

**Zeitschrift:** Die Sammlung / Schweizerisches Nationalmuseum = Les collections / Musée national suisse = Le collezioni / Museo nazionale svizzero

**Herausgeber:** Schweizerisches Nationalmuseum

**Band:** - (2008-2009)

**Artikel:** Das Plasma in der Metallkonservierung : Möglichkeiten und Grenzen

**Autor:** Schmidt-Ott, Katharina

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-382072>

### **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:** 06.04.2026

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

# Konservierung / Restaurierung. Conservation / Restauration. Conservazione / Restauro.

## Das Plasma in der Metallkonservierung – Möglichkeiten und Grenzen

Archäologische und historische Objekte sind bedeutende Zeugen ihrer Zeit. Sie vermitteln uns die Geschichte vergangener Kulturen, die Grundlage für unsere heutigen Lebensformen ist. Objekte aus Metall unterliegen aber dem Zerfall. Je unedler das Metall ist, umso stärker korrodiert ein Objekt. Archäologische Metallfunde, die in der Erde ruhen, überdauern in der Regel eine Zeitspanne von 2000 Jahren mit vergleichsweise wenig Korrosion. Nach der Ausgrabung aber, bei Zutritt von Sauerstoff aus der Atmosphäre, können vor allem Eisenfunde nach nur wenigen Jahren durch Korrosion vollständig zerstört sein.

Nur eine fachgerechte Konservierung/Restaurierung kann den Zerfallsprozess aufhalten. Um eine Deutung der kulturgeschichtlichen Inhalte möglich zu machen, werden bei archäologischen Funden zudem oftmals die aussenliegenden, entstellenden Korrosionsschichten entfernt. Um diese Arbeit zu erleichtern wird die Plasmamethode für Eisenobjekte eingesetzt.

Dieselbe Methode kann auch für historische Silberobjekte angewendet werden, die durch die Einwirkung von Schadstoffen schwarz anlaufen bzw. korrodieren. Im Wasserstoffplasma ist es möglich, die Silberkorrosionsprodukte zu metallischem Silber zu reduzieren. Im Gegensatz zu einer mechanischen Reinigung besteht der Vorteil der Plasmareduktion darin, dass es zu keinerlei Beschädigung der Oberfläche kommt.

Die Verwendung von Gas-Plasmen in der Metallkonservierung ist seit 1979 bekannt, die Anwendung der Methode hat sich in den letzten Jahren jedoch stark verändert. Um optimale Behandlungsparameter für die Anwendung im musealen Bereich zu definieren und die Wirkung des Plasmas auf die verschiedensten Objektgruppen besser zu verstehen, wurde in Zusammenarbeit zwischen dem Schweizerischen Nationalmuseum, der Akademie der Bildenden Künste in Stuttgart und der EMPA in Dübendorf und St. Gallen ein mehrjähriges Projekt durchgeführt. Inhalt dieser wissenschaftlichen Arbeit war die Anwendung der Plasmamethode in der Konservierung von Eisen-, Silber- und Bleiobjekten.

Ein Plasma ist ein gasförmiges Gemisch aus Ionen, Elektronen und elektrisch neutralen Atomen oder Molekülen. Die Elektronen sind ungebunden und bilden ein Elektronengas, das neben dem Ionengas und dem Gas der Neutralteilchen besteht. Die freien Ladungsträger im Plasma, Elektronen und Ionen, bestimmen ganz wesentlich die Eigenschaften eines Plasmas. Eine der auffälligsten Erscheinungen eines Plasmas ist das Leuchten. Es entsteht dadurch, dass durch unelastischen Elektronenstoß angeregte Atome relaxieren<sup>1</sup> [1]. Die Ionisierung wird erzeugt, indem Wasserstoffgas durch ein Hochfrequenzfeld angeregt wird. Denn zur Reduktion im Plasma ist atomarer Wasserstoff nötig. Der Ionisierungsgrad beträgt etwa 1%. Inhalt des Forschungsprojektes war es, die Möglichkeiten und Vorteile für die Hochfrequenz-Plasmaanwendung auszuloten, die dabei ablaufenden Prozesse möglichst gut zu verstehen und sie, wo nötig, mit anderen fundierten Konservierungsmethoden zu kombinieren. Es war das Ziel der Arbeiten, eine zuverlässige Methode zur langfristigen Erhaltung der Eisen- und Silberobjekte zu gewinnen.

