

Interdisziplinäre Analyse von Geländemodellen zur Auffindung von (prä)historischen Bergbauspuren

Interdisciplinary analysis of digital elevation models for the discovery of (pre)historic mining sites



Gerald Hiebel, Klaus Hanke, Gert Goldenberg, Markus Staudt und Manuel Scherer-Windisch, Innsbruck

Kurzfassung

Das an der Universität Innsbruck eingerichtete Forschungszentrum „History of Mining Activities in the Tyrol and Adjacent Areas – Impact on Environment and Human Societies“ (FZ HiMAT) beschäftigt sich seit 2007 mit der Erforschung der Bergbaugeschichte in den Ostalpen von der Urgeschichte bis in die Neuzeit. Die hier vorgestellte Arbeit hat die Lokalisierung, Identifikation und Interpretation von prähistorischen Bergbauspuren in den Regionen Schwaz/Brixlegg, Kitzbühel und angrenzenden Gebieten zum Ziel.

Die zur Anwendung kommende Methode zielt auf eine Integration bestehender archäologischer und geologischer Quellen ab, die mit Hilfe der Analyse hochauflösender Geländemodelle zur Auffindung unbekannter oder vergessener prähistorischer Bergbauspuren in der Landschaft führen soll. Informationen über archäologische Prospektionen und Ausgrabungen mit Bergbaurelevanz, wurden aus der archäologischen Literatur, sowie von Prospektions- und Ausgrabungsberichten der verschiedenen Projekte des erwähnten Forschungszentrums erfasst. Geologische Prospektionen bilden eine weitere grundlegende Quelle für Informationen zu Strukturen, die durch Bergbau entstanden sind. Der Geologe Herwig Pirkl hat die Bergbaulandschaft Schwaz/Brixlegg mit ihren markanten Oberflächenstrukturen in den Jahren 1955 bis 1958 in einer erstaunlichen Genauigkeit aufgenommen und 1961 in einem umfangreichen Werk mit drei geologischen Karten im Maßstab 1:10.000 publiziert. Durch die Anwendung einer Ontologie aus dem Kulturgutbereich können diese Datenbestände gemeinsam mit Forschungsergebnissen aus der Geschichte und Sprachwissenschaft sowie aus der Botanik, Dendrochronologie und Lagerstättenkunde konzeptionell verknüpft und in einer Netzwerkstruktur gemeinsam abgebildet werden.

Aus diesem Netzwerk werden relevante Informationen über Geoinformationssysteme in ihrem geomorphologischen Kontext visualisiert und analysiert. Zuerst wird eine visuelle Aufbereitung der Geländemodelle durchgeführt um eine Erkennung von Bergbauspuren in der Landschaft zu ermöglichen. Dann werden die aus der Netzwerkstruktur extrahierten Daten darübergelegt um die Zusammenhänge zwischen interdisziplinär bereits bestehenden Informationen und der Geländemorphologie zu vergleichen. Eine 2017 begonnene Dissertation am Arbeitsbereich Vermessung und Geoinformation wird gemeinsam mit dem Innsbrucker Institut für Archäologien diesen Ansatz heranziehen, um geomorphologische Strukturen und Distanzindikatoren zur (teil-)automatischen Analyse von Geländemodellen mit semantisch integrierten Daten zu entwickeln. Die in diesen Auswertungen identifizierten Geländestrukturen werden dann über archäologische Prospektionen in der Natur auf ihre Relevanz für die prähistorische Bergbauforschung überprüft. Damit wird eine Validierung der Methode durchgeführt und es werden neue potentielle Grabungspätze für das Forschungszentrum HiMAT identifiziert. Die Validierung im Feld soll auch eine iterative Verbesserung der geomorphologischen und der Distanzindikatoren ermöglichen.

Der vorgestellte Ansatz kombiniert innovative Informationsintegrationsmethoden mit aktuellen geodätischen Datenbeständen um einen Beitrag zur Beantwortung entscheidender kulturgeschichtlicher Fragestellungen zu liefern.

Schlüsselwörter: Montanarchäologie, digitale Geländemodelle, Semantische Technologien

Abstract

The research center „History of Mining Activities in the Tyrol and Adjacent Areas – Impact on Environment and Human Societies“ (FZ HiMAT) of the University of Innsbruck investigates mining history of the Eastern Alps from prehistory to modern times since 2007. The work presented targets the localisation, identification and interpretation of prehistoric traces of mining activities in the region Schwaz/Brixlegg, Kitzbühel and adjacent areas.

The methodology aims at integrating existing archaeological and geological sources which are used with high resolution digital elevation models to encounter unknown or forgotten traces of prehistoric mining activities. Information on archaeological field surveys and excavations related to mining have been extracted from archaeological literature as well as from documentation of the research center HiMAT. Geological field survey is another fundamental source of information on structures created through mining.

Through the application of a cultural heritage ontology the aforementioned data can be linked with research results from History, Linguistics, Botany and Dendrochronology and represented together in a network graph structure. From this graph relevant information is displayed with Geoinformation systems in its geomorphological context through specific visualisation methods of high resolution digital elevation models. A dissertation at the Surveying and Geoinformation Unit together with the Institute of Archaeologies of the University of Innsbruck started in 2017 to use this methodology for the definition of prototypical geomorphological structures that together with distance indicators allow a (semi)automated analysis of digital elevation models for finding potential (pre)historic mining sites. The validation in the field is part of the dissertation. With the presented methodology we hope to provide a contribution to answer relevant cultural history research questions.

Keywords: mining archaeology, digital elevation models, semantic technologies

1. Das interdisziplinäre Forschungszentrum HiMAT an der Universität Innsbruck (History of Mining Activities in the Tyrol ...)

Während der Bronzezeit und frühen Eisenzeit spielte die Kupferproduktion in den Ost- und Zentralalpen eine tragende Rolle für die Metallversorgung Mitteleuropas. In dieser Epoche veränderte sich die alpine Wirtschaftsweise: Bergbau und Metallurgie verwandelten Teile der ursprünglich agrarisch geprägten Landschaft zu Montanregionen mit „frühindustriellen“ Strukturen.

Die Universität Innsbruck betreibt seit 2007 das Forschungszentrum HiMAT (History of Mining Activities in Tyrol and adjacent areas – impact on environment and human societies), das sich die Untersuchung der Bergbaugeschichte in den Ostalpen von der Urgeschichte bis in die Neuzeit zum Ziel gesetzt hat (www.uibk.ac.at/himat). Es wurde in seiner Forschung vom österreichischen Wissenschaftsfonds und anderen Förderinstitutionen in mehreren Projekten gefördert.

In dem Forschungszentrum arbeiten Disziplinen aus den Naturwissenschaften (Vermessung, Botanik, Zoologie, Geographie, Mineralogie, Geologie) und Geisteswissenschaften (Archäologie, Geschichte, Sprachwissenschaft, Ethnologie) an den verschiedensten Forschungsfragen [1].

