

## Artefaktbruchflächen; ihre Morphologie und sekundären Änderungen

von Kurt F. Dies, Bad Homburg v. d. H.

### 1. Einführung

Steinwerkzeuge sind oftmals die einzigen Zeugen der Tätigkeit des ur- und vorgeschichtlichen Menschen. Von den verwendeten Werkstoffen stehen die Silizes an erster Stelle. Infolge ihrer hohen Mohs-Härte um 7 haben sie einen hohen Abnutzungswiderstand; sie sind korrosionsbeständig, und trotz ihrer Sprödigkeit lassen sie sich gut durch Schlag bearbeiten. Die Namengebung der Geräte beruht meist auf fiktiven Annahmen über den möglichen Verwendungszweck. Meist besteht kein eindeutiger Hinweis darauf, daß die Artefakte tatsächlich entsprechend ihrer Namengebung wie „Messer“, „Bohrer“, „Schaber“, oder „Kratzer“ verwendet wurden. Wegen der hohen Härte der Silizes ist die Abnutzung der Arbeitsflächen nur gering und mit dem bloßen Auge kaum erkennbar. Es ist das Verdienst von S. A. Semenov, in einer eingehenden Studie auf mikroskopisch feine Abnutzungsspuren an Steinwerkzeugen hingewiesen zu haben. L. H. Keeley und M. H. Newcomer haben in neuerer Zeit das einschlägige Schrifttum gesichtet, zusammengestellt und auch über eigene Untersuchungen berichtet. Sie glauben, Hinweise dafür gefunden zu haben, daß jede Bearbeitungsart charakteristische Spuren auf der Arbeitsfläche hinterläßt, aus denen man Schlüsse auf den vormaligen Gebrauch machen kann. Die Verfasser haben ihre Beobachtungen an Flintwerkzeugen mit einem amorphen Gefüge gemacht. Da man aber die Gefügeänderungen durch Gebrauch an einem kristallinen Gestein besser erkennen kann, wurden die vorliegenden Untersuchungen hauptsächlich an Quarzen und Quarziten gemacht und andere Werkstoffe nur als Vergleich herangezogen.

### 2. Untersuchungsmethoden

Die Morphologie von ausgewählten Artefaktbruchflächen wurde hauptsächlich mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) der Technischen Hochschule Darmstadt untersucht. Oberflächenmessungen hinsichtlich Gestalt und Rauheit wurden mit Profilschnitten mittels eines Tastschnittgerätes „Perthometer“ durchgeführt. Schließlich wurde die Feinstruktur von verhältnismäßig ebenen Werkzeugoberflächen lichtoptisch mit einem Interferometer der Fa. Carl Zeiss, Oberkochen, sichtbar gemacht. Andere lichtoptische Verfahren zur Oberflächenbestimmung, wie z. B. das Lichtschnittverfahren erwiesen sich als ungeeignet.

Zur Probenvorbereitung für die Untersuchungen mit dem REM wurden die Werkzeuge zunächst in konzentrierter Salzsäure 10 min. gekocht, in destilliertem Wasser gespült und wenn nötig, zur Entfernung von Eisenoxiden in Zinnchloridlösung weitere 20 min. gekocht. Organische Verunreinigungen wurden in einer Lösung entfernt, die aus je 1,5 g Kaliumbichromat und Kaliumpermanganat, gelöst im 15 ml konzentrierter Schwefelsäure, bestand. Anschließend wurden die Proben in destilliertem Wasser gewaschen und sorgfältig getrocknet.

Sofern die Werkzeuge nicht zerstört werden durften, wurden Filmabdrucke untersucht. Hierfür wurde die Oberfläche mit Aceton befeuchtet und eine Folie aus Celluloseacetat angedrückt. Man erhält so Negativabdrucke, die verzerrungsfrei sind und für Vergrößerungen bis zu 10 000 : 1 geeignet sind. Die Originale oder die Abdrucke wurden dann im Hochvakuum mit Gold bedampft und im REM untersucht.

