

Neue Forschungen zum Rammelsberg im Rahmen des Vorhabens „Altbergbau 3D. Ein interdisziplinäres Projekt zur Erforschung des montanhistorischen Erbes im Harz“

New research on the Rammelsberg in connection with 'Altbergbau 3D: An interdisciplinary project exploring the history and heritage of mining in the Harz'

The first half of the project, which will receive full funding of almost half a million euros from the Federal Ministry of Education and Research over its three-year duration, is concerned with the mine workings of the Rammelsberg. The aim is to gain an in-depth understanding of developments in mining over the centuries by combining a high-resolution 3D model with an archaeological and historical investigation of mining. The affiliated partners are the mining archaeology division of the Lower Saxony State Office for Cultural Heritage, the Institute of Geotechnical Engineering and Mine Surveying of Clausthal University of Technology and the WORLD CULTURAL HERITAGE RAMMELSBURG - Museum & Visitors Mine. These partners are supported by the Foundation Mines of Rammelsberg, Historic Town of Goslar and Upper Harz Water Management System as well as Bergbau Goslar GmbH as the former owner of the Rammelsberg mine.

The interdisciplinary studies focused on three mine workings linked to ore mining and drainage: the Alte Abbau, a large cavity with an elongated drift, the Feuergezäher Gewölbe, one of the oldest medieval wheelhouses in existence, and the Altes System, a mine drainage area that developed over centuries.

A structure-from-motion process was applied to create a 3D model, with tachymetrically measured polygonal chains connecting to reference above ground. The 3D model produced was then used to undertake a thorough study of the archaeology of the mine that will observe structures from inaccessible perspectives in a wider context than the situation on site allows. The findings will be correlated with the extensive historic mine plan and initial results from the revision of numerous written sources in the course of the project.

Einführung

Der Harz und der Rammelsberg (Abb. 1) zählen zu den bedeutendsten Montanregionen Europas. Spätestens seit der Bronzezeit wurden dort Rohstoffe gewonnen und verhandelt. Dieser Bedeutung trug die UNESCO 1992 Rechnung, als sie den Rammelsberg, wo der Metallerzbergbau mindestens tausend Jahre lang nahezu ununterbrochen stattgefunden hatte, zusammen mit der Altstadt von Goslar zum Kulturerbe der Menschheit erhob und dieses 2010 um die frühneuzeitliche Oberharzener Wasserwirtschaft erweiterte.

Im Jahr 2017 wurden unter der Federführung der Arbeitsstelle Montanarchäologie des Niedersächsischen Landesamtes für Denkmalpflege beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBWF) Gelder für ein auf drei Jahre ausgelegtes interdisziplinäres Projekt erfolgreich beantragt. Ziel dieses Projektes ist es zum einen, ausgewählte Grubenräume des Rammelsberges zu erforschen und zum anderen, Bergbaumodelle in die zu erstellenden digitalen Modelle dieser Grubenräume einzubinden. Die Verbindung des hochaufgelösten georeferenzierten 3D-Modells mit detaillierter archäologischer Befundaufnahme unter Tage und zielgerichteten historischen Recherchen lässt ein besseres Verständnis dieser Grubenräume in ihrem zeitlichen und historischen Kontext erwarten.

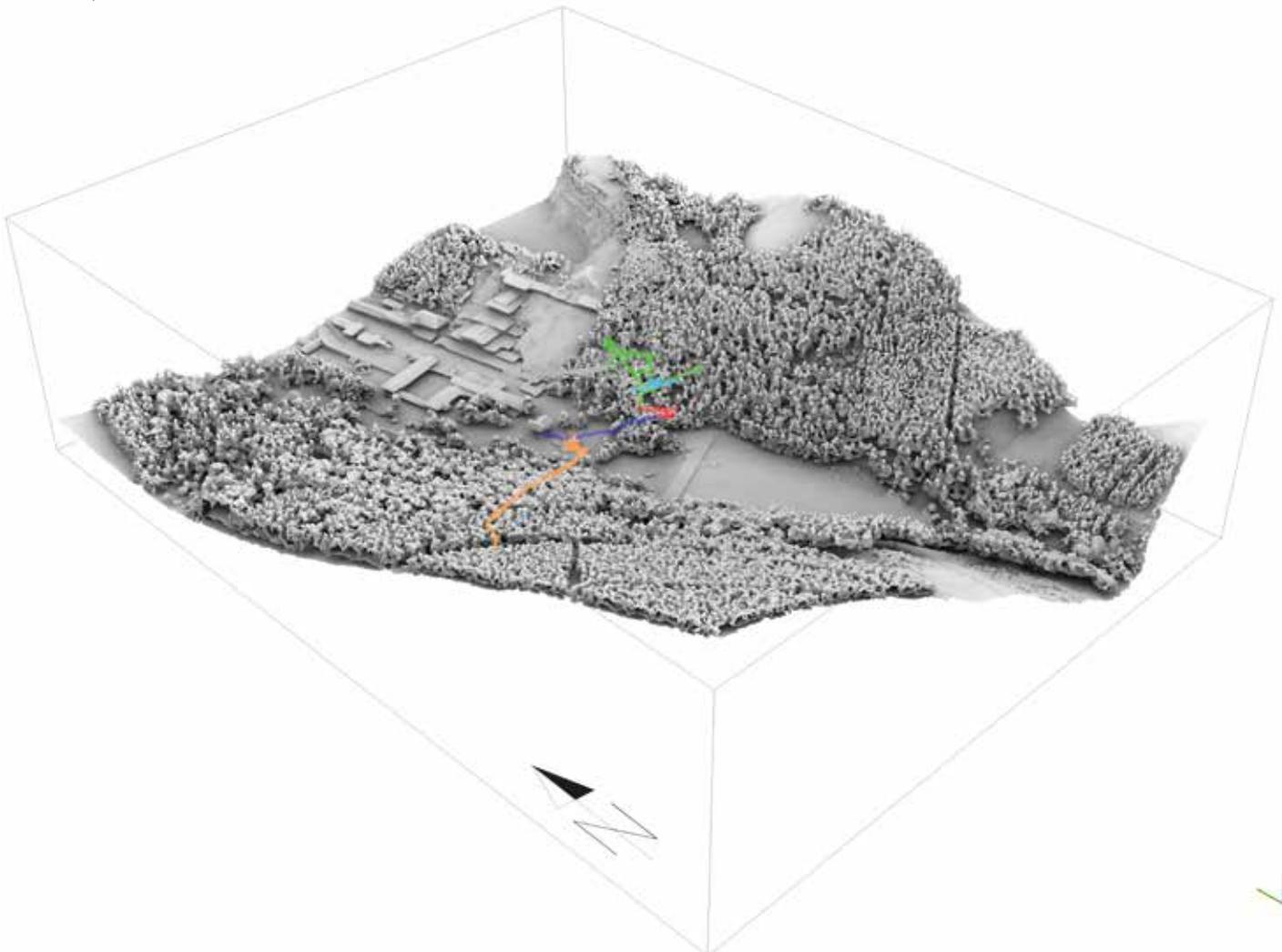
Drei Grubenräume (Abb. 2) werden einer genaueren Betrachtung unterzogen. Sie wurden ausgewählt unter dem Aspekt der räumlichen Verortung im über- und untertägigen Kontext sowie der thematischen Schwerpunktsetzung auf den Erzabbau und die Wasserhaltung. Dabei werden als Nebenaspekte von Seiten der Ingenieurwissenschaften gleichzeitig neue Lösungsansätze bei Problemen von untertägigen 3D-Aufnahmen erarbeitet, aus archäologischer Sicht erfolgt eine ausführliche Dokumentation des Istzustandes, während die genaue Sichtung der historischen Quellen wahrscheinlich deren Neubewertung zur Folge haben wird.

Projektpartner sind das Landesamt, das WELTKULTURERBE RAMMELSBURG – Museum & Besucherbergwerk und das Institut für Geotechnik und Markscheidewesen der Technischen Universität Clausthal. Ferner unterstützen die Stiftung Welterbe im



Abb. 1: Der Rammelsberg. (© Foto: Jessica Meyer/TU Clausthal)

Abb. 2: Übersicht der ausgewählten Grubenräume im Digitalen Oberflächen Modell (DOM): grün = Roedersystem; hellblau = Radstuben Altes System; rot = Feurgezäher Gewölbe; dunkelblau = Rathstiefster Stollen; orange = Alter Abbau. (© Grafik: Wilhelm Hannemann und Katharina Malek; Grundlage DOM: LGLN/NLD)



Harz, die als Trägerin des Oberharzer Bergwerksmuseums in Clausthal-Zellerfeld die betreffenden Bergbaumodelle zur Verfügung stellt, sowie die Bergbau Goslar GmbH die Arbeiten. Das Ministerium fördert das Vorhaben im Rahmen der eHeritage-Richtlinie mit rund einer halben Million Euro. Startpunkt für das Projekt war Frühjahr 2018.¹

Die Erzlagerstätte

Die geologischen Gegebenheiten am Rammelsberg unterscheiden sich wesentlich von denen des Ober- und Mittelharzes: Die Blei-Zink-Kupfer-Erz-Lagerstätte entstand unter submarinen Verhältnissen vor rund 380 Mio. Jahren durch Exhalation und gleichzeitige Sedimentation. Es handelt sich dabei um zwei große linsenförmige Erzteppiche, das Alte Lager und das Neue Lager (Abb. 3). Diese Bezeichnungen beschreiben keine geologische Zeiteinstufung, sondern gehen auf die Entdeckungs- und Abbaugeschichte zurück. Nach der variszischen Faltung strich das Alte Lager auf einer Länge von etwa 600 m zu Tage aus und erreichte eine Teufe von 300 m mit einer Mächtigkeit von ca. 15 m. Es begründete die über Jahrtausende währende Abbaubetrieb am Rammelsberg. Das untertägig verborgene Neue Lager wurde erst 1859 entdeckt und unter Verhieb genommen. Mit etwa 27 Millionen Tonnen Gesamtroherzgehalt in seiner engräumig kompakten Form war die Lagerstätte eine der größten ihrer Art weltweit.² Die Einstellung des Abbaubetriebes 1988 fand jedoch nicht aus wirtschaftlichen Gründen statt, sondern wegen der Erschöpfung der Lagerstätte.

Historischer Überblick

Über das (Ober-)Harzer Montanwesen entstand über Jahrhunderte hinweg eine umfangreiche Literatur, und auch zum Unterharz – dem Revier rund um den Rammelsberg – wurde in jüngerer Zeit zu unterschiedlichen Themen publiziert.³ Trotz der neuen Erkenntnisse, die in den letzten Jahrzehnten von historischer und montanarchäologischer Seite beigetragen wurden, bleiben wesentliche Fragen nach wie vor unbeantwortet. Dazu gehören solche nach dem Alter, der Funktion und der Nutzung von Grubenräumen, über deren Klärung sich möglicherweise Aufschlüsse zu Betriebsabläufen und Besitzstrukturen erschließen lassen.

Für eine Annäherung an historische Sachverhalte zum Rammelsberg ist noch immer das Werk von Wilhelm Bornhard⁴ unverzichtbar, das seit Jahrzehnten Autoren eine solide Grundlage für deren eigene Arbeiten bietet. Die Fülle des historischen Quellenmaterials, dessen detaillierte Analyse für seine Rammelsberg-Geschichte zweifellos zu umfangreich und zu weitläufig gewesen wäre, sowie der Zuwachs an montanarchäologischen Erkenntnissen seit den 1990er Jahren lassen es jedoch sinnvoll erscheinen, Teilaspekte dieser Geschichte neu zu betrachten.