Um die Bergbaugeschichte zu rekonstruieren greift die Archäologie auf die Ergebnisse ihrer eigenen Forschungen zurück und auf die Ergebnisse benachbarter Disziplinen, wie beispielsweise Informationen über prähistorische Klimaänderungen oder Herkunftsanalysen von Metallen. Eine wichtige Informationsquelle bilden an der Erdoberfläche erkennbare Strukturen, die auf obertägige und untertägige Bergbauaktivitäten zurückzuführen sind. Diese Spuren können mit Hilfe von digitalen Oberflächengeländemodellen

sichtbar gemacht und analysiert werden. Die Lokalisierung, Identifikation und vor allem Interpretation von Bergbauspuren ist eine interdisziplinäre Forschungsaufgabe die an unterschiedlichen Instituten des Forschungszentrums bearbeitet wird.

2. Räumliche Daten für archäologische Prospektionen

2.1 Geobasisdaten & digitale Geländemodelle Digitale Höhenmodelle aus Airborne Laserscans

Eine Grundlage für die archäologische Forschung sind digitale räumliche Daten. Für die Orientierung im Gelände ist die Österreichische Karte 1:50.000 maßgebend. Für die Durchführung archäologischer Maßnahmen wird der digitale Kataster benötigt um die notwendigen Genehmigungen der Eigentümer und des Bundesdenkmalamtes beantragen zu können. Beide Datensätze werden in digitaler Form vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zur Verfügung gestellt. Für die detaillierte Orientierung im Gelände und die Auffindung archäologisch relevanter Überreste prähistorischer menschlicher Aktivitäten sind Orthofotos und hochauflösende digitale Geländemodelle (meist mit 1m Bodenauflösung) von besonderer Bedeutung. Die einzelnen Bundesländer haben im Laufe der letzten zwei Jahrzehnte (Stand 2018) durch eigene Befliegungskampagnen umfangreiche Datenbestände aufgebaut. Abbildung 1 zeigt das Gebiet um den Maukenbach im Gemeindegebiet von Radfeld und Brixlegg im Unterinntal. Hier wurde in der Späten Bronzezeit und Frühen Eisenzeit Kupfererze abgebaut, aufbereitet und an einem Schmelzplatz verhüttet.

Hochauflösende digitale Geländemodelle eröffnen für spezifische archäologische Fragestellungen besondere Möglichkeiten. Mit Hilfe von

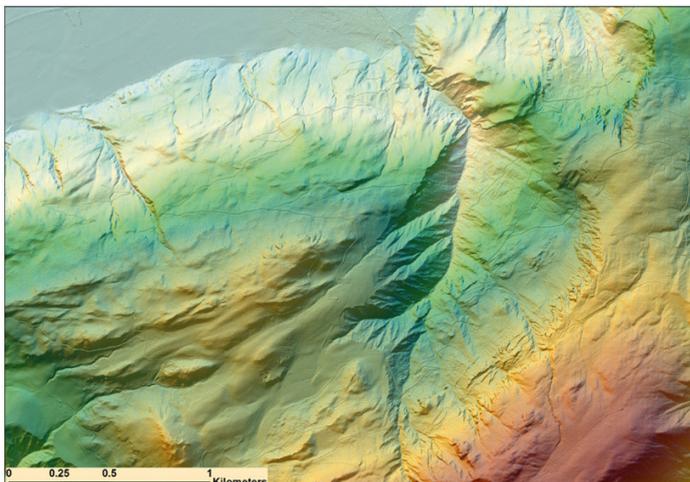
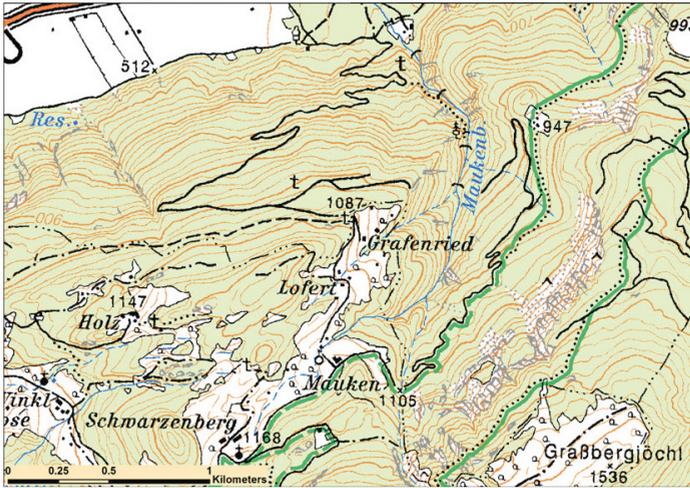


Abb. 1: Geobasisdaten für ein prähistorisches Bergbaugesamt im Tiroler Unterland (Datenquelle: BEV: ÖK50, Land Tirol: Orthofoto und digitales Geländemodell 2009)

Geographischen Informationssystemen (GIS) können nach der Besonnung im Jahreslauf, der Sichtbarkeit zwischen Geländepunkten, der Begehbarkeit oder Befahrbarkeit von Geländeabschnitten, nach „kürzesten“ oder „günstigsten“ Wegverbindungen zwischen zwei Punkten und auch nach dem Vorhandensein von Wasser(läufen) zur Versorgung möglicher Siedlungen, landwirtschaftlicher Nutzflächen oder auch technischer Anlagen beantwortet werden. Für besonders interessante Forschungsgebiete wurden höher auflösende Geländemodelle durch eigene Befliegungen erzeugt. Abbildung 2 zeigt den Pingenzug am Mitterberg in Salzburg, der mit höheren Punktdichten (8 Punkte/m²) aufgenommen wurde. Die Bergbaugesellschaften am Mitterberg gehörten zu den bedeutendsten Kupferproduzenten während der Bronzezeit und versorgten den Voralpenraum sowie große Teile Mitteleuropas mit dem wichtigsten Metall dieser Zeit.

2.2 Fachspezifische Daten

Geologische Prospektionen bilden eine der grundlegenden Quellen für Informationen zu Strukturen, die durch Bergbau entstanden sind. Herwig Pirkel [3] hat die Bergbaulandschaft Schwaz/Brixlegg in einer erstaunlichen Genauigkeit und mit einem derart hohen Detailreichtum aufgenommen, wie es nach ihm nicht mehr erreicht wurde. Das Ergebnis war eine Beschreibung der geologischen Merkmale und Oberflächenstrukturen in einem Werk mit drei geologischen Karten im Maßstab 1:10000. Zwei dieser Karten konnten mittlerweile digitalisiert werden.

Abbildung 3 zeigt die georeferenzierten Scans der beiden Karten und die daraus digitalisierten bergbaurelevanten Oberflächenstrukturen (Tagebau) und Mundlöcher von Stollen und Schächten.