Für die Darstellung der Oberflächengeometrie und die Messung der Rauheit haben sich Tastschnittgeräte bewährt, bei denen eine Saphirnadel mit einer Spitzenrundung von 3 µm über die zu prüfende Fläche geführt

wird. Die Bewegungen der Nadel werden in elektrische Impulse umgewandelt und können einerseits in Profilaufzeichnungen wechselnder Überhöhung festgehalten werden, andererseits können über entsprechende Rechenschaltungen verschiedene Profilmittelwerte angezeigt werden. Wegen dem Radius der Tastnadel können Oberflächen mit geringer Rauigkeit nicht mit dem Tastschnittgerät verzerrungsarm wiedergegeben werden.

Hier empfehlen sich Interferenzmikroskope. Bei diesen wird die vom Objekt deformierte Lichtwellenfront mit einer ebenen Vergleichswellenfront zur Interferenz gebracht. Bei Verwendung von monochromatischem Thalliumlicht lassen sich feine Oberflächenstrukturen durch den Hell-Dunkel-Kontrast der Interferenzlinien gut sichtbar machen. Bei Höhendifferenzen entstehen dunkle Schichtlinien, die Punkte gleicher Höhe miteinander verbinden, und Höhenunterschiede von jeweils einer halben Wellenlänge des verwendeten Lichts anzeigen. An der Stelle von Furchen und Rillen ergeben die Auslenkungen der Streifen unmittelbar ein Maß für die Tiefe einer Rille und Furche. Mit diesem Verfahren lassen sich bei Verwendung von monochromatischem Thallium-Licht Rautiefen von etwa  $1\ \mu\text{m}$  bis  $0,027\ \mu\text{m}$  erfassen.

### 3. Morphologie von Artefaktbruchflächen

Zunächst galt es, die Abnutzungserscheinungen durch eine bestimmte Beanspruchungsart – hier Holzbearbeitung – an einem rezent geschlagenen Quarzitgerät mittels dem REM zu verfolgen. Ein für den Untersuchungszweck geschlagenes messerartiges Gerät aus Münzenberger Ordoviz-Quarzit wurde für das schneidende Schaben von frischem Haselnußholz eingesetzt. Die Stangenabschnitte des Holzes hatten einen Durchmesser von 35 bis 40 mm bei einer Länge von 200 mm. Ein Bearbeitungszyklus umfaßt ein schneidendes Schaben von 200 mm in einer Richtung. Die Schneidekante wurde im Abdruckverfahren, sowohl im Ausgangszustand, als auch nach 1, 10, 20, 30, 100 und 1000 Bearbeitungszyklen mit dem REM bei verschiedenen Vergrößerungen untersucht (Abb. 1 und 2).

Die Schneidfläche im Ausgangszustand, sowie nach einmaliger Bearbeitung (Abb. 1), zeigt den normalen Aufbau des Gefüges aus einzelnen Quarzkristallen und ihren Korngrenzen – also noch keine erkennbaren Veränderungen durch den Schneidvorgang. Dagegen kann man bereits nach 10 Schneidvorgängen Veränderungen an den Korngrenzen erkennen. Diese erscheinen zerklüftet und aufgeraut. Wahrscheinlich erleichtern die Verzerrungen im Kristallgitter in der Nähe der Korngrenzen das Herauslösen kleiner Kristallteile durch den mechanischen Abnutzungsvorgang. In der Originalaufnahme des Zustandes nach 100 Zyklen (Abb. 2), ist das Fortschreiten dieser abnutzungsbedingten Oberflächenzerstörung bereits deutlich zu erkennen. Die vom Schneidvorgang beanspruchten Flächen werden in kleine kristalline Inseln aufgeteilt, die durch Täler und Furchen getrennt sind. Nach 1000 Schneidvorgängen ist dieser Zerteilungsprozeß weiter fortgeschritten und hat große Teile der beanspruchten Oberfläche mit furchenartigen Rillen durchzogen. Die Richtung dieser Rillen läuft dem Schneidvorgang parallel – ein deutliches Zeichen für den Zusammenhang mit dem Schneiden des Haselholzes.

