GN

Geldgeschichtliche Nachrichten

57. Jg. März 2022

Heft 320

Keltische Münzen und Künstliche Intelligenz

Der Münzschatzfund von Pilligerheck

Falsche-Gulden-Blätter

Otto-Adelheid-Pfennige mit Blume

Tod im Tiegel

Herausgegeben von der Gesellschaft für Internationale Geldgeschichte Gemeinnützige Forschungsgesellschaft e. V. Frankfurt am Main

D 1554 F

Künstliche Intelligenz für die Numismatik? Digitalisierung und automatisierte Klassifikation keltischer Münzen im Verbundprojekt ClaReNet

Caroline von Nicolai, Chrisowalandis Deligio, Kerstin P. Hofmann, Markus Möller, Katja Rösler, Julia Tietz, Karsten Tolle, David Wigg-Wolf

Keltische Münzen und KI?

Können Münzen mit Hilfe Künstlicher Intelligenz (KI) bestimmt werden? Und welchen Einfluss hat dies auf die wissenschaftliche Praxis? Diesen Fragen geht das Projekt *Classifications and Representations for Networks (ClaReNet)* nach, das als Verbundprojekt an der Römisch-Germanischen Kommission in Frankfurt/Main (Teil des Deutschen Archäologischen Instituts) und am Big Data Lab der Goethe-Universität Frankfurt angesiedelt ist. Es wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur theoretischen, methodischen und technischen Weiterentwicklung der digitalen Geisteswissenschaften“ seit dem 1. Februar 2021 für drei Jahre finanziert **(Abb. 1)**.

Traditionell werden antike Münzen vor allem anhand der Legende, der Münzbilder und des Materials klassifiziert. Allerdings stellen keltische Münzen die Numismatiker*innen vor besondere Herausforderungen, denn sie sind sehr vielgestaltig, oft nur kleinräumig verbreitet und zudem sehr lange im Umlauf. Des Weiteren sind sie unterschiedlich stark standardisiert und ihr Wandel ist oft komplex, da verschiedene Elemente immer wieder neu kombiniert werden. Ferner fehlen zumeist die für römische Münztypen definierenden Merkmale, z. B. die Legende, die – wenn sie vorkommt – für uns oft unverständlich ist. Oft werden griechische und römische Prototypen postuliert und regionale Typologien vor allem anhand von Stilanalysen erstellt. Das einzige umfassende Werk, das als Referenzwerk für die keltische Münzwelt verwendet wird, verfasste Henri de la Tour 1892 auf Grundlage der Sammlung der Pariser *Bibliothèque nationale de France*. Die große Zahl regional differenzierter Münzprägungen wird bis heute überwiegend in Einzelpublikationen vorgelegt, wobei die Klassifikation oft sehr stark von den Fragestellungen und Wissenstraditionen der jeweiligen Bearbeitenden geprägt und nicht auf Übertragbarkeit sowie die Erstellung eindeutiger Typologien ausgerichtet ist. Bei weniger gut klassifizierbaren keltischen Münzserien dienen einzelne Münzen gern als Repräsentanten für postulierte Typen. Deswegen gibt es zahlreiche, sich zum Teil auch widersprechende oder unvollständige Typologien.

Hier eröffnen die Fortschritte der Informationstechnologie für die Analyse von Münzen ganz neue Möglichkeiten. Anhand dreier exemplarisch ausgewählter Münzserien sollen deshalb im Projekt *ClaReNet* die Möglichkeiten und Grenzen neuer digitaler Klassifikations- und Repräsentationsverfahren getestet werden. Dieser Artikel soll einen ersten Einblick in die Ziele, die untersuchten Münzserien und die Wissenspraktiken des Projekts geben.

