die viele feine Details zeigt, wesentlich besser (Abb. 3). Abgesehen von denjenigen Fällen, in denen die ursprünglich antike Oberfläche durch vorausgegangene Restaurierungsversuche bereits zerstört war, liessen sich die bedeckenden Agglomeratschichten meistens ziemlich präzise ablösen. In manchen Fällen trat die alte Oberfläche fast ganz unversehrt zum Vorschein. Die besten Resultate lieferten die von den alten Konservierungsversuchen weitgehend verschont gebliebenen Objekte.

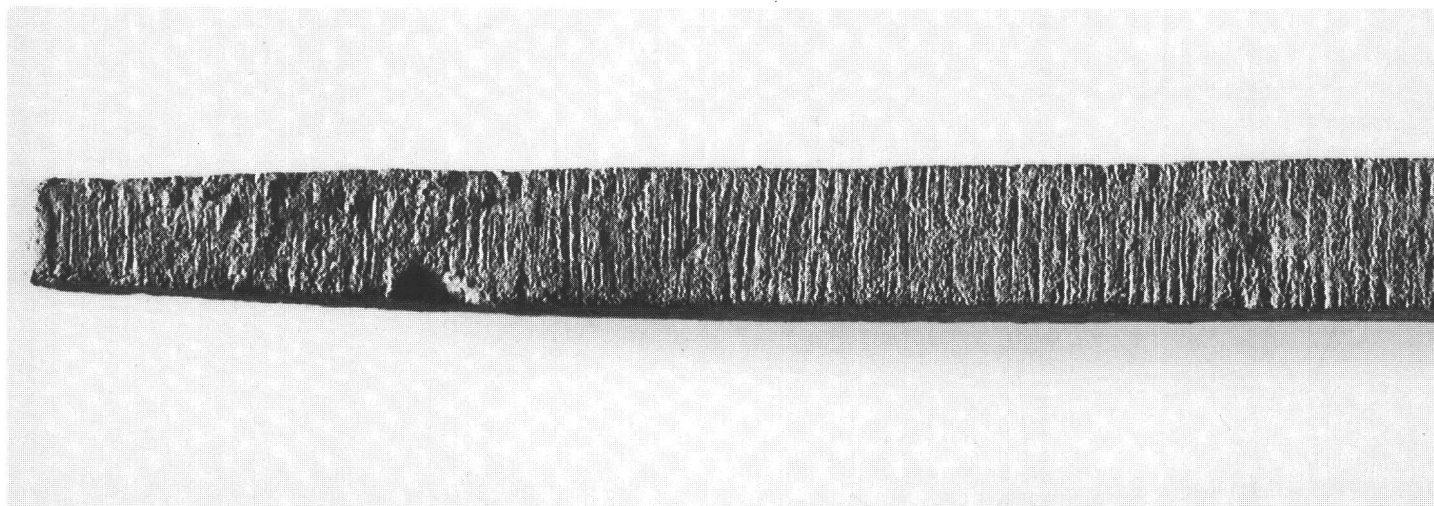
Vom archäologischen Standpunkt aus betrachtet, lieferte die Plasmamethode an den Tiefenauer Funden folgende Resultate:

1. Dort, wo die alte Oberfläche intakt freigelegt werden konnte, bietet sie Gewähr, die ehemalige **Form** des Objektes zuverlässig erfassen zu können (Abb. 2).
2. Geschmiedete, punzierte und gravierte **Verzierungen** der verschiedensten Art wurden im Detail erkennbar (Abb. 2). Eine unter dem Rost verborgene Email- und Pressglaseinlage trat zum Vorschein, ohne aus ihrer Fassung zu fallen.
3. In besonderen Fällen werden Hammerschläge und Feilspuren sichtbar, die Rückschlüsse auf die angewandten **Herstellungstechniken** zulassen. Auch **Abnutzungsspuren** treten klar zu Tage.
4. Bisweilen kann ein Objekt erst durch das Hervortreten charakteristischer Einzelheiten in seiner **Funktion** gedeutet werden. Erst nach der Plasmabehandlung vermochte man zum Beispiel ein längliches Eisenstäbchen (Abb. 3a) als Feile zu interpretieren. Abb. 3b zeigt einen auf seiner Oberfläche sorgfältig anbrachten Feilenhieb.

Zusammenfassend darf gesagt werden, dass die neue Methode bezüglich Arbeitsaufwand bei der Freilegung und bezüglich archäologischer Kenntnisvermehrung beträchtliche Vorteile liefert. In dieser Beziehung ist sie allen bis jetzt bekannten Me-



a



b

Abb. 2
Der mit der Plasmamethode behandelte eiserne Ösengriff erscheint in seiner ursprünglichen Form samt Einzelheiten der Verzierungen (Länge 18,3cm). Foto BHM Bern.

La méthode du plasma révèle la forme originale de cette agraffe en fer, ainsi que le détail de sa documentation.

Il manico in ferro trattato al metodo del plasma appare nella sua forma originale con tutti i dettagli del decoro.

Abb. 3
Gesamtaufnahme (a) und Detail (b) einer eisernen Feile vor und nach der Restaurierung mit der Plasmamethode (Länge 16,5cm). Fotos BHM Bern.

Ensemble (a) et vue rapprochée (b) d'une lime en fer, avant et après conservation avec la méthode du plasma.