Die Änderung von fossilen Artefaktbruchflächen durch Gebrauch wurde an einem Spätacheul-Faustkeil aus Kieselschiefer (Bergen-Enkheim, Abb. 3) an den gekennzeichneten Stellen untersucht. Es wurden Abdrucke entnommen und unter dem REM betrachtet. An der Stelle U 7 (Abb. 4), besteht eine moderne Beschädigung, die uns einen Einblick in das unbeeinflusste Oberflächengefüge gibt. Man erkennt ein verhältnismäßig glattes Bruchgefüge mit linearen Spaltspuren. Diese Bruchfläche ist für den fast amorphen Aufbau des Kieselschiefers typisch. Die Spitze des Faustkeils wurde an den Stellen O 1 und U 3 (Abb. 5–6) durch Abdrucke untersucht. Die benutzte Schneide zeigt gegenüber dem rezenten Bruchgefüge deutliche Veränderungen, indem die Spaltspuren verschwunden sind und die Oberfläche aufgeraut erscheint.

Durch ähnliche Erscheinungen zeichnet sich auch die Schneide an der Stelle U 8 aus, ohne daß man angeben kann, durch welche Beanspruchung diese Abnutzungsspuren hervorgerufen wurden. Mit den oben

beschriebenen Beobachtungen besteht offensichtlich kein erkennbarer Zusammenhang. Die Untersuchung der Schneidenpartie bei U9 (Abb. 7) ergibt dagegen eine starke Ähnlichkeit mit dem Erscheinungsbild des obengenannten Versuchs, so daß man trotz allem Vorbehalt mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen kann, daß mit dieser Schneidekante vornehmlich Holz geschnitten wurde. Bei dem Faustkeil von Bergen-Enkheim würde es sich demnach um ein Mehrzweckwerkzeug handeln, daß einmal der Holzbearbeitung diente und zudem einen weiteren, noch unbekanntem Verwendungszweck hatte.

Ein jungpaläolithischer Kratzer aus einem feinkörnigen Quarzit wurde mittels der Abdruckmethode am Kratzerrand auf Abnutzungsspuren untersucht. Das unbeeinflusste Quarzitgefüge (Abb. 8) läßt deutlich die einzelnen Quarzkörner und ihre Korngrenzen erkennen. In Randnähe des Kratzers wurden die Kuppen der Quarzkörner durch den Arbeitsvorgang abgeschliffen. Einzelne Körner (Abb. 9) geben auch einen Hinweis auf die Hauptarbeitsrichtungen. Feine Schleiffrillen kreuzen sich in einem spitzen Winkel und weisen darauf hin, daß das Werkzeug hauptsächlich in zwei Richtungen bewegt wurde. Das Agens, das die feinen Abnutzungsspuren hervorrief, muß etwas härter als der Quarzkristall gewesen sein, da sonst kein Angriff hätte erfolgen können. Die Mohs-Härte des Angriffsmittels sollte demnach etwas über 7 gelegen haben. Ähnliche Beobachtungen ließen sich an gleichartigen Werkzeugtypen aus Quarziten machen. Häufig macht die abgenutzte Oberfläche einen polierten Eindruck. In diesem Fall kann man darauf schließen, daß das Schleifmittel etwas weicher war als die Quarzkörner des Werkzeugs und dadurch nicht schleifend, sondern polierend wirkte.

Polyedrische Quarzgeräte sind in Olduvai, Tansania, recht häufig; über ihren Verwendungszweck hat man bisher nur Vermutungen anstellen können. Für eine Benutzung eignen sich hauptsächlich die Kanten der Polyeder. Von diesen wurden Abdrucke entnommen und mit dem REM untersucht. Abb. 10 zeigt die Arbeitskante in 1500facher Vergrößerung. Auffallend sind ein sehr starker Korngrenzenangriff und rillenartige Abnutzungsspuren innerhalb der Quarzitkörner. Es ergibt sich somit eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Erscheinungsbild nach Holzbearbeitung. Der Hinweis auf die Verarbeitung von Holz zu einem so frühen (ca. 900 000 a) Zeitpunkt, ist sicher ein beachtenswerter Beitrag zur Paläotechnik.

Sehr deutlich läßt sich der Abnutzungsprozeß an einer neolithischen Sichelklinge aus Quarzit nachweisen. Wie aus Abb. 11 hervorgeht, greift das Schneiden von opalhaltigen Getreidehalmen die Schneidekanten so stark an, daß die Kuppen der Quarzitkörner an der Schneidekante abpoliert werden. An dem Abdruck stellen sich die unbeeinflussten Stellen hell und die polierten Kuppen dunkel dar.