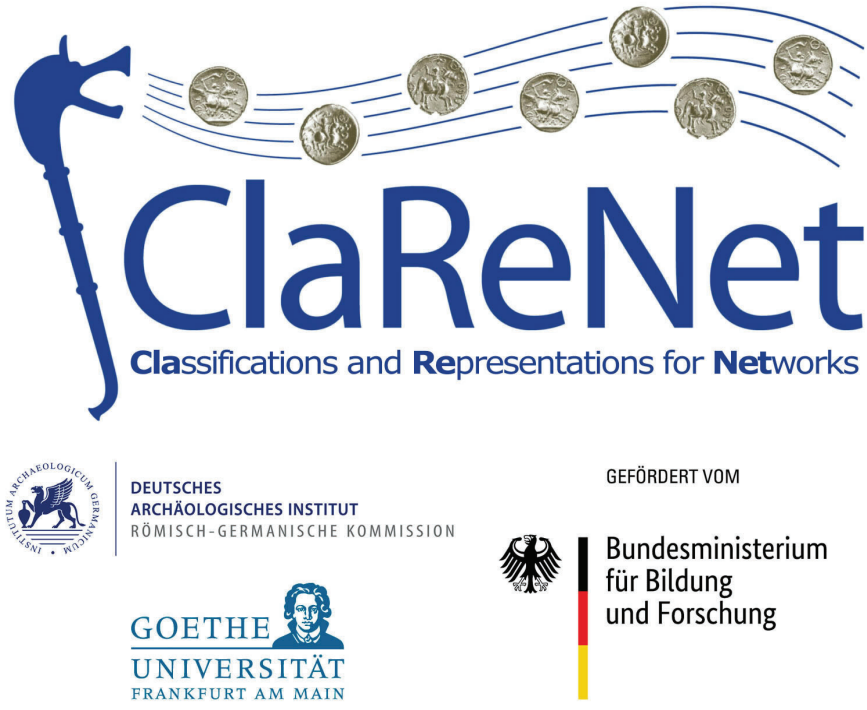

Abb. 1 Die Logos des Verbundprojektes: ClaReNet, die Projektpartner und der Fördermittelgeber.

Die Münzserien

Als Fallstudien wurden drei umfangreiche Münzserien ausgewählt, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Prägung, Standardisierung und stilistischen Entwicklung verschiedene Herausforderungen und Problemstellungen für die klassifikatorische Einordnung und die Datenmodellierung bieten.

Abb. 2 Büschelquinar der Gruppe E vom Karlstein (Stadt Bad Reichenhall, Lkr. Berchtesgadener Land). Auf der Vorderseite ist das charakteristische ‚Büschel' zu erkennen, in dessen Mitte sich vier Punkte befinden. Auf der Rückseite sieht man ein springendes Pferd nach links, darüber ein Ornament bestehend aus einem Punktkreis mit drei Zweigen und Zwischenpunkten. Silber mit Kupferkern. Gewicht: 1,30 g. Dm.: 15,2 x 16,3 mm. Aufbewahrungsort: Bad Reichenhall, Stadtmuseum.

Die erste Münzserie, die im Projekt *ClaReNet* untersucht wird, umfasst die so genannten Büschelquinare (frz. *monnaies à rameau*, engl. *bushel series*, **Abb. 2**). Diese Silbermünzen treten innerhalb einer Zone auf, die von der Schweiz im Südwesten grob entlang der Donau von Baden-Württemberg bis Bayern, Westösterreich, Tschechien und in die Slowakei reicht. Ihren Namen verdanken sie dem charakteristischen Büschel, der viele Vorderseiten ziert. Den ersten systematischen Versuch einer Einordnung der Büschelmünzen unternahm 1978 Derek F. Allen.[1] Er erarbeitete ausgehend von den Münzfunden aus dem Oppidum von Altenburg-Rheinau (Kanton Zürich bzw. Kreis Waldshut / Baden-Württemberg) eine Typologie, die auch ältere Funde aus Museumskollektionen miteinschloss. Darauf aufbauend entwickelten in den vergangenen zwanzig Jahren u. a. Bernward Ziegaus und Michael Nick, die beide als Kooperationspartner am Projekt beteiligt sind, weiterführende Typologien.[2] Im Rahmen des Projekts *ClaReNet* werden nun möglichst alle Bestände an Büschelquinaren erfasst und zum Teil neu fotografiert, da bislang oft gar keine oder nur Fotos mit niedriger Qualität vorliegen. Hierfür steht an der Römisch-Germanischen Kommission eine QuickPX-Travel, die mobile Variante der sog. Danner-Fotoanlage, zur Verfügung **(Abb. 3)**. In den vergangenen Monaten konnten so Fotos von etwa 1.900 Büschelquinaren aus 38 Museen und Sammlungen aus Deutschland, der Schweiz, Österreich, Frankreich, Großbritannien, Luxemburg, Tschechien und der Slowakei zusammengetragen werden (Stand Dezember 2021).