Abb. 2: Digitales Geländemodell (LIDAR) von Bergbauspuren am Mitterberg [2]

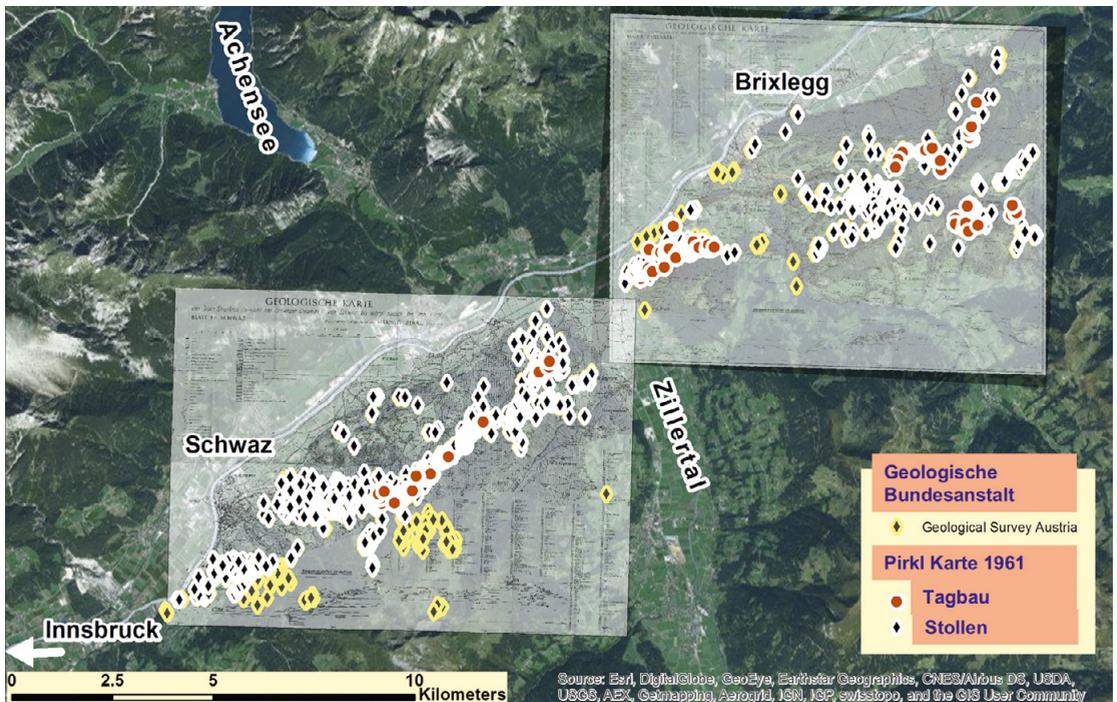


Abb. 3: Geologische Kartierungen mit Aufnahme von Bergbauspuren von Herwig Pirkl [3] (Datenquelle: Geologische Bundesanstalt [4])

Gruben (Stollen) und Tagebaue wurden mit ihren Namen und Koordinaten aufgenommen um sie sowohl für archäologische als auch historische und sprachwissenschaftliche Fragestellungen weiter verwendbar zu machen. Die geologische Bundesanstalt (GBA, Geological Survey Austria) führt einen Bergbau- und Haldenkataster [5], der

teilweise auf den Aufnahmen von Pirkl beruht, aber auch andere Quellen beinhaltet. Hier finden sich auch Informationen über die vorkommenden Erze und Lagerstätten.

Für die Identifikation von historisch und archäologisch relevanten Bergbauspuren ist die Lokalisation und Erfassung von archäologischen

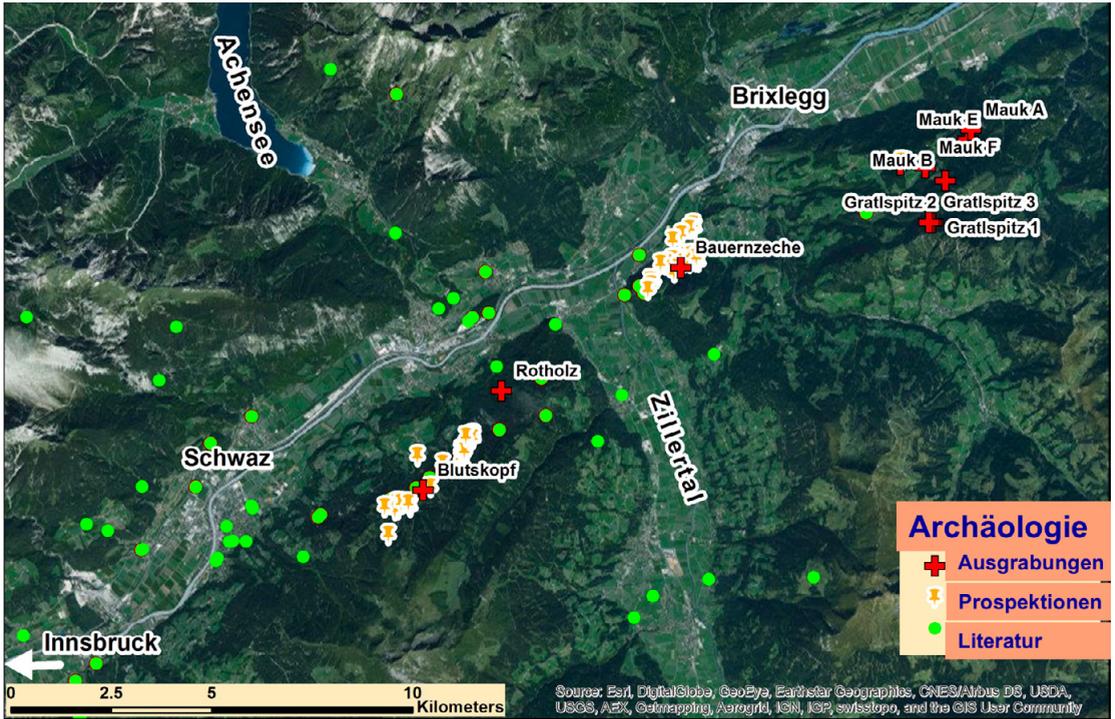


Abb. 4: Prospektionen und Ausgrabungen des Forschungszentrums HiMAT und bergbaurelevante Informationen aus montanarchäologischer Literatur (Datenquelle: ESRI, Forschungszentrum HiMAT [6])

Prospektionen und Ausgrabungen entscheidend. In Abbildung 4 wurden Prospektions- und Ausgrabungsplätze des Forschungszentrums HiMAT gemeinsam mit den in montanarchäologischer Literatur vorkommenden Fundstellen verortet um sie gemeinsam mit geologischen und anderen Datenbeständen räumlich analysieren zu können [6].

