



PLANUNG VON ERGÄNZUNGEN AN METALLOBJEKT MITTELS FINITE-ELEMENT-ANALYSIS

Thema und Objekt

In dem Mittelpunkt der Masterarbeit steht ein römischer Buntmetallkessel mit eisernem Mündungsring. Das Objekt zeigt einen Ergänzungsbedarf. Der ist teilweise während der Freilegung temporär gefestigt und stabilisiert worden.¹ Die Masterarbeit wird sich mit *Finite Element Methode* (FEM) auseinandersetzen, um die Festigkeit und Verformung des archäologischen Bronzegefäßes zu untersuchen und damit erforderliche Maßnahmen für die Stabilisierung zu planen. Die FE-Analyse wird verwendet, um die Notwendigkeit für eine Stabilisierung und den Umfang des Ergänzungsbedarfs zu bestimmen sowie die Auswahl der möglichen Ergänzungsmassen zu reduzieren.

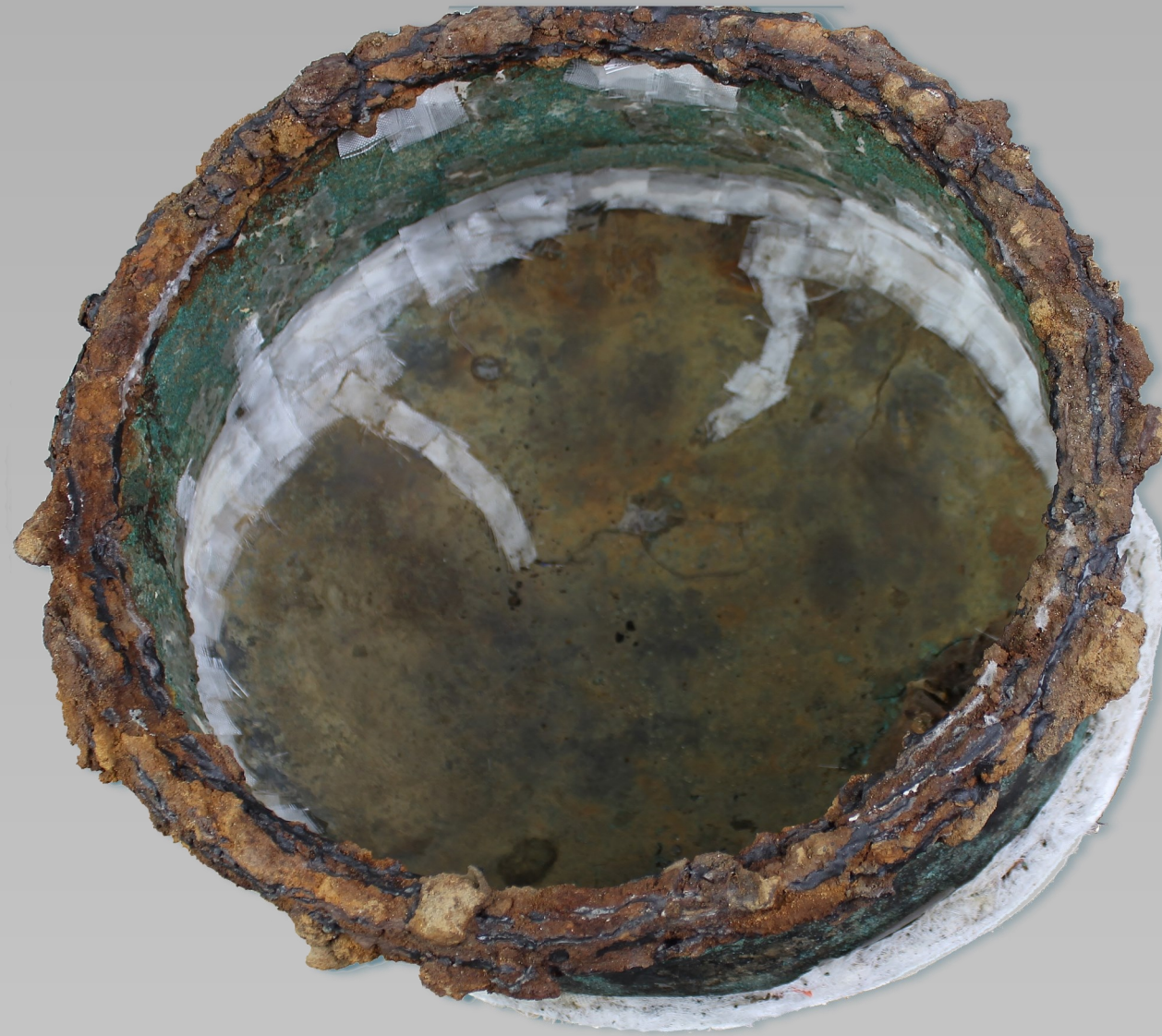


Abb. 2. Der Kessel von Oben

Konservierung wenig angewandtes Verfahren, das es ermöglicht, Objektgeometrie, Materialanalysen und physikalische Kräfte miteinander zu verbinden.

