

# HCU-Summer School in Portugal – Auf den Spuren des antiken römischen Bergbaus in Tresminas mit geodätischer Messtechnik

VANESSA SCHNEIDER<sup>1</sup>, THOMAS P. KERSTEN<sup>1</sup>, KLAUS MECHELKE<sup>1</sup>,  
MAREN LINDSTAEDT<sup>2</sup> & REGULA WAHL-CLERICI<sup>3</sup>

*Zusammenfassung: Zwei Messexkursionen führten Studierende und Lehrende des Bachelor- und Masterstudienganges "Geodäsie und Geoinformatik" der HafenCity Universität Hamburg in den Jahren 2022 und 2023 in das Gebiet Tresminas nahe der portugiesischen Stadt Vila Pouca de Aguiar. Das territorium metallorum Tresminas/Jales war mit seinem Gold- und Silberabbau eine der wichtigsten montanarchäologischen Stätten im Römischen Imperium. Der reiche Bestand bergbaulicher Denkmäler aus der Zeit vor über 2000 Jahren wird im Rahmen archäologischer Forschungen auch durch geodätische Messverfahren erfasst und dokumentiert. Die abgeleiteten 3D-Daten unterstützen die Archäologen bei ihren Forschungen zum Betrieb römischer Minen und leisten wertvolle Beiträge zur Visualisierung der antiken Strukturen. Zahlreiche Ergebnisse verschiedener Objekte werden im Rahmen dieses Beitrages vorgestellt und diskutiert.*

## 1 Einleitung

Das Labor für Photogrammetrie & Laserscanning und das Geodätische Labor der HafenCity Universität (HCU) Hamburg führen seit einigen Jahren sowohl Summer Schools als auch Projektarbeiten in der offiziellen HCU-Projektwoche nach Pfingsten mit Studierenden des Bachelor- und Masterstudienganges "Geodäsie und Geoinformatik" durch. Die ersten Summer Schools wurden in den Jahren 2009 bis 2011 als zwei-wöchige Veranstaltungen mit dem Thema „Digital Photogrammetry & Terrestrial Laser Scanning for Cultural Heritage Documentation“ an der NTNU Trondheim mit internationalen Studierenden im Rahmen des ERASMUS Teaching Programs durchgeführt (KERSTEN et al. 2015). In den Jahren 2011 bis 2013 fanden weitere Summer Schools in Sardinien statt, wo in einer Zusammenarbeit zwischen Architektur- und Geomatik-Studierenden in den Ortschaften Iglesias, Portoscuso, Nebida und Buggeru alte Bergbau ruinen durch terrestrisches Laserscanning aufgenommen wurden, für die im Rahmen der Lehrveranstaltung „Neues Leben in alten Strukturen“ neue Nutzungskonzepte durch Architekturstudierende entwickelt wurden. Seit 2022 finden jährlich zwei-wöchige Summer Schools für HCU-Studierende in Portugal mit dem Fokus auf die geodätische Erfassung und Dokumentation archäologischer Stätten und Objekte statt. Zusätzlich bieten Geodäsie-Lehrende der HCU Projektarbeiten im Rahmen der Projektwoche jeweils im Mai/Juni für HCU-Studierende an. So wurde z.B. im Juni 2023 mit Studierenden die Festungsanlage Dömitz an der Elbe durch terrestrisches Laserscanning und Photogrammetrie aufgenommen.

---

<sup>1</sup> HafenCity Universität Hamburg, Henning-Voscherau-Platz 1, D-20457 Hamburg,  
E-Mail: [Vanessa.Schneider, Thomas.Kersten, Klaus.Mechelke]@hcu-hamburg.de

<sup>2</sup> Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung, Neuenfelder Straße 19, D-21109 Hamburg,  
E-Mail: maren.lindstaedt@gv.hamburg.de

<sup>3</sup> Rainweg 3, CH-Horgen, Schweiz, E-Mail: regulawahl@gmail.com

Das Ziel der Summer Schools und der Projektarbeiten ist einerseits die Zusammenarbeit mit Archäologen, Bauhistorikern und Architekten zu fördern, aber andererseits praktische Projektarbeiten für Studierende anzubieten, in denen sie die erlernten theoretischen Kenntnisse in praktischen Messaufgaben im Rahmen von selbständigen Gruppenarbeiten umsetzen können. Aus den erfassten Daten werden u. a. auch 3D-Modelle der Kulturdenkmäler generiert. Für die Arbeiten kommt eine ganze Bandbreite von geodätischen Sensoren wie Tachymeter, terrestrische Laserscanner, digitale Kameras, GNSS- und UAV-Systeme zum Einsatz.

In diesem Beitrag werden die Arbeiten und Ergebnisse der beiden letzten Portugal-Exkursionen vorgestellt. Zu den aufgenommenen Objekten zählen u.a. die wichtigsten Galerien im römischen Bergwerk, prägende Geländeabschnitte für Wasserleitungen, antike Brücken, Steinbrüche, Mauerreste einer befestigten vorrömischen Siedlung und römische Mühlsteine. Die Messdaten wurden teilweise bereits vor Ort und anschließend in Hamburg an der HafenCity Universität ausgewertet und für Vorträge und Publikationen der Archäologen aufbereitet.

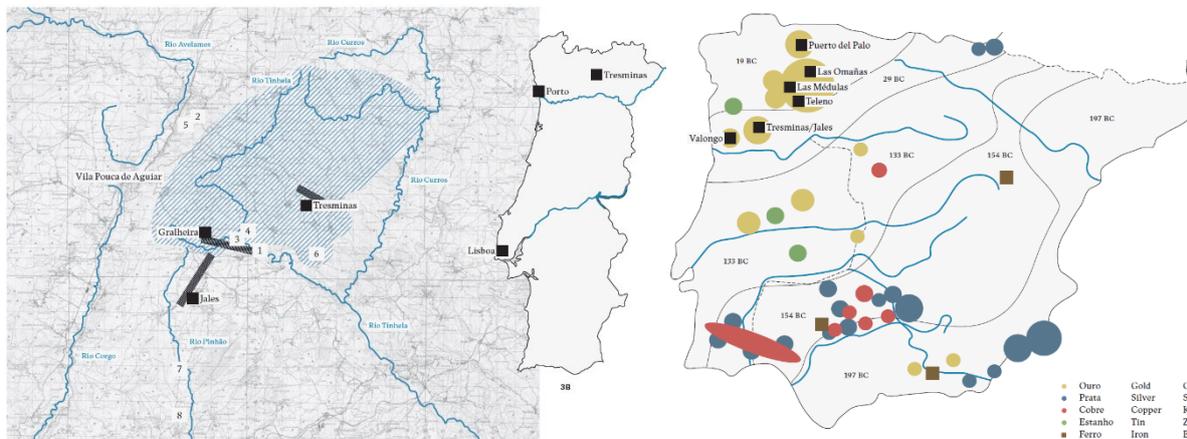


Abb. 1: Übersichtskarten über das antike römische Bergbauggebiet in Tresminas/Jales (WAHL-CLERICI 2022)