Vista generale (a) e in dettaglio (b) di una lima in ferro prima e dopo il trattamento al metodo del plasma.

thoden klar überlegen. Die besten Resultate werden bei Frischfunden, die noch einen massiven metallischen Kern aufweisen, erzielt. Die vorliegenden Beispiele zeigen jedoch, dass auch bei alten Funden bemerkenswerte Resultate erzielt werden können, sofern die Nachkorrosion nicht allzu weit fortgeschritten ist.

Die Beständigkeit der Objekte gegen Nachkorrosion kann aufgrund der bisher vorliegenden Resultate und Erfahrungen insgesamt als gut bezeichnet werden. In Einzelfällen, wo sich die Standardbehandlung als nicht ausreichend erweist, muss sie dem jeweiligen spezifischen Zustand des Objektes angepasst werden.

¹ S. Veprek, J. Patscheider and J.Th. Elmer, Restoration and Conservation of Ancient Artifacts: A New Area of Application of Plasma Chemistry. Plasma Chemistry and Plasma Processing 5, 1985, 201–209.

S. Veprek und J.Th. Elmer, Eine neue Methode für die Eisenkonservierung. Zeitschrift für Schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte 42, 1985, 61–63. Anwendung einer neuen plasmachemischen Methode zur Freilegung und Konservierung einer Handfeuerwaffe aus der Burgruine Freienstein. Ebd. 43, 1986, 247–250.

J. Patscheider and S. Veprek, Application of Low-Pressure Hydrogen Plasma to the Conservation of Ancient Iron Artifacts. Studies in Conservation 31, 1986, 29–37.

S. Veprek, J.Th. Elmer, Ch. Eckmann and M. Jurcik-Rajman, Restoration and Conservation of Archeological Artifacts by Means of a new Plasma-Chemical Method. Journal of the Electrochemical Society 134, 1986, 2398–2405.

S. Veprek, Ch. Eckmann and J.Th. Elmer, Recent Progress in the Restoration of Archeological Metallic Artifacts by Means of Low Pressure Plasma Treatment. Plasma Chemistry and Plasma Processing 7, 1988, im Druck.

² F. Müller, Der latènezeitliche Massenfund von der Tiefenau bei Bern. Archäologisches Korrespondenzblatt 16, 1986 191.

³ Vgl. Veprek, Elmer, Eckmann, Jurcik-Rajman (Anm. 1) und Veprek, Eckmann, Elmer (Anm. 1).

⁴ Vgl. die in Anm. 1 zitierte Literatur.

⁵ Patscheider und Veprek (Anm. 1).

⁶ E. Heer und Mitarbeiter haben bei verschiedenen Tagungen sowie in Zeitungsartikeln behauptet, dass bei ihrer Behandlung in einer Gleichstromentladung die vollständige Reduktion und Chloridentfernung bereits bei wesentlich niedrigeren Temperaturen erfolgt und zu einer kompakten Metalloberfläche führt. Da diese Autoren keine seriöse Publikation in irgendeiner wissenschaftlichen Zeitschrift veröffentlicht haben, kann ihre Behauptung nicht nachgeprüft werden. Unsere eingehenden Untersuchungen sowie elementare Kenntnisse der Chemie und der Entladungsphysik lassen erwarten, dass diese Behauptung kaum durch experimentelle Resultate gestützt werden kann. Die relevanten experimentellen Fakten können in unseren Veröffentlichungen gefunden werden, vgl. die in Anm. 1 zitierte Literatur.

⁷ F. Müller, Das Fragment eines keltischen Kettenpanzers von der Tiefenau bei Bern. AS 9, 1986, 116–123. Veprek, Eckmann, Elmer (Anm. 1).

⁸ Vgl. die in Anm. 1 zitierte Literatur.

Le traitement au plasma: une nouvelle méthode de conservation pour les objets métalliques des fouilles archéologiques

L'Institut de chimie minérale de l'Université de Zurich a mis au point au cours des cinq dernières années un traitement qui a déjà été expérimenté sur plus de 13'000 objets en fer et plus de 100 objets en argent et en bronze.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec les trouvailles récentes, mais la méthode s'applique également avec succès à des objets conservés dans les musées, comme par exemple la trouvaille de Berne-Tiefenau en 1849.

Ce nouveau traitement, très économique pour le matériel le plus courant, est d'un intérêt tout particulier pour les archéologues. Il restitue en effet l'état original de la surface de l'objet, dans la mesure où il est conservé. Ainsi, les moindres détails de la forme de l'objet, les traces de façonnage, les éléments décoratifs, etc... sont rendus perceptibles.

D.W.

Il trattamento al plasma: un nuovo metodo di restauro di scoperte archeologiche metalliche

Il metodo, sviluppato durante gli ultimi 5 anni dall'Istituto di chimica anorganica dell'Università di Zurigo, è già stato applicato a 13'000 scoperte in ferro e a oltre 100 oggetti in argento e in bronzo.

Meglio si prestano scoperte nuove, ma anche su scoperte vecchie si ottengono ottimi risultati (ad esempio i ferri di Berna-Tiefenau del 1849).

Se si dispone delle attrezzature adatte il metodo è poco complesso ed è di particolare interesse per l'archeologia perchè sulle parti intatte dell'oggetto la superficie resta conservata (forma, tracce di lavorazione, decorazioni, ecc.).

S.S.