Fragestellung und Zielsetzung

Zentrale Zielsetzung der Masterthesis ist die Erprobung der FE-Analyse, um Ergänzungen aus Sicht des statischen Bedarfs am archäologischen Metallkessel effizienter zu planen und die Frage beantworten, welche Informationen durch eine Simulation für die Planung von Konservierung und Restaurierung gewonnen werden können. Es wird erwartet, dass FE-Analyse eine genauere Bestimmung der Schwachstellen des Objekts und der physikalischen Randbedingungen für Ergänzungsmaterialien ermöglicht. Das Ziel ist, mithilfe der FE-Analyse die Objektgeometrie und das -material mit den Kennwerten der Klebstoffe zu verbinden, sodass die Auswertung der Ergänzungsmaterialien aus der statischen Belastung des Kessels erfolgen kann.

Das statische Verhalten des digitalen Modells des Kessels wird ohne Ergänzungen und mit aus konservatorischer Sicht betreffenden Ergänzungsmaterialien simuliert. Hierbei werden folgende Fragen untersucht:

- Welche Bereiche des Objekts sollten ergänzt werden?
- Inwiefern besteht ein Zusammenhang zwischen die Dimensionen der Ergänzung und den kohäsiven und adhäsiven Eigenschaften des Materials?
- Bringen die Simulationen neue Kenntnisse, um die Ergänzungsmaterialien nach den Bedürfnissen des Objekts richten?

Die Ergänzungen werden als große Klebeverbindungen betrachtet, deren gesamte Stabilität von der Kohäsion der Klebschicht und Adhäsion der Grenzflächen zwischen Füge-teilen und Klebschicht abhängig ist. Die Festigkeit der Klebschicht ist klebstoffspezifisch. Die Festigkeit der Grenzfläche hängt von der Adhäsion und dem Überlappungsgrad zwischen den Füge-teil und Klebstoff ab.⁵

Methodisches Vorgehen

Es wird mittels Fotogrammetrie ein digitales Modell von dem Objekt erstellt und mit 3D Modellierungsprogrammen

für FEA vorbereitet. Um die FE-Analyse durchzuführen, müssen die Materialparameter bestimmt und die Berechnungskriterien begrenzt werden. Entsprechend sollte das Objektmaterial mit Metallografie und Röntgenfluoreszenzanalyse analysiert werden, um die Legierung, Materialzustand und Dichte zu bestimmen. Die Richtigkeit und Genauigkeit des Modells und der Materialparameter werden mit einer Modalanalyse überprüft.

Für strukturelle Ergänzungen sind Klebstoffe mit einem höheren Vernetzungsgrad geeignet.⁵ Um die Spannungen in Ergänzungsklebstoff und damit die Belastung an dem Metall und die Gefahr von einem Sprödbruch zu reduzieren⁶, ist die Verwendung der Klebstoffe mit Fasergewebe geplant. Die strukturellen Klebstoffe wie Epoxidharzen und Polymethylmethacrylaten werden nach Beständigkeit, chemische