Obsidian – ein natürliches Glas vulkanischen Ursprungs – ist wesentlich weicher als Quarz und hat einen amorphen Gefügebau. Die Mohs-Härte liegt zwischen 5 und 6 gegenüber 7 bei Quarz. Deshalb wird die Oberfläche durch Abnutzung wesentlich leichter verletzt als es beim Quarz der Fall wäre. Die benutzte Schaberkante eines Obsidian-Schabers (Abb. 12) zeigt in der Tat eine Vielzahl von Bearbeitungsritzen, die in zwei, fast senkrecht aufeinanderstehenden Richtungen verlaufen. Einige der größeren Bearbeitungsspuren lassen Ausblühungen erkennen, die wahrscheinlich auf eine Glasersetzung zurückzuführen sind.

In Afrika sind Lava-Artefakte weitverbreitet. In dem Ensemble von Olduvai (Tansania) BK II sind sie zu etwa 40 % vertreten. Die frische Bruchfläche eines Lava-Diskoids gibt Abb. 13 wieder. Die Oberfläche besteht im wesentlichen aus plattigen Brüchen. Die Abnutzung in Kantennähe (Abb. 14) hat diese terrassenförmigen Ebenen stark verrundet und geglättet. Hierbei spielt ohne Zweifel die geringere Härte von 5 Mohs-Einheiten – gegenüber der von Quarz mit 7 Härtegraden – eine maßgebliche Rolle.

#### 4. Sekundäre Änderungen der Bruchflächen

Die Oberfläche von Artefakten wird nicht nur durch den Gebrauch, sondern auch durch chemische und physikalische Einwirkungen verändert. Im folgenden soll auf die Einwirkung von Wind und Wasser auf die Gesteinsflächen hingewiesen werden.

Windschliff durch Sand ergibt eine sehr charakteristische Oberflächenänderung (Abb. 15). Durch den Aufprall der windverfrachteten Sandkörner wird die Oberfläche in einer dünnen Schicht zertrümmert. Je nach

der Korngröße des Sandes ändert sich die Lichtreflexion, indem größere Körner eine geringere Reflexion bewirken.

Windschliff durch Eiskristalle (Abb. 16) läßt keine tiefgreifende Zerstörung der Oberfläche erkennen, sondern poliert die Oberfläche bis zum Hochglanz. Irgendwelche Riefen oder Furchen sind, im Gegensatz zum „Sichelglanz“, nicht zu beobachten.

Die Beanspruchung in fließendem Wasser zeichnet sich durch eine sehr tiefgreifende Zerstörung des kristallinen Quarzgefüges aus. Der hier untersuchte Taunusquarzit hat durch den Angriff fließenden Wassers mit feinverteilten Verunreinigungen eine so starke Veränderung erfahren, daß kein Zusammenhang mit dem ursprünglichen Bruchgefüge zu erkennen ist. Abb. 17 zeigt das vom Wasserschliff zerklüftete Gefüge, das für diese Beanspruchungsart typisch ist.

### 5. Profil-Tastschnitte

Bei Gesteinsoberflächen mit natürlichem Bruch sind optische Geräte wegen mangelnder Reflexion, zu zerklüfteter oder zu grober Struktur nur bedingt oder gar nicht einsetzbar.

Mit dem Tastschnittgerät „Perthometer“ wurde an einer neolithischen Sichelklinge aus Quarzit u. a. die max. Rauhtiefe an einer rezenten Bruchfläche und an einer Stelle mit „Sichelglanz“ längs einer Meßstrecke von 1,5 mm gemessen. Die rezente Bruchfläche weist eine max. Rauhtiefe von 8,21  $\mu\text{m}$  auf, während die durch den Schneidvorgang geglättete Fläche eine Rauhtiefe von nur 5,07  $\mu\text{m}$  aufweist. Legt man durch das aufgezeichnete Rauheitsdiagramm Schnittlinien in einem Abstand von z. B. 0,5  $\mu\text{m}$ , so erhält man die Traganteilkurve (TP-Werte), auch Abbottkurve genannt. Hierbei weist der rezente Bruch nach einer Schnitttiefe von 6,5  $\mu\text{m}$  einen Traganteil von 99% auf, im Bereich des „Sichelglanzes“ dagegen bereits nach 3,5  $\mu\text{m}$ . Der Glättungseffekt durch den Gebrauch des Werkzeuges läßt sich demnach messen und in reproduzierbaren Meßgrößen ausdrücken.