So ist nicht genau bekannt, wann der Übergang vom Tagebau zum Tiefbau stattfand, und auch über die Art der Wasserhebung lassen sich nur Vermutungen anstellen. Für das Mittelalter ist der Einsatz von Wasserknechten und auch von Haspeln anzunehmen. Durch die Intensivierung des Bergbaus und das Erreichen größerer Teufen war eine andere Wasserlösung notwendig, sodass mit der Auffahrung des Rathstiefsten Stollens begonnen wurde. Nach dessen Fertigstellung konnten die Wäs-

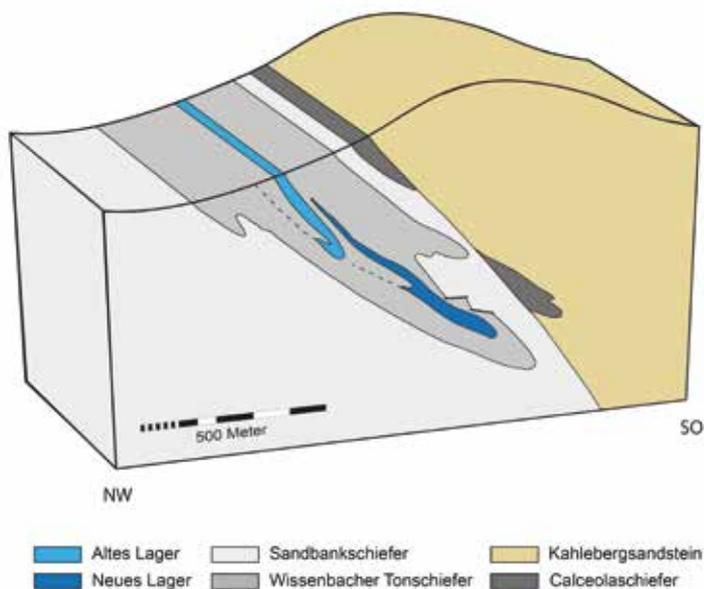


Abb. 3: Schematische Darstellung der Geologie des Rammelsberges. (Bearbeitung: Georg Drechsler nach Weichmann 2001, S. 120 unten)

ser nach über Tage abfließen. Zu diesem Zeitpunkt waren noch keine Teufen erreicht, die den Einsatz aufwändiger technischer Hilfsmittel erforderlich gemacht hätten. Das änderte sich, als die Gruben – wohl zu Beginn des 13. Jahrhunderts – nach unterhalb der Rathstiefsten-Sohle ausgriffen. Die Hebung durch Muskelkraft stellte wieder nur eine unzulängliche Zwischenlösung dar, zumal mittlerweile durch Raubbau das Gebirge so zerklüftet gewesen ist, dass das Niederschlagswasser, welches aufgrund klimatischer Veränderungen nun auch in größeren Mengen anfiel, den Abbau in den tieferen Bauen bald zum Erliegen brachte. Um 1300 waren die Wässer bis auf die Sohle der Strecke Trostesfahrt, rund 42 m unter der Rathstiefsten-Sohle, aufgegangen, und der Anstieg setzte sich fort. Spätestens Ende der 1350er Jahre waren die Gruben bis zum Rathstiefsten abgesoffen. Die Gewinnung war nur noch in den Bereichen oberhalb möglich, wo Nachlesebergbau betrieben wurde. Ebenso wurden die Halden am Berghang durchgeklaut, die auf diese Weise wohl gleich mehrfach ihre Lage veränderten.

Ausgewählte Grubenräume 1: Der Alte Bau

Bei der Auswahl der Grubenräume (Abb. 4) für das Projekt spielten zwei wesentliche bergmännische Arbeiten die Hauptrolle: die Wasserhaltung und die Erzgewinnung. Den ältesten erhaltenen baulichen Nachweis einer systematischen Wasserhaltung im Rammelsberg bildet der vermutlich in die Mitte des 12. Jahrhunderts zu datierende, rund einen Kilometer lange Rathstiefste Stollen. Erstmals schriftlich erwähnt wurde er 1271 als „Aghetucht“ in der sogenannten Bergordnung Herzog Albrechts, in deren 29. Artikel der Berggerichtsbezirk anhand mehrerer Grenzpunkte umrissen wird: „Der verfestete Mann soll Frieden haben von dem Berge bis an das Wasser, das aus dem Kinderborn fließt, und weiter bis dahin, wo die Abzucht (aghetucht) aus dem Rammelsberg fließt, bis oberhalb der Stadt und an das Tal, das der Pannenstich heißt.“⁵

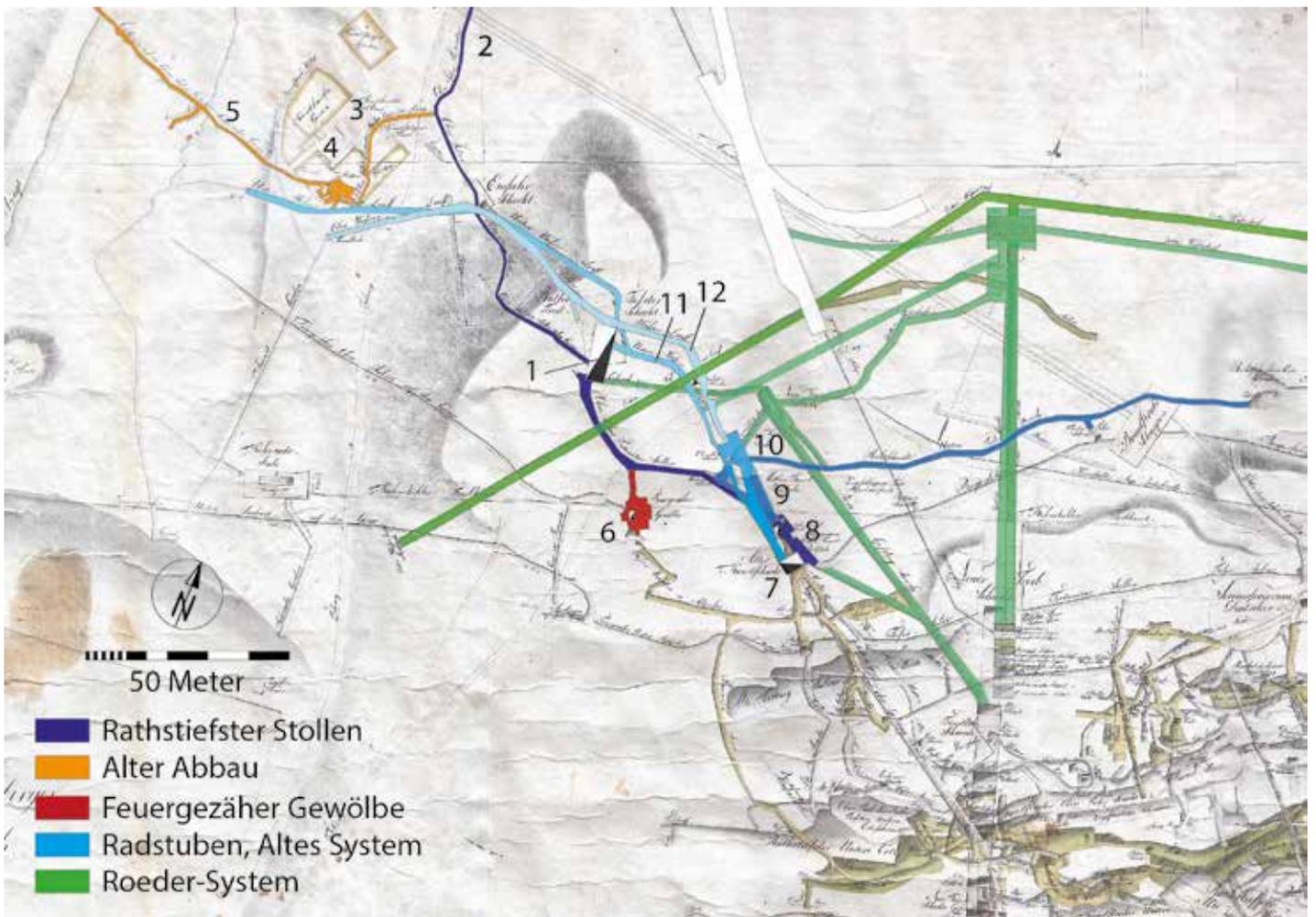


Abb. 4: Die Grubenräume im Detail im Grundriss von F. H. Spörer, 1791. (Bearbeitung: Georg Drechsler)

Der Rathstiefste Stollen (Abb. 4, Nr. 1) war über die Jahrhunderte hinweg auf unterschiedliche Weise in die Wasserwirtschaft des Rammelsberges eingebunden: Bis zum Jahr 1585 führte er sowohl die Grubenwässer ab, die – durch natürliches Zusitzen oder durch Hebung aus tieferen Bauen – auf ihn gelangten, als auch die Aufschlagwässer, mit denen die untertägigen Künste angetrieben wurden. In seiner Verlängerung führte er unter dem Namen Bergesfahrt direkt am Alten Lager entlang, wo er als Förderstrecke die nördlichen Gruben erschloss und mit den Tagesförderschächten verband. Das untere Füllort des Rathstiefsten Schachtes (Abb. 4, Nr. 2) markiert den Übergang zwischen der Förderstrecke und dem Lösungsstollen.

Gleichwohl wurde auch vom Rathstiefsten Stollen ein Suchort (Abb. 4, Nr. 3-5) angesetzt, in dessen Verlängerung sich eine alte Abbauweite (Abb. 4, Nr. 4) befindet, von der mehrere Suchörter, Hochbrüche sowie ein Haspelschacht abgehen. Auf das Alter des Suchortes, der zu dieser Weite führt, gibt es Hinweise in schriftlichen Quellen, die eine Datierung in das 16. Jahrhundert möglich erscheinen lassen. Genauere Aussagen sind jedoch nur aus den Schriftquellen und den Ergebnissen dendrochronologischer Datierungen⁶ der verbauten Hölzer zu treffen, die auf eine Wiederaufnahme der dortigen Erzgewinnung gegen Ende des 17. Jahrhunderts hinweisen. Es ist jedoch durchaus möglich, dass die Weite selbst deutlich älter ist.

Ausgewählte Grubenräume 2: Das Feuergezäher Gewölbe

Um die am westlichen Rand des Erzlagers zusitzenden Wässer lösen zu können, wurde wahrscheinlich im frühen 14. Jahrhundert neben dem Stollen, nahe am Füllort des Rathstiefsten Schachtes, eine Radstube (Abb. 4, Nr. 6) aufgeföhren. Der Schacht (Abb. 5), der in diesem später so genannten Feuergezäher Gewölbe rund 20 Meter in die Tiefe ging, gilt als der älteste Kunstschacht des Rammelsberges und war bestückt mit einer Bulgen-, später wohl einer Heinzenkunst. Das Gewölbe gilt als der älteste erhaltene ausgemauerte Grubenraum des deutschen Bergbaus. Von wann die Ausmauerung und die offensichtlich am Mauerwerk vorgenommenen Veränderungen stammen, ist allerdings noch nicht hinreichend geklärt.