## 2 Der antike römische Bergbau in Tresminas

Das Bergbauggebiet (*territorium metallorum*) Tresminas /Jales (Abb. 1) ist eines der wichtigsten montanarchäologischen Zeugnisse des römischen Imperiums (WAHL-CLERICI 2020, WAHL-CLERICI 2022). Im *territorium metallorum* Tresminas/Jales wurden die drei goldhaltigen primären Lagerstätten Tresminas, Gralheira und Jales von den Römern ausgebeutet (Abb. 1). Die erhaltenen Spuren des Abbaus tragen dazu bei, die verschiedenen Abbautechniken und die Arbeitsfortschritte nachzuvollziehen. Das römische Reich benötigte jährlich 400 bis 500 Millionen Sesterzen für seine Truppen, wobei der größte Teil dieser Summe in Form von Gold- und Silbermünzen zur Verfügung stehen musste. Die Förderung dieser Edelmetalle war deshalb grundlegend für das römische Imperium. Der reiche Bestand an bergbaulichen Denkmälern in dieser primären polymetallischen Lagerstätte erlaubt es, den Betrieb einer römischen Mine in seinen wesentlichen Aspekten nachzuvollziehen. Die Denkmäler haben seit dem Auflassen der Grube durch die Römer nur unwesentliche und meist naturbedingte Störungen erfahren. Mit dem Ende des von Augustus (63 v. – 14 n. Chr.) geführten Krieges gegen die Asturer und Callaecer (29 – 19 v. Chr.) wurden die reichhaltigen Goldlagerstätten im Nordwesten der iberischen Halbinsel Teil des römischen Reichs, nachdem die iberische Halbinsel schon lange einer der wichtigsten Goldlieferanten für Rom war. In ihrem Nordwesten entwickelte sich nach

der römischen Eroberung eine Goldgewinnungsindustrie, die der Nachwelt reichlich Spuren hinterlassen hat. Auf den ersten Blick fallen die Monumente auf, die der Abbau in den primären Lagerstätten wie im *territorium metallorum* Tresminas/Jales dank der Stabilität des anstehenden Gebirges-hinterlassen hat.–Nachdem im 19. und 20. Jahrhundert vereinzelte Aufsätze zu Tresminas publiziert wurden, setzte die eigentliche systematische wissenschaftliche Erforschung 1985 unter Jürgen Wahl und Regula Wahl-Clerici ein (WAHL 1988), die über die vielen Jahre in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Archäologischen Institut (Abt. Madrid), dem Bergbaumuseum Bochum, der RWTH Aachen und später mit der Universität Hamburg, der Goethe-Universität Frankfurt a. M. und der HafenCity Universität Hamburg erfolgte. WAHL-CLERICI (2020) hat in einem ersten Band in den Beiträgen zur Technikgeschichte der Dr. h.c. Alfred Mutz-Stiftung (Bd. 3.1) die Aspekte der Prospektion, des Abbaus und der Erzaufbereitung ausführlich dargestellt. Weitere Publikation sind in Zusammenarbeit mit der HCU Hamburg veröffentlicht worden (HELFERT et al. 2019; WAHL-CLERICI et al. 2019; WAHL-CLERICI 2023).

### 3 Organisation der Exkursionen

An den Exkursionen 2022 und 2023 nahmen jeweils zehn bzw. zwölf Studierende des Bachelor- und Masterstudiengangs Geodäsie und Geoinformatik teil. Da in einem hohen Maße selbständig gearbeitet werden sollte, wurden bei der Teilnehmerauswahl Studierende bevorzugt, die sich im Laufe des Studiums schon ein entsprechendes theoretisches Wissen und praktische Fertigkeiten angeeignet hatten. Die Studierenden wurden während des gesamten Zeitraums von einem bzw. einer wissenschaftlichen Mitarbeiter/in und einem Professor fachlich betreut. Zusätzlich war eine Archäologin als dritte Betreuerin vor Ort, um bei der organisatorischen Arbeit und der archäologischen Expertise zu unterstützen.

Aufgrund der Lage im nördlichen Portugal war die Anreise von Hamburg zum Projektgebiet ausschließlich per Flugzeug möglich. Es war von Vorteil, dass die archäologische Projektleitung eine Basisausrüstung für vermessungstechnische Feldarbeiten vor Ort besitzt, einschließlich Stative und Lotstäbe. Daher mussten hauptsächlich Geräte und viel kleinteiliges Equipment wie Funkgeräte und Prismen mitgeführt werden. Dies wurde vor der Abreise allen Teilnehmern mitgeteilt, damit jeder sein Gepäck entsprechend ergänzen konnte.

Die Archäologin organisierte auch die Unterbringung der Studierenden in Portugal. Dank ihrer langjährigen Kontakte zur Gemeinde konnten in beiden Jahren ein bzw. zwei Selbst-versorger-Häuser als Unterkunft organisiert werden. Die Gemeinde übernahm die Kosten dafür sowie für ein tägliches gemeinsames Abendessen für alle Teilnehmer in lokalen Restaurants. Die Studierenden mussten sich lediglich um das Frühstück und die Verpflegung für den Tag selbst kümmern.

Für die Mobilität während der Exkursionen wurden mehrere Fahrzeuge angemietet. Die Bereitschaft mehrerer Studierender als Fahrer zu fungieren, ermöglichte eine ausreichend flexible Aufteilung der Messgruppen. Die Lehrenden sind nicht im Hotel untergebracht, sondern in einem gemieteten Ferienhaus im Ort. Dies konnte nicht nur als Basis für die tägliche Feldarbeit genutzt werden, sondern auch zur Lagerung von Geräten, zum Laden von Akkus und bei Bedarf zur Auswertung und Bearbeitung der Daten am Rechner.

Neben den bekannten Vermessungsarbeiten im Feld gab es im Laufe der Zeit verschiedene abwechslungsreiche Tätigkeiten, die normalerweise nicht auf der Tagesordnung von Ingenieuren stehen. Oftmals mussten die zu vermessenden Objekte zunächst von Bewuchs, Erde, Sand,

Schlamm oder Wasser befreit werden. Es wurden Lösungen gesucht und gefunden, um tiefe Schächte zu überqueren oder zu dokumentieren. Und manche archäologischen Objekte, wie zum Beispiel der Verlauf eines Aquädukts, müssen erst im bewegten Gelände gefunden und zugänglich gemacht werden, bevor sie für eine 3D-Dokumentation herangezogen werden können. Die zwei Wochen waren somit mit vielfältigen Aufgaben gefüllt, die über den Vermessungstechnischen Alltag hinausgingen.

## 4 Datenerfassung mit geodätischer Messtechnik

Für die Datenerfassung wurde überwiegend in Messgruppen von drei bis fünf Studierenden gearbeitet, was auch mit den zur Verfügung stehenden Fahrzeugen zusammenhing. Zudem mussten immer die Tätigkeiten am Vortag für den nächsten Tag abgesprochen werden, da mit zwei Tachymetern, einem GNSS-System, zwei Laserscannern und einem UAV nicht jeder Gruppe immer alle Geräte gleichzeitig zur Verfügung standen. Nach einer kurzen Einführung in die unbekanntenen Geräte konnten die Teilnehmer größtenteils selbstständig arbeiten, da nicht alle Gruppen im Feld durchgehend betreut werden konnten.