Die zweite Münzserie ist vor allem in Südwest- und Südfrankreich verbreitet **(Abb. 4)**. Die so genannten Kreuzmünzen oder *monnaies à la croix* entstanden vermutlich nach dem Vorbild der Silberdrachmen der griechischen Kolonie Rhode (altgriechisch für Rose, das heutige Rosas in Nordspanien). Der französische Numismatiker Eneko Hiriart, ebenfalls ein

Abb. 3 Die Münzen werden in den Museen mit Hilfe einer mobilen QuickPX-Travel-Anlage (Danneranlage) fotografiert.

Kooperationspartner, unterzog die Kreuzmünzen, insbesondere die Kopfdarstellungen der Vorderseiten und die Symbole in den Feldern der Kreuze auf den Rückseiten, einer eingehenden Untersuchung.[3] Er hat dankenswerterweise eine Sammlung von ca. 2.000 Münzfotos aus verschiedenen französischen Museen zusammengetragen und für das Projekt zur Verfügung gestellt.

Abb. 4 *Monnaie à la croix* aus dem Schatzfund 3 von Lattes (Languedoc, Frankreich). Auf der Vorderseite ist ein behelmter Kopf abgebildet, auf der Rückseite ein Kreuz, das eine stilisierte Rose darstellt. Charakteristisch für viele Serien der *monnaies à la croix* ist ihre eckige Form. Silber. Dm. 13,8 mm. Aufbewahrungsort: Musée Henri Prades in Lattes.

Die dritte Münzserie, Statere, die den *Coriosolitae* zugewiesen werden, einer Bevölkerungsgruppe, die in der heutigen Bretagne ansässig war, wird vor allem durch den Hortfund von Le Châtillon II repräsentiert.[4] Sondengänger entdeckten diesen Massenfund 2012 auf der Kanalinsel Jersey. Er umfasst etwa 70.000 Münzen, die zusammen mit elf Goldhalsringen (Torques) und weiterem Gold- und Silberschmuck vermutlich um oder nach 40 v. Chr. vergraben worden waren **(Abb. 5 und 6)**. Es handelt sich um den größten keltischen Münzschatzfund, der bisher entdeckt worden ist. Seine Bearbeitung stellt aufgrund seiner Masse für unseren Kooperationspartner Philip de Jersey eine besondere Herausforderung dar.

Nach einer wissenschaftsgeschichtlichen Analyse vergangener Klassifikationspraktiken lassen sich anhand dieser drei Münzserien unterschiedliche Problemstellungen der Numismatik untersuchen. Dafür wird ein systematischer Vergleich mit

Abb. 5 Der Hortfund von Le Câtillon II auf der Kanalinsel Jersey (Großbritannien) besteht aus ca. 70.000 Münzen, elf Goldhalsringen (Torques) und weiterem Gold- und Silberschmuck.

Abb. 6 Sogenannter Stater der *Coriosolitae*, Klasse VI. Auf der Vorderseite ist ein Kopf nach rechts dargestellt. Charakteristisch für die Klasseneinteilung ist die Nase, hier in Form einer umgekehrten Zwei. Auf der Rückseite ist ein gezügeltes Pferd mit Menschenkopf nach rechts zu erkennen, davor eine Art Barriere, darunter ein Wildschwein. Billon. Dm.: 22,6 mm. Aufbewahrungsort: Jersey Heritage.

verschiedenen Kombinationen von Klassifikations- und Clustering-Verfahren inkl. Mustererkennung vorgenommen. Für die Münzserie 1, die Büschelquinare, existieren verschiedene, teils noch unvollständige und sich widersprechende Typologien, die in Einklang gebracht werden sollen. Bei Münzserie 2, den *monnaies à la croix*, liegt der Fokus auf der Merkmalskombinatorik. Hier ist zudem der Vergleich zwischen der bestehenden Klassifikation Eneko Hiriarts und den Ergebnissen der KI von Interesse. Die Münzen der *Coriosolitae*, unsere Münzserie 3, werfen aufgrund ihrer enormen Anzahl die Frage nach der praktischen Anwendbarkeit von Klassifikation durch automatisierte Bilderkennungsverfahren auf.