Das Rad im Feuergezäher Gewölbe erhielt sein Wasser aus dem Winterbach: Der Verlauf einer – teils verbrochenen – Rösche, die an einer der Giebelseiten in Firsthöhe in die Radstube führt, lässt sich bis in die Nähe des Rathstiefsten Schachtes verfolgen. Verbindungen zu weiteren Grubenräumen sind wahrscheinlich. Eine ausgemauerte Öffnung auf der anderen Giebelseite wurde zeitweilig ebenfalls als Rösche angesprochen (Abb. 6); aufgrund jüngster Untersuchungen scheint eine solche Deutung allerdings fraglich. Sowohl das Aufschlagwasser als auch das im Feuerge-

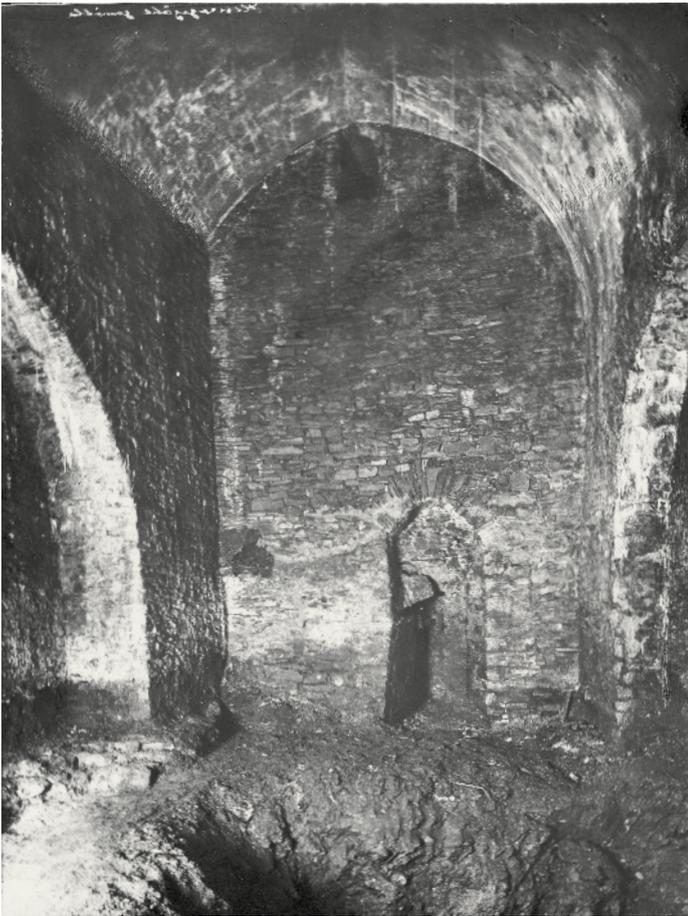


Abb. 5: Das Feuergezäher Gewölbe um 1900. Im Vordergrund ist der Schachtausatz erkennbar, unterhalb der Firste die Öffnung einer vermeintlichen Rösche. (© Foto: Oberharzzer Bergwerksmuseum)

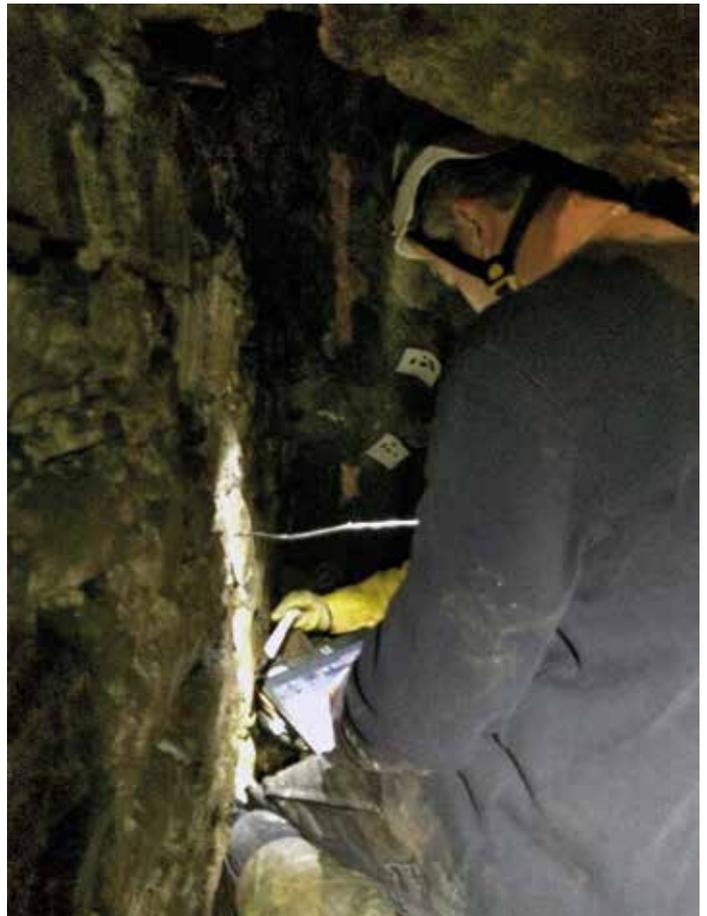


Abb. 6: Untersuchung in der vermeintlichen Rösche (© Foto: Katharina Malek)

zäher Schacht gehobene Grubenwasser wurde über den Rathstiefsten Stollen abgeführt.

Das Rad im Feuergezäher Gewölbe wurde 1585 abgeworfen, weil im selben Jahr ein Lösungsstollen durchschlägig wurde. Dieser lag weit unter dem Sohlniveau des Feuergezäher Schachtes, sodass dieser seine Funktion verlor. Als Lösungsstollen für das Aufschlagwasser der verbliebenen Kunsträder blieb der Rathstiefste Stollen allerdings in Nutzung.

Der Stollendurchschlag 1585 hatte erhebliche Konsequenzen für die gesamte Wasserhaltung im Rammelsberg. Im Gegensatz zum wesentlich höher gelegenen Feuergezäher Schacht erhielt ein anderer Kunstschacht – der so genannte Bulgenschacht (Abb. 4, Nr. 7) – einen direkten Anschluss an den schon bald so bezeichneten Tiefen Julius-Fortunatus-Stollen, mit der Folge, dass die Grubenwasser nun über diesen und nicht mehr über den Rathstiefsten Stollen abgeführt wurden.

Ausgewählte Grubenräume 3: Die Obere Radstube

Der Bulgenschacht (Abb. 4, Nr. 7) ging rund 30 m östlich vom Feuergezäher Schacht in die Tiefe. Auch sein genaues Alter lässt sich nur grob eingrenzen. Ein erster schriftlicher Hinweis stammt aus dem Jahr 1360: In jenem Jahr schloss der Rat einen Vertrag mit dem Wasserbaukundigen Arnd von Arnheim und versprach

diesem ein stattliches Honorar für den Fall, dass er die Sumpfung der Gruben bis auf die Trostesfahrt oder darunter bewerkstelligen würde: „Wir [...] der Rat der Stadt Goslar bekennen in diesem Brief, dass wir mit Meister Arndt von Arnheim und er mit uns Folgendes vereinbart haben: nämlich dass er das Wasser mit Gottes Hilfe und mit seiner Kunst aus der Trostesfahrt herausbringen und es auf unsere Kosten 20 oder 22 Lachter absenken soll. Und er soll zeigen, dass die Kunst, die der Rat dazu haben will, funktioniert, und beweisen, dass die Kunst in Ordnung sei.“⁷ Diese Sumpfung konnte nur durch den Bulgenschacht erfolgen, da der Feuergezäher Schacht nicht die nötige Teufe einbrachte.

Demnach hat wohl Meister Arndt den Bulgenschacht, wenn nicht angelegt, so doch bis zur Trostesfahrt nachgeteuft. Sein Erfolg war jedoch nicht dauerhaft, da bald die Wässer wieder bis zur Sohle des Rathstiefsten anstanden. Dieser verhinderte immerhin ihren weiteren Aufstieg in die höher liegenden Baue. Die früher erschlossenen und die hoffigen unteren Bereiche blieben dem bergmännischen Zugriff jedoch erst einmal verschlossen. Es ist davon auszugehen, dass der Einsatz neuer Technik zur Hebung der Wässer, sofern sie bekannt war, teuer gewesen ist. Denn der Rat der Stadt Goslar setzte – als Pfandnehmer der Herzöge von Braunschweig und Lüneburg oberster Bergherr – auch in den folgenden Jahrzehnten sein Bemühen fort, Bergbaukundige zu einem Engagement im Rammelsberg zu bewegen. Das

späte 14. und das 15. Jahrhundert sind gekennzeichnet von einer Vielzahl von Verträgen des Rates mit Auswärtigen, deren Einfluss man nicht schätzte, ohne die aber die anstehenden Aufgaben nicht zu bewältigen waren (s. unten). Genannt seien die Namen Gabriel von Magdeburg (und die Gesellschaft der vier Schichten, 1407 und 1410), Michael von Broda (1418) und Nicolas von Rhyden (1432), Claus von Gotha (1453/1456) und Johann Thurzo und seine Gesellschafter (1478, 1486, 1487).

Erst Meister Claus von Gotha gelang es, den Berg nachhaltig bis auf die Trostesfahrt zu sumpfen. Ihm wird der Einsatz der ersten Heinzenkünste im Rammelsberg zugeschrieben. Erst gut hundert Jahre später erfolgte die Einführung der Kunst mit dem krummen Zapfen, die die Gruben zu sumpfen vermochte – wenn auch nicht bis ins Tiefste. Deshalb wechselte der Besitz von Gruben oder Grubenanteilen, wie schon in den vorangegangenen Krisenjahren, sehr schnell.

Die Einführung des Krummzapfens hatte Auswirkungen auf die untertägigen Baue des Rammelsberges, denn durch ihn war es erstmals möglich, die Erzeugung einer Kraft und deren Wirkungspunkt räumlich voneinander zu trennen, mit anderen Worten: Ein Kunstrad konnte weitab vom Schacht installiert werden, da seine Bewegung über Kunstgestänge dorthin zu übertragen war. Das Rad über dem Bulgenschacht wurde ebenfalls durch Wasser aus dem Einzugsgebiet des Winterbaches angetrieben, der möglicherweise zu diesem Zweck im ausgehenden 13. Jahrhundert aufgestaut worden war. Das Wasser des Baches wurde dem Rad über einen Wasserlauf (Abb. 4, Nr. 11) zugeführt, der als der alte Untere Wasserlauf bezeichnet wird. Dieser versorgte seit 1565 auch ein höher liegendes Rad (Abb. 4, Nr. 9), das auf denselben Schacht wirkte. Mitte des 17. Jahrhunderts kam ein drittes Rad hinzu, dessen Radstube (Abb. 4, Nr. 10) größtenteils noch erhalten ist. Sie wird heute als die alte Obere Radstube bezeichnet. Bis zu den Reformen Johann Christoph Roeders um 1800 bestand dieses Alte System aus der Oberen, der Mittleren und der Unteren Kunst.

Die Digitalisierung der Grubenräume

„Welches menschliche Auge hat jemals eine Grube in ihrer Gesamtheit erfasst!“ Diese rhetorische Frage wurde vom französischen Bergingenieur und Fachgelehrten Héron de Villefosse zu Beginn des 19. Jahrhunderts in seinem Werk „De la Richesse Minérale“ aufgeworfen.⁸ Dabei könnte er an den Rammelsberg gedacht haben, dem er darin mehrere Textbeiträge und zeichnerische Darstellungen widmete. Hier lässt sich – beispielhaft für andere – nachvollziehen, wie Bergleute aller Generationen es verstanden haben, zur Verbesserung der Betriebsabläufe, zur Erhöhung der Sicherheit und zur Erleichterung ihrer Arbeit auf Einrichtungen zurückzugreifen, die schon von ihren Vorgängern eingerichtet worden waren und die sinnvoll in neu Entstehendes eingebunden werden konnten.