2.3 Räumliche Datenintegration und Analyse von Geländemodellen

Durch die Georeferenzierung der geologischen, lagerstättenkundlichen und archäologischen Datenbestände wird es möglich diese gemeinsam mit hochauflösenden digitalen Geländemodellen zu analysieren. Dies erlaubt es einerseits eine genauere Verortung bekannter Strukturen durchführen zu können und andererseits, was noch wesentlich interessanter ist, Strukturen zu identifizieren, die bis jetzt noch nicht bekannt sind und sie auf ihre archäologische Relevanz zu prüfen. Zu diesem Zweck wurde das hochauflösende digitale Geländemodell des Landes Tirol auf konkave und konvexe Geländestrukturen hin untersucht, die sich in der Nähe der von Pirkl identifizierten und benannten Bergbaue oder in der Nähe der Einträge des Bergbau- und Haldenkatasters der

Geologischen Bundesanstalt befinden. In Abbildung 5 sind konvexe Geländeformen, die als Halden interpretiert werden können, pink umrahmt, während die zugehörigen Abbaue (Stollen und Tagbaue) rot umrahmt sind. Sie bilden sich als konkave Geländeformen im Höhenmodell ab und sind schwerer zu erkennen, da bei Stolleneingängen nur ein sehr kleiner Bereich obertäglich zu einer Geländestrukturveränderung führt. Die Kombination von konkaven und konvexen Strukturen ist meist aber recht prägnant. In der Abbildung wurden auch noch die Beobachtungen der archäologischen Prospektionen eingetragen (Pingen, Stollen, Tagbaue, feuergesetzte Abbaue, Halden) um eine Interpretation der Geländestrukturen zu verbessern.

3. Interdisziplinäre Forschung

Interdisziplinäre Forschung eröffnet die Möglichkeit Sachverhalte aus verschiedenen Perspektiven wahrzunehmen und vor allem eine Vielzahl von Methoden auf eine Forschungsfrage anzuwenden, die in einer Disziplin allein nicht zur Verfügung stehen. Die Methodenvielfalt stellt besondere Herausforderungen an die Datenmodellierung. Die grundlegende Frage ist, wie die in den einzelnen Disziplinen durchgeführten Forschungen miteinan-

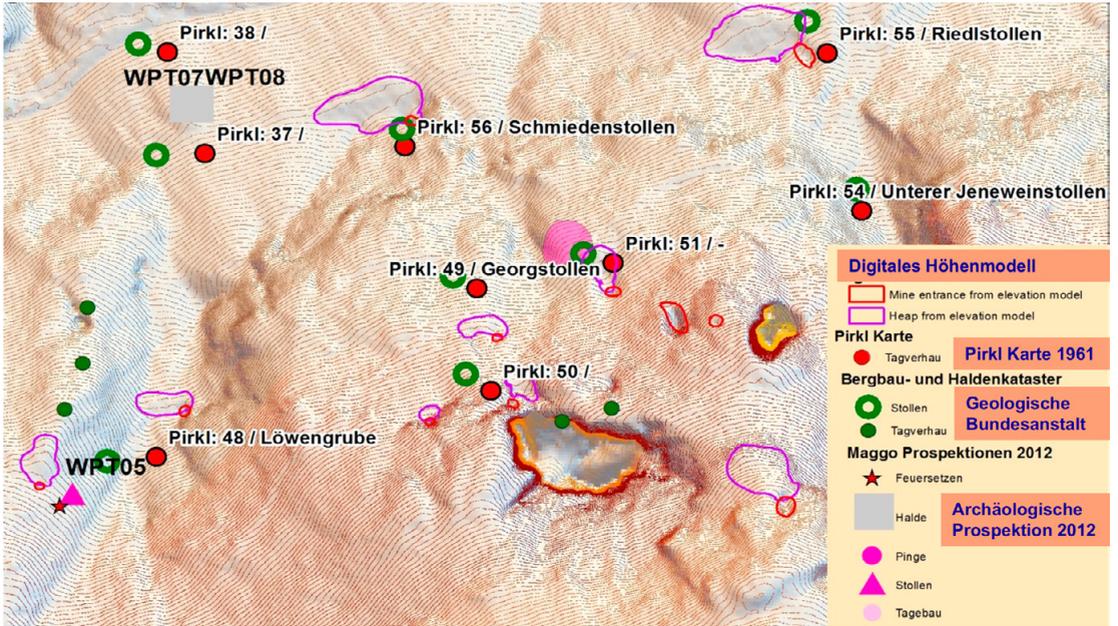


Abb. 5: Analyse von Geländemodellen mit Hilfe der Stollen von Pirk, des Bergbau- und Haldenkatasters der Geologischen Bundesanstalt und archäologischer Prospektionsergebnisse (Datenquelle: Land Tirol 2009, Geologische Bundesanstalt 2014)



Abb. 6: Die im FZ HiMAT durchgeführten Untersuchungen in den verschiedenen Disziplinen [7] (Datenquelle: BEV 2007)