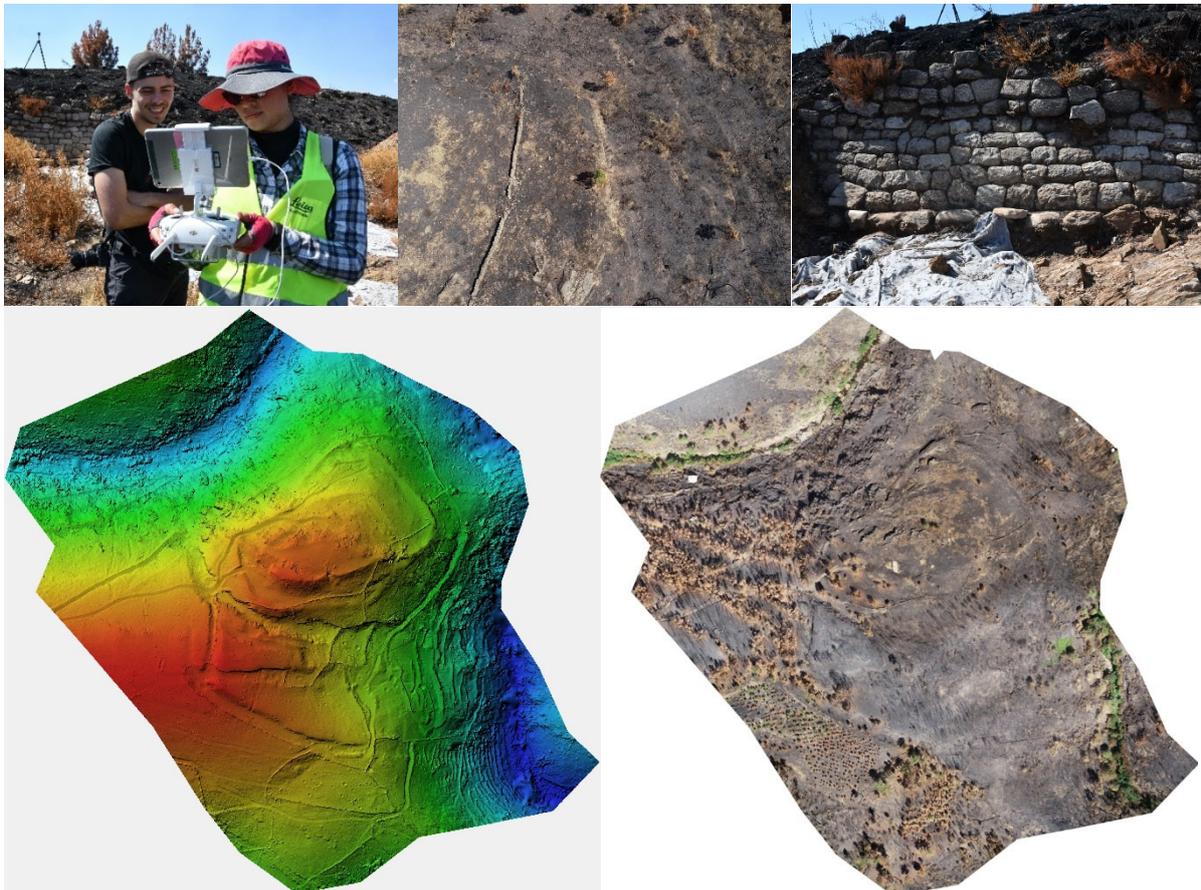


Abb. 2: Steuerung der DJI P4 (oben links), UAV-Aufnahme (oben Mitte), Foto der Mauerreste (oben rechts), farbkodiertes Geländemodell (unten links) und Orthophoto (unten rechts) des Castro de Cidadelha de Jales

### 4.1 Castro de Cidadelha de Jales (befestigte Siedlung)

Die Burganlage Castro de Cidadelha de Jales (auch Castelo dos Mauros genannt) entstand schon in vorrömischen Zeiten (Bronzezeit) als eine Art Festungsanlage bei der Ortschaft Alfarela de Jales südlich von Tresminas. Es handelt sich um eine befestigte Siedlung an einem

Mäander des Flusses Tinhela, die auf der Grundlage einer doppelten kreisförmigen Anlage (Abb. 2) mit zwei monumentalen Linien polygonaler Granitmauern und einem mit Schiefergestein gefüllten Innenraum strukturiert ist. Der Verlauf der Anlage kann durch die dank eines weiträumigen Waldbrands freigelegten, erhaltenen Mauerreste mit Hilfe von Oberflächenmodellen sehr gut nachvollzogen werden. Die Luftaufnahmen mit UAV bieten hierbei eine gute Möglichkeit, eine georeferenzierte Punktwolke zu generieren, um daraus ein digitales Geländemodell und ein digitales Orthophoto abzuleiten (Abb. 2 unten). Für die Georeferenzierung der Daten wurden signalisierte Passpunkte im Gelände verteilt und durch GNSS eingemessen. FONTE & COSTA-GARCÍA (2016) stellen die Burganlage vor und vergleichen diese mit anderen Castros in der näheren Umgebung. Eine 3D-Rekonstruktion und Visualisierung der Burganlage wurde 2016 während eines internationalen Symposiums für virtuelle Archäologie von einem Expertenteam durchgeführt (siehe <http://cesarfigueiredo.blogspot.com/2016/05/2-simposio-internacional-de-arqueologia.html>).

#### 4.2 Ponte Romana Barrela de Jales (Römische Brücke)

Die antike römische Bogenbrücke (Ponte do Arco Romana) bei Barrela de Jales überquert den Fluss Pinhão (Abb. 3) und verband das *territorium metallorum* Tresminas/Jales mit dem südlichen Dourotal. Die Brücke hat eine flache Fahrbahn mit einer maximalen Breite von 4 Metern und ruht auf einem einzigen Rundbogen aus Mauerwerk mit langen, schmalen Gewölbsteinen. Die hochstehenden seitlichen Geländer sind nicht römischen Ursprungs. Für die 3D-Konstruktion der Brücke wurden im Jahr 2022 eine UAV-Befliegung mit der Drohne DJI Phantom 4 Pro KlauPPK (69 Fotos), eine photogrammetrische Aufnahme mit der Nikon D7500 (554 Fotos mit einer Brennweite von 18 mm) sowie terrestrisches Laserscanning mit dem Scanner Faro Focus3D X330 durchgeführt. Für die Georeferenzierung der Messdaten wurden vier markierte Festpunkte mit GNSS bestimmt. Über diese Punkte konnte ein Tachymeter stationiert werden, um die gut verteilten signalisierten Passpunkte an dem Bauwerk einzumessen. Zusätzlich wurden an acht Standpunkten 360°-Panoramaaufnahmen mit der Nikon D800 (Brennweite 10,5 mm) gemacht, um daraus eine virtuelle Tour für das Baudenkmal mit den Softwarepaketen PTGui und KRpano zu erstellen (Abb. 4). Die virtuelle Tour ist über den folgenden Link verfügbar: [http://www.geomatik.hamburg/virtual\\_tours/vtour\\_ponte\\_romana/tour.html](http://www.geomatik.hamburg/virtual_tours/vtour_ponte_romana/tour.html).



