

# Tiefe Einblicke in römertimeiliches Metallhandwerk

Ein interdisziplinäres Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit dem Labor für Myonspin-Spektroskopie am Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen AG ermöglicht erstmals eine zerstörungsfreie Tiefenmessung an archäologischen Objekten mittels hochenergetischer Myon-Röntgenfluoreszenzanalyse. Somit kann die Elementzusammensetzung unterhalb der oft verfälschten Oberfläche völlig ohne Beeinträchtigung der Objekte bestimmt werden.

Isabel A. Megatli-Niebel

## Von Edelmetallen ...

Die archäologischen Wissenschaften sind weltweit führend bei der Erforschung materieller Kultur. Sie studieren die materiellen Güter, die vergangene Kulturen hinterlassen haben. Dabei werden ihre Produktionsweisen, die Verteilung und der Handel mit ihnen sowie die soziale Bedeutung ihrer Produktion und des Konsums beleuchtet. Materielle Kultur beeinflusst die Welt, in der die Menschen leben, ihre Interaktionen miteinander und das soziale Umfeld, das sie

schaffen. Sie zu erforschen bedeutet, sich den sozialen Strukturen damaliger Kulturen anzunähern, und hilft, sie zu verstehen. Naturwissenschaftliche Methoden gewinnen hierbei immer mehr an Bedeutung und führen zu neuen Erkenntnissen in Bezug auf den Umgang mit Materialien und Kulturobjekten durch Zeiten und Kulturen hinweg.

In Augusta Raurica kann aufgrund der umfangreichen Sammlung archäologischer Objekte hinsichtlich der materiellen Kultur aus dem Vollen geschöpft werden. Das Studium



Der Silberschatz von Kaiseraugst: Der grösste Silberschatz der Antike, gefertigt aus reinem Silber?!  
Um 351 n. Chr. im Castrum Rauracense vergraben.

Foto Ursi Schild

der Metallfunde stellt dabei einen eigenen Forschungsfokus dar. In der Sammlung befinden sich über 40'000 Einzel-funde aus Metall, die von internen und externen Wissenschaftler\*innen erforscht und stetig unter anderen Gesichtspunkten beleuchtet werden. Unter dieser Fülle an Funden bilden die Edelmetalle eine besondere Fundkategorie. Der weit über Augusta Raurica hinweg bekannte Silberschatz muss vermutlich niemandem gesondert vorgestellt werden. Aber auch zahlreiche Kleinfunde, darunter sehr gut erhaltene Grabbeigaben, Schmuck und Statuetten lassen das Archäologen- und Laienherz höherschlagen.

Bei der Erforschung von Edelmetallfunden in Augusta Raurica stellt sich den Wissenschaftler\*innen eine Vielzahl an Fragen: Wann wurden die Objekte hergestellt und von wem und wie wurden sie genutzt? Wo und wie wurden sie hergestellt? Können sie durch die Analyse ihrer Materialzusammensetzungen und Herstellungstechniken lokalen

Werkstätten oder Produzenten zugeordnet werden? Woher stammen die Rohstoffe für ihre Herstellung? Und welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu anderen Orten des römischen Imperiums gibt es? Diesen und weiteren Fragen widmet sich das in diesem Jahr von der Autorin dieses Beitrags begonnene Promotionsprojekt zu Edelmetallen in Augusta Raurica. Neben einer umfangreichen Recherche zur Materialkultur wird sich den Einzel-funden auf makro- und mikroskopischer Ebene detailliert angenähert. Zudem sollen einzelne Objekte hinsichtlich ihrer Zusammensetzung mittels tiefaufgelösten Elementanalyseverfahrens am Paul Scherrer Institut (PSI) untersucht werden. Die daraus resultierenden qualitativen und quantitativen Ergebnisse sowie die Analyse der verschiedenen Isotopenverhältnisse sollen helfen, die generellen und individuellen Fragestellungen an die Edelmetallobjekte zu beantworten.



Goldener Fingerring mit zweizeiliger Inschrift in Niellotechnik: FELIC AVROR. Der Ring besteht aus einem D-förmigen Reif mit angelöteter Platte in Form eines durchbrochenen Schilds: Symmetrische Darstellung zweier Vögel an einer Säule. Vermutlich handelt es sich hierbei um einen Vereinsring, der von einer Gruppe von Leuten als Zeichen der Zusammengehörigkeit getragen wurde. Wer waren diese Leute, die sich solch einen kostbaren Ring als Erkennungszeichen gaben? Parallelen finden sich in Trier und Napoca (Rumänien). Datierung: 2.–3. Jahrhundert n. Chr.