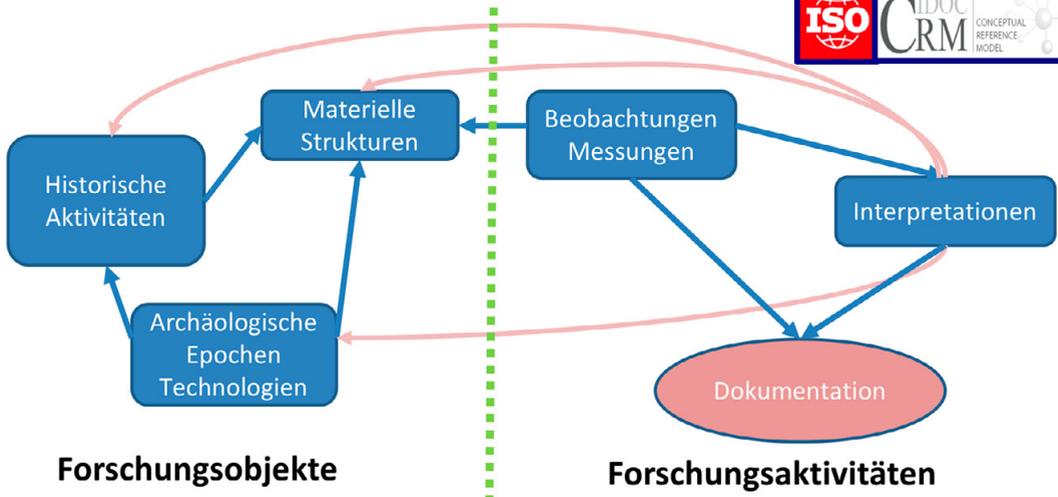


Abb. 7: Das Datenmodell basierend auf CIDOC CRM mit speziellen Erweiterungen

Beispiel – Grube Mauk E

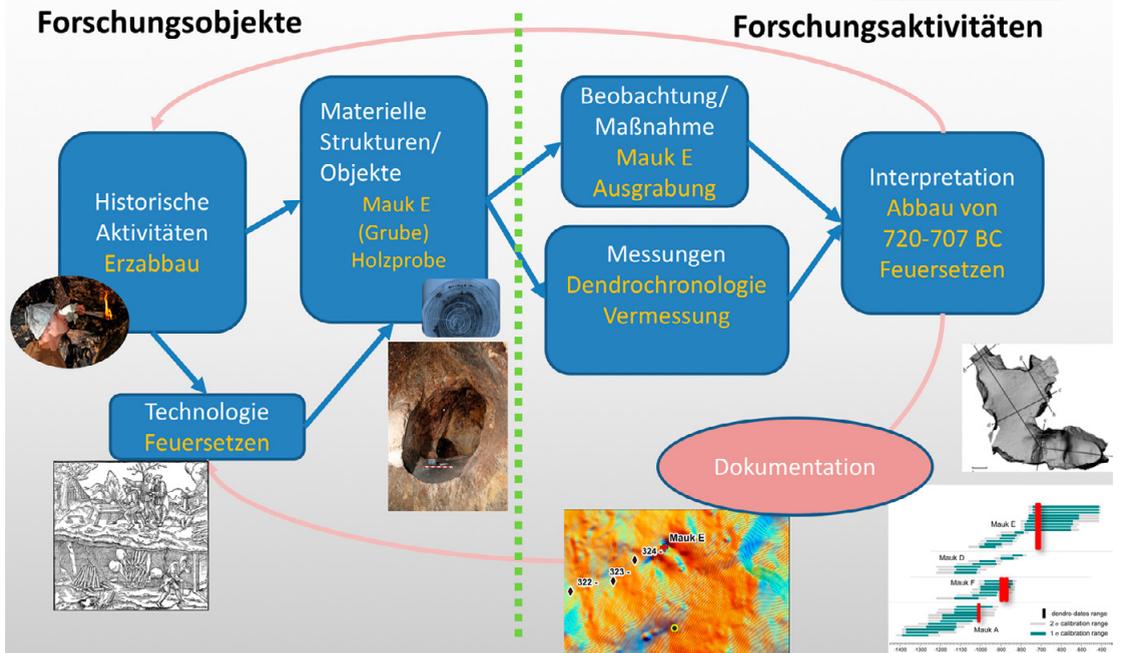


Abb. 8: Der Thesaurus für die Hauptkategorien des Datenmodelles

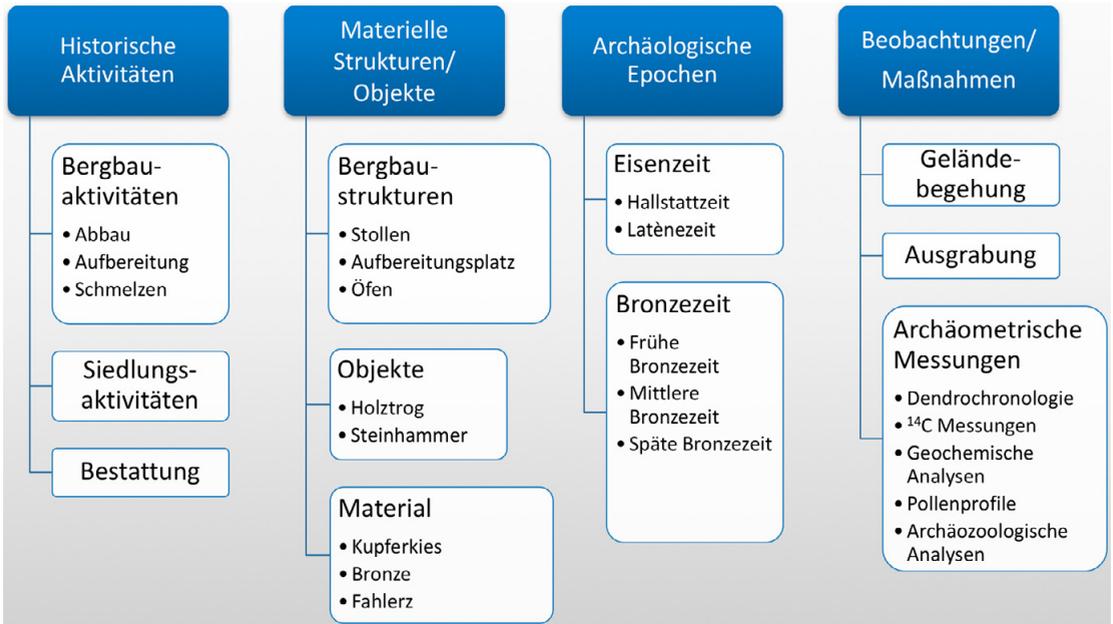


Abb. 9: Anwendung der Ontologie und des Thesaurus zur Repräsentation einer feuergesetzten Grube und der damit verbundenen Forschungshandlungen und Dokumentation.

der verbunden beziehungsweise zusammengeführt werden können. Ein Ansatz geht über den Ort der durchgeführten Forschungen, so wie in Abbildung 6 dargestellt. Hier wurden die im Forschungszentrum HiMAT in den Jahren 2007-2011 durchgeführten Forschungsaktivitäten nach der Anzahl der Untersuchungen in den verschiedenen Disziplinen visualisiert [7].

Die räumliche Integration der Daten schafft bereits einen hohen Informationsgewinn. Für eine detaillierte Analyse der Daten und vor allem eine maschinelle Auswertung ist es jedoch notwendig, die Daten auch semantisch zu integrieren.

3.1 Semantische Informationsintegration

Für semantische Informationsintegration werden ontologische Datenmodelle angewendet. In der Ontologie werden die in den Datenbeständen beschriebenen Objekte in Kategorien (Klassen) eingeteilt, die durch spezifische Eigenschaften miteinander verbunden sind. Die konzeptionelle Integration der für unsere Forschungen relevanten Klassen wird durch die Anwendung der CIDOC CRM Ontologie mit einigen Erweiterungen erreicht [8]. Das hier verwendete Datenmodell aus dem Kulturgutbereich bildet die Daten in einer Netzwerkstruktur ab, wie in Abbildung 7 dargestellt.

Ein Thesaurus, welcher die Kategorien der Ontologie noch spezialisiert, wird zur Repräsentation von Detailwissen angewendet (Abbildung 8). Die Integration von unterschiedlichen Vokabularen, auf die sich die Datenquellen beziehen und die teilweise fachspezifisch sind, ist eine herausfordernde Aufgabe. Sie benötigt eine methodologische Grundlage, wie sie im DARIAH Backbone Thesaurus [9] dargestellt wird. Die formale Repräsentation des Thesaurus erfolgt in SKOS, einem Standard des Semantic Web [10].