Trotz aller Genauigkeit, Detailtreue und den zahlreichen Verknüpfungen klar definierter Bezugspunkte in seinen Rissen war es Héron allerdings nicht möglich, dem Betrachter in zwei Dimensionen die Dreidimensionalität von Orten vor Augen zu führen. Bereits im 18. Jahrhundert hatten Markscheider entsprechende Versuche unternommen, etwa durch die Einführung sogenannter schwedischer Klapprisse, in denen beim Aufklappen von Zeichnungsdetails der Blick in eine dritte Dimension suggeriert wird. Die Anfertigung hölzerner Modelle diente den

Bergbauverantwortlichen als Orientierung gerade bei der Projektierung untertägiger Großbauten. Funktionsmodelle bergtechnischer Einrichtungen kamen in erster Linie bei der Ausbildung von Studenten der Montanfächer zum Einsatz.

Auch heute ist für ein genaues Verständnis der ober- und untertägigen Zusammenhänge eine adäquate Visualisierung grundlegend. Untertägige Objekte wie Hohlräume des (Alt-)Bergbaus stellen im Gegensatz zu übertägigen Objekten besondere Anforderungen an eine dreidimensionale Erfassung, nicht nur durch den Wegfall der Nutzung von GNSS (Global Navigation Satellite System). Der Zugang kann technisch schwierig und beengt sein, ebenso die Situation vor Ort. Die Objekte sind teilweise sehr verwinkelt, sodass sie für optische Verfahren nur kurze Zielweiten zulassen. Einige Bereiche können wasserführend sein, Luftfeuchtigkeit und Temperatur können stark schwanken. Eine Stromversorgung oder Beleuchtung ist vor Ort meist nicht vorhanden. Durch diese Besonderheiten ist u. a. auch die Verwendung großer und empfindlicher Messinstrumente eingeschränkt.

Für die Digitalisierung der oben beschriebenen Teile des Grubengebäudes als digitale Repliken wurde als Verfahren die „Structure from Motion“-Photogrammetrie (SfM) verwendet, unterstützt von tachymetrisch eingemessenen und an das Koordinatensystem des Risswerks angebondenen Zielmarken. Als alternatives und ebenfalls etabliertes Verfahren für eine flächige dreidimensionale Erfassung stand die Laserscanning-Methode im Gespräch. Die in Bergbauobjekten erzielbare Genauigkeit eines Laserscans ist mit dem oben genannten SfM bei geeigneter Aufnahmekonfiguration näherungsweise zu erreichen.⁹ Den Vorteilen des Laserscans wie eine direkte metrische Aufnahme, sofortiger Erhalt einer 3D-Punktwolke und vom Hersteller garantierte Genauigkeit stehen allerdings ein größeres und schwereres Instrumentarium, höhere Anschaffungskosten und die notwendige umfangreiche Vorplanung von Scanner-Aufstellungen zur Vermeidung von Abschattungen entgegen. Gerade die in geometrisch unregelmäßig geformten, verwinkelten Objekten wie bergmännisch aufgeführten Stollen zu erwartenden Abschattungen sprachen für den Einsatz der Photogrammetrie, bei welcher das Objekt umfangreich von mehreren Seiten aufgenommen wird und daher sowohl Geometrie als auch Textur mit vertretbarem Aufwand lückenlos erstellt werden können.

Die digitale dreidimensionale Rekonstruktion von Objekten mittels SfM-Photogrammetrie, teilweise auch als Image Matching bezeichnet, ist in den letzten Jahren ein Standard-Werkzeug geworden. In der Archäologie und anderen Disziplinen hat sich dieses Verfahren auch für terrestrische Aufnahmen etabliert, sowohl für klein-¹⁰ und großräumige Objekte¹¹ und zur Auswertung mittels UAVs (unmanned aerial vehicle) aufgenommenen Luftbildern. In den Digitalfotos werden automatisiert markante Punkte (Features) detektiert und mit einer internen Kennung beschrieben. Hierdurch lassen sich hinreichend zuverlässig identische Punkte in verschiedenen Fotos finden (Image Matching). Aus diesen identischen Punkten werden die räumliche Lage der Fotos zueinander und die Position der detektierten Punkte im 3D-Raum berechnet.

Eine Bündelausgleichung, wie in der klassischen Photogrammetrie, dient zur Optimierung der berechneten Orientierungen und Positionen der Fotos. Das Ergebnis der Ausgleichung ist der orientierte Bildverband, hierdurch wird die Abbildung vom dreidimensionalen Raum in die jeweilige Bildebene der Fotos beschrieben. Ohne weitere Informationen liegt das Modell in einem lokalen Koordinatensystem mit unbestimmtem Maßstab vor.

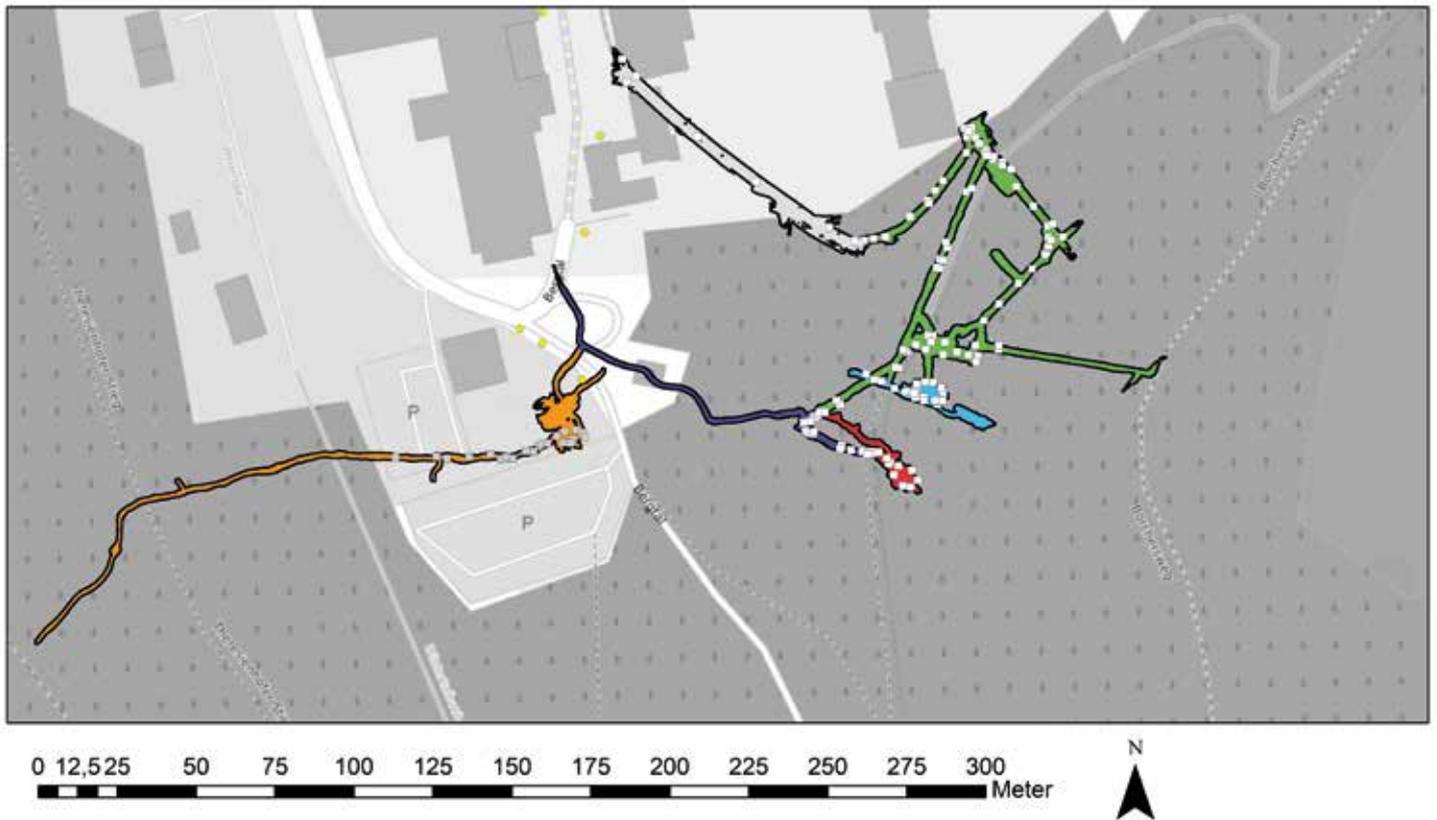


Abb. 7: Grundriss der aufgenommenen Bereiche (eingefärbt), gemeinsame Zielmarken (unter Tage weiß, über Tage gelb), mit Hintergrundkarte Openstreetmap. (Bearbeitung: Wilhelm Hannemann)

Es kann beispielsweise über eingemessene Zielmarken als Passpunkte georeferenziert werden (Abb. 7). Die direkte Nutzung von im Objekt verteilten Passpunkten bei der Bündelausgleichung kann die Qualität des photogrammetrischen Ergebnisses erheblich verbessern. Die Original-Fotos erhalten einen Raumbezug. Es lässt sich für jeden 2D-Punkt in einem orientierten Foto eine Gerade im Raum beschreiben, d. h. aus einem in mehreren Fotos markiertem Punkt kann auf dessen 3D-Koordinate geschlossen werden. Dies ist sowohl manuell für ausgewählte Punkte möglich, als auch automatisiert beim sogenannten Dense Matching. Dieses generiert eine hochauflösende 3D-Punktwolke, im Wesentlichen vergleichbar mit dem Ergebnis eines Laserscans.¹²

Für die Arbeiten am Rammelsberg wurden als Aufnahmestrategie zunächst in regelmäßigen Abständen temporär vermarktete Passpunkte gesetzt. In Strecken erfolgten anschließend aus beiden Richtungen Foto-Aufnahmen, dabei jeweils im Abstand einiger Dezimeter eine Aufnahme in die Strecke sowie mehrere Schrägaufnahmen (Abb. 8). Somit konnte jeder Objektbereich aus mehreren Winkeln erfasst werden. Als Beleuchtung wurden auf die Kameras aufgesetzte Blitze verwendet. In schwer zugänglichen Strecken wurde mit einer GoPro-Kamera und LED-Licht an einer Teleskopstange gearbeitet. Für das Erstellen einer fotorealistischen Textur für das 3D-Modell werden die entsprechenden Bereiche nochmals fotografisch erfasst, nachdem die Passpunkte entfernt wurden.

In einem ersten Schritt wurde der orientierte Bildverband für 40.000 aufgenommene Fotos hergestellt. Das resultierende gro-

be 3D-Modell umfasst 32 Millionen 3D-Punkte und dient primär der Kontrolle der Aufnahme (Abb. 9). Sowohl bei der Auswertung festgestellte Lücken im resultierenden 3D-Modell als auch als hochgenau aufzunehmend identifizierte Bereiche werden in weiteren Befahrungen erneut photogrammetrisch aufgenommen. Für Bereiche von besonderem Interesse wurde mit dem Dense Matching und dem Erstellen von texturierten Meshes begonnen. Dieser zeitaufwendige Prozess – es entstehen Modelle mit mehreren Milliarden 3D-Punkten – wird abschließend erst nach den weiteren Befahrungen und Ergänzung des Bildverbandes durchgeführt.