### 6. Lichtoptische Untersuchungen

Eine neolithische Flintklinge mit „Sichelglanz“ wurde mit dem Interferenzmikroskop untersucht. Die polierte Schneidekante wurde sowohl im Auflicht betrachtet, als auch im Interferenzverfahren mit Thalliumlicht ausgemessen. Abb. 18 gibt die Oberfläche der Schneidekante im Auflicht wieder. Die durch die Benutzung als Sichelklinge polierten Oberflächen erscheinen durch die starke Lichtreflexion hell, während die Vertiefungen der originalen Oberfläche dunkel bleiben. Dieselbe Stelle im Interferenzverfahren mit Thalliumlicht aufgenommen, ist in Abb. 19 wiedergegeben. An Hand des Schichtlinienverlaufs erkennt man eine leichte Wölbung der Schneidekante. Im Bereich der Meßbarkeit werden keine Riefen oder Furchen dargestellt. Die Breite der Interferenzstreifen läßt auf eine diffuse, aber sonst monotone Glättung der Gebrauchsfläche schließen. Die schleifenden Bestandteile in den Halmen des abgesichelten Getreides waren demnach sehr fein und gleichmäßig verteilt. Die ursprüngliche Spaltfläche des Flintgerätes wurde durch die Beanspruchung beim Sichelnd von Getreide bis auf einzelne Vertiefungen abgetragen. An Hand der Schichtlinien kann man sich ein genaues Bild der Oberflächengeometrie machen. Das Interferenzverfahren ergänzt das Tastschnittverfahren im Bereich kleiner Höhendifferenzen.



Abb. 1. Rezenter Holzbearbeitungsversuch mit einem Quarzitwerkzeug. Ausgangszustand. Bruchfläche, Abdruck, REM-Aufnahme, 1500 x, MPAD 25 683/6

Abb. 2. Rezenter Holzbearbeitungsversuch mit einem Quarzitwerkzeug. Nach 100 Arbeitszyklen. Schneide, Abdruck, REM-Aufnahme, 1500 x, MPAD 25 935/4

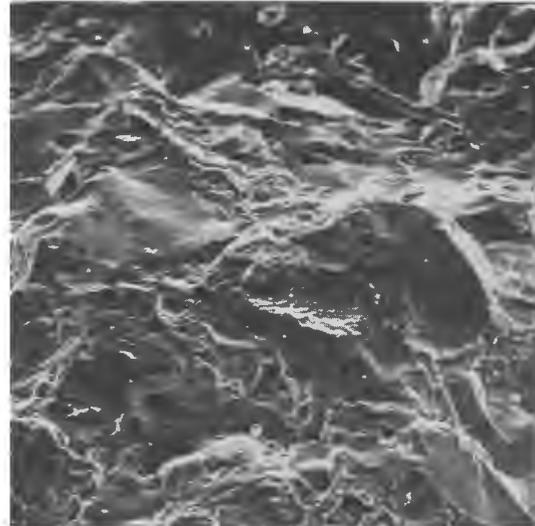


Abb. 4. Kieselschiefer-Faustkeil (Bergen-Enkheim). Frischer Bruch (U7) REM-Aufnahme, 3000 x, MPAD 25 609/6