Abb. 3: Römische Bogenbrücke bei Barrela de Jales (links), farbige Punktwolke (Mitte), Foto der Messgruppe (rechts)

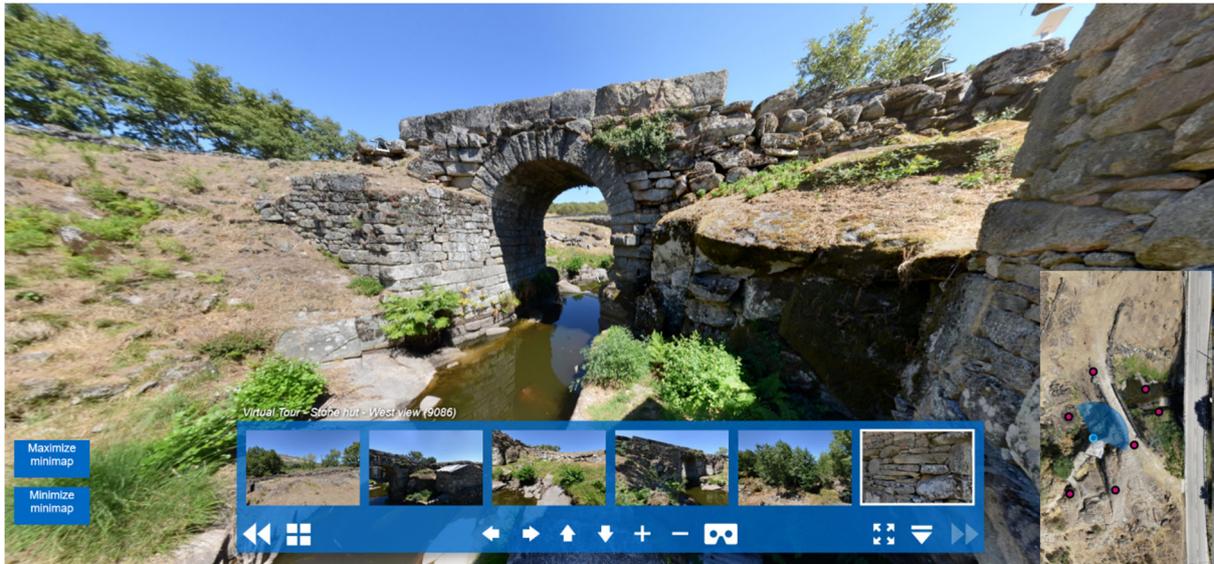


Abb. 4: Virtuelle Tour für die römische Bogenbrücke mit 360°-Panoramafotografie

### 4.3 Das Projektkoordinatensystem

Für die Tagebaugebiete Corta da Ribeirinha und Corta de Covas sowie für die Abbaustätte Laginhos wurde bereits im Jahr 2017 ein lokales Koordinatensystem festgelegt. Die Abbildungs- und Rechenebene ist eine Tangentialebene am trigonometrischen Punkt TP2 Cruzes, dessen UTM-Koordinaten in das lokale System übernommen wurden. Alle Berechnungen werden im Maßstab 1:1 durchgeführt. Das Projektkoordinatensystem ist nach geografischem Norden orientiert. Vorhandene und neu festgelegte Vermessungspunkte wurden in diesem System über eine Netzmessung sowie verdichtende Tachymeterzüge bestimmt (Abb. 5). Die Höhenfestlegung basiert auf GNSS-Messungen am Punkt TP2 Cruzes. Die ellipsoidische Höhe dieses Punktes wurde aus PPP-Auswertungen ermittelt und basierend auf dem EGM2008-Schweremodell in eine orthometrische Höhe umgerechnet.

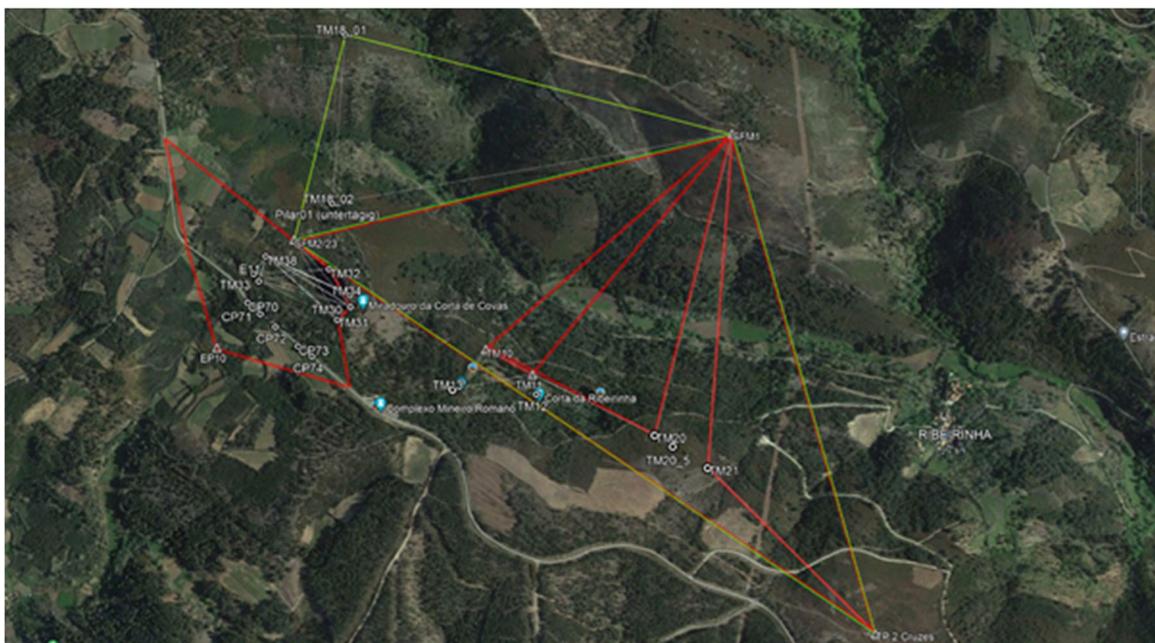


Abb. 5: Geodätisches Netz im Gebiet der römischen Bergbaustätten Tresminas

#### 4.4 Tagebaugebiet Corta da Ribeirinha

Die Corta da Ribeirinha ist eine nahezu vollständig erhaltene Bergbauanlage aus dem Römischen Reich, die zur Goldgewinnung diente. Sie besteht aus mehreren Schachtsystemen mit Galerien (Stollen), die bis zu 120 m lang sind. In dem Bergbaugrundstück Corta da Ribeirinha wurden der Entwässerungstunnel Buraco Seco (A), die kleine Galerie (B) und der Zugangstunnel in der Galerie da Morcegos (C) aufgenommen (Abb. 6). Als Grundlage der Vermessungsarbeiten wurde mit Tachymetrie ein Polygonzug in das Gebiet gelegt. Die Anschlusspunkte wurden mit GNSS bestimmt.

Der 90 m lange Entwässerungstunnel Buraco Seco, der am tiefsten Punkt des Tagebaus der Corta da Ribeirinha bei 724 m über dem Meeresspiegel liegt, wurde mit dem terrestrischen Laserscanner Faro Focus<sup>3D</sup> X330 aufgenommen (Abb. 7). Zur Registrierung der Scans wurden im Tunnel weiße Kugeln verwendet.