Das Datenbankmanagementsystem *Dédalo* und der Katalog *Online Celtic Coinage*

Um Münzserien mit Hilfe automatisierter Bilderkennungsverfahren untersuchen zu können, müssen einige Bedingungen erfüllt sein. Zuallererst werden genügend Bilder in ausreichender Qualität benötigt. Für das Training und die Evaluation der durch die KI geschaffenen Ergebnisse müssen diese Bilder kuratiert werden. Hier kommen die Numismatiker*innen im Team ins Spiel, denn diese bringen in einer eigenen Datenbank Bilder und Typen zusammen. Dazu werden in einer ersten Arbeitsphase die gesammelten Bilder in einem Datenbankmanagementsystem namens *Dédalo* erfasst. Dieses Open Source Tool wird momentan in Valencia (Spanien) entwickelt (https://dedalo.dev) und bereits für das Projekt *Moneda Ibérica* erfolgreich eingesetzt (https://monedaiberica.org). *Dédalo* ist für das Projekt deshalb besonders geeignet, weil über einen integrierten Thesaurus nicht nur eine, sondern viele parallele Hierarchien erstellt werden können. Gerade bei Münzordnungssystemen, die sich möglicherweise noch einmal ändern können, ist diese Flexibilität von großem Vorteil. Diese Kuratierung ist nicht nur essentiell zur Vorbereitung der IT-Studie, sondern gleichzeitig auch eine wichtige Vorarbeit, um ein weiteres Ziel des Projekts *ClaReNet* zu erreichen: die Erstellung eines erweiterbaren virtuellen Verbundkatalogs für die Repräsentation keltischer Münzen und deren Klassifikationen, den *Online Celtic Coinage* (OCC: https://celticcoinage.org).

Für andere Münzbestände existieren bereits seit längerem virtuelle Kataloge im Netz, z. B. *Online Coins of the Roman Empire* (OCRE: http://numismatics.org/ocre/). Zahlreiche Museen haben außerdem ihre Sammlungen in Verbundkatalogen wie dem Portal der Interaktiven Kataloge (IKMK: *ikmk.net*) zugänglich gemacht. Speziell für die keltische Numismatik gibt es aber noch keine übergreifenden Online-Portale, so dass wir mit OCC ein solches für die von uns untersuchten Münzserien einrichten möchten, bei dem wir auf öffentlich zugängliche Online-Sammlungsbestände verlinken. Diese Portale nutzen alle das Vokabular und die Ontologie von *nomisma.org*, einem Gemeinschaftsprojekt zur Bereitstellung genormter und dauerhafter digitaler Identifikatoren numismatischer Konzepte (so genannter *persistent identifiers*) nach den Grundsätzen von *linked open data* (LOD).