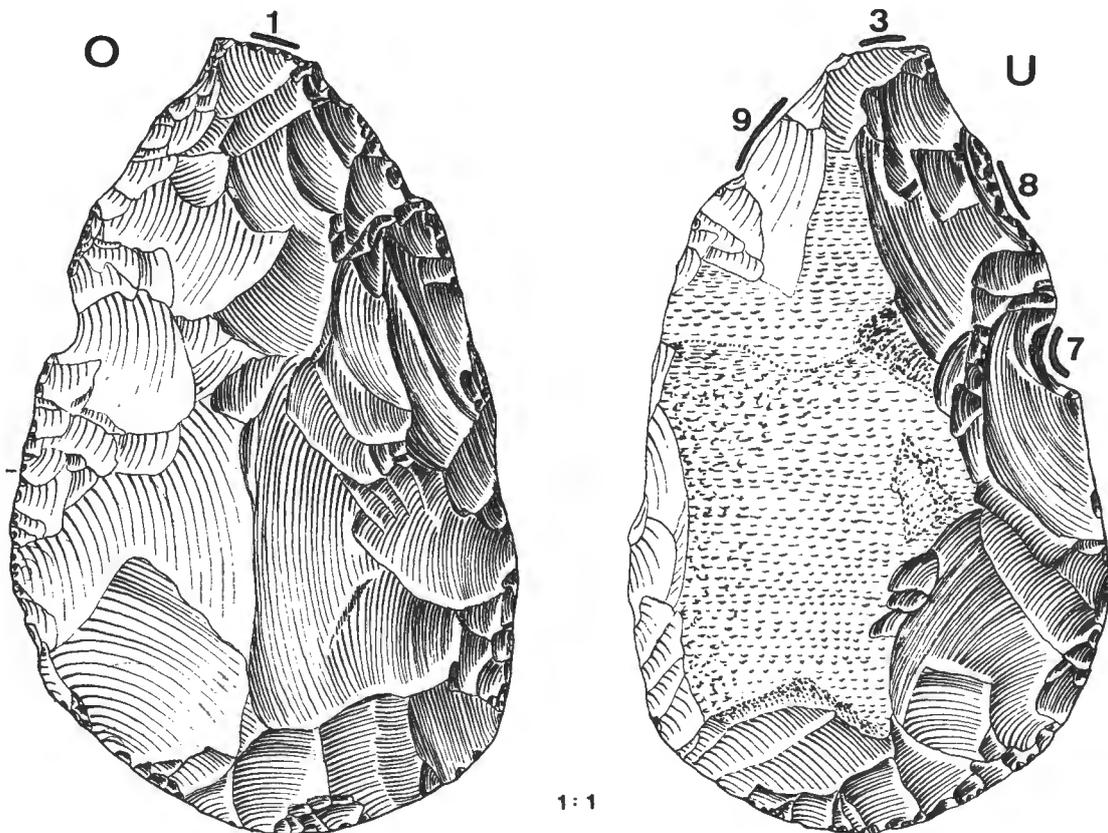


Abb. 3. Faustkeil Bergen-Enkheim  
(übernommen mit frdl. Genehmigung von G. BOSINSKI).

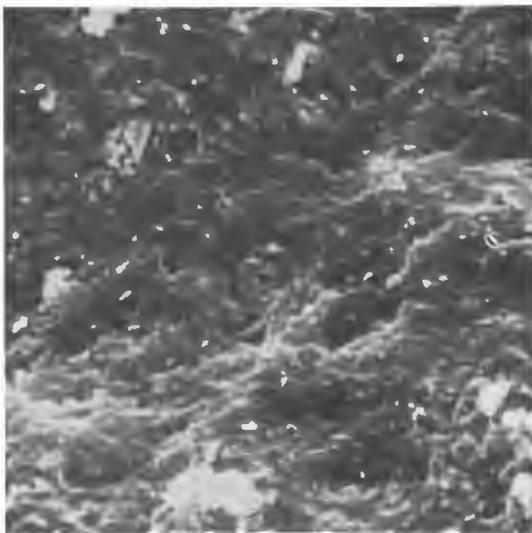


Abb. 5. Kieselschiefer-Faustkeil (Bergen-Enkheim)  
Abnutzung an der Spitze (01)  
REM-Aufnahme, 3000 x, Abdruck,  
MPAD 25 694/5

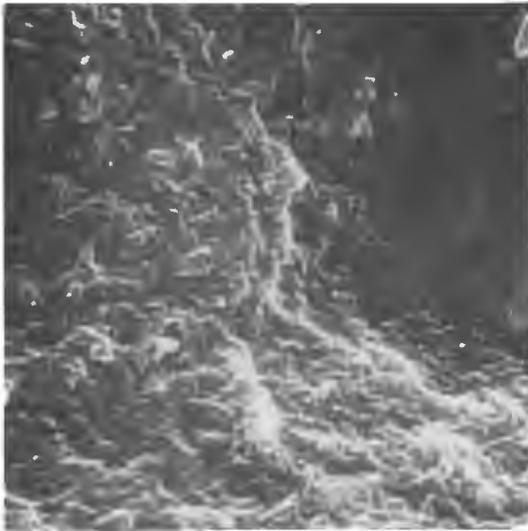


Abb. 6. Kiesel­schiefer-Faustkeil (Bergen-Enkheim)  
Abnutzung an der Spitze (U3)  
Abdruck, REM-Aufnahme, 3000 x,  
MPAD 25 691/5