Als eine besondere Herausforderung stellte sich bei den Aufnahmen die Bergsicherung mit Anker und Netz dar. Was aus archäologisch-denkmalpflegerischer Sicht zu begrüßen ist, weil bei dieser Sicherungsart immer noch das dahinterliegende Gebirge gesehen werden kann, führte bei den Fotoaufnahmen zu einer Betonung des im Vordergrund befindlichen Netzes. Um dem entgegen zu wirken wurden Methoden des Deep Learning angewendet, um automatisiert die Bereiche mit Ankern und Drähten der Netze auszumaskieren und in den weiteren Berechnungen zu ignorieren. Ein neuronales Netz zur „Semantic Segmentation“ wurde mit einer kleinen Menge an manuell maskierten Fotos trainiert, um damit nun automatisiert die störenden Bereiche in allen Fotos mit hinreichender Genauigkeit auszumaskieren zu können. Es entsteht ein, wenn auch selbstverständlich lückenhaftes, 3D-Modell der Grubenräume ohne die moderne Grubensicherung.



Abb. 8: Aufnahmen unter Tage. (© Foto: Jessica Meyer)

Abb. 9: Punktwolke des groben vorläufigen 3D-Modells, Ansicht von Südwesten. (Bearbeitung: Wilhelm Hannemann und Georg Drechsler)





Abb. 10: Übersichtsfoto der Ausgrabung Altes Lager, Rammelsberg, Stadt Goslar. (© Foto: Lothar Klappauf/NLD)

Die archäologische Befundaufnahme – Die heutige Situation

Eine der Kernfragen aus archäologischer Sicht stellt die Anbindung der seit 2010 in regelmäßigen Grabungskampagnen ange-
troffenen Befunde am Ausbiss des Alten Lagers dar (Abb. 10). Wie bereits mehrfach dargelegt, führte ein Zufallsfund zur Ent-
deckung dieser Fundstelle.¹³ Beim Abbau im Schiefertagebau
am Rammelsberg wurde die Verfüllung eines alten Tagebaus an-
geschnitten. Die herausgerodierten Funde, zu denen ein Leder-
schuhfragment und mehrere Schlagsteine gehören, wurden bei
einer Begehung des Geländes zufällig entdeckt. Die naturwis-
senschaftliche Datierung des Schuhs um 1025 n. Chr. führte zu
umfangreichen Prospektionen des Geländes und schließlich zu
Ausgrabungen. Diese wurden von der Arbeitsstelle Montanar-
chäologie mit Hilfe des Caritas-Verbandes für Stadt und Land-
kreis Goslar e. V., des Jobcenters Goslar und der Bergbau Goslar
GmbH durchgeführt.

Die Grabungen erbrachten hervorragend erhaltene organische
Funde, zu denen umfangreiche Textil- und Lederreste, ein mas-
sives Förderseil, Haselnusschalen u. a. gehören. Sie förderten
jedoch auch verschiedene spätmittelalterliche Strukturen zu-
tage. Dazu zählen mächtige Schichten gut erhaltener Beilspäne
mit bearbeiteten Holzbalken, die als Holzwerkplatz interpretiert
werden. Auf der Gegenseite konnte ein sehr gut konservierter
Stollen mit Holzverbau (Abb. 11) freigelegt werden. Es ist anzu-

nehmen, dass die Hölzer direkt auf dem freigelegten Werkplatz
abgerichtet wurden. Er verläuft in Richtung des Tals, wobei ein
in Stein gesetzter Kanal teilweise auf ihn zuführt. Den naturwis-
senschaftlichen Datierungen zufolge wurde der Stollen in einem
Zeitraum von 1300 bis 1500 genutzt und instandgehalten. Sei-
ne Verfüllung lässt darauf schließen, dass es sich nicht um eine
Abbaustrecke, sondern um einen Bestandteil des Wasserhal-
tungssystems handelt. In der Grabungskampagne 2016 konn-
te die Firste eines weiteren, wohl älteren Stollens angeschnitten
werden, der in eine andere Richtung verläuft. Er liegt in direkter
Nachbarschaft zu einem mit Bleierzen und Holzabfall verfüllten
Schacht. Es bleibt abzuwarten, wie sich die bis jetzt ergrabenen
Befunde zum Grubengebäude, d. h. zu den ausgewählten Bau-
en verhalten und damit in die montane Geschichte des Rammels-
berges einfügen.

Im untertägigen Bereich werden die drei projektrelevanten Gru-
benräume unter montanarchäologischen Gesichtspunkten be-
trachtet. Eine solche systematische Befundaufnahme im Ram-
melsberg hat bisher noch nicht stattgefunden. Nach einer
räumlichen Untergliederung erfolgt derzeit die genaue Erfas-
sung und Untersuchung aller Einzelmerkmale. Die Dokumen-
tation geschieht dabei anhand der für das Grubengebäude des
Rammelsberges entwickelten Befundblätter sowie -fotos. Fortge-
setzt wird sie über Tage am 3D-Modell. Der jeweils untersuch-
te Bereich wird erneut im Modell aus verschiedenen Perspekti-
ven betrachtet, die unter Tage durch die Enge oder die schlechte



Abb. 11: Firse des holzverbauten Stollens. (© Foto: Lothar Klappauf/NLD)

Erreichbarkeit nicht möglich sind. Zudem werden Maße aus unerreichten Höhen ermittelt oder Längen gemessen, die durch verbrochene Bereiche führen. Gleichzeitig erfolgt der Abgleich mit dem historischen Risswerk. Die sukzessiv erarbeiteten Ergebnisse werden laufend mit den Erkenntnissen der historischen Recherche in Beziehung gesetzt und analysiert.

Die drei ausgewählten Grubenräume standen ursprünglich in einer funktionalen Beziehung zueinander. Nach jahrhundertelangen Veränderungen im Grubengebäude sind die Bereiche heute nicht mehr im Zusammenhang befahrbar. Vielmehr führt der heutige Zugang über verschiedene Strecken und Hohlräume aus den nachfolgenden Epochen.

Der Rathstiefste Stollen, der eine gemeinsame Verbindung darstellt, wird im ersten Abschnitt untersucht. Dieser verläuft vom Rathstiefsten Schacht etwa 80 m nach Nordwesten. Dort zweigt nach links in Richtung Südwesten ein Querschlag zum Alten Abbau ab. Danach knickt der Stollen nach Norden ab. Aus archäologischer Sicht ist der Stollen nur an wenigen Stellen aussagekräftig, da er in den allermeisten Bereichen mit einer Sinterschicht überzogen ist (Abb. 12). An den Stößen sind diese Überzüge zwischen 2 und 15 cm stark, während sich besonders in den Ecken zur Firse teils eindrucksvolle und erheblich mächtigere Auflagerungen gebildet haben. Im Allgemeinen zeigen die Stöße ein senkrechtprofil. In unregelmäßigen Abständen befinden sich hölzerne Stempel des Grubenausbaus in situ. Vielerorts haben sich allerdings nur deren Bühnenlöcher erhalten. Sie spiegeln die vielseitigen, über die Jahrhunderte fortwährenden Maßnahmen zur Grubensicherung. So befindet sich am oberen Rand der Stöße ein durchgängiger Absatz, in dem – soweit erkennbar – lückenlos quadratische Verzugsbalken aufliegen. Sie weisen verschiedene Erhaltungsgrade auf, von frisch eingebracht bis stark abgebaut. In einem Abschnitt dienen die durchgehenden Absätze auch als Widerlager für einen steinernen, gewölbten Grubenausbau. Unterhalb befindet sich an verschiedenen Stellen ein weiterer, oftmals improvisiert erscheinender Grubenausbau. Dieser besteht zum einen aus verschiedenen Querhölzern, die in unterschiedlichen Höhen zwischen die Stöße geklemmt wurden, und zum anderen aus längs darüber gelegten Verzugshölzern. Dafür wurden sehr verschiedenartige Profile wie Holzbohlen, halbierte Rundhölzer und Balken verwendet. Meist sind die unteren Ausbauten stark oder bis zur Unkenntlichkeit überkrustet. Die Sohle ist mit einem modernen Tretwerk versehen, das etwa 20 cm über der Sohle eingebracht ist, wobei die tatsächliche Tiefe der Sohle nur an wenigen Stellen ermittelt werden kann.

Der Querschlag verläuft s-förmig gebogen zum Alten Abbau und zeigt zwei unterschiedliche Streckenprofile. Die erste Hälfte ist



Abb. 12: Streckenabschnitt im Rathstiefsten Stollen. Durch die starke Übersinterung nähert sich das rechteckige Profil hinten einem Oval. Oben im Bild sind die Verzugsbalken zu sehen, die auf durchgängigen Absätzen in den Stößen aufliegen. Blick nach Nordnordwest. (© Foto: Georg Drechsler)

nur etwa einen Meter hoch und besitzt einen rundlichen, Querschnitt, wie er typischerweise beim Feuersetzen entsteht. Etwa ab der Mitte der Strecke steigt die Höhe der Strecke an und geht in ein zweigeteiltes Profil über. Während der obere Teil wie ebenfalls einen rundlichen Querschnitt zeigt, weist der untere Teil ge-



Abb. 13: Querschlag vom Rathstiefsten Stollen zum Alten Abbau. Der Obere Bereich unterscheidet sich deutlich vom unteren. Blick nach Südwesten. (© Foto: Georg Drechsler)

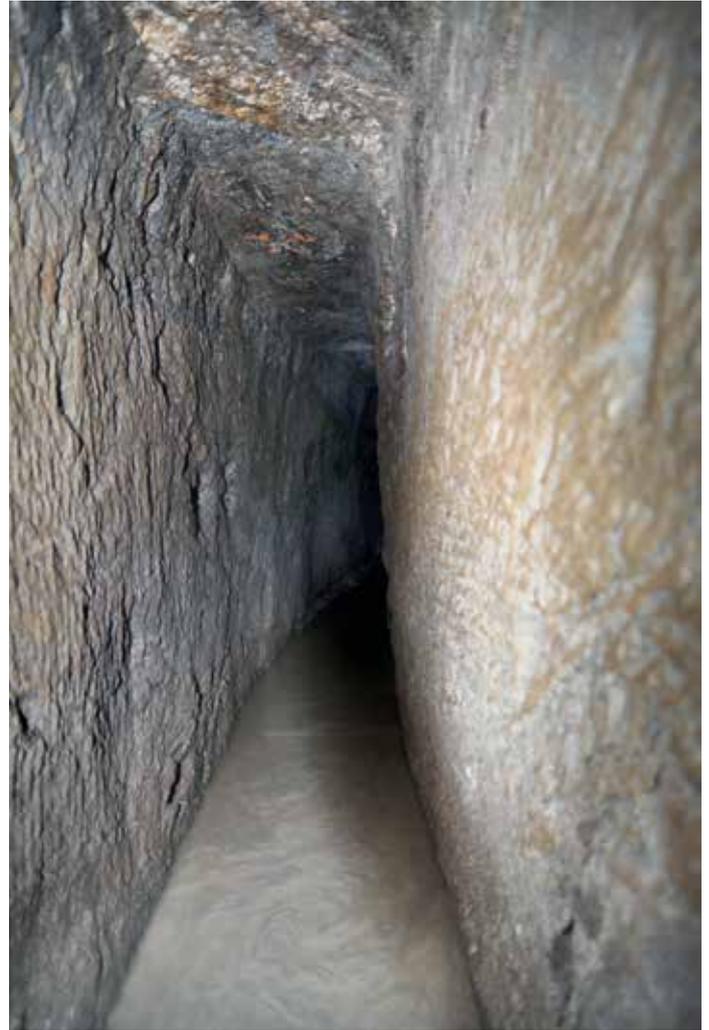


Abb. 15: Kastenförmig geschrämter Abschnitt im Herzberger Suchort mit Blick nach Nordwesten. (© Foto: Jessica Meyer)

Abb. 14: Aus dem 3D-Modell gerenderte Ansicht in die Höhen der Abbauweite, die auf diese Weise nicht fotografiert werden kann. (Bearbeitung: Wilhelm Hannemann)



radlinige Stöße auf, die zur Sohle hin zusammenlaufen (Abb. 13). Dies deutet auf eine mindestens zweiphasige Auffahrung hin, bei der im Gegenortvortrieb mit Feuersetzen gearbeitet wurde. Demnach könnten die Strecken auf unterschiedlicher Höhe aufeinandergetroffen sein, weshalb die Sohle der höheren nachgerissen werden musste.