Abbildung 9 zeigt, wie Ontologie und Thesaurus zur Repräsentation einer feuergesetzten Grube und der damit verbundenen Forschungshandlungen und Dokumentation angewendet werden. Der Abbau mittels Feuer setzen erzeugte in der Späten Bronzezeit die physische Struktur der Grube „Mauk E“. Diese Grube wurde archäologisch ausgegraben und dendrochronologische Messungen an Holzüberresten wurden durchgeführt um eine zeitliche Einordnung des bronzezeitlichen Abbaus vorzunehmen. Darüber hinaus wurde eine 3D Dokumentation der Grube und des umgebenden Geländes mittels Laserscanning durchgeführt [11]. Die Interpretation der Beobachtungen und Messungen ergibt, dass die Erzgewinnung zwischen 720 und 707 v.Chr. stattgefunden hat und dass die Feuer setztechnologie zum Vortrieb und

1. Erzeugung strukturierter Daten

Archäol. Fundplatz	Materielle Strukturen	Beobachtungen Messungen	Historische Aktivitäten	Archäologische Epochen	Koordinaten	Quelle
1 Mooschrofen	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 175770@..... Feuersetzen	175488@..... Hallstattzeit	11.93024044	47.43064121 Himat_Excavations
2 Mauk B	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 175770@..... Feuersetzen	175488@..... Hallstattzeit	11.94524085	47.42724342 Himat_Excavations
3 Mauk D	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175383@... 14C	175485@..... Spätbronzezeit	11.95249312	47.43586708 Himat_Excavations
4 Mauk E	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 175770@..... Feuersetzen	175488@..... Hallstattzeit	11.95250513	47.43646124 Himat_Excavations
5 Mauk A	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 175786@..... Schmelzen	175485@..... Spätbronzezeit	11.95336145	47.4386932 Himat_Excavations
6 Mauk F	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 238151@..... Aufbereitung	175485@..... Spätbronzezeit	11.93850605	47.43005302 Himat_Excavations
7 Rotholz	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 175786@..... Schmelzen	175485@..... Spätbronzezeit	11.80000178	47.37831232 Himat_Excavations

2 Erzeugen eines Netzwerkes (RDF)

3. Daten in Netzwerk DB

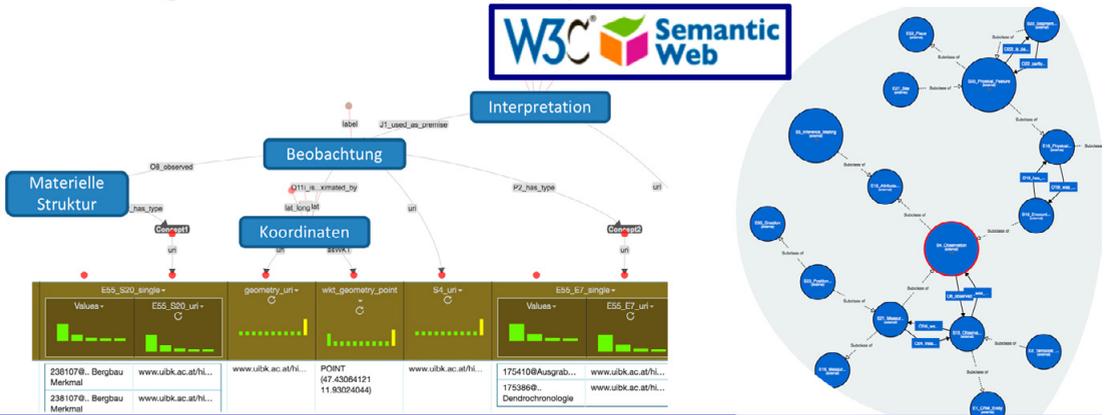


Abb. 10: Implementierung der Netzwerkstruktur mit semantischen Technologien

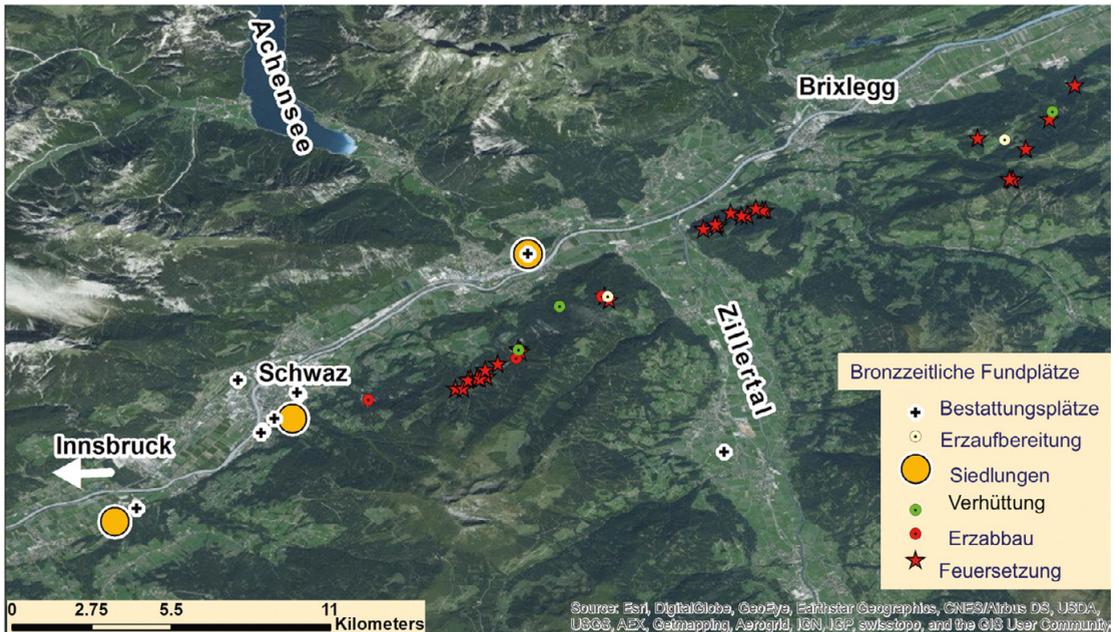


Abb. 11: Bronzezeitliche Aktivitäten in den Bereichen Bergbau, Siedlung und Bestattung (ESRI, Forschungszentrum HiMAT [6])

zur Erzgewinnung genutzt wurde. Über Ontologie und Thesaurus können die Beobachtungen, Messungen und Interpretationen zu archäologischen Daten mit den aus den Messungen erhaltenen geometrischen Informationen verbunden werden [12].