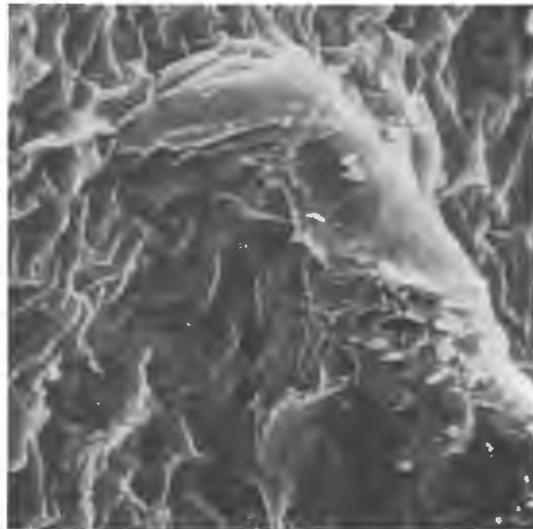


Abb. 7. Kiesel­schiefer-Faustkeil (Bergen-Enkheim)  
Abnutzung an der Schneide (U9),  
Abdruck, REM-Aufnahme, 3000 x,  
MPAD 25 690/1

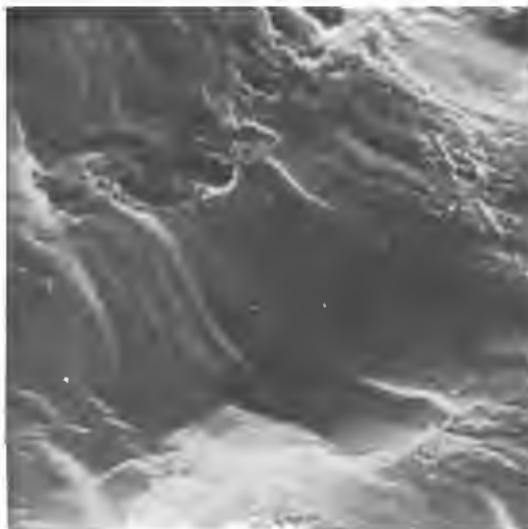


Abb. 8. Jungpaläolithischer Quarzitkratzer,  
unbeeinflusstes Quarzitgefüge. Abdruck  
REM-Aufnahme, 3000 x  
MPAD 25 191/6

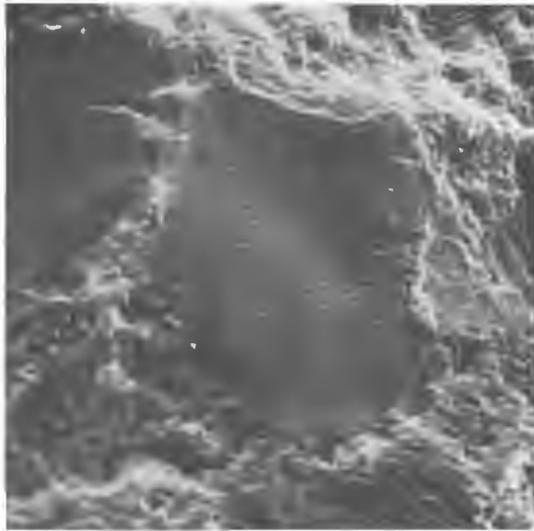


Abb. 9. Jungpaläolithischer Quarzitkratzer,  
Arbeitskante in verschiedenen Richtungen  
abgenutzt.  
Abdruck, REM-Aufnahme, 1500 x  
MPAD 25 188/5