Die Apparatur musste hierzu vorab mit verschiedenen technischen Zusätzen versehen werden. Erst die Möglichkeit, die Temperaturen von Objekten während der Plasmabehandlung direkt messen und alle Behandlungsparameter fortlaufend aufzeichnen zu können, bildete die Basis für die in dieser Arbeit vorgestellten Untersuchungen.

Im Bereich der Eisenkonservierung gab es zahlreiche offene Fragen. Die Eindringtiefe der Reduktion war nicht bekannt. Von zentralem Interesse war es auch zu erfahren, ob die Plasmabehandlung auch bei niedrigeren Temperaturen die Reduktion von Hämatit<sup>2</sup> zu Magnetit<sup>3</sup> bewirkte, und ob andere Eisenkorrosionsprodukte wie Goethit<sup>4</sup> und Akaganeit<sup>5</sup> ebenfalls reduziert werden können.

Neben der Anwendung für Eisenobjekte erschienen auch die Reinigung von Silberoberflächen und möglicherweise Bleiobjekten vielversprechend zu sein.

Für diese Anwendungsbereiche waren optimale Behandlungsparameter noch nicht bekannt.

Zusammenfassend liegen für archäologische Eisenobjekte, welche in der Regel von dicken und überaus harten Korrosionsschichten umgeben sind, die folgenden Ergebnisse vor:

Durch die mehrstündige Plasmabehandlung kommt es zu einer feinen Trennung zwischen der äusseren, oftmals dicken Korrosionsschicht und der so genannten originalen Oberfläche, welche bei der mechanischen Freilegung zum Vorschein kommt. Die Schichtentrennung kann man auf metallografischen Schliffen unter dem Rasterelektronenmikroskop sichtbar machen [3]. Ferner kann eine Reduktion in den oberflächennahen Bereichen einzelner Korrosionsprodukte bewiesen werden, z.B. wird Hämatit zu Magnetit reduziert. Mit Hilfe der Ramanspektroskopie kann man eine solche Reduktion sichtbar machen [2]. Eine Reduktion verschiedener Eisenkorrosionsprodukte in den tiefer gelegenen Schichten ist jedoch nicht messbar. Die Freilegungserleichterung wird daher neu in einen direkten Zusammenhang mit der Einwirkung des Hochfrequenzstroms gebracht.

Die Eignung der Methode wurde weiterhin für historische Silberobjekte untersucht. Gegenstände aus Silber haben die Eigenschaft, durch Einwirkung von Schadstoffen, wie Schwefel- oder Chlorverbindungen, schwarz anzulaufen bzw. zu korrodieren [5]. Mit Hilfe von Rasterelektronenmikroskop und energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse wurde die Reinigungswirkung des Wasserstoffplasmas an Probeblechen dargestellt. Im reinen Wasserstoffplasma werden Silberkorrosionsschichten zu Silber reduziert [4 und 7]. Dabei entstehen keinerlei Verletzungen der empfindlichen Silberoberflächen. Die effiziente und doch schonende Entfernung von Anlaufschichten konnte ebenso an ausgesuchten historischen Silberobjekten aufgezeigt werden [6].

In Probemessungen an Bleikorrosionsschichten konnte eine Reduktion durch die Plasmabehandlung ebenfalls aufgezeigt werden. Die Tiefenwirkung ist aber wie bei der Behandlung von Eisen und Silber vergleichsweise gering.

Die vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass die Plasmabehandlung im Hochfrequenzfeld sich als wichtiges Hilfsmittel bei der Konservierung/Restauration bewährt hat: Beim Eisen liefert die Kombination mit der Alkali-Sulfit-Entsalzung eine effiziente und verlässliche Konservierung der Eisenobjekte, beim Silber wird im Wasserstoffplasma die ursprüngliche Objektgrenzfläche wieder hergestellt, beim Blei können im speziellen Plasma-Gasgemisch Reduktion und Änderung der Oberflächentopografie erreicht werden.