Foto Susanne Schenker

### ... und Elementarteilchen

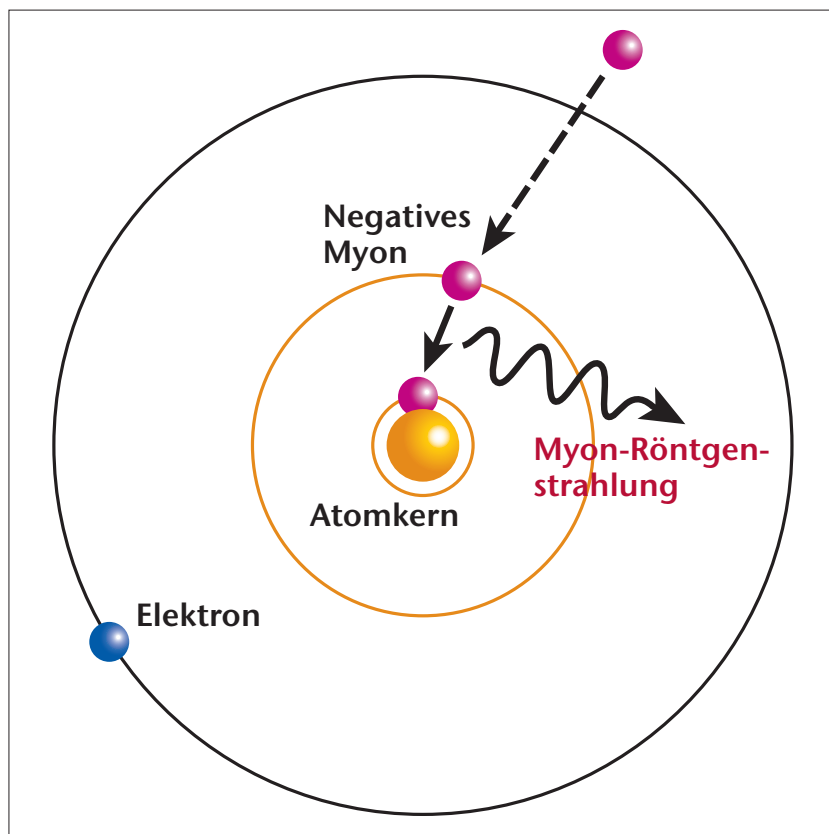
Um die elementare Zusammensetzung von archäologischen (Metall-)Objekten zu erforschen, kommen verschiedene naturwissenschaftliche Methoden zum Einsatz. Dabei gilt es immer, die originalen Objekte möglichst minimalinvasiv oder bestenfalls völlig zerstörungsfrei zu untersuchen.

Zurzeit gibt es zahlreiche Methoden zur Untersuchung von Elementzusammensetzungen. Sie alle leiden aber an verschiedenen Nachteilen. Üblicherweise kommen dabei Analysemethoden wie beispielsweise die Mikroröntgenfluoreszenzanalyse ( $\mu$ RFA) oder die Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) zum Einsatz. Diese bieten zwar sowohl qualitative wie quantitative Ergebnisse, liefern jedoch lediglich Oberflächenanalysen oder erfordern eine Probennahme, die für besonders kostbare Objekte nicht möglich ist. Die bei herkömmlichen Analysemethoden eingesetzten Röntgenstrahlen weisen eine relativ geringe Energie auf, wodurch sie sehr schnell von der Probe bzw. dem Objekt absorbiert werden. So können normalerweise lediglich die ersten 10  $\mu\text{m}$  (= 0,01 mm) analysiert werden. Andere

Techniken, die mit Neutronen arbeiten, können zwar bis in eine Tiefe von 1 cm messen, allerdings sind sie nicht für alle Elemente empfindlich und von bestimmten Isotopen in der Probe abhängig.

Eine Analysetechnik, die vollkommen zerstörungsfrei, für alle Elemente empfindlich und tief unter der oft verfälschten Objekt Oberfläche misst, wäre ein fundamentaler Schritt für die archäologischen Wissenschaften und die Erforschung der materiellen Kultur. Somit wären Edelmetallobjekte, die vorher nicht oder nur sehr eingeschränkt analysiert werden konnten, erstmals vollständig durchleuchtet und erfassbar.