Der Alte Abbau ist eine unregelmäßige Abbauweite, die mit dem Gebirge etwa 45° tonnläufig von Norden nach Süden einfällt. Weder Tiefe noch Beschaffenheit der Sohle sind unter dem Tretwerk zu ermitteln. Ebenso ist die Firste im oberen Weitungs-bereich weder erreichbar noch sichtbar. Auf dem gesamten liegenden Nord-Stoß sitzt Versturzmasse aus Sedimenten, Bruchsteinen und Grubenholzfragmenten auf, die teilweise stark übersintert ist. Dadurch wird der Blick auf den Stoß größtenteils versperrt. In einigen Metern Höhe ist eine Versatzmauer zu sehen, deren Unterkante aufgrund der Versturzmasse nicht ermittelt werden kann. Die Mauer reicht nach Nordwesten in den oberen Bereich der Weitung hinein. Etwa auf gleicher Höhe ist das Hangende im Südosten durch Gruppen dicker Stempel abgestützt (Abb. 14).

Im Anschluss des Alten Abbaus führt eine lange Strecke nach Westen, das sogenannte Herzberger Suchort. Im ersten Abschnitt verläuft es in einem leichten Zickzack. Die Stöße zeigen



Abb. 16: Das Feuergezáher Gewölbe als Rendering des 3D-Modells. (Bearbeitung: Wilhelm Hannemann)

partiell Schräm Spuren und einen kastenartigen Übergang zur Firste, allerdings immer wieder auch unregelmäßige Ausbrüche. Die Sohle ist komplett verfüllt, jedoch befinden sich in regelmäßigen Abständen in den Stößen senkrechte, rechteckige Ausschrammungen, in denen sich teilweise noch etwa einen halben Meter hohe Hölzer erhalten haben. Durch diese lässt sich ein früheres Tretwerk annehmen. Ob dieses abgedichtet war und damit auch zur Erzeugung eines Wetterzuges in der blinden Strecke diente, muss noch abschließend geklärt werden. Nach einigen Metern führt nach links ein kurzer Querschlag, der akkurat ins Hangende aufgefahen wurde und an einer Ortsbrust endet, an der sich die Vortriebsart untersuchen lässt. Im weiteren Verlauf des Suchortes zweigt rechterhand ein Querschlag ab, der einige Meter nach oben dem Einfallen des Gebirges folgt und dann blind endet. Das Suchort führt über einen Schacht, der exakt rechteckig und seiger aufgefahen wurde und zahlreiche Büh-

nenlöcher und Schräm Spuren aufweist. Danach ist das Suchort sehr viel sorgfältiger mit regelmäßigen glatten Flächen (Abb. 15) aufgefahen worden, bis es ebenfalls an einer Ortsbrust endet. Durch die genaue Befundaufnahme konnte in Verbindung mit den schriftlichen Quellen eine mögliche Zuordnung ermittelt werden, die eine Datierung dieses Bereiches wahrscheinlich zulassen wird.

Das Feuergezáher Gewölbe (Abb. 16) besitzt einen trapezförmigen Grundriss von 7,6 m Länge und 4,2 bis 4,9 m Breite und ist komplett ausgemauert. Nach oben ist es mit einem spitzbogigen Tonnengewölbe abgeschlossen, das am Scheitelpunkt 7,6 m hoch ist. Das Mauerwerk ist in ungleichen Lagen aus Bruchsteinen ausgeführt und mit Kalkmörtel verbunden. Die Längsseiten bilden die Widerlager für die Bogenscheitel. In beiden Seitenwänden ist jeweils gegenüber eine große spitzbogige Nische eingemauert. Unterhalb deren Scheitel ist aus der Rückwand je-



Abb. 17: Die spitzbogigen Untergliederungen der Südwestwand des Feuergezäher Gewölbes. (© Foto: Georg Drechsler)

weils eine weitere Nische ausgelassen worden. Die kleinen Nischen liegen sich auf gleicher Höhe gegenüber und dienen unzweifelhaft als Auflager für eine Radwelle. In die große Spitzbogennische in der SW-Wand ist unter dem Wellenlager eine weitere spitzbogige Nische eingebracht sowie zwei ebenfalls spitz gesetzte kleine Nischen (Abb. 17), die aller Wahrscheinlichkeit nach als Geleuchtnischen anzusprechen sind. Bei allen Bögen wurden die Bruchsteine hochkant aufgestellt und in ein Mörtelbett gesetzt. Dieses ist noch an einigen Stellen zu beobachten und zeigt Abdrücke der Bogenverschalung des Baugerüsts. Die hintere, südöstliche Giebelwand weist eine zugemauerte, türgroße Öffnung und eine Auslassung unterhalb der Firste auf, hinter der sich eine Strecke anschließt. Diese ist nach 3 m zum größten Teil verfüllt, weshalb sich ihre Gestalt und ihr Verlauf nicht abschätzen lassen. Die gegenüberliegende Stirnseite besaß einen spitzbogig gemauerten Zugang. Dieser ist heute bis auf eine kleine Öffnung ausgemauert. Sie unterscheidet sich sowohl durch verschiedenartiges Steinmaterial sowie eine uneinheitliche Mauertechnik. Der Schluss liegt nahe, dass der Zugang unter dem starken Gebirgsdruck zumindest teilweise verbrochen war, weshalb die weitere Ausmauerung notwendig wurde. Insgesamt können in jeder einzelnen Wand Spalten und



Abb. 18: Der nordwestliche Wasserlauf zum Feuergezäher Gewölbe mit Blick nach Nordwesten. (©Foto: Georg Drechsler)

Risse beobachtet werden, die die fortwährende Instabilität des Gebirges anzeigen.

Unterhalb der Firste befindet sich ebenfalls eine Auslassung im Mauerwerk, in der ein Wasserlauf mündet, der den bisherigen Erkenntnissen nach eine der ältesten Wasserzuleitungen darstellen könnte. Dieser ist in dem Bereich, wo das Feuergezäher Gewölbe angrenzt, mit einer gewölbten Ausmauerung versehen. Auf der Nordostseite weist sie einen gewölbten Durchgang auf, hinter dem sich ein Verbruch ereignet hat. Die Massen verschließen einen möglichen Hohlraum, auf den es bis jetzt in keiner historischen Quelle einen Hinweis gibt. Der weitere gewundene Verlauf der Strecke besitzt keinen Ausbau und zeigt keinen regelmäßigen, hin und wieder jedoch einen gedrunen trapezförmigen Querschnitt. Stöße und Firste sind in unregelmäßigen Abständen verbrochen (Abb. 18). Bearbeitungsspuren sind in der ganzen Strecke nicht erkennbar.

Von den drei Radstuben des Alten Systems ist nur das Umfeld der oberen und jüngsten Radstube zugänglich. Dazu gehören ein weiterer großer Hohlraum und Abschnitte zweier Wasserläufe. Die Stöße des Unteren Wasserlaufs sind, soweit das schieferige Gestein dies zuließ, ebenmäßig ausgeschrämt. Die Firste geht eckig in die Stöße über, sodass ein trapezförmiger Querschnitt entstand. Deutliche Bearbeitungsspuren sind nur an einem einzigen Stück der Firste erhalten. Nach 21 m gewundenem Verlauf ist die Strecke im Nordwesten verbrochen. Der Obere Wasserlauf hingegen ist bereits nach 3,5 m durch eine moderne Versatzmauer versperrt. Beide münden auf der Nordwestseite in die Radstube (Abb. 19). Diese ist heute 9 m lang, 5,4 m breit und 5 m hoch erhalten. Das ursprüngliche Sohlenniveau lässt sich nur durch das historische Risswerk rekonstruieren, da es heute von einer mächtigen Verfüllschicht bedeckt ist. Die südöstliche Stirnseite ist bis knapp 2,5 m unter die Firste hinter einem Schutthügel verborgen. Der Hohlraum hat einen annähernd längsrechteckigen Grundriss, aber einen unregelmäßigen Querschnitt mit zahlreichen größeren und kleineren Ausbrüchen. Diese sind der geringen Standsicherheit des Gebirges geschuldet und großflächig mit Ankern und Maschendrahtnetzen gesichert. Die Längsstöße zeigen beide eine größere Anzahl an Bühnenlöchern bzw. Widerlagern für hölzerne Einbauten. Auf den ersten Blick ist unter ihnen jedoch keine deutliche Korrelation an den gegenüber-



Abb. 19: Die Einmündung der zwei Wasserläufe in die obere Radstube mit Blick nach Nordwesten. (© Foto: Georg Drechsler; Rissgrundlage Generalgrundriss vom Rammelsbergischen Grubenbau, F. H. Spörer, 1791)



Abb. 20: Verbruch der Gestängestrecke der Oberen Radstube, fälschlicherweise als Mittlere Radstube angesprochen, mit Blick nach Südosten. (© Foto: Georg Drechsler)

liegenden Seiten erkennbar. Dennoch können sie als Grundlage für Rekonstruktionsversuche von technischen Einbauten dienen. Die Verfüllung der Sohle weist eine deutliche muldenartige Eintiefung von 1,6 m Durchmesser auf, die auf einen Blindschacht hinweist. Der Abgleich mit dem Risswerk führte zur Identifizierung

eines Luttsenschachtes mit dieser Stelle. Im Südosten befindet sich ein großer Hohlraum, der jedoch nicht mehr direkt mit der Radstube verbunden ist. Er kann nur noch über eine stark verfüllte Umfahrung um eine Bergfeste erreicht werden. Da der dazwischenliegende Bereich auf etwa 8 m Länge verfüllt ist, ist die Ansprache des dahinterliegenden Hohlraumes – entweder als mittlere Radstube oder Gestängestrecke – noch unsicher. Die Referenzierung des 3D-Modells mit Saigerrissen lässt hier eine eindeutige Zuordnung erwarten. Der langgestreckte Hohlraum ist noch auf einer Länge von 12,3 m erhalten, jedoch bis einen Meter Höhe mit groben Gebirgsbruch verfüllt, der zum Ende hin bis zur Firste ansteigt (Abb. 20). Am Nordoststoß haben sich als einziges Merkmal eine Reihe von Bühnenlöchern erhalten. Ihre Funktion wird sich erst mit der sicheren Ansprache des Hohlraumes eindeutig klären lassen. Sie könnten – sofern es sich um eine Gestängestrecke handelt – die Standpunkte der Gestängeschwingen anzeigen oder – sofern es sich um eine Radstube handelt – einen Firstverzug.

Die untertägige Befundaufnahme ist noch nicht abschließend ausgewertet. Durch die Betrachtung des vorläufigen 3D-Modells aus der Distanz und verschiedenen Blickwinkeln sind bereits Zusammenhänge zwischen einzelnen Befunden erkennbar, die sich vor Ort in den Hohlräumen nicht erschließen lassen.¹⁴ Daher lässt das detaillierte Modell, das im weiteren Projektverlauf erstellt wird, interessante Möglichkeiten und neue Ergebnisse erwarten.