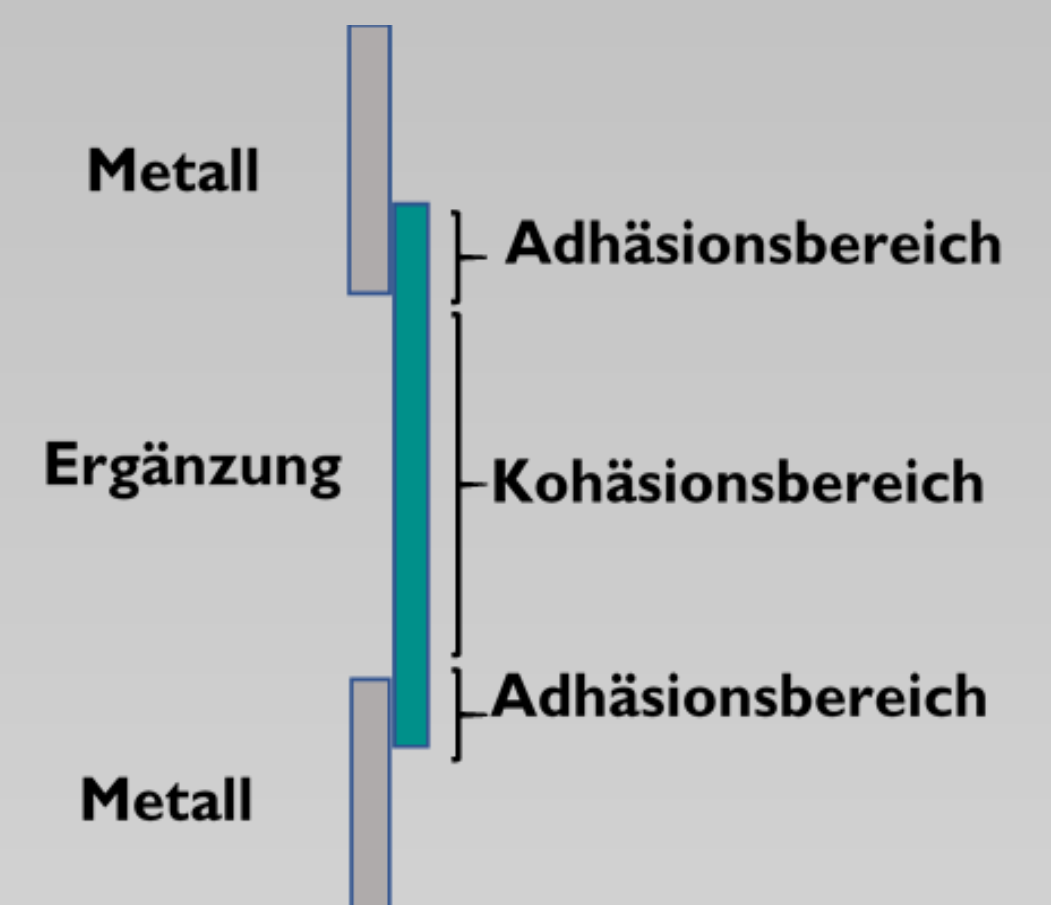


Abb. 3. Das Schema einer Ergänzung

Stabilität und Bearbeitungsgünstigkeit verglichen und 3 Klebstoffe davon für mechanischen Testen ausgewählt. Der Auswahl der Gewebe wird anhand Literatur durchgeführt.

Um die Effizienz des Ergänzungsmaterials zu bewerten, wird die Ergänzungsfläche in Grenzfläche und Klebeschicht geteilt (Abb. 3). Die möglichen Ergänzungsmaterialien werden in Hinsicht der Haftung an einem korrodiertem und mit Paraloid® B72 bedeckten Metalloberfläche und die Festigkeit der Werkstoff mit Zugschertest geprüft. Die Ergebnisse werden auf das digitale Modell projiziert, um die Angemessenheit der physikalischen Eigenschaften der Klebstoffe für Ergänzungen des Kessels zu prüfen. Daraus resultierend wird der optimale Ergänzungswerkstoff für den Kessel ausgewählt und eine Konservierungskonzeption erstellt.

Literatur

¹Stauffer 2018: Peter Stauffer, *Dokumentation Blockbergung Ape 1-510, unveröffentlichte Semesterarbeit, HTW Berlin 2018*

²Knobloch 1994: Wolfgang Knobloch, *Ergänzungen und Rekonstruktionen an historischen Objekten aus Metall. In: Metallrestaurierung, München Callwey, 1994, S. 70 – 105*

³Brunnert 2003: Stephan Brunnert, *Instabile Plastiken aus Kupfer und Kupferbasislegierungen im Freien, in: Restauro 7/2003, S. 484 – 489*

⁴Considine et al 2010: B. Considine; J. Wolfe; K. Posner; M. Bouchard, *Conserving Outdoor Sculpture. The Getty Conservation Institute, Los Angeles 2010*

⁵Habenicht 2006: Gerd Habenicht, *Kleben. Springer, Berlin 2006*

⁶Ashby und Jones 2007: Michael F. Ashby; David R. H. Jones, *Werkstoffe 2: Metalle, Keramiken, und Gläser, Kunststoffe und Verbundwerkstoffe. Elsevier GmbH, München 2007*



Abb. 1. Der römischerzeitliche Buntmetallkessel

Problemstellung

Im Idealfall wird in der Metallkonservierung nur dann ergänzt, wenn das Objekt statische Instabilität aufweist.² Dieser Ansatz findet sich jedoch kaum in der Literatur. In den meisten Publikationen werden Ergänzungen sowie die Korrosion aus chemischer und ästhetischer Sicht diskutiert, die von der Korrosion verursachte Materialermüdung in dünnwandigen Metallobjekten wird kaum behandelt.³ Die Statik der Objekte wird visuell am Objekt oder mithilfe Röntgen und CT Technik beurteilt. Ausführlichere Statikanalysen von Experten erfolgen meist nur an komplexen baulichen Strukturen, oder innenliegenden Stützkonstruktionen an Skulpturen (häufig im Zusammenhang mit Erdbeben und Schwingungen). Die Statikprobleme werden bei größeren Skulpturen mit innerer Metallmontage⁴, bei dünnwandigen Gefäßen mit Hinterklebung aus Glasfasergewebe und Harz, oder einer Ergänzungsmasse² gelöst. Eine dritte Möglichkeit ist eine Montage auf einem Tragkörper.²

Bisher wird keine zerstörungsfreie Methode beschrieben um Ergänzungen an Objekten direkt zu messen. Obwohl das Verhalten der Ergänzungen mittels quasistatischer Prüfverfahren annäherbar ist, ist deren Auswertung in Zusammenhang mit mechanischer Beanspruchung von Objekten wegen komplexer Objektgeometrie (und Rechnungen) oft schwer und mangelhaft.⁵ Eine aus dem Ingenieurbereich stammende indirekte Methode, um verschiedene Szenarien der physikalischen Kräfte an einem digitalen Modell zu simulieren, ist die Finite Element Analyse. Diese ist ein in der