Zu diesem Zweck wurde vom Schweizerischen Nationalfonds ein gross angelegtes Forschungsprojekt ins Leben gerufen, das mit hochenergetischer Röntgenstrahlung arbeitet. Grundlage für diese bahnbrechende Technik bilden die Myonen. In der Natur werden sie in der Atmosphäre durch kosmische Strahlung gebildet. Physiker\*innen sprechen von etwa 100 Myonen, die pro Sekunde und Quadratmeter mit sehr hoher Geschwindigkeit auf die



Messprinzip/Schema der Myon-Röntgenfluoreszenzanalyse (nicht massstabsgetreu): Das negativ geladene Myon wird tief in der Probe implementiert und emittiert elementspezifische hochenergetische Röntgenstrahlung.

Grafik Sayani Biswas/Isabel A. Megatli-Niebel

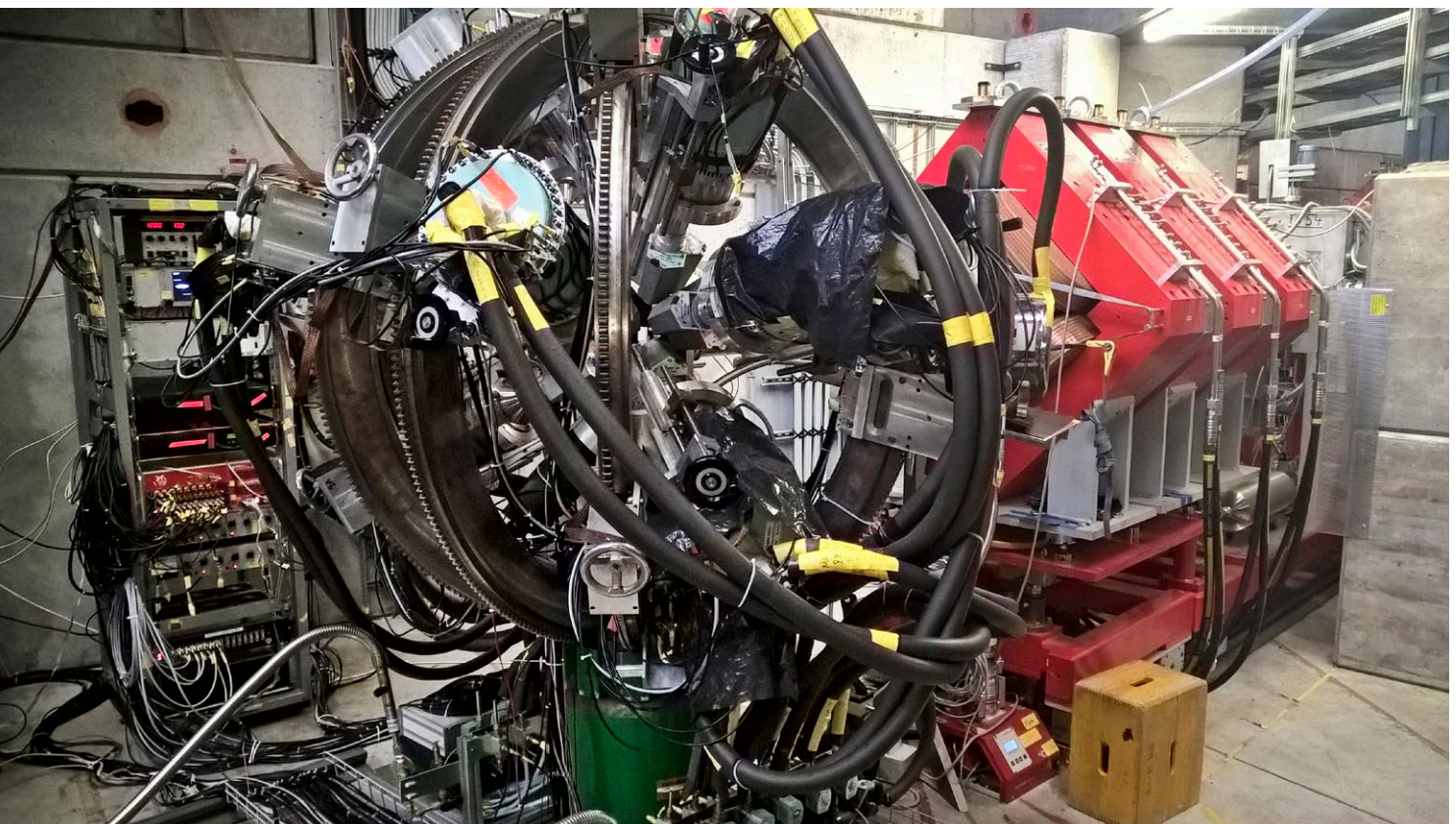
Erdoberfläche treffen. Diese Elementarteilchen ähneln in ihren Eigenschaften stark den Elektronen. Allerdings haben sie eine etwa 200 Mal grössere Masse, weshalb sie von Teilchenphysiker\*innen auch oft als schwere Elektronen bezeichnet werden.