Schriftliche Quellen

Die historische Recherche erstreckt sich im Wesentlichen auf die ausführliche Sichtung und Erschließung der Archivalien zu den ausgewählten Grubenräumen. Auch wenn die Geschichte des Rammelsberges vermeintlich gut dokumentiert und erforscht ist,¹⁵ basieren insbesondere die mittelalterlichen Datierungen oft auf groben zeitlichen Eingrenzungen oder erstmaligen Erwähnungen in den Quellen. Letztere schließen allerdings das Vorhandensein und die Nutzung einzelner Grubenräume, Stollen oder Schächte bereits vor diesem Datum nicht aus. Zudem ist es für Bereiche, die im Laufe der Zeit immer wieder erweitert oder verändert wurden – wie es besonders bei den Grubenräumen des Alten Systems der Fall ist – schwierig, eine exakte Chronologie der Entstehung zu erstellen. Ein weiteres Ziel der Quellenforschung ist es, nicht nur in räumlicher Hinsicht, sondern auch anhand der Dokumentation Zusammenhänge zwischen den einzelnen Grubenräumen deutlich zu machen und schließlich neue archäologische Erkenntnisse, wie sie beispielsweise bei der Ausgrabung am Ausbiss des Alten Lagers gewonnen werden, in den historischen Kontext einzuordnen.

Schriftliche Zeugnisse zur Bergbautätigkeit am Rammelsberg gibt es bereits im Spätmittelalter in großer Zahl, was nicht nur den wirtschaftlichen und verwaltungstechnischen Faktoren zu verdanken war, sondern vor allem der bereits erwähnten Tatsache, dass der Bergbau ab der Mitte des 14. Jahrhunderts – bedingt durch den Anstieg der Grubenwässer – mit einer existenziellen Krise zu kämpfen hatte. Ein großer Teil der Gruben war nicht mehr zugänglich, sodass bei auswärtigen Experten Rat gesucht werden musste. Die europäischen Metallmärkte unterlagen starken Veränderungen. Rammelsberger Kupfer war, da mittlerweile von vergleichsweise minderer Qualität gegenüber den aus anderen Montanregionen, kaum noch absetzbar. Zur Verbesserung der Kupferqualität mittels neuer Verfahren gewann der Rat der Stadt Goslar den Kaufmann Johann Thurzo aus Krakau. Thurzo war europaweit in den Bergwarenhandel eingebunden, galt als berg- und hüttenkundig und wurde später Partner des Fugger'schen Handelshauses in Augsburg. Von ihm und seinen Partnern Hans Koler und Johann Peddick u. a. erhoffte sich der Rat nicht nur eine Wiederaufnahme der brachliegenden Kupferproduktion in Goslar. Er sollte auch die tiefen Grubenbaue säumpfen und dafür einen Großteil der dort zu erwartenden Erze erhalten. In den darauffolgenden Jahren schloss der Rat mit dem Konsortium – später auch mit Thurzos Partnern allein – mehrere Verträge, in dessen jüngstem (1489) dieses als Gesellschaft des Tiefsten unter der Trostesfahrt genannt wird.¹⁶ Das Zusammenwirken des Rates mit den Auswärtigen war nicht konfliktfrei. Streitigkeiten über Rechte und Pflichten, Einkünfte und Besitzanteile zogen sich über Jahre hinweg. Die diesbezüglichen Korrespondenzen bilden heute einen wichtigen Archivalien-Pool für die Zeit der städtischen Oberhoheit über den Rammelsberg, weshalb sie eine unverzichtbare Quellensammlung darstellen.

Aufgrund der wachsenden Zahl der Überlieferungen im Spätmittelalter brechen Editionen von Urkundenbüchern meist um das Jahr 1400 ab,¹⁷ sodass die Quellenarbeit für das Projekt zunächst vor allem die Durchsicht und Digitalisierung der für den Rammelsberg relevanten Bestände in verschiedenen Archiven bedeutet. Erste Anlaufpunkte sind dafür das Stadtarchiv Goslar, das Niedersächsische Landesarchiv Wolfenbüttel und das Bergarchiv Clausthal, einer Außenstelle des Standorts Hannover des Niedersächsischen Landesarchivs. Die Abteilung Berg-

werksurkunden im Stadtarchiv Goslar umfasst allein schon mehrere hundert Schriftstücke. Im Bergarchiv Clausthal, in dem verschiedene historische Verwaltungsunterlagen aus den Bergämtern und weiteren Bergbaueinrichtungen aufbewahrt werden, wird der Bestand mit etwa 4.000 Regalmetern angegeben.

Unter diesen zahllosen Dokumenten sind vor allem die Urkunden, Korrespondenzen, Akten, Befahrungsberichte sowie die Grund- und Profilirisse aufschlussreich. Die Bedeutung der Sumpfungsverträge und der Briefwechsel wurden bereits erwähnt. Erkenntnisse sind allerdings auch aus den Akten zu gewinnen, in denen beispielsweise Verzeichnisse über Grubengrößen und Einnahmen bzw. Kosten oder Gerichtsprotokolle zu finden sind. Gemeinsam ist dem größten Teil der mittelalterlichen Quellen die Abfassung in mittelniederdeutscher Sprache; nur Urkunden werden in dieser Zeit gelegentlich noch in Latein verfertigt. Eine weitere Quelle stellen die Grubenbefahrungsberichte dar, die jedoch erst ab dem 17. Jahrhundert überliefert sind und daher nur eingeschränkt Rückschlüsse auf die spätmittelalterlichen Verhältnisse zulassen. Bei diesen Berichten handelt es sich um detaillierte Zustandsbeschreibungen einzelner Bergwerksbereiche, die in der Regel nach Befahrungen durch Bergbediente erstellt wurden. Beiläufig werden hierbei auch ältere, an den begutachteten Strecken gelegene Schächte, Stollen und Gruben erwähnt. Eine besondere Quelle stellen schließlich noch die Grund- und Profilirisse der Markscheider aus eben dieser Zeit dar, die die Befahrungsberichte ergänzen.

Generell stößt man bei der Auswertung der Schriftquellen immer wieder auf Hindernisse, wobei neben dem Umfang des Materials besonders der Erhaltungszustand ins Gewicht fällt. Gerade die Korrespondenzen, die nicht die Beweiskraft von Urkunden hatten, sondern die lediglich als Ergänzung und Beleg für Verhandlungen oder Auseinandersetzungen aufbewahrt wurden, befinden sich gelegentlich in einem äußerst beklagenswerten Zustand. Gleiches gilt für Abgabenverzeichnisse oder Kostenrechnungen, die nur eine eingeschränkte Zeit lang als Nachweis dienen mussten. Ein weiterer Punkt, der die Bearbeitung erschwert, ist die Frage der Datierung. Häufig findet sich dazu direkt auf den Schriftstücken ein von einer neuzeitlichen Hand hinzugefügtes Datum, das die mittelalterliche Datierung nach Heiligtagen auflöst. Verlässlich sind diese Angaben nicht immer, sodass unbedingt eine Überprüfung nötig ist, um festzustellen, ob beispielsweise die Abfolge einer Korrespondenz innerhalb des Bestandes korrekt ist, was wiederum Auswirkungen auf den zu rekonstruierenden Sachverhalt und die Abläufe der damaligen bergbaulichen Ereignisse hat.

Ähnliche Einschränkungen gelten für vermeintliche oder tatsächliche Fälschungen. Ein Beispiel dafür ist die wissenschaftliche Diskussion um den am 23. Juni 1310 abgeschlossenen Vertrag zwischen dem Rat der Stadt Goslar und dem Kloster Walkenried, der Auseinandersetzungen mit anderen Grubenbetreibern schlichtete und die Besitzverhältnisse festschreiben sollte.¹⁸ Ein Teil der Wissenschaftler, die sich mit dieser Urkunde quellenkritisch auseinandergesetzt haben, kommt zu dem Schluss, dass es sich dabei um eine Fälschung aus dem Beginn des 15. Jahrhunderts handelt,¹⁹ andere wiederum halten sie für authentisch.²⁰ Je nachdem welcher Meinung man sich anschließt, hat dies folglich Konsequenzen für die Datierung der Radstuben und der Wasserläufe. Um verlässliche Aussagen hierzu zu machen, ist neben der Quellenkritik auch die Zusammenarbeit mit Archäologen und die Einbeziehung von deren Befunden gefragt.

Bei den Rissen der Markscheider handelt es sich um eine besonders aussagekräftige schriftliche Quelle zum Bergbau. Zunächst ist zu unterscheiden zwischen den Generalrissen, die einen Überblick über das gesamte Grubengebäude geben, und den Grund- und Profilrissen einzelner Grubenbereiche, die in der Regel erst in den Kontext eingefügt bzw. lokalisiert werden müssen. Durch den großen zeitlichen Abstand zum mittelalterlichen Bergbau kann man sich trotz der maßstabsgetreuen Abbildung mit genauen Lachterangaben allerdings nur bedingt auf die Vollständigkeit der Darstellung in den Generalrissen verlassen. Abhängig von der Zielsetzung wurde der Schwerpunkt unter Umständen nur auf einzelne Bereiche oder Strecken gelegt. Dies ist beispielsweise der Fall beim ersten erhaltenen Generalriss des Rammelsberges von 1680, der wahrscheinlich nur einen Überblick über die Wetterführung bestimmter Grubenbereiche geben sollte.²¹ Das zum Projekt gehörende Feuergezäher Gewölbe und der Alte Abbau werden – obwohl existent – auf diesem Riss nicht wiedergegeben. Auch bei der Planung neuer untertägiger Baue, wie es unter Johann Christoph Roeder Ende des 18. Jahrhunderts der Fall war, wurden die alten Grubenräume oder Wasserstollen oft nur dann abgebildet, wenn sie für den Anschluss der neuen Bereiche relevant waren.

Schwierigkeiten bei der Zuordnung bereiten auch die über die Jahrhunderte wechselnden Bezeichnungen für einzelne Stollen, Schächte oder Grubenräume. So finden sich beispielsweise auf einem Riss des Markscheiders Beatus Julius Heering von 1807 neben der seit dem Mittelalter bekannten Bergesfahrt, die alle Gruben entlang des Alten Lagers miteinander verband und die auch zum Ableiten der Grubenwasser diente, die Bezeichnungen Bergesfahrter Umbruch, Obere Bergesfahrt und Bergesfahrt für benachbarte Stollen.²²

Trotz der Grenzen, an die man bei der Quellenkritik gelegentlich stößt, kann gerade das Zusammenspiel verschiedener Quellengattungen hilfreich sein, neue Erkenntnisse zu den einzelnen Grubenräumen zu gewinnen und die Recherche zu konkretisieren. So lässt sich beispielsweise anhand eines Nebensatzes aus dem Vertrag des Rates mit Claus von Gotha vom 27. Dezember 1453 mit großer Wahrscheinlichkeit die Lage der Grube Redding identifizieren. Auf einem Generalriss von Johann Just Schreiber²³ kann man nur eine einzige Stelle erkennen, die geeignet gewesen wäre „ene doer effte gadderer vor des Berges vart dar de grove genannt de reddinge utgeyt“²⁴, also eine Tür oder ein Gatter an den Zugang zur Grube Redding an der Bergesfahrt, zu hängen. An diesem Punkt zeigt der Riss einen kurzen Querschlag mit einem Rettiger Schacht. Die Grube Redding ist insofern von Bedeutung, als sie in den Quellen immer wieder im Zusammenhang mit dem Einbau neuer Wasserkünste genannt wird. So wird jetzt die Annahme erhärtet, dass Arbeiten, die in der Grube Redding erwähnt wurden, unter Umständen direkte Auswirkungen auf die Veränderungen des alten Systems und seiner Radstuben gehabt haben könnten. In die historische Recherche müssen daher also alle Erwähnungen in Verbindung mit der Grube Redding einbezogen werden.