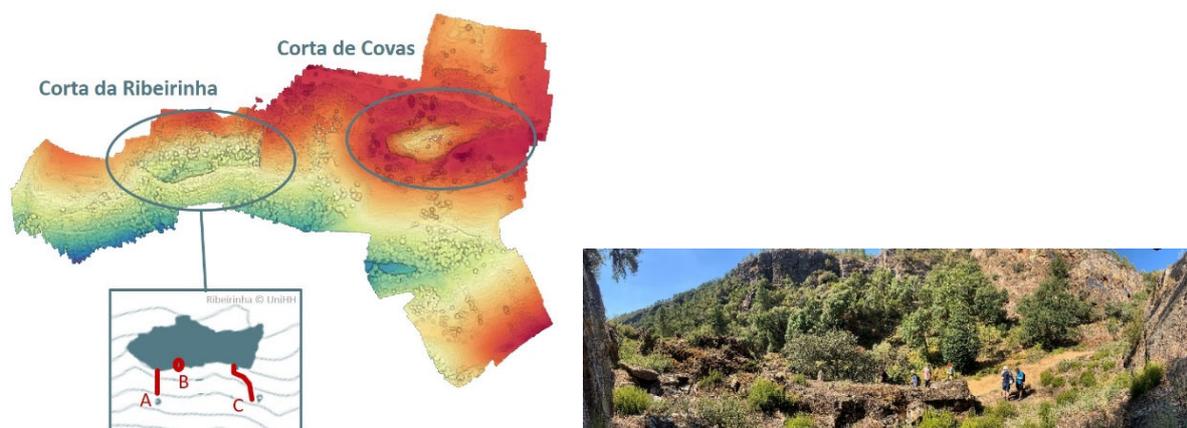


Abb. 6: Das Bergbaugrundstück Corta da Ribeirinha mit Entwässerung Buraco Seco (A), der kleinen Galerie (B) und dem Zugangstunnel Morcegos (C) in einen farbkodierten Geländemodell (links) und ein Blick in das Bergbaugrundstück Ribeirinha (rechts)



Abb. 7: Der Entwässerungstunnel Buraco Seco (links), der Laserscanner Faro Focus<sup>3D</sup> X330 im Tunnel (Mitte) und zwei Scans (rechts)

Die Galerie dos Morcegos ist ein unvollendeter Tunnel mit mehrfach abgewinkelten Trassen und hat deshalb besondere Bedeutung für das Verständnis des antiken Tunnelbaus. Der Tunnel ist etwa 160 m lang und war im vorderen Bereich für zwei sich kreuzende Fuhrwerke ausgebaut, was auf eine Erwartung auf hohes Goldvorkommen schließen lässt. Die Firste mussten mit einer massiven Zimmerung verstärkt werden, deren Verankerungen heute noch als Felseinschnitte zu sehen sind. Auch dieser Tunnel wurde mit dem terrestrischen Laserscanner Faro

Focus<sup>3D</sup> X330 aufgenommen (Abb. 8). Die aus den Punktwolken abgeleiteten 3D-Modelle dienen zur Veranschaulichung der Tunnelgeometrie. Zur besseren Verknüpfung mit dem geodätischen Netz wurde ein einseitig angeschlossener Tachymeterzug in den Tunnel gelegt. Zusätzlich wurden hier 360°-Panoramaaufnahmen auf einem Nodalpunktadapter durchgeführt, die zu einer virtuellen Tour verarbeitet wurden.



Abb. 8: Die Galerie dos Morcegos (Mitte), Kugelpanoramaaufnahme mit Nodalpunktadapter (links) und Polygonzugmessung mit Tachymeter (rechts)

Die kleinste Galerie im Tagebau Riberinha (Abb. 9) liegt an der südlichen Abbruchkante des Steinbruches und ist ungefähr 3 m lang. Durch terrestrisches Laserscanning von der Sohle des Tagebaus und Scans direkt auf der Abbruchkante wurden 2022 auch hier 3D-Modelle aus den Punktwolken generiert und im Projektkoordinatensystem referenziert.



Abb. 9: Galeriefragment in Ribeirinha (links), Laserscanning der Galerie (Mitte) und Punktwolke der Galerie (rechts)

#### 4.5 Tagebaugebiet Corta de Covas

Auch in der Corta de Covas sind Teile von komplexen Systemen erhalten geblieben. Stollen und Schächte wurden in verschiedenen Höhen und Lagen angelegt. Insgesamt wurden fünf Prospektionsstollen (D bis H) in der Corta de Covas vermessen (Abb. 10). Die Bereiche wurden mit dem Laserscanner Faro Focus3D X330 dokumentiert. Über Tachymeterzüge, die an die vorhandenen Vermessungspunkte angeschlossen wurden, wurden Passpunkte bestimmt. Mit diesen Passpunkten konnten die Laserscans im Projektkoordinatensystem referenziert werden. Abbildung 11 zeigt die Prospektionsstollen und das Tagebaugebiet von Corta de Covas, während in Abbildung 12 die Punktwolke des Prospektionsstollens E in der Corta de Covas dargestellt ist.

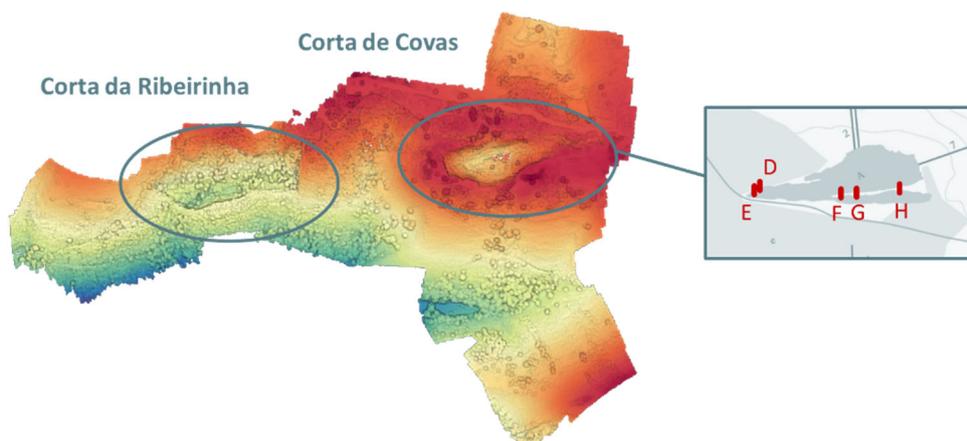


Abb. 10: Tagebaugebiete Corta Ribeirinha und Corta de Covas (farbcodiertes Geländemodell) mit Lage der Prospektionsschächte in der Corta de Covas



Abb. 11: Prospektionsstollen (links, Mitte) in der Corta de Covas (rechts)