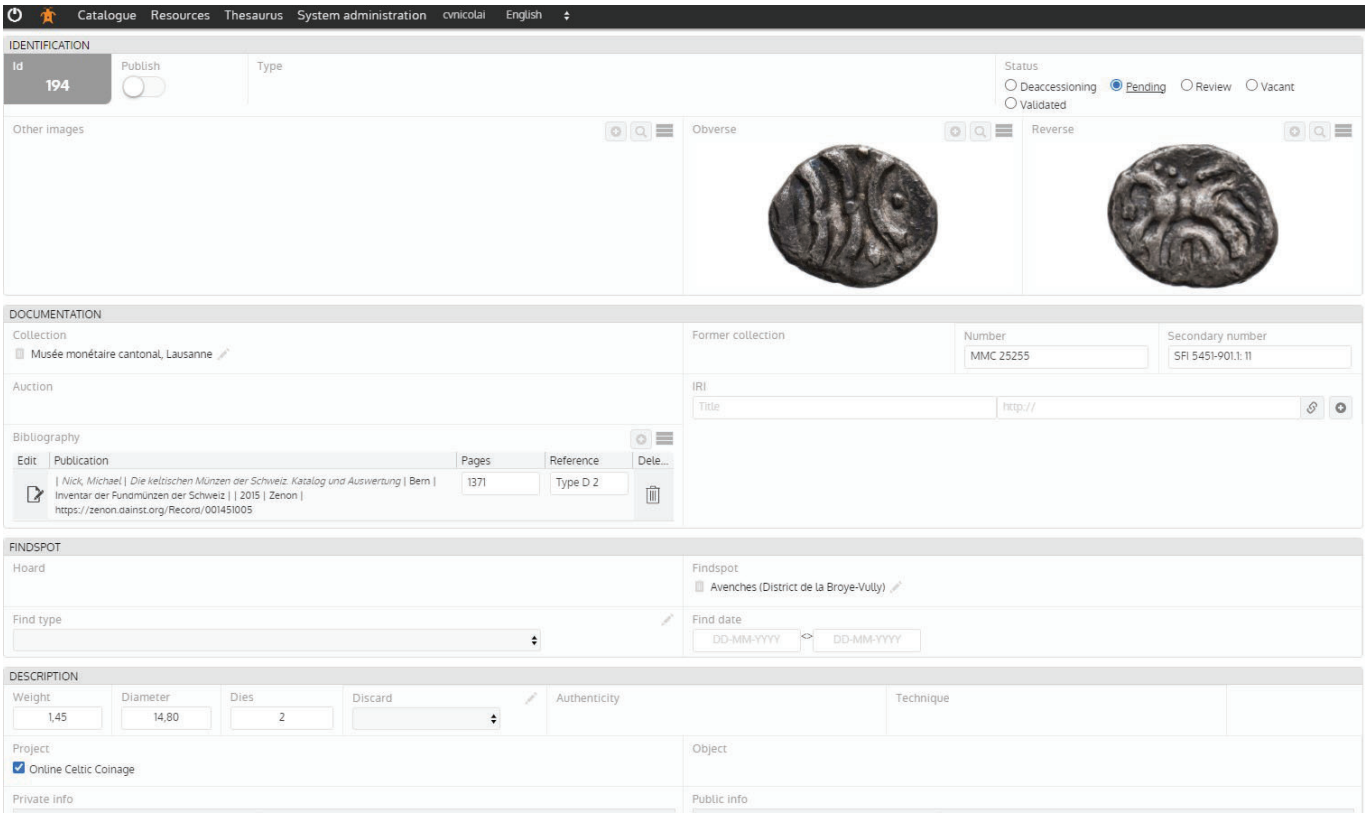

Abb. 7 Im Datenbankmanagementsystem *Dédalo* werden alle von *ClaReNet* bearbeiteten Münzen erfasst.

Maschinelles Lernen und neuronale Netzwerke

Die vorgestellten Münzserien sollen mit Methoden und Tools aus dem Bereich des maschinellen Lernens verarbeitet werden. Dabei wird zwischen überwachtem und unüberwachtem Lernen unterschieden bzw. es kann eine Kombination dieser beiden angewendet werden. Heutzutage sind *convolutional neural networks* (CNN) die am häufigsten verwendeten Algorithmen und sehr erfolgreich im Bereich der Bildklassifikation. Ein CNN besteht aus mehreren Schichten, durch die eigenständig Merkmale erkannt und gelernt werden.[5]

Beim überwachten Lernen *(supervised learning)* ist ein Datensatz vorhanden, der bereits eine Grundwahrheit *(ground truth)* besitzt, also dessen gewünschte Ausgabe bekannt ist, zum Beispiel eine Klasseneinteilung von den Expert*innen des Datensatzes. Aufgabe hierbei ist es, Bilder einer vordefinierten Menge an Klassen zuzuordnen **(Abb. 8)**.

Abb. 8 Klassifikation eines Münzdatensatzes am Beispiel der Münzserie 3, der Statere der *Coriosolitae*.

Eine Herausforderung ist das unüberwachte Lernen, bei dem eine Menge an Bildern vorhanden ist, die entweder keine *ground truth* besitzen oder diese nicht nutzen. Statt wie beim *supervised learning* zu lernen, wie aus dem Eingang die gewünschte Ausgabe vorhergesagt werden kann, soll das Modell selbständig Merkmale bzw. Regeln aus dem Datensatz ableiten und erlernen, um eine Ausgabe zu erzeugen. Für diesen Ansatz bieten sich Clusteralgorithmen an, die Datenpunkte anhand von gemeinsamen Merkmalen gruppieren. Hieraus resultieren Gruppen, die laut KI eine Ähnlichkeit zueinander haben und von den beteiligten Wissenschaftler*innen betrachtet und bewertet werden müssen. Neue Ansätze kombinieren CNNs und Clusteralgorithmen, um die Leistung der CNNs auch im Bereich des unüberwachten Lernens zu nutzen.