Die Detailergebnisse des Forschungsprojektes wurden 2009 publiziert:

Schmid-Ott K.: *Erhaltung von Kulturgütern. Das Plasma in der Metallkonservierung – Möglichkeiten und Grenzen*, *Collectio archaeologica*, Band 7

Chronos Verlag, Zürich (2009) 112 S. 110 Abb.,

ISBN 978-3-908025-78-8 and

ISBN 978-3-0340-0956-0

1 Die angeregten Teilchen gehen durch Lichtaussendung in niedriger gelegene Anregungszustände oder den Grundzustand über.

2 Hämatit Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Eisen(III)-oxid)

3 Magnetit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Eisen(II, III)-oxid)

4 Goethit  $\alpha$ -FeOOH (Eisen(III)-oxihydroxid)

5 Akaganeit  $\alpha$ -FeOOH (Eisen(III)-oxihydroxid)

**1 Eisenobjekte während der Plasmabehandlung im Rezipienten.** Die Objekte liegen auf einem Glasgitter. Das helle Licht unmittelbar um die Objekte ist ein Indiz für die Präsenz atomaren Wasserstoffs.

**2 Ramanspektren.** Gemessen an einer Hämatitprobe,  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Kurve I: Hämatitreferenzspektrum gemessen vor der Plasmabehandlung, Kurve II: vier Tage und III: 40 Tage nach der Plasmabehandlung. Die Kurven II und III zeigen den Wechsel zum Magnetitspektrum. Der Übergang vom III-wertigen zum II/III-wertigen Eisen ist eine Reduktion. Ramanparameter: Laser 633 nm, für Kurven I bis III 33  $\mu$ W Laserleistung im Fokus, Aufnahmedauer pro Spektrum 30 s.

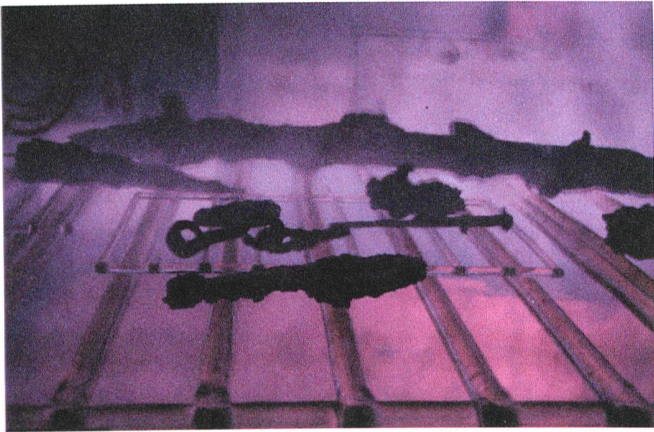
**3 Querschiff eines Eisennagels.** Die Probe wurde nach der Behandlung im Wasserstoffplasma entnommen. Die Trennung zwischen der äusseren Korrosionsschicht und der Objektoberfläche ist gut sichtbar. Die Spalte wird durch den Pfeil markiert.

**4 Energiedispersive Röntgenanalyse einer Silbersulfidschicht vor der Plasmareduktion.** Der Schwefelpeak (S) ist gut sichtbar.

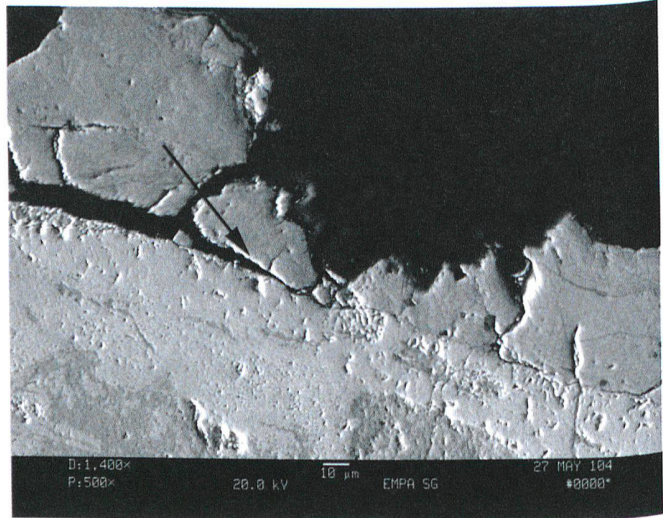
**5 Schützenpokal, vor der Plasmabehandlung.** Die dunkle Sulfidkorrosion ist gut erkennbar.