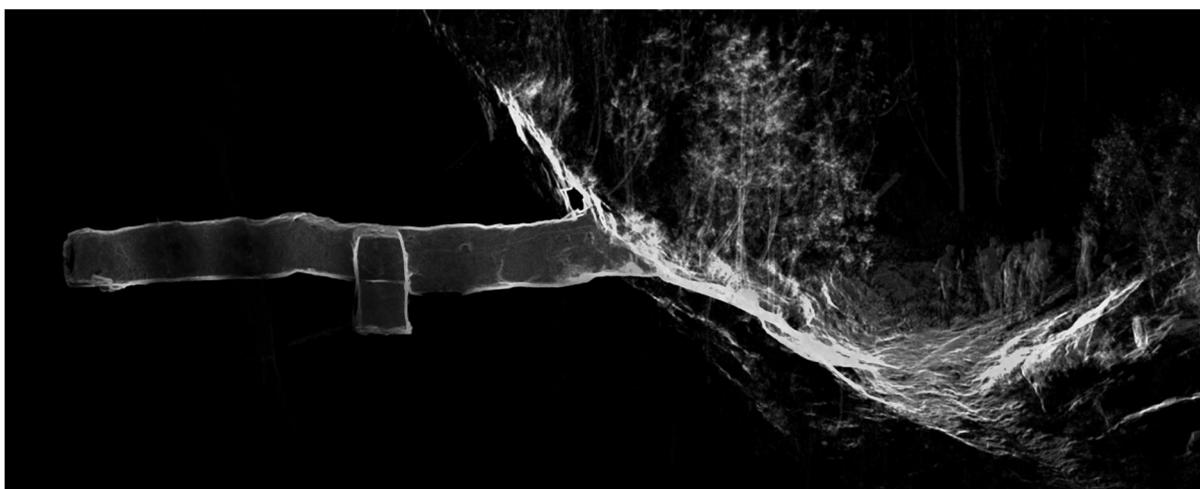


Abb. 12: Prospektionsstollen E in der Corta de Covas

## 4.6 Das römische Wasserversorgungssystem

Die für die Erzaufbereitung notwendigen großen Wassermengen wurden über wenigstens zwölf Aquädukte aus den umgebenden Flussläufen in die Abbaugruben geleitet. Dazu gehören auch Wasserfassungen in Form von Erd- und Steinschüttdämmen, Staubauwerke sowie Tunnel (WAHL-CLERICI 2020; WAHL-CLERICI 2022).

### 4.6.1 Tunnel Pedroso

Der Túnel do Pedroso ist Teil des Aquädukts T2 und wurde als Tunnel durch einen Bergrücken geführt, um die Strecke zu verkürzen (Abb. 13). Der Tunnel wurde in Qanat-Bauweise errichtet

und die Schächte, die sich in einem Abstand von ca. 40 m befinden, sind heute noch als Mulden mit umgebenden Abraumhalden im Gelände erkennbar. Der Tunnel ist jedoch weitestgehend verfüllt und nur der südliche Teil ist noch für wenige Meter begehbar. Mittels Laserscanning mithilfe des Z+F IMAGER 5010 wurde ein 3D-Modell des Gebiets und des begehbaren Tunnelabschnitts aus der Punktwolke der registrierten Scans erstellt.



Abb. 13: Terrestrisches Laserscanning in Pedroso mit dem Z+F IMAGER 5010 im Gelände (links), Tunnelleingänge (Mitte) und deren Punktwolken (rechts)

Mit der Spiegelreflexkamera Nikon D7500 (Brennweite 18 mm) wurden in insgesamt fünf Bildverbänden 159 und 115 Fotos für zwei Geländeabschnitte mit Spuren von Wasserleitungen in Pedroso photogrammetrisch aufgenommen, um durch das Verfahren Structure-from-Motion (siehe diverse Beispiele auch in KERSTEN & LINDSTAEDT 2012) texturierte 3D-Modelle mit der Software Agisoft Metashape zu erstellen (Abb. 14).

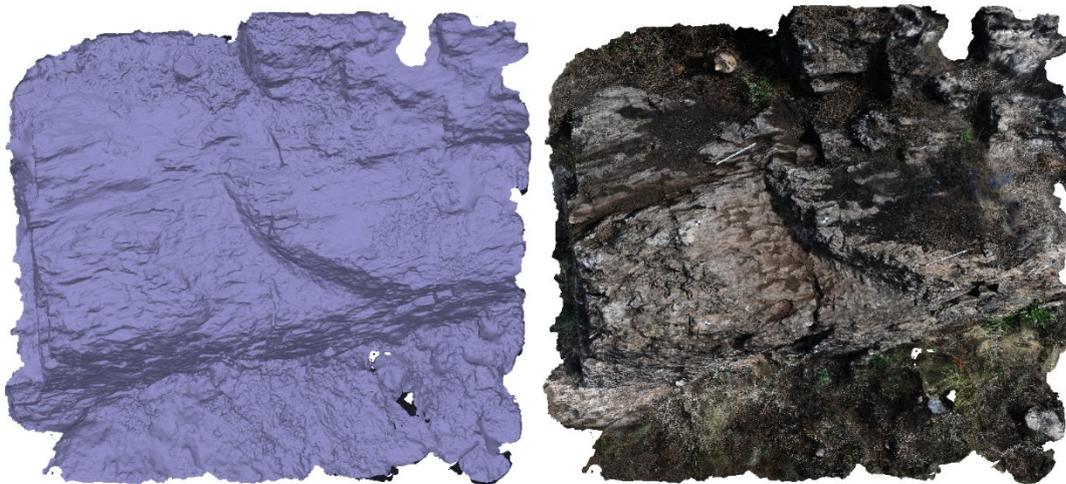


Abb. 14: Photogrammetrisch erstelltes 3D-Modell eines Geländeausschnittes mit Spuren einer Wasserleitung am Pedroso (links gerendert und rechts texturiert)

#### 4.6.2 Aquädukt im Bereich im Steinbruch von Fonte da Ribeira

Ein Aquädukt verlief durch das Steinbruchgebiet Fonte da Ribeira. Ein Trassenteilstück mit einigen noch gut erkennbaren Felseinarbeitungen und Resten von Stützbauwerken wurde durch terrestrisches Laserscanning mit dem Faro Focus<sup>3D</sup> X330 dokumentiert (Abb. 15 rechts und Mitte).



Abb. 15: Terrestrisches Laserscanning im Steinbruch Fonte da Ribeira (links), Passpunktbestimmung mit Tachymeter (Mitte) und Ausschnitt eines UAV-Orthophotos (rechts)

### 4.6.3 Stauwehr Sevivas

Die Wasserzuführung war für den Betrieb des Bergwerks von großer Bedeutung, da sie hauptsächlich für die Erzwaschenanlagen benötigt wurde. Das System der Wasserzufuhr von Tresminas umfasst zwölf Leitungen, einschließlich Erd- und Steinschüttdämmen, zweier Staumauern sowie zwei gut erhaltene Staukonstruktionen zur Wasserableitung. Im September 2023 wurde das Gelände um das Stauwehr Sevivas nach der Reduktion der Vegetation terrestrisch mit dem Faro Focus<sup>3D</sup> X330 gescannt und als farbkodiertes Höhenmodell visualisiert (Abb. 16).