Ausblick

Für den ersten Projektteil, der die Arbeiten im und am Rammelsberg umfasst, beginnt sich mittlerweile ein komplexes Bild der einzelnen Grubenräume und ihre Einbindung in ein oder mehrere übergeordnete Systeme abzuzeichnen. Die Kombination der

Erkenntnisse aus den verschiedenen schriftlichen Quellenarten mit der montanarchäologischen Analyse und dem hochaufgelösten 3D-Modell soll am Ende ein detaillierteres Bild der Veränderungsprozesse, die das Bergwerk im Laufe der Zeit erfahren hat, ergeben und zu weiteren Fragestellungen bzw. Antworten führen.

Im zweiten noch anstehenden Projektteil wird eine Auswahl wichtiger historischer Bergbaumodelle – vornehmlich aus der Sammlung des Oberharzer Bergwerksmuseums – im Mittelpunkt stehen. Sie wurden ausgesucht, da sie eine Brücke schlagen zwischen dem historischen und dem heutigen Ansatz, räumliche und funktionale Wirkzusammenhänge für didaktische Zwecke zu visualisieren. Die ausgewählten Modelle umfassen Lagerstätten- und Landschaftsmodelle genauso wie Technikmodelle und decken damit ein breites Themenspektrum ab. Ihre Digitalisierung bedarf aufgrund der filigranen Bauweise einer anderen Methodik als die von reellen Grubenräumen. So ist z. B. die Landschaft in den Modellen durch maßstäblich gebogene Drähte, die den Höhenlinien entsprechen, modelliert, während die Funktionsmodelle Miniaturnachbauten komplexer, beweglicher Bergbaumaschinen darstellen.

Es ist geplant, die hochaufgelösten Digitalisate sowohl des Rammelsberges als auch der Bergbaumodelle mit weiteren ergänzenden Informationen wie beispielsweise historischen Fotografien, alten Rissen, aber auch aus Laserscanning-Daten gerechneten digitalen Geländemodellen (DGM) zu verschneiden und Forschern für vergleichende Analysen im Web zugänglich zu machen. Gleichzeitig sollen diese aber auch der interessierten Öffentlichkeit in ihrer Komplexität virtuell erfahrbar gemacht werden.

Anmerkungen

- 1 Ausführliche Informationen zum Vorhaben und den einzelnen Projektbeteiligten finden sich unter: www.altbergbau3d.de.
- 2 Mohr 1993; Weichmann 2001, bes. Abb. S. 120 unten.
- 3 Aus der jüngeren Literatur sei auswahlweise zu nennen: Bartels 1988; Bartels/Klappauf 2012; Klappauf 2000; Bartels/Fessner/Klappauf/Linke 2007; Kraschewski 2002.
- 4 Bornhard 1931.
- 5 Frölich 1953, S. 23.
- 6 Bauerochse/Leuschner/Klappauf/Liessmann/Dettmer/Malek 2017.
- 7 Frölich 1953, S. 152.
- 8 Héron De Villefosse 1810-1819. Das Zitat ist dem 2. Band, S. 1, entnommen: „Quel oeil humain vit jamais l'ensemble d'une mine!“.
- 9 Hannemann/Brock/Busch 2012.
- 10 Kersten/Mechelke/Lindstaedt/Tschirschwitz/Schreyer/Maziull 2014.
- 11 Arles/Clerc/Sarah/Téreygeol/Heckes/Klein 2013.
- 12 Kersten/Mechelke/Maziull 2015.
- 13 Malek/Klappauf 2017.
- 14 Malek/Drechsler NN.
- 15 Siehe hierzu besonders Bornhardt 1931.
- 16 Stadtarchiv Goslar: Urkunden der Stadt Goslar Nr. 922
- 17 Dies ist ebenso der Fall beim Urkundenbuch der Stadt Goslar, das mit dem Jahr 1400 endet.
- 18 UB Goslar Bd. 3, Nr. 223, Stadtarchiv Goslar, Urkunden der Stadt Goslar, Nr. 88.
- 19 Z. B. Frölich 1921.
- 20 Z. B. Bode 1900; Bartels 2004.
- 21 Archiv der BGG: Grund-Riß Des Itzigen Bergbauws im Rammelsberg vorgestellt durch Jochim Christoph Buchholtz Anno 1680.
- 22 Archiv der BGG: Grundriß von verschiedenen Grubengebäuden im Rammelsberg, Beatus Julius Heering, 1807.
- 23 Archiv der BGG: Grund-Riß Des Itzigen im Rammels-Bergschen Bergbaues vorgestellt von Johann Just Schreiber, Mens. Octobr. 1712.
- 24 Stadtarchiv Goslar: Urkunden der Stadt Goslar Nr. 784.

Bibliografie

- ARLES, Adrien/CLERC, Pascale/SARAH, Guillaume/TÉREYGEOL, Florian/BONNEAMOUR, Gérald/HECKES, Jürgen/KLEIN, Allan:
2013 3D Reconstruction and Modeling of Subterranean Landscapes in Collaborative Mining Archeology Projects: Techniques, Applications and Experiences, in: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W2, 2013
- BARTELS, Christoph: Das Erzbergwerk Rammelsberg.
1988 Die Betriebsgeschichte von 1924 bis 1988 mit einer lagerstättenkundlichen Einführung sowie einem Abriss der älteren Bergbaugeschichte, Hannover 1988
- 2004 Die Stadt Goslar und der Bergbau im Nordwestharz von den Anfängen bis zum Riechenberger Vertrag von 1552, in: Kaufhold, Karl-Heinrich/Reininghaus, Wilfried (Hg.): Stadt und Bergbau, Köln u. a. 2004, S. 135-188
- BARTELS, Christoph/KLAPPAUF, Lothar:
2012 Das Mittelalter. Der Aufschwung des Bergbaus unter den karolingischen und ottonischen Herrschern, die mittelalterliche Blüte und der Abschwung bis zur Mitte des 14. Jahrhunderts, in: Tenfelde, Klaus/Berger, Stefan/Seidel, Hans-Christoph (Hg.): Geschichte des deutschen Bergbaus, Bd. 1: Der alteuropäische Bergbau, Münster 2012, S. 111-248
- BARTELS, Christoph/FESSNER, Michael/KLAPPAUF, Lothar/LINKE, Friedrich-Albert:
2007 Kupfer, Blei und Silber aus dem Goslarer Rammelsberg von den Anfängen bis 1620. Die Entwicklung des Hüttenwesens von den frühmittelalterlichen Schmelzplätzen im Wald bis zur Metallerzeugung im großen Maßstab am Beginn des 17. Jahrhunderts nach den archäologischen und schriftlichen Quellen (Montanregion Harz, Bd. 8 = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Nr. 151), Bochum 2007
- BAUEROCHSE, Andreas/LEUSCHNER, Hanns Hubert/KLAPPAUF, Lothar/LIESSMANN, Wilfried/DETTMER, Hans-Georg/MALEK, Katharina:
2017 Untersuchungen an Grubenhölzern aus den Bergbaurevieren Rammelsberg bei Goslar und Beerberg bei St. Andreasberg, in: Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen, 37 (2017), S. 265-271
- BODE, Georg:
1900 Urkundenbuch der Stadt Goslar und der in und bei Goslar belegenen geistlichen Stiftungen, Bd. 3 (Geschichtsquellen der Provinz Sachsen und angrenzender Gebiete, Bd. 31), Halberstadt 1900
- BORNHARD, Wilhelm:
1931 Geschichte des Rammelsberger Bergbaues von seiner Aufnahme bis zur Neuzeit (Archiv für Lagerstättenforschung, Bd. 52), Berlin 1931
- FRÖLICH, Karl:
1921 Verfassung und Verwaltung der Stadt Goslar im späten Mittelalter (Beiträge zur Geschichte der Stadt Goslar, Bd. 1), Goslar 1921
- 1953 Goslarer Bergrechtsquellen des früheren Mittelalters, insbesondere das Bergrecht des Rammelsberges aus der Mitte des 14. Jahrhunderts, Gießen 1953
- HANNEMANN, Wilhelm/BROCK, Tilman/BUSCH, Wolfgang:
2012 Zustandsdokumentation ausgedehnter untertägiger Hohlraumssysteme, in: PFG Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation 2012, H. 6, S. 691-700
- HÉRON DE VILLEFOSE, Antoine-Marie:
1810 De la Richesse Minérale, drei Textbände und ein Tafelwerk mit 62 Bögen, Paris 1810-1819
- KERSTEN, Thomas/MECHELKE, Klaus/MAZIULL, Lena:
2015 3D Model of Al Zubarah Fortress in Qatar – Terrestrial Laser Scanning vs. Dense Image Matching, in: ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-5/W4 (18. Feb. 2015), S. 1-8
- KERSTEN, Thomas/MECHELKE, Klaus/LINDSTAEDT, Maren/TSCHIRSCHWITZ, Felix/SCHREYER, Kristin/MAZIULL, Lena:
2014 Bildbasierte Low-Cost-Systeme zur automatischen Generierung von 3D-Modellen archäologischer Fundstücke in Äthiopien und Katar, in: Luhmann, Thomas/Müller, Christina (Hg.): Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Meßtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2014, Berlin/Offenbach 2014, S. 210-221
- KLAPPAUF, Lothar:
2000 1000 Jahre Bergbau?, in: Segers-Glocke, Christiane (Hg.): Auf den Spuren einer frühen Industrielandschaft. Naturraum – Mensch – Umwelt im Harz (Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen, Bd. 21), Hannover 2000, S. 119-120
- KRASCHIEWSKI, Hans-Joachim:
2002 Betriebsablauf und Arbeitsverfassung des Goslarer Bergbaus am Rammelsberg vom 16. bis zum 18. Jahrhundert (Montanregion Harz, Bd. 5 = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Nr. 115), Bochum 2002
- MALEK, Katharina/DRECHSLER, Georg:
NN Die Auswertung der Befundaufnahme ausgewählter Grubenräume des Rammelsberges (in Vorbereitung)
- MALEK, Katharina/KLAPPAUF, Lothar:
2017 Frühgeschichte des Bergbaus im Harz, in: Bergwerk Rammelsberg, Altstadt Goslar, Oberharzer Wasserwirtschaft, Goslar 2017, S. 20-35
- MOHR, Karl:
1993 Geologie und Minerallagerstätten des Harzes, 2. Aufl., Stuttgart 1993
- WEICHMANN, Martina:
2001 Steinreicher Rammelsberg. Zur Geologie der Lagerstätte, in: Roseneck, Reinhard (Hg.): Der Rammelsberg. Tausend Jahre Mensch-Natur-Technik, Bd. 2, Goslar 2001, S. 112-125

Anschriften der Verfasserinnen und Verfasser

Dr. Katharina Malek
Georg Drechsler M.A.
Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege
Arbeitsstelle Montanarchäologie
Bergtal 18
38640 Goslar

Dipl.-Inf. Wilhelm Hannemann
Jessica Meyer M.A.
Technische Universität Clausthal
Institut für Geotechnik und Markscheidewesen
Erzstraße 18
38678 Clausthal-Zellerfeld

Dr. Hans-Georg Dettmer
Dr. Astrid Schmidt-Händel
WELTKULTURERBE RAMMELSBURG Museum & Besucherbergwerk
Bergtal 19
38640 Goslar