**6 Der Schützenpokal nach der Plasmabehandlung.** Die dunkle Anlaufschicht wurde entfernt. Behandlungsparameter: 6 ln/h Wasserstoff, etwa 29 Pa, 1030 Watt und eine maximale Objekttemperatur von 85 °C.

**7 Energiedispersive Röntgenanalyse derselben Schicht nach einer 5-minütigen Plasmareduktion.** Der Schwefelanteil wurde entfernt und ist nicht mehr messbar.



1



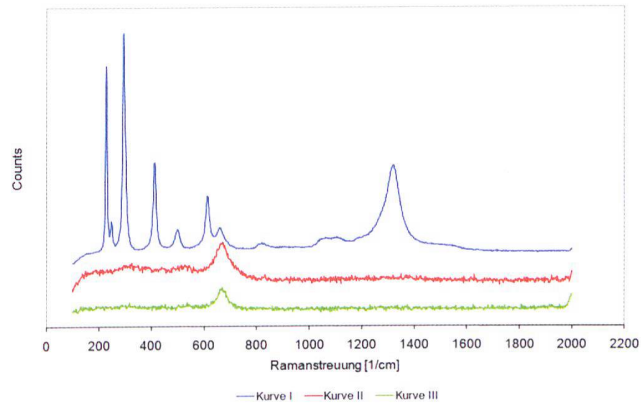
3



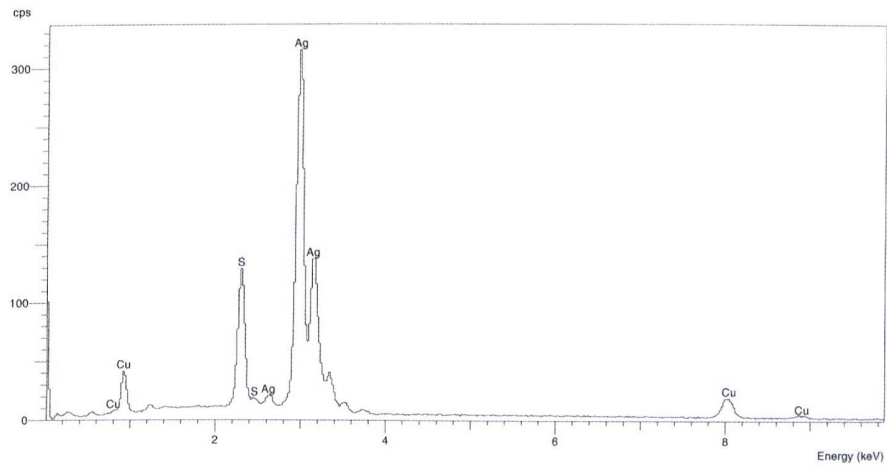
5



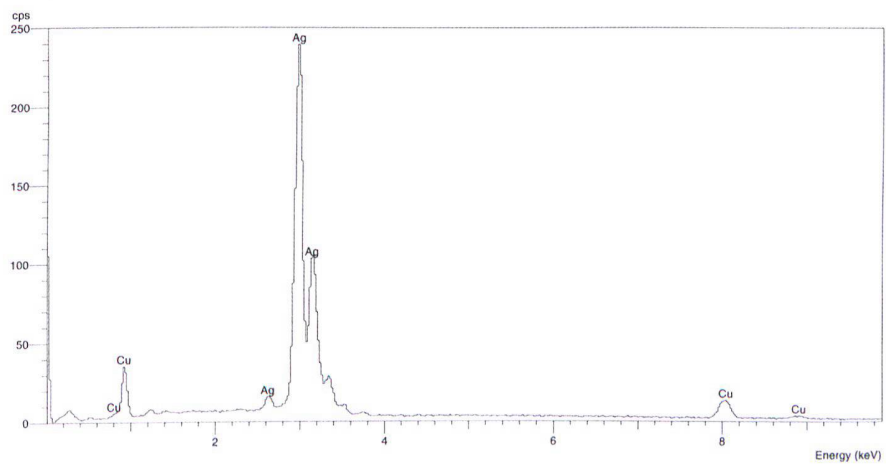
6



2



4



7