3.2. Implementierung

Zur Implementierung dieser Wissensrepräsentation in einer Netzwerkstruktur wurden Technologien des Semantic Web angewendet und ein Graph in RDF (Resource Description Framework) erzeugt [13]. RDF ist eine Datenstruktur mit der logische Aussagen zu einem Netzwerk miteinander verknüpft werden können und bildet die Grundlage für die Linked Open Data (LOD) Cloud, in der Daten auf einer globalen Ebene miteinander verbunden sind (www.linkedopendata.org). Abbildung 10 zeigt, wie über die Anwendung des Semantic Web Tools KARMA [14] aus einer tabellarischen Quelle die Netzwerkstruktur in RDF erzeugt wird. In der aktuellen Implementierung sind sieben Datenquellen aus den Bereichen Geologie, Vermessung und Archäologie integriert, sowie die in der Datenbank des Forschungszentrums HiMAT vorhandenen Metadatenbestände. Als weiterer Schritt soll über semantische Kriterien und Stringmatching versucht werden Beziehungen zu Linked Open Data Quellen wie Wikipedia und Geonames herzustellen und so die vorhandenen Datenbestände in die Linked Open Data Cloud zu integrieren.

3.3 Auswertung der integrierten Daten

Das RDF Netzwerk kann je nach Anwendungsfall auf bestimmte Informationen abgefragt werden. Für die Archäologie wurden aus den bestehenden Daten jene Informationen extrahiert, bei denen der Nachweis von bronzezeitlichen Aktivitäten in den Bereichen Bergbau, Siedlung und Bestattung vorliegt. Diese Informationen wurden in einer Karte dargestellt (Abbildung 11), die künftig in der Archäologie dazu verwendet werden kann, die Lokalisierung von Gebieten mit Informationen über Siedlungen im Einzugsbereich von Bergbaubereichen zu ermöglichen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Das an der Universität Innsbruck eingerichtete Forschungszentrum HiMAT beschäftigt sich auf interdisziplinärer Ebene mit der Erforschung der Bergbaugeschichte Tirols. Ein daraus hervorgehender Ansatz ist die Lokalisierung von (prä)historischen Bergbauspuren mit Hilfe von Geobasisdaten, räumlich verorteten fachspezifischen

Daten und der Analyse von hochauflösenden Geländemodellen. Für die semantische Integration von interdisziplinären Datenbeständen wird die CIDOC CRM Ontologie mit Technologien des Semantic Web verwendet. In einer Dissertation und dem zur Förderung eingereichten FWF Einzelprojekt-Antrag „Informationsintegration für prähistorische Bergbauarchäologie“ (2018 eingereicht) wird der innovative Versuch unternommen diesen Ansatz mit montanarchäologischer Feldforschung zu verbinden und zu evaluieren. Fernerkundungsdaten und Technologien des Semantic Web werden in der dargestellten Weise kombiniert mit dem Ziel eine Methodik zu entwickeln, die die Auffindung von (prä)historischen Bergbauspuren nachhaltig verbessert. Das Forschungsprojekt hat im Einzelnen folgende Ziele:

1. Eine Methode zur Integration von semantischen und räumlichen Daten
2. Neue Erkenntnisse über die räumliche Struktur bronzezeitlicher Bergbaulandschaften
3. Das Lokalisieren von Forschungslücken und archäologischen Verdachtsflächen in Form von Kupfererz-Abbauen und Produktionsstätten (Aufbereitungs- und Schmelzplätze)
4. Die Entwicklung von Software Werkzeugen, die es erlauben, diese Vorgehensweise auch auf andere Bereiche archäologischer (und verwandter) Forschungsdisziplinen anzuwenden.

Die Methodik organisiert bestehende Forschungsdaten aus unterschiedlichen Quellen nach ontologischen Prinzipien. Das bedeutet, dass Informationen über Fundobjekte oder Fundstellen mit den an ihnen durchgeführten Untersuchungen und den damit verbundenen Interpretationen in einem Netzwerk abgebildet werden. Dieses Netzwerk ermöglicht die semantischen Beziehungen zueinander und die Lokalisierung der Fundobjekte und Fundstellen darzustellen. Durch die Verwendung von Digitalen Geländemodellen können diese Daten mit Hilfe von Geoinformationssystemen in ihrem geographischen Kontext untersucht werden um Indikatoren zu finden, die es erlauben bisher unbekannte oder auch bereits vergessene Bereiche bronzezeitlicher Kupferproduktion zu lokalisieren. Die Zuverlässigkeit dieser Methode wird im Gelände durch archäologische und geophysikalische Prospektionen (z.B. Geomagnetik) überprüft. Als Untersuchungsgebiete wurden hierzu Kupfererz-Lagerstätten im näheren Umfeld der prähistorischen Abbaue der Kelchalm (Aurach bei Kitzbühel), im Bereich des Brixentals und im Salz-