Im PSI können die elektrisch geladenen Myonen in der Myonen-Quelle  $S\mu S$  künstlich hergestellt und für verschiedene Experimente benutzt werden. Dabei ist die Forschung mit Myonen an sich nicht neu. Bereits 1969 wurden erste Studien mit Myonen-induzierter Röntgenstrahlung an biologischen Proben durchgeführt. Man erhoffte sich damals von der Analyse der Elementzusammensetzung an Knochen Ergebnisse zur Diagnose verschiedener Krankheiten. Erste Messungen an archäologischen Objekten erfolgten in den 1980er-Jahren in der Sowjetunion. Indes fehlte es an einem intensiven, durchgängigen Myon-Strahl, wodurch die Messdauer immens hoch und die Eindringtiefe relativ gering waren. Erst seit 2011 wird die Technik wieder vermehrt angewendet, wobei ein hochenergetischer, aber gepulster Myon-Strahl eingesetzt wird. Die Entwicklung

eines durchgängigen Strahls am PSI stellt eine revolutionäre Neuerung innerhalb dieser Messtechnik dar.

Es gibt positiv und negativ geladene Myonen. Für die Elementanalysetechnik mittels hochenergetischer Röntgenstrahlung werden negativ geladene Myonen benötigt. Diese können leicht in alle Materialien implantiert werden und durch Einstellung des Impulses die Eindringtiefe bestimmt werden. So können Messprofile von der Oberfläche bis in eine Tiefe von bis zu 1 cm – abhängig von der Dichte des Materials – erstellt werden.

Das negativ geladene Myon wird von einem Atom im Objektinneren «gefangen». Danach ist es bestrebt, auf seinen 1. Grundzustand zurückzukehren, wobei es hochenergetische Röntgenstrahlung emittiert. Diese ist elementspezifisch, wodurch die Elementzusammensetzung des Objekts bestimmt werden kann. Das Prinzip ist dasselbe wie bei einer Elektron-induzierten Röntgenstrahlung, allerdings ist die Masse des Myon-Teilchens ca. 207 Mal schwerer als die eines Elektrons, wodurch auch die Energie der emittierten Röntgenstrahlung ca. 200 Mal höher ist. Dadurch hat