Ein wichtiger Schritt vor dem Anwenden dieser Methoden ist die vorherige Bildbearbeitung *(preprocessing)*. Zunächst wird die Bildgröße betrachtet, diese gibt die Abmessungen des Bildes in Pixel an. Dabei werden die Breite, die Höhe und die Anzahl der Farbkanäle genannt. Ein Farbbild hat beispielsweise drei Farbkanäle Rot, Grün und Blau (RGB), während ein schwarzweißes Bild nur einen Kanal hat. Eine für CNNs aktuell verbreitete und gängige Eingangsgröße ist 224x224x3 (Breite x

Abb. 9 Objekterkennung und Skalierung auf 224x224 Pixel am Beispiel der Münzserie 3.

Höhe x Farbkanäle) Pixel. Es wäre ebenfalls möglich, mit anderen Größen zu arbeiten; limitierend sind hier die Rechenleistung bzw. der Speicher der Grafikkarte. Von besonderer Relevanz ist, dass das Bild eine gute Detailqualität hat und bei der gewünschten Skalierung keine Proportionen verloren gehen. Ebenso ist es wichtig, dass die Bilder möglichst einheitlich aufgenommen wurden (Winkel, Belichtung, etc.), um eventuelle Verzerrungen zu vermeiden **(Abb. 9)**.

Ein weiterer Schritt bei der Vorarbeit ist die Augmentation, d. h. die Transformation von Datensätzen. Bilder können z. B. rotiert oder gespiegelt werden, um so die Datenmenge zu erhöhen, was wiederum hilft, die Robustheit des Netzwerkes zu steigern.

Der Blick von außen: eine Studie über die Praktiken der Numismatik und IT

Um diese Praktiken zu verstehen, wird das Projekt durch eine *science and technology*-Studie (STS) begleitet, die die Wissensproduktion und -zirkulation dokumentiert und zu einer Reflexion über die Veränderungen der Erkenntnisprozesse durch den Einsatz digitaler Werkzeuge und Algorithmen beiträgt.[6] Daher werden unter dem Titel „**P**fadabhängigkeiten, **A**kteur-**N**etzwerke, **D**igital **A**gency. Eine **STS** zu Klassifikationen und Repräsentationen von keltischen Münzen im Netz“ – kurz: **„PANDA-STS“** die Arbeitsprozesse der mitwirkenden Forscher*innen und Kooperationspartner*innen von *ClaReNet* beobachtend begleitet. So sollen die Prozesse und Praktiken analysiert werden, die in der Zusammenarbeit von Numismatik, Archäologie und Informatik entstehen. Gerade die Wirkweise der Automatisierung und des Digitalisierens auf die Praxis der Klassifikations- und Repräsentationsprozesse keltischer Münzen ist für uns von Interesse. Dabei fragen wir nach alten und neuen Pfadabhängigkeiten, die im Zuge von Entscheidungen beim Forschen – hier z. B. die klassifikatorische Arbeit mit den Münzen – entstehen. Wir untersuchen die Veränderungen der Akteur-Netzwerke bei der Einführung neuer technischer Geräte und der KI und erforschen, welche graduellen Formen der Praxisbeteiligung bis hin zur Handlungsmacht (Stichwort *digital agency*) diesen zuerkannt werden.

