

# Zwischen Lupe und Rasterelektronenmikroskop. Das spannende Feld der Spurensuche auf Bergbauwerkzeugen

Chiara Levato, Ketevan Tamazashvili und Aydin Abar

Steinwerkzeuge, die auf den Oberflächen alter Halden gefunden werden, sind wertvolle Hinweise auf den Abbau mineralischer Ressourcen durch prähistorische Gruppen. Sie sind auch Anzeiger für die Weiterverarbeitung, deren Spuren in Bergwerken, aber oftmals auch in ihrer unmittelbaren Umgebung oder aber auch in den Siedlungen gefunden werden können. Solche Werkzeuge fallen in die Kategorie der Großsteingeräte (makrolithische Artefakte), die aus verschiedenen Gesteinen mit sehr spezifischen Materialeigenschaften hergestellt und im Allgemeinen für schwere Arbeiten, zumeist Hämmern, Pochen und Reiben, verwendet wurden. Trotz ihrer immens wichtigen Rolle im Kontext von Abbau und Aufbereitung wurde diese Objektgruppe bislang nur unzureichend durch kombinierte makro- und mikroskopische Studien untersucht. Die zunehmende Beschäftigung mit ihnen zeigt, dass die Oberflächen der Artefakte spannende neue Einblicke in Gesten, Tätigkeiten und Arbeitsabläufe erlauben. Sie bieten darüber hinaus die Möglichkeit verschiedene Bereiche des prähistorischen Lebens miteinander zu verknüpfen.

Chiara Levato

## Was bedeutet »Funktionsanalyse«?

Die Funktionsanalyse bedient sich einer Kombination verschiedener Methoden, die es ermöglichen, verschiedene Phasen der Werkzeugbiografie zu rekonstruieren. Diese beginnen bei Hinweisen auf die Beschaffung des Rohmaterials und gehen über die Herstellung, den Gebrauch, bis hin zu den postdepositionalen Prozessen nach dem Wegwurf der Objekte. Für solche Studien ist es notwendig, die Oberflächenmerkmale durch kombinierte Analysen auf verschiedenen Vergrößerungsebenen zu untersuchen: von den Verbreitungsmustern der Steingeräte in und um die Bergwerke, über die gesteinskundliche Klassifizierung jedes einzelnen Artefakts, der Erfassung der Form, des Gewichts, bis hin zur Untersuchung der Spuren und Analysen von möglicherweise anhaftenden Rückständen bietet das Feld eine Vielzahl an Möglichkeiten. Unter der Spurenforschung versteht man hierbei die Beobachtung und Doku-



Fotografie eines während des Surveys im Fersental gefundenen Abschlagsteins mit signifikanten Mulden. Das Gerät war ein erstes Indiz für die in der Umgebung nachweisbaren Bergbauaktivitäten. Foto: A. Abar, 2024.

mentation aller auf der Oberfläche eines Werkzeugs sichtbaren Veränderungen.

Die Beobachtung der Abnutzung erfolgt auf verschiedenen Vergrößerungsebenen: Arbeiten beginnen üblicherweise mit dem bloßen Auge oder Handlupen (makroskopisch) und werden, falls notwendig, unter Stereomikroskopen bis hin zu Rasterelektronenmikroskopen fortgesetzt (mikroskopisch). Auch die chemische Analyse möglicher Rückstände ist von großer Bedeutung. Chemische Analysen sind essentiell zur Identifizierung von Rückständen, die durch die Nutzung entstanden sind, je nachdem, ob Geräte mit Pflanzenfasern, Lederriemen oder aber auch Birkenpech an Schäften befestigt waren. Sie können auch

zeigen, welche chemisch-physikalischen Veränderungen in den Jahrtausenden nach der Entsorgung stattgefunden haben könnten. Eine grundlegende Voraussetzung für weitergehende Funktionsanalysen sind verschiedene Formen von Experimenten, bei denen unter kontrollierten Bedingungen die Oberflächen von Repliken benutzt und abgenutzt werden, um diese Spuren mit den archäologischen Objekten vergleichen zu können, um auf diese Weise Vergleichsspuren zu erzeugen, die Rückschlüsse auf Gesten, Bewegungsmuster und Kontaktmaterial erlauben.