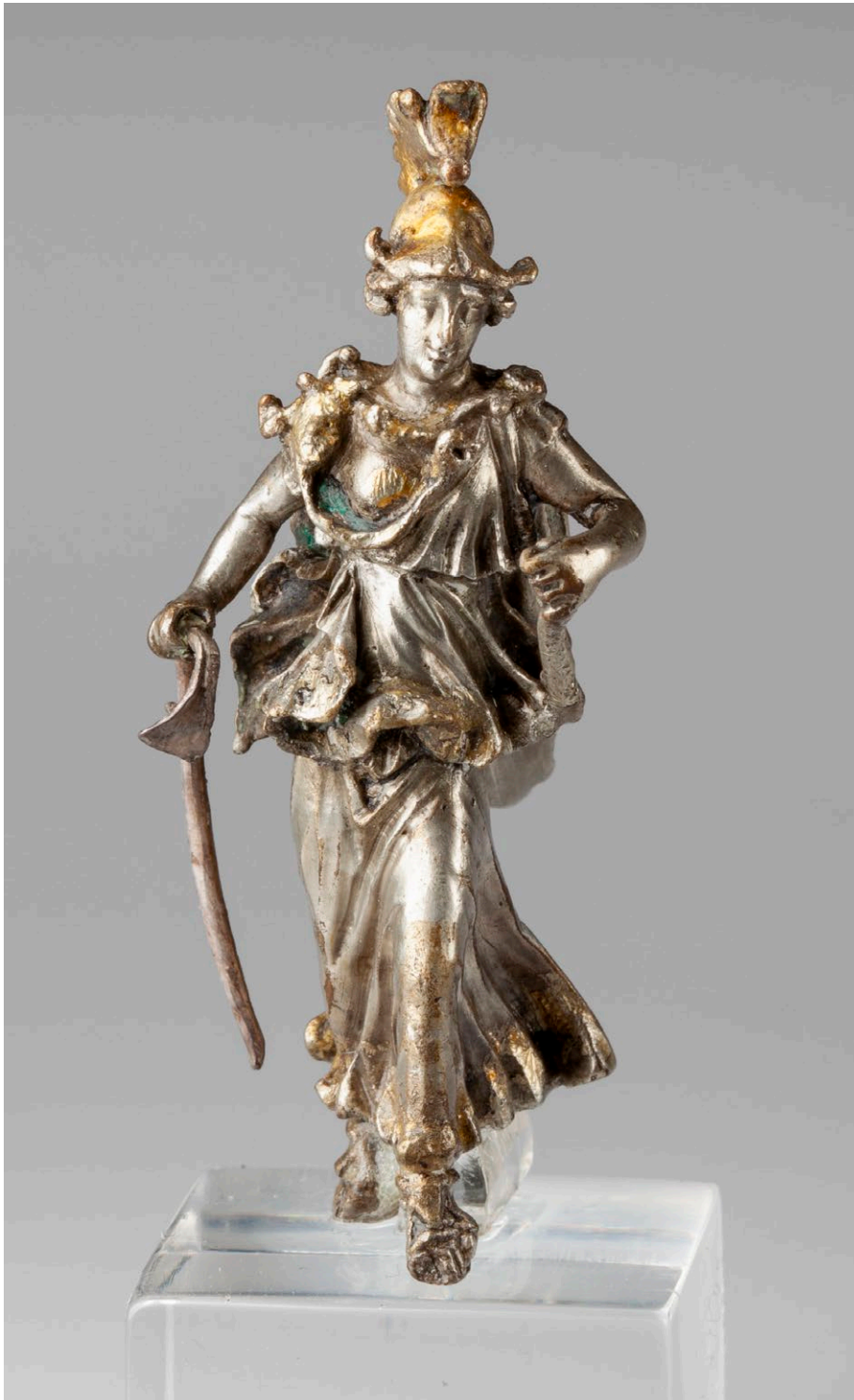


Messanlage und Messaufbau im Paul Scherrer Institut in Villigen AG bei Probemessungen Ende 2020.  
Foto Ronald Simke

die Myonen-induzierte Röntgenstrahlung genug Energie, um aus dem Objekt wieder herauszutreten, auch wenn das negative Myon tief in der Probe implantiert wurde. Dies ermöglicht die Bestimmung der Elementzusammensetzung tief im gemessenen Objekt. Neben der hohen Eindringtiefe ist ein weiterer immenser Vorteil gegenüber anderen Messmethoden, dass sie für sämtliche Elemente empfindlich ist, sodass auch leichte Elemente wie Lithium, Kohlenstoff oder Natrium bestimmt werden können. Zudem kann sogar

zwischen verschiedenen Isotopen unterschieden werden. Dies ist insofern von grosser Bedeutung, als dass darüber möglicherweise Aussagen zur Provenienz der verwendeten Rohstoffe getroffen werden können.

Die Erforschung dieser neuartigen Elementanalysetechnik stellt über die Archäologie hinaus auch für weitere Materialwissenschaften wie der Batterieforschung und (extraterrestrischen) Geologie eine grossartige Neuerung und vielfältige neue Möglichkeiten dar. ■



**Minerva-Statuette aus Silber:**  
Die mit lossem Gegenstand in der Hand und Vergoldung an Helm und Gewand ausgestaffte Statuette wurde gemeinsam mit weiteren Statuetten und Hausinventar im Brandschutt eines Kellers im Gewerbekomplex in der Schmidmatt in Kaiseraugst gefunden und war dort wahrscheinlich mit weiteren Figuren im Hausheiligtum (Lararium) aufgestellt.  
Höhe: 5,5 cm.  
Datierung: 2. Jahrhundert n. Chr.  
*Foto Susanne Schenker*