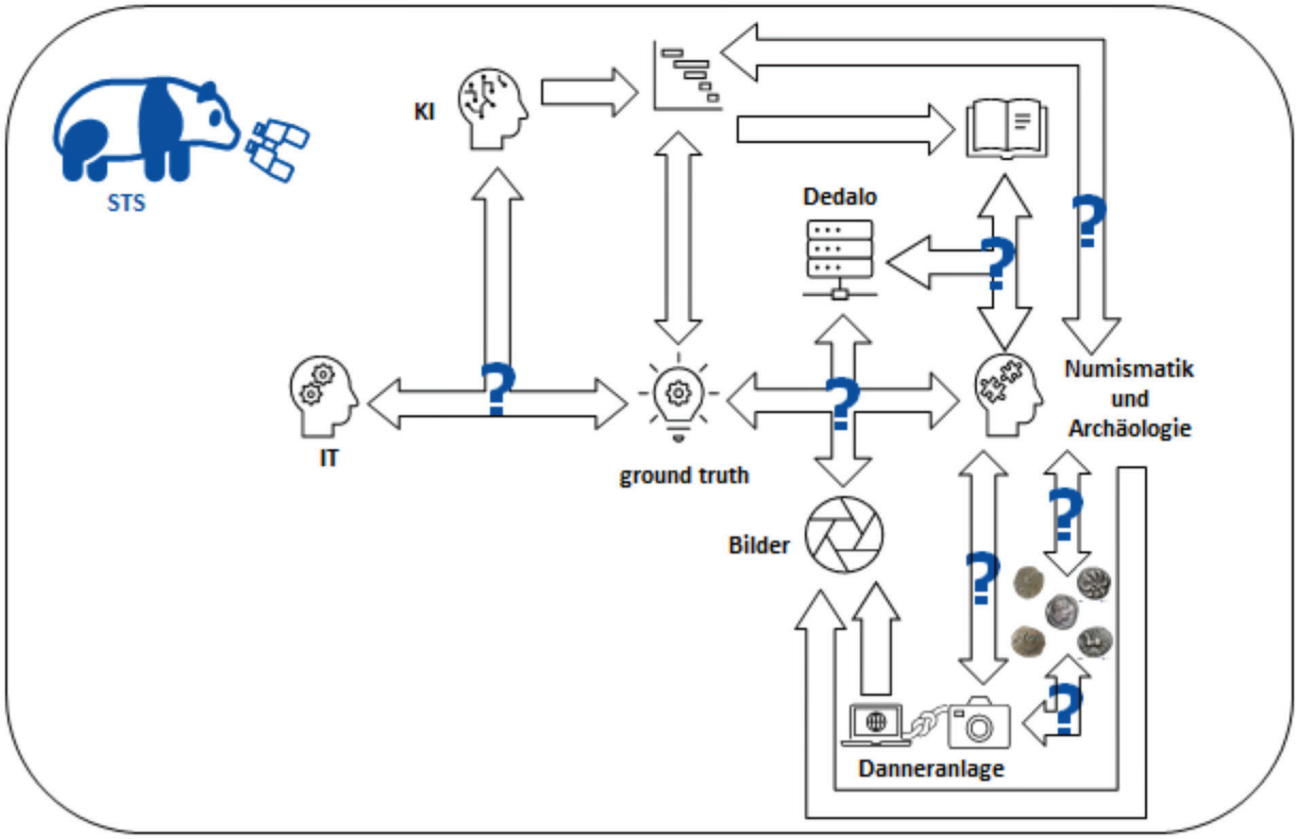

Abb. 10 Grafische Darstellung der STS-Fragestellung.

Ausblick

Das Projekt verspricht, neue Wege für die Klassifikation und Repräsentation nicht nur von keltischen Münzen aufzuzeigen. Durch die Einbindung einer STS werden diese Wege in ihrer Entstehung zudem dokumentiert, reflektiert und analysiert. Auch eine erste systematische wissenschaftsgeschichtliche Aufarbeitung vergangener Klassifikationsmethoden und Merkmalsbestimmungen wird die numismatische Forschung bereichern. All dies ist nur dank der Unterstützung unserer Projektpartner*innen im In- und Ausland möglich sowie den Museen und Institutionen, die uns u. a. Bilder zur Verfügung gestellt oder die fotografische Aufnahme von Münzen aus ihren Sammlungen ermöglicht haben. Wie sich das Projekt entwickelt und weitere Informationen lassen sich auf folgendem Blog nachlesen: https://clarenet.hypotheses.org.

Anmerkungen

1 Allen – Fischer 1978.
2 Ziegaus 2000; Nick 2012.
3 Hiriart 2017.
4 de Jersey 2018.
5 Gollapudi 2019.
6 Allgemein zur Einführung in die STS: Beck – Niewöhner – Sørensen 2012.