*Chiara Levato*

### Ein kurzer Abriss der Spurenforschung

Erste Schritte hinsichtlich der Analyse von Oberflächenspuren lassen sich schon Mitte/Ende des 19. Jahrhunderts finden. Als einer der ersten war es der Schweizer Theologe und Altertumsforscher Ferdinand Keller, der sich bei neolithischen Objekten aus sehr hartem Gestein aus den Schweizer Pfahlbausiedlungen fragte, wie sie hergestellt worden seien. Um Antworten zu finden bediente er sich der Untersuchung der erkennbaren Spuren an fertigen Objekten und zerbrochenen Halbfabrikaten.

Der wegweisende Pionier des 20. Jahrhunderts auf dem Gebiet der Spurenanalytik war der sowjetische Prähistoriker Sergey Aristarchovic Semenov, der in den 1930er Jahren systematisch aufgebaute Experimente durchführte und diese in seine minutiosen Studien an prähistorischen Objekten einfließen ließ. Seine Publikation wurde in den 1960er Jahren in Großbritannien übersetzt und beflogelte in der englischsprachigen Wissenschaftsgemeinschaft die Forschungen zur Geräteherstellung und -nutzung in der Steinzeit. Einen weiteren Meilenstein setzte der US-amerikanische Prähistoriker Lawrence Keeley, der in den 1970er Jahren die ersten Studien zum Mikroverschleiß auf Steinartefakten durch Zuhilfenahme von Hochleistungsmikroskopen durchführte, in denen er systematisch experimentelle Spuren mit jenen auf prähistorischen Artefakten verglich. Während damals teils hitzig debattiert wurde, ob die Spuren unter Einsatz von Luppen und Binokularen oder doch besser mit Hilfe hochvergrößernder Mikroskope studiert werden sollten, hat sich allmählich das Verständnis durchgesetzt, dass beide Arbeitsweisen komplementär sind und beide eine wichtige Rolle zum Verständnis der Geräte spielen.

### Was hat die Spurenanalytik zu bieten?

Oberflächenspuren entstehen auf sehr unterschiedliche Weisen. Sie sind das Ergebnis des Zusammentreffens zweier Oberflächen, bei manchen Geräten und Handlungen unter Einwirkung eines weiteren Kontaktmaterials (dem Poch- oder Reibgut). Es gibt eine ganze Reihe von Faktoren, die bei der Abnutzung der Oberflächen eine Rolle spielen und deren Untersuchungsmethoden aus dem Bereich der Tribologie stammen. Hier können wir auch unmittelbar eine Verbindung zum Bereich der Werkstoffkunde und dem Maschinenbau ziehen. Aus den Forschungen in diesen Bereichen wissen wir, dass Reibung durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst wird, die teilweise mechanisch, durchaus aber auch chemischer Natur sein können und sich teilweise auf der atomaren Ebene abspielen. All diese Prozesse finden zudem auf sehr unterschiedlichen Vergrößerungsebenen ab. Manche Spuren lassen sich unmittelbar mit dem bloßen Auge erkennen, während für andere leistungsfähige Mikroskope notwendig sind.