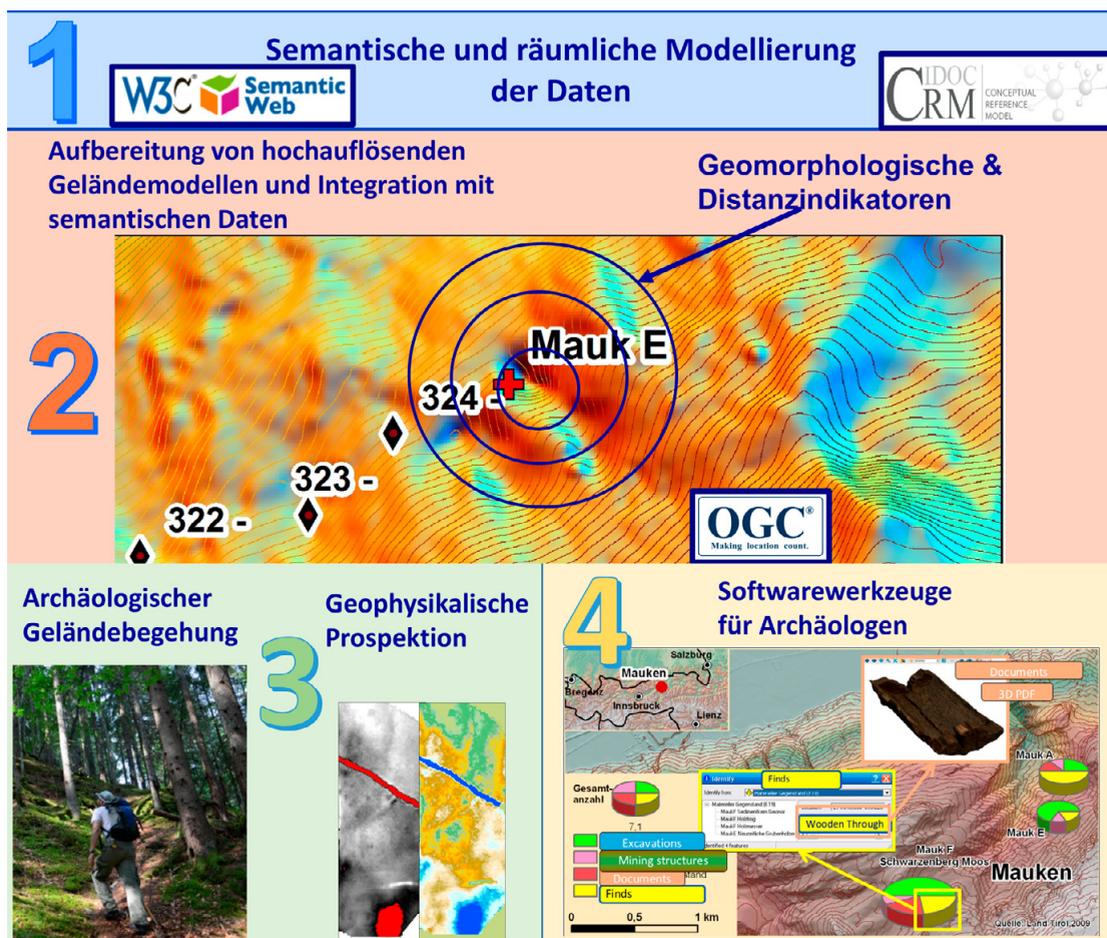


Abb. 12: Struktur der Dissertation und des FWF Einzelprojektantrag „Informationsintegration für prähistorische Bergbauarchäologie“

burger Pinzgau ausgewählt. Lokalisierte Fundstellen werden im Rahmen des FZ HiMAT untersucht. Die Ergebnisse aber auch die Anwendungen werden der Forschungsgemeinschaft im Anschluss offen zur Verfügung gestellt. Abbildung 12 zeigt die Ziele und Struktur des geplanten Forschungsprojektes.

Danksagung

Wir danken dem Österreichischen Wissenschaftsfond für die Förderungen im Rahmen der Projekte “Prehistoric copper production in the eastern and central Alps – technical, social and economic dynamics in space and time” (FWF I-1670-G19, 2015-2018) und „Open Research Data for Prehistoric Mining Archaeology“ (ORD 74-VO) und den Geoinformationsabteilungen der Länder Tirol, Salzburg und Vorarlberg für die zur Verfügung Stellung von hochauflösenden Geländemodellen und Orthofotos.

Referenzen

- [1] Schibler, J., Breitenlechner, E., Deschler-Erb, S., Goldenberg, G., Hanke, K., Hiebel, G., Hüster-Plogmann, H., Nicolussi, K., Marti-Grädel, E., Pichler, S., Schmidl, A., Schwarz, S., Stopp B. and Oeggel, K. (2011): Miners and mining in the Late Bronze Age: a multidisciplinary study from Austria. *ANTIQUITY* 85 /2011, pp. 1259–1278.
- [2] Hanke, Klaus; Grussenmeyer, Pierre (2010): Cultural Heritage Applications. In: Vosselmann, George: Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Dunbeath, Caithness Scotland: Whittles Publishing, ISBN 978-1904445876, S. 271–290.
- [3] Pirkl, H., 1961. *Geologie des Trias-Streifens und des Schwazer Dolomits südlich des Inn zwischen Schwaz und Wörgl (Tirol)*, *Jahrbuch Geol. B. A.* (1961), Bd. 104. 1. Heft, (Wien 1961)
- [4] GBA, 2014. *Digitale Datensätze des Bergbau/Haldenkatasters betreffend ausgewählter Bergbaugebiete im Raum Schwaz-Brixlegg und Kitzbühel-Jochberg*, *Fachabteilung Rohstoffgeologie der Geologischen Bundesanstalt*

- [5] *Geologische Bundesanstalt 2018.* <https://www.geologie.ac.at/forschung-entwicklung/kartierung-landesaufnahme/rohstoffe/bergbaue/>
- [6] Hiebel, G., Hanke, K., Goldenberg, G., Staudt, M. and Grutsch, C. (2017): Information Integration in a Mining Landscape. *Studies in Digital Heritage*, 1(2), pp. 692-699. DOI: 10.14434/sdh.v1i2.23231 (7.5.2018).
- [7] Hiebel, Gerald, Hanke, Klaus; Ingrid Hayek (2011): Geoinformationssystem mit ontologischer Datenbasis zur Darstellung multidisziplinärer Forschungsaktivitäten. In: Chesi, Günter; Weinold, Thomas: 16. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2011. Heidelberg: Wichmann, ISBN 978-3-87907-505-8, S. 213 - 216.
- [8] Le Boeuf, P. Doerr, M. Ore, Ch.E. Stead. S. 2016. *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model*, http://www.cidoc-crm.org/official_release_cidoc.html (6.4.2018).
- [9] Dariah EU, 2016. *DARIAH Backbone Thesaurus (BBT) – Definition of a model for sustainable interoperable thesauri maintenance, Produced by the Thesaurus Maintenance Working Group, VCC3, DARIAH EU*, http://83.212.168.219/DariahCrete/sites/default/files/dariah_bbt_v_1.2_drafft_v4.pdf (4.9.2018)
- [10] w3c 2009. *SKOS Simple Knowledge Organization System Reference*. <https://www.w3.org/TR/2009/REC-skos-reference-20090818/> (19.6.2018)
- [11] Hanke, K., Hiebel, G., Kovács, K. and Moser, M. 2009. *Surveying And Geoinformation – Contributions to an Interdisciplinary Special Research Program on The History of Mining Activities*. In: The CIPA International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXII, pp. 144-150. <http://www.isprs.org/proceedings/XXVIII/part5/papers/122.pdf> (30.4.2018)
- [12] Hiebel, G., Doerr, M., Hanke K. and Masur, A. (2014): How to put archaeological geometric data into context? Representing mining history research with CIDOC CRM and extensions. In: Ioannides, M., (ed.): *International Journal of Heritage in the Digital Era*, Vol. 3, Issue 3, September 2014, pp. 557-577. <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1260/2047-4970.3.3.557> (30.4.2018).
- [13] *Resource Description Framework (RDF)* <http://www.w3.org/RDF/> (19.6.2018)
- [14] *Karma: A Data Integration Tool*, <http://www.isi.edu/integration/karma/> (3.9.2018)

Anschrift der Autoren

Dr. Gerald Hiebel, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich für Vermessung und GEOinformation, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck.

E-Mail: gerald.hiebel@uibk.ac.at

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Klaus Hanke, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich für Vermessung und GEOinformation, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck.

E-Mail: klaus.hanke@uibk.ac.at

Assoz.-Prof. Dr. Gert Goldenberg, Universität Innsbruck, Institut für Archäologien, Langer Weg 11, 6020 Innsbruck.

E-Mail: gert.goldenberg@uibk.ac.at

Mag. Markus Staudt, Universität Innsbruck, Institut für Archäologien, Langer Weg 11, 6020 Innsbruck.

E-Mail: markus.staudt@uibk.ac.at

Manuel Scherer-Windisch, MA, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich für Vermessung und GEOinformation, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck.

E-Mail: manuel.scherer-windisch@student.uibk.ac.at