Literatur

Allen – Fischer 1978: Derek F. Allen – Franz Fischer, The coins of the oppidum of Altenburg and the Bushel series, in: Germania 56, 1978, S. 190–229.

Beck – Niewöhner – Sørensen 2012: Stefan Beck – Jens Niewöhner – Estrid Sørensen (Hg.), Science and Technology Studies: Eine sozialanthropologische Einführung, Bielefeld 2012.

de La Tour 1892: Henri de La Tour, Atlas de monnaies gauloises préparé par la Commission de topographie des Gaules et publié sous les auspices du Ministère de l'Instruction publique, Paris 1892.

Gollapudi 2019: Sunila Gollapudi, Learn Computer Vision Using OpenCV: With Deep Learning CNNs and RNNs, New York 2019.

Hiriart 2017: Eneko Hiriart, Catalogue des monnaies celtiques 2: Les monnaies à la croix, Paris 2017.

De Jersey 2018: Philip de Jersey, What next for the Coriosolitae? Some implications of Le Câtillon II, in: Eneko Hiriart – Julia Genechesi – Veronica Cicolani (Hg.), Monnaies et archéologie en Europe celtique: Mélanges en l'honneur de Katherine Gruel, Glux-en-Glenne 2018, S. 145–148.

Nick 2012: Michael Nick, Die keltischen und römischen Fundmünzen aus der spätlatènezeitlichen Großsiedlung in der Rheinschleife bei Altenburg ‚Schwaben', in: Fundberichte aus Baden-Württemberg 32/1, 2012, S. 497–672.

Ziegaus 2000: Bernward Ziegaus, Die Fundmünzen aus der jüngerlatènezeitlichen Siedlung von Egglfing, in: Bayerische Vorgeschichtsblätter 65, 2000, S. 39–83.

Bildnachweis

Abb. 1 Grafik: O. Wagner, RGK.
Abb. 2 *ClaReNet*, Fotografin: C. von Nicolai, RGK.
Abb. 3 *ClaReNet*, Fotografin: J. Tietz, RGK.
Abb. 4 M. Marco, Site archéologique Lattara, Musée Henri Prades.
Abb. 5 P. de Jersey, States of Guernsey, Culture and Heritage.
Abb. 6 Foto: Jersey Heritage.
Abb. 7 Foto: *ClaReNet*.
Abb. 8 Grafik: C. Deligio, Big Data Lab, *ClaReNet*. Münzbilder: N.N., Jersey Heritage.
Abb. 9 Grafik: C. Deligio, Big Data Lab, *ClaReNet*. Münzbilder: N.N., Jersey Heritage.
Abb. 10 Grafik: *ClaReNet*, J. Tietz, RGK.

Dr. Caroline von Nicolai ist prähistorische Archäologin mit dem Schwerpunkt Eisenzeit (Römisch-Germanische Kommission des Deutschen Archäologischen Instituts, Palmengartenstr. 10-12, 60325 Frankfurt/Main, nachfolgend abgekürzt: RGK).

Chrisowalandis Deligio M. Sc. ist Informatiker im Bereich Data Science (Goethe-Universität Frankfurt, Big Data Lab, Robert-Mayer-Str. 10, D-60325 Frankfurt/Main, nachfolgend abgekürzt: GU).

Dr. Kerstin P. Hofmann ist prähistorische Archäologin mit Schwerpunkt auf der Erforschung der Metallzeiten in Europa und archäologischen Wissenspraktiken (RGK).

Markus Möller M.A. ist Altertumswissenschaftler mit dem Schwerpunkt Numismatik (RGK).

Dr. Katja Rösler ist prähistorische Archäologin mit Schwerpunkt Wissensgeschichte und Epistemologie (RGK).

Julia Tietz M.A. ist klassische Archäologin mit Schwerpunkt Wissenschaftsgeschichte und -soziologie (RGK).

Dr. Karsten Tolle ist Informatiker im Bereich Data Science (GU).

Dr. David Wigg-Wolf ist Numismatiker mit den Schwerpunkten antike Fundnumismatik und digitale Numismatik (RGK).

Kontakt zum Projekt: info.clarenet@dainst.de