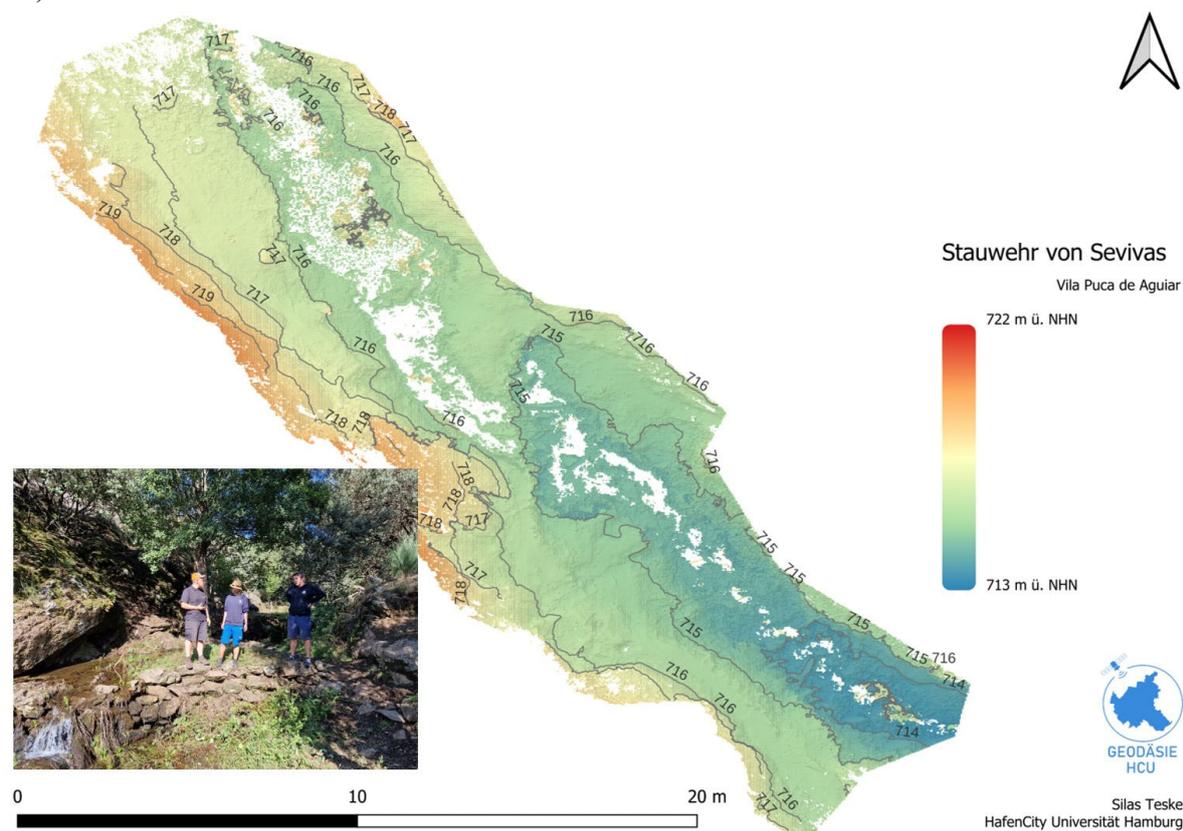


Abb. 16: Stauwehr Sevivas – Reste der Mauer (Foto) und farbkodiertes Höhenmodell des Geländes

## 4.7 Fonte da Ribeira (Steinbruch)

In der Region gibt es neben den Abbaugeländen von Tresminas auch römische Steinbrüche, in denen Granit abgebaut wurde. Derjenige von Fonte da Ribeira wurde unter anderem für die Produktion von Mühlsteinen verwendet. Das gesamte Gebiet vom Steinbruch Fonte da Ribeira nahe der Ortschaft Revel wurde 2022 durch UAV-Bildflüge mit der DJI Phantom 4 Pro

KlauPPK aufgenommen, um daraus ein digitales Geländemodell und ein Orthophoto zu erstellen. Die Vegetation in dem Gelände wurde durch verheerende Waldbrände vorher vernichtet. Dadurch waren die Bedingungen ideal für die Aufnahme durch UAV-Photogrammetrie (Abb. 15 rechts).

#### 4.8 Mühlsteine

Im römischen Goldbergwerk von Tresminas/Jales wurden tausende bearbeiteter Steine gefunden. Die bisherigen Forschungen ergaben, dass sämtliche Granitobjekte aus dem lokal anstehenden Granit hergestellt wurden. Das Auffinden des römischen Steinbruchs von „Fonte da Ribeira“ war ein wichtiger Durchbruch für die Untersuchungen an den Mühlen und der Mühlsteinproduktion (WAHL-CLERICI et al. 2015). Dieser Steinbruch befindet sich etwa in der Mitte zwischen der Abbauzone von Tresminas und den Abbauzonen von Gralheira und Campo de Jales und damit im östlichsten Ausläufer des Granitmassivs von Jales. Der hier anstehende Zweiglimmergranit wurde hauptsächlich zur Herstellung von Getreidemühlen und Bausteinen verwendet. Die vor Ort aufgelassenen Werksteine ermöglichen sogar das Nachvollziehen der Verfahrenskette bei der Mühlsteinherstellung (WAHL-CLERICI et al. 2015).

Weitere Mühlsteine, vor allem auch solche aus dem für die Erzmühlen geeigneten Biotitgranit, wurden im Jahr 2023 photogrammetrisch von zwei Seiten aufgenommen. Dabei wurde jeweils ein Bildverbund zwischen 50 und 70 Fotos mit einer Nikon D7500 und einer Brennweite von 24 mm verwendet (Abb. 17). Im Objektraum um die Mühlsteine wurden drei kalibrierte Maßstäbe mit den Längen 13 cm, 28 cm und 44 cm platziert. Die Aufnahme und Auswertung der Bilder erfolgte mit der Software Agisoft Metashape, wie es bereits bei vietnamesischen Museumsobjekten praktiziert wurde (KERSTEN & LINDSTAEDT 2017). Die kalibrierten Maßstäbe ermöglichten eine präzise Bestimmung der Maße in den Bildverbänden der verschiedenen Mühlsteine mit einer Genauigkeit von 0,5 mm. Es wurden texturierte 3D-Modelle von allen neun aufgenommenen Mühlsteinen bzw. Mühlsteinfragmenten erstellt (Abb. 17), die später in den noch in der Entstehung befindlichen Mühlsteinkatalog aufgenommen werden.



Abb. 17: Photogrammetrische Aufnahme von Mühlsteinen (oben und unten links), gut erhaltener Mühlstein als vermaschtes 3D-Modell mit Maßstäben und als texturiertes Modell von beiden Seiten (oben rechts), verschiedene Mühlsteinfragmente als texturiertes 3D-Modell (unten)

## 5 Fazit & Ausblick

In den beiden Summer Schools der HafenCity Universität Hamburg in den Jahren 2022 und 2023 wurden mit verschiedenen geodätischen Messverfahren zahlreiche große und kleine Objekte im ehemaligen römischen Bergbauggebiet Tresminas aufgenommen, modelliert und dokumentiert. Die Studierenden des Bachelor- und Masterstudiengangs Geodäsie & Geoinformatik konnten in den jeweils zwei Wochen der praktischen Feldarbeit folgende geodätische Messverfahren kennenlernen und für die Objektaufnahme einsetzen: terrestrisches Laserscanning mit den Scannern Faro Focus<sup>3D</sup> X330 und Z+F IMAGER 5010, digitale Photogrammetrie mit digitalen Spiegelreflexkameras und UAV, Punktbestimmung durch GNSS und Tachymetrie sowie 360-Grad-Panoramafotografie. Die Tagebaugebiete und Tunnelsysteme in Tresminas wurden eigenverantwortlich von Teams bestehend aus drei bis vier Personen aufgenommen. Die gesammelten Daten wurden in Portugal mit unterschiedlicher Software ausgewertet: LaserControl und Faro Scene zur Verarbeitung der terrestrischen Scans, Agisoft Metashape für die Auswertung der photogrammetrischen Bildverbände und PTGui und KRpano für die Erstellung von virtuellen Touren aus den Panoramaaufnahmen.