*Aydin Abar*

### Untersuchungen mit dem bloßen Auge

Der makroskopische Ansatz ist unbestritten der Beginn einer jeden Studie. Für einen sinnvollen und systematischen Zugang setzen sich Forschende zunächst mit einer geringen Anzahl an Objekten auseinander und beginnen die allgemeinen Charakteristika der Objekte zu erfassen: Wie ist die allgemeine Form, welche verschiedenen Spuren können auf den Oberflächen des Objekts erkannt und beschrieben werden? Hierbei ist es von zentraler Bedeutung, die eigenen Sehgewohnheiten an die Objektgruppe zu gewöhnen und das eigene Verständnis zu schulen. Damit einher gehen das Beschreiben des Gesehenen und der Aufbau eines Wortschatzes, mit dem die Spuren angesprochen werden können. Hat man diese ersten Schritte durchlaufen, beginnt man vergleichbare Objekte zu betrachten, um wiederkehrende Muster und Verteilungen zu erkennen. Forschung ist immer auch das Zurückgreifen auf bestehende Erfahrungen und zu einem Teil »Bauchgefühl«, beides liefert grundlegende Daten, mit denen sich Forschende den Studienobjekten weiter annähern können. Als Hilfsmittel dienen hier verschiedene Formen der Beleuchtung und eventuell Luppen, mit denen einzelne Details besser studiert werden können. Eine große Hilfe ist hierbei das Schlag-

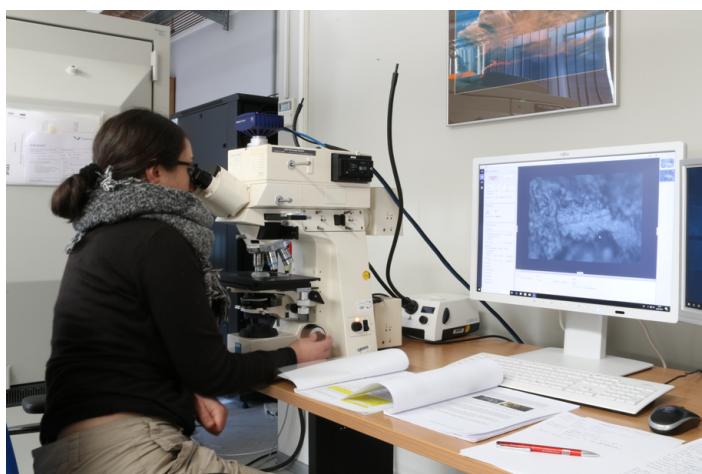
licht, dass wie das Bühnenlicht im Theater einzelne Elemente hervorhebt und besser erkennen lässt. Hierfür reicht für einen ersten Eindruck manchmal schon die Lichtfunktion eines Smartphones. Es von grundlegender Bedeutung, immer auch das Objekt als Ganzes im Blick zu behalten und sich noch nicht in den Details zu «verlieren». An dieser Stelle können auch erste Beobachtungen angestellt werden, welche Bereiche man sich in der Folge bei Vergrößerungen unter vergrößerungsstarken Mikroskopen ansehen möchte. Eine große Hilfe stellen digitale Erfassungs- und Vermessungstechniken wie *Structure from Motion*, Streifenlicht- und Laserscanner dar, mit denen Objekte auf mehrere Mikrometer genau erfasst und so auch digital analysiert werden können.

*Aydin Abar*

### Mikroskopie mit geringer und hoher Leistung

Während es die Verwendung von Augenlicht und Lufen den Forschenden ermöglicht, die sichtbaren Gebrauchsspuren über größere Flächen hinweg nachzuverfolgen, erlauben Analysen mit geringer Vergrößerung, typischerweise mit Binokularen mit 10-facher bis 60-facher Vergrößerung, Details einziger Abnutzungsmuster zu erkennen. Die Untersuchung und Identifizierung solcher Spuren ist für den systematischen Forschungsansatz unerlässlich. Sie bilden für die Forschenden die Grundlage, um erste Hypothesen zur Entstehung der Spuren aufzustellen, interessante Bereiche für detailliertere Untersuchungen auszuwählen und Forschungsfragen für weitergehende mikroskopische Hochleistungsverfahren und systematische experimentelle Forschung zu formulieren. Das Vorhandensein verschiedener Arten von Spuren, wie feine lineare Rillen, kleine Kerben und Gruben, abgeriebene Bereiche und Bereiche mit Polituren sowie die Identifizierung von Kratzern und Brüchen auf einzelnen Körnern, spielt eine entscheidende Rolle bei der Identifizierung verschiedener Aufgaben, Strategien und Materialien, die von prähistorischen Gemeinschaften verwendet wurden.

Die leistungsstarke Mikroskopie ist eine der grundlegenden Techniken zur Untersuchung bestimmter Arten von Abnutzungsspuren, der so genannten Mikropolitur und den Mikrofrakturen und Mikrokratzern auf den Kristallen im Gestein. In den meisten Fällen werden solche Analysen mit petrographischen oder metallographischen Mikroskopen durchgeführt,



Fotografie mit Hilfe einer an ein metallografisches Mikroskop angeschlossene Digitalkamera bei hoher Vergrößerung.

Foto: DBM, C. Mazzon, 2019.

werden aber oft durch die Nutzung von konfokalen Mikroskopen, Fokusvariationsmikroskopen und Rasterelektronenmikroskopen ergänzt. Ein limitierender Faktor ist hierbei oftmals die Größe der Objekte, die in den seltensten Fällen auf den Objekttisch der genannten Hochleistungsmikroskope passen. Das Problem kann gelöst werden, indem die Forschenden kleine und handliche Abdrücke der relevanten Stellen aus Acetat, Silikon und Epoxidharz herstellen. Die Analyse der Mikropolituren, Mikrobrüche und Mikrokratzern ermöglicht es, Aussagen über das Kontaktmaterial zu machen. Eine der seltenen Vergleichsstudien an experimentellen Spuren und archäologischen Spuren, die an Bergbauwerkzeugen (Äxte, Spitzhaken und Schlägel) durchgeführt wurde, ermöglichte die Beobachtung und Korrelation zwischen der Mikropolitur und dem bearbeiteten Kontaktmaterial. Die Analysen lieferten Hinweise auf die Art der verarbeiteten Mineralien (z. B. Malachit, Calcit, Goethit).

*Chiara Levato, Ketevan Tamazashvili*

### Drei Anwendungsbeispiele aus der gegenwärtigen wissenschaftlichen Praxis

#### Paläolithische Gewinnung von Ocker

Die paläolithische Verwendung von Eisenoxiden und allgemein Ocker, ist einer der ältesten Belege für die besondere Interaktion zwischen der Gattung Homo und der Welt der mineralischen Substanzen. Die Verwendung solcher Mineralien

für nichtmetallurgische Zwecke ist Gegenstand zahlreicher faszinierender Studien. Aus archäologischer Sicht ist die Verwendung von eisenhaltigen Mineralien in Schutzräumen, Höhlen und Freiluftsiedlungen weit verbreitet. Es gibt Hinweise auf ihre Verwendung als Pigmente, Schleifmittel und Trocknungsmittel.

Noch stehen wir ganz am Anfang der Rekonstruktion der Arbeitsabläufe bei der Gewinnung und Verarbeitung dieses Minerals. Die notwendigen Grundlagenstudien befassen sich auch mit der Verwendung der Großsteingeräte, doch ein breiterer Blick richtet sich auch auf die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Bergbauaktivitäten, soziokulturellen, ökologischen und wirtschaftlichen Faktoren. Insbesondere im Hinblick auf den jungpaläolithischen Bergbau müssen klimatische Veränderungen berücksichtigt werden, da sie nicht nur die Erreichbarkeit bestimmter Gebiete, sondern auch die Verfügbarkeit von pflanzlichen und tierischen Ressourcen, die in den Produktionsprozess von ockerbasierten Produkten eingehen, erheblich beeinflussen können.

Die ältesten Ockerbergbaue in Europa datieren in das Jungpaläolithikum, von denen Belege aus Polen, Ungarn und Griechenland bekannt sind. Die jungpaläolithische Fundstelle von Tzines (Thasos, Griechenland) umfasst zwei kleine unterirdische Gruben, in denen Großsteingeräte in großer Zahl gefunden wurden, die von der Autorin Chiara Levato im Rahmen eines wissenschaftlichen Dissertationsprojekts am Deutschen Bergbau-Museum Bochum und der Ruhr-Universität Bochum bearbeitet wurden. Die Geräte sind in ihren spezifischen Charakteristika so unterschiedlich, dass sie den Eindruck erwecken, als würde es sich nicht nur um verschiedene Werkzeuge einer Gruppe handeln, sondern um die Werkzeugensembles völlig unterschiedlicher Gruppen. Sie weisen überwiegend keine Spuren von Schäftungen auf, so dass ihre Charakterisierung und Identifizierung als Werkzeuge für den Abbau eindeutig vom Vorhandensein der Gebrauchsspuren abhängt. Die auf der Basis umfangreicher Analysen erhobenen Daten zu den Mikrospuren, kombiniert mit mineralogischen und räumlichen Analysen und neuen Radiokarbondatierungen, ermöglichen es, einen ganz neuen Blick auf die Frage zu werfen, warum die beiden Bergwerke und ihre jeweiligen archäologischen Funde so unterschiedlich sind.



Großsteingeräte *in situ* einer Wand der Grube T1.  
Foto: DBM, G. Steffens, 2018.



0 1 2 3 4 5 cm



Gneis-Werkzeug von Grube T1 (oben) und T2 (unten).  
Sie zeigen die selbe flache Grundform aber Unterschiede  
in der Anzahl und Position der genutzten Zonen: obere  
rechte Ecke (oben); beide obere Ecken und der untere  
Bereich (unten). Foto: DBM, C. Levato, 2017.



*Sakdrisi Bergbau-Komplex (Foto: DBM, 2005).*

### Goldgewinnung in der Frühbronzezeit des Kaukasus

Gold wird von den Menschen seit dem Altertum hochgeschätzt. Archäologische Belege deuten darauf hin, dass die Menschen bereits vor 6000 Jahren Gold abbauten, wobei die frühesten bekannten Goldartefakte aus Westasien und Ägypten stammen. Die Entdeckung des Goldabbaus von Sakdrisi-Kachagiani in Georgien, Kaukasus, durch ein deutsch-georgisches Forschungsteam hat einen wissenschaftlichen Diskurs über den Abbau und die Verarbeitung der Ressource angestoßen. Die Grube war im 4. und frühen 3. Jahrtausend v. u. Z. in Betrieb. Die Entdeckung dieser Stätte war von großer Bedeutung, da der Kaukasus als eine der wichtigen mineralienreichen Gebirgsregionen in der antiken Welt, insbesondere in unmittelbarer Grenze zu Westasien gesehen werden muss.

Die Autorin Tamazashvili erforschte die Werkzeuge im Rahmen ihrer Doktorarbeit an der Ruhr-Universität Bochum und dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum. Die Gesteine wurden anhand ihrer petrographischen Merkmale kategorisiert und anhand der Größe und Form in verschiedene Gruppen unterteilt. Da eine beträchtliche Menge an Material zur Verfügung steht, darunter etwa 10.000 vollständige und zerbrochene Artefakte sowie deren Bruchstücke, wur-



*Großsteingeräte aus dem Sakdrisi Bergbau-Komplex.  
Foto: DBM, 2005.*

den diese auf ihre makroskopischen Merkmale in Verbindung mit funktionellen Analysen untersucht. Die Untersuchung der makroskopischen Merkmale, zusammen mit den 2011 und 2013 durchgeführten Experimenten, aber auch vergleichbaren archäologischen Funden und ethnografischen Belegen aus der ganzen Welt, ermöglichte die Erstellung einer Typologie prähistorischer Großsteingeräte und der mit ihnen verbundenen Aufgaben. Die genutzten Gesteine weisen eine große Vielfalt auf, was die verwendeten Rohstoffe, die Abmessungen, Formen und verschiedenen Modifikationen für die Anbringung von Schäften betrifft. Steinwerkzeuge aus dem genannten Revier sind sowohl in den Gruben als auch Übertage in den umliegenden Bereichen aufgefunden worden. Bei der Ausbeutung der Lagerstätte wurden Werkzeuge zum Schlagen, Brechen, und generell Zerkleinern des umgebenden Gesteins sowie für verschiedene weitere Aufgaben eingesetzt, um das begehrte Gold zu gewinnen. Neben Großsteingeräten wurden zudem Werkzeuge aus Knochen und Obsidian gefunden.

*Ketevan Tamazashvili*

### Spätbronzezeitliche Kupfergewinnung in den Südalpen

Denken wir an die Spätbronzezeit, dann kommen den meisten zunächst Bronzeobjekte wie Beile, Dolche und Schwerter in den Sinn. Allzu oft vergessen wir, dass auch in den Metallzeiten Steingeräte weiterhin eine wichtige Rolle spielten, in den meisten Küchen weltweit steht auch heute noch mindestens ein Mörser aus Granit, oder ähnlich hartem und zähem Gestein, mit dem Zutaten und Gewürze zerstoßen werden. Auch in der Bronzezeit bildeten Reib- und Pochgeräte grundlegende Werkzeuge. Zudem hätten ohne Steingeräte Kupfer und Zinn, die Grundlage für die aus Bronze hergestellten Beile, Dolche und Schwerter, nicht hergestellt werden können. Ohne sie wären Abbau und Aufbereitung der Erze nicht möglich gewesen, denn lange bevor überhaupt über die Verhüttung nachgedacht werden konnte, mussten die Bergleute das Erz aus dem Berg gewinnen, und es anschließend durch das Abscheiden der tauben Gesteinsanteile anreichern.

Eine der wichtigen Bergbauregionen der Spätbronzezeit auf Kupfer bildete die Region des Valsugana im östlichen Trentino, im heutigen Italien. Dort wurden unter anderem im Zeitraum zwischen 1.300–1.100 v. u. Z. beträchtliche Mengen an Kupfererz abgebaut und verhüttet, wie die älteren Forschungen



Experimente in Sakdrisi – Erzaufbereitung.  
Foto: DBM, 2013.



Experimente in Sakdrisi – Erzaufbereitung mit experimentellem Hammer. Foto: DBM, 2013.

des Deutschen Bergbau-Museums Bochum und des *Ufficio beni archeologici* der Landesdenkmalpflege des Trentino zu den Schmelzplätzen gezeigt haben. Die Forschungen in den letzten Jahren durch das *Ufficio beni archeologici*, der Ruhr-Universität und aktuell der Universität Innsbruck haben Spuren von Bergbau und der Erzaufbereitung aufdecken können. Spannend ist hierbei, dass der Abbau im vergleichsweise weichen Quarzphyllit sehr wahrscheinlich mit Bronzwerkzeugen erfolgte, da keinerlei Steinwerkzeuge belegt sind. Diese spielen jedoch in der Aufbereitung des stark verwachsenen Erzes eine wichtige Rolle: aus den vergleichsweise kleinen Proflaufschlüssen stammen bislang mehrere Hundert Poch- und Reibwerkzeuge, vornehmlich aus vulkanischen Ignimbriten. Waren die Oberflächen der

Reibgeräte vom Mahlprozess zu abgenutzt, wurden sie zum Pochen größerer Erzstücke verwendet, bis sie auch in diesem Prozess in mehrere Stücke zerbrachen und auf den Halden entsorgt wurden.

Aydin Abar

## Ausblick in die Zukunft

Die Untersuchung von Großsteingeräten aus Bergbaukontexten steckt noch weitestgehend in den Kinderschuhen. Die Anzahl von Publikationen ist im Vergleich zu anderen Kontexten noch relativ gering, die zu dem Thema Forschenden oft wenig vernetzt, was sich auch in einer Vielzahl von verschiedenen Fachbegriffen ausdrückt, die oftmals ähnliche Phänomene beschreiben. Die Reise zu einem tieferen Verständnis der Werkzeuge und der Spuren hat gerade erst begonnen.

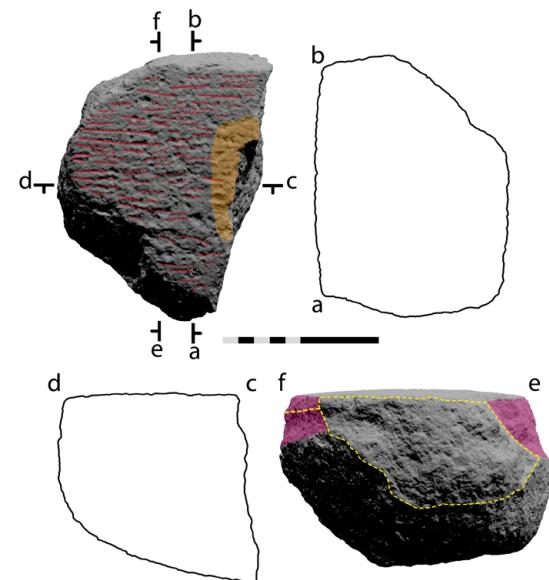
Chiara Levato, Ketevan Tamazashvili, Aydin Abar

## LITERATUR

**J. L. Adams/S. Delgado/L. Dubreuil/C. Hamon/H. Plisson/R. Risch**, Functional Analysis of Macro-Lithic Artefacts: A Focus on Working Surfaces. In: F. Sternke/L. Eideland/L. J. Costa (Hrsg.), Non-Flint Raw Material Use in Prehistory. Old prejudices and new directions. BAR International Series 1939 (Oxford, 2009) 43–66.

**I. Caricola/F. Breglia/F. Larocca/C. Hamon/C. Lemorini/F. Giligny**, Prehistoric exploitation of minerals resources. Experimentation and use-wear analysis of grooved stone tools from Grotta della Monaca (Calabria, Italy). Archaeological and Anthropological Sciences 12, 2020, 26 ff. DOI: 10.1007/s12520-020-01219-7.

**L. H. Keeley**, Experimental determination of stone tool uses: A microwear analysis (Chicago, 1980).



Beispiel für einen spätbronzezeitlichen Läuferstein von Vetricolo mit konzentrischer Kehlung (rosa), typischen Abnutzungsspuren in Form von parallelen Rillen (rot) auf der Lauffläche und einer vom Pochen hervorgerufenen Vertiefung an der Bruchfläche (orange). Foto und Rendering: A. Abar, 2023.

**J. Marreiros/I. Calandra/W. Gneisinger/E. Paixão/A. Pedernana/L. Schunk**, Rethinking Use-Wear Analysis and Experimentation as Applied to the Study of Past Hominin Tool Use. Journal of Paleolithic Archaeology 3, 2020, 475 ff. DOI: 10.1007/s41982-020-00058-1 10.1007/s41982-020-00058-1

**J. M. Marreiros/J. F. Gibaja Bao/N. Ferreira Bicho (Hrsg.)**, Use-wear and residue analysis in archaeology (Cham 2015). DOI: 10.1007/978-3-319-08257-8.

**S. A. Semenov**, Prehistoric technology: An experimental study of the oldest tools and artefacts from traces of manufacture and wear (London, 1964).

## AUTOREN

**Dr. des. Chiara Levato**  
Deutsches Bergbau-Museum Bochum,  
Forschungsbereich Montanarchäologie  
Am Bergbaumuseum 31  
44791 Bochum  
chiara.levato@bergbaumuseum.de

**Dr. des. Ketevan Tamazashvili**  
Georgian National Museum  
Shota Rustaveli Ave  
Tbilisi, 0105  
Georgien  
qetevantamazashvili@rocketmail.com

**Ass.-Prof. Dr. Aydin Abar**  
Institut für Archäologie,  
Fachbereich Montanarchäologie & Ressourcenforschung  
Universität Innsbruck  
Innrain 52a  
6020 Innsbruck  
Österreich  
aydin.abar@uibk.ac.at