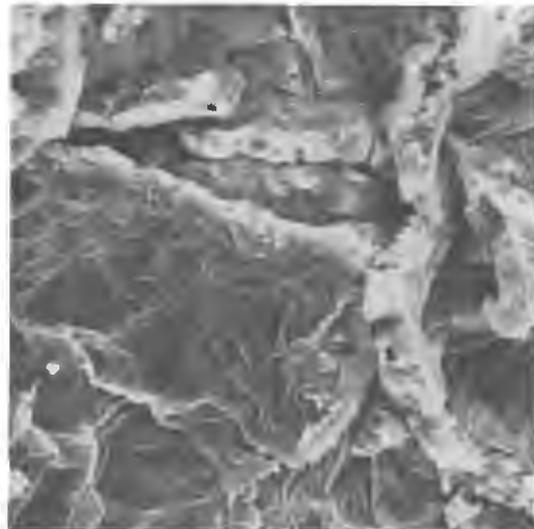


Abb. 10. Polyeder, Olduvai BK II (Tansania)  
Arbeitskante, Abdruck,  
REM-Aufnahme, 1500 x, MPAD 25 687/6



Abb. 11. Neolithische Quarzit-Sichelklinge, durch  
Abnutzung anpolierte Schneidekante.  
Abdruck, REM-Aufnahme, 150 x,  
umkehrkopiert,  
MPAD 24 974/4

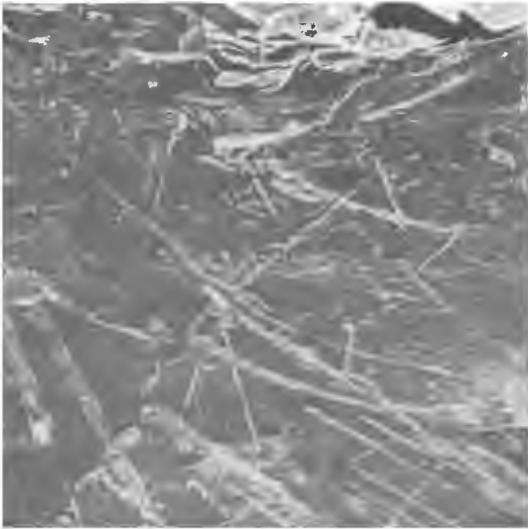


Abb. 12. Obsidian-Schaber  
Benutzte Schaberkante, Abdruck,  
REM-Aufnahme, 150 x  
MPAD 25 880/2

Abb. 13. Lava-Artefakt  
Olduvai BK II (Tansania)  
Frische Bruchfläche, Abdruck,  
REM-Aufnahme, 3000 x,  
MPAD 25 882/6

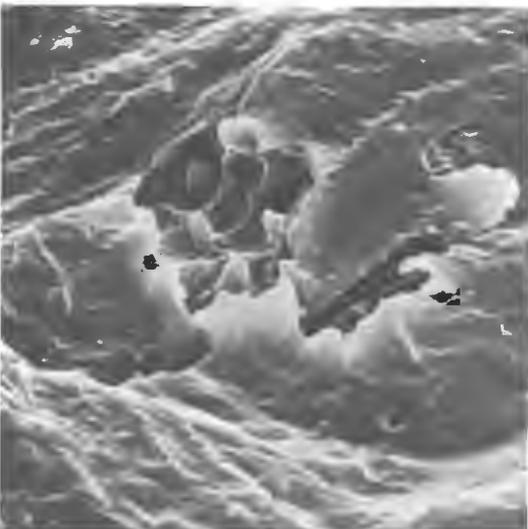
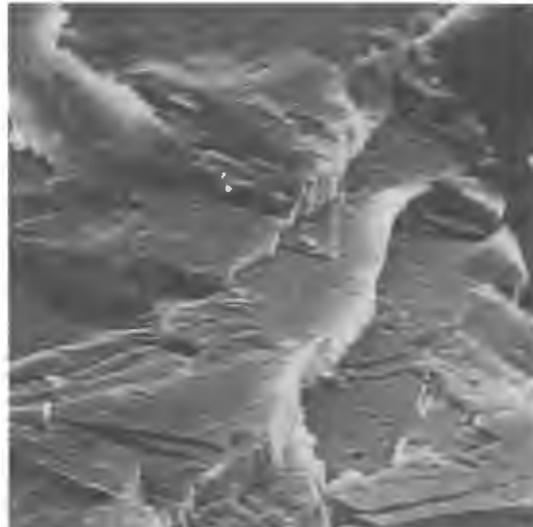


Abb. 14. Lava-Artefakt  
Olduvai BK II (Tansania)  
Schneidekante, abgenutzt und geglättet, Abdruck,  
REM-Aufnahme, 3000 x,  
MPAD 25 884/6