Während der Feldkampagnen haben Archäologen den Studierenden die Bedeutungen der römischen Bergbaudenkmäler und deren Zusammenhänge erklärt. Die generierten 3D-Daten sollen den Archäologen wertvolle Beiträge bei ihren Forschungen zum Betrieb römischer Minen liefern, um durch entsprechende Visualisierungen die antiken Strukturen und deren komplexe Zusammenhänge besser zu verstehen. Es ist geplant, die römischen Bergbaumonumente in einer Virtual-Reality-Anwendung immersiv zu visualisieren, um eine erlebnisreiche Erkundung zu ermöglichen.

Die Feldkampagnen der beiden Summer Schools wurden durch verschiedene Fachexkursionen mit Bezug zur römischen Geschichte und Ausflüge in der Gegend bereichert. Im Jahr 2022 wurden die römischen Thermalanlagen, die Ponte Romana de Chaves und die ehemalige Festung in der Stadt Chaves besucht. In Las Médulas (Spanien) wurden die ehemaligen Goldminen besichtigt und in Valongo bei Porto das Bergwerk (Abb. 18). Eine Exkursion nach Porto rundete das kulturelle Programm ab. Im Jahr 2023 wurde erneut das öffentlich nicht zugängliche Bergwerk in Valongo bei Porto besichtigt und die Stadt Braga mit ihren römischen Zeugnissen besucht. Die nächste Summer School in Portugal ist für den Zeitraum August/September 2024 im römischen Bergbauggebiet Tresminas geplant.



Abb. 18: Gruppenfoto der Exkursionsteilnehmer im Jahr 2022 (links) und im Jahr 2023 (rechts) im Bergwerk in Valongo bei Porto

## 6 Dank

Die jährlichen Summer Schools werden von der HCU Hamburg, von der Nico Rüpke-Stiftung Hamburg und von der Gemeinde Vila Pouca de Aguiar finanziell unterstützt. Die Kooperation zwischen Archäologen der Goethe-Universität Frankfurt und der Schweiz sowie Geodäten der HCU Hamburg besteht schon seit einigen Jahren. Besonderer Dank gebührt den HCU-Studierenden für ihren unermüdlichen und vorbildlichen Einsatz bei der Datenerfassung und für die Unterstützung bei der späteren Auswertung.

## 7 Literaturverzeichnis

- FORTE, J. & COSTA-GARCÍA, J. M., 2016: Alto da Cerca (Valpaços, Portugal): um assentamento militar romano na Serra da Padrela e sua relação com o distrito mineiro de Tresminas. *Estudos do Quaternário/Quaternary Studies*, (15), 39-58.
- HELFFERT, M., WAHL-CLERICI, R., LINDSTAEDT, M. & MECHELKE, K., 2019: Tresminas–römischer Stollen nach 25 Jahren wieder zugänglich. *Archäologie in Deutschland*, (6), 40-43. <https://www.jstor.org/stable/26919735>, letzter Zugriff 19.01.24.
- KERSTEN, T. & LINDSTAEDT, M., 2012: Automatic 3D Object Reconstruction from Multiple Images for Architectural, Cultural Heritage and Archaeological Applications Using Open-Source Software and Web Services. *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, 6, 727-740. [https://www.dgpf.de/pfg/2012/pfg2012\\_6\\_Kersten.pdf](https://www.dgpf.de/pfg/2012/pfg2012_6_Kersten.pdf), letzter Zugriff 19.01.24.
- KERSTEN, T. & LINDSTAEDT, M., 2017: Mit Kamera, Maßstab und Laptop - Best Practice zur Erstellung von 3D-Modellen für eine Museumsausstellung am Beispiel vietnamesischer Kulturobjekte. *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V.*, 26, 35-44. [https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2017/proceedings/proceedings/papers/04\\_DGPF2017\\_Kersten\\_Lindstaedt.pdf](https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2017/proceedings/proceedings/papers/04_DGPF2017_Kersten_Lindstaedt.pdf), letzter Zugriff 19.01.24.
- KERSTEN, T., LINDSTAEDT, M., MAZIULL, L., SCHREYER, K., TSCHIRSCHWITZ, F. & HOLM, K., 2015: 3D-Erfassung, Modellierung und Visualisierung der Festungsanlage Kristiansten in Trondheim durch Photogrammetrie und terrestrisches Laserscanning im Rahmen von ERASMUS-Programmen. *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V.*, 24, 78-89. [https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2015/proceedings/papers/10\\_DGPF2015\\_Kersten\\_et\\_al.pdf](https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2015/proceedings/papers/10_DGPF2015_Kersten_et_al.pdf), letzter Zugriff 19.01.24.
- WAHL, J., 1988: Três MINAS. Vorbericht über die archäologischen Untersuchungen im Bereich des Römischen Goldbergwerks 1986/87. *Madriider Mitteilungen*, 29, 221-244.
- WAHL-CLERICI, R., 2020: Roman Gold from Tresminas (Portugal). *Prospection – Mining – Treatment. Beiträge zur Technikgeschichte* (Bd. 3.1) der Dr. h.c. Alfred Mutz-Stiftung für alte, insbesondere antike Technologie und Technikgeschichte, Basel.
- WAHL-CLERICI, R., 2022: Tresminas - Eine kurze Einführung in das römische Goldbergwerk. *LIBRUM Publishers & Editors LLC*, Basel/Frankfurt a. M., 111 S., <https://doi.org/10.19218/3906897776>.

- WAHL-CLERICI, R., MECHELKE, K., LINDSTAEDT, M., SCHIERL, T. & HELFERT, M., 2019: Der römische Wendeltreppenschacht im territorium metallorum Tresminas/Jales (freg. Tresminas; distr. Vila Real/P). Archäologisches Korrespondenzblatt, 49(1), 109-125. <https://journals.ub.uni-heidelberg.de/index.php/ak/article/view/90663>, letzter Zugriff 19.01.24.
- WAHL-CLERICI, R., ROSA, D., HELFERT, M., KERSTEN, T., LINDSTAEDT, M. & MECHELKE, K., 2023: The Galheira lode in the territorium metallorum Tresminas/Jales. A "treasure trove" of ancient mining technology. Frankfurter elektronische Rundschau zur Altertumskunde, 50, 10-39. <https://fera-journal.eu/index.php/ojs-fera/article/view/338>, letzter Zugriff 19.01.24.
- WAHL-CLERICI, R., WIECHOWSKI, A., HELFERT, M., RAMMINGER, B. & SCHIERL, T., 2015: Die Mühlsteinproduktion im Steinbruch von Fonte da Ribeira. Zum römischen Bergwerksdistrikt von Três Minas, Galheira und Campo de Jales (Distr. Vila Real/P). Archäolog. Korrespondenzblatt 45(3), 379-393. <https://doi.org/10.11588/ak.2015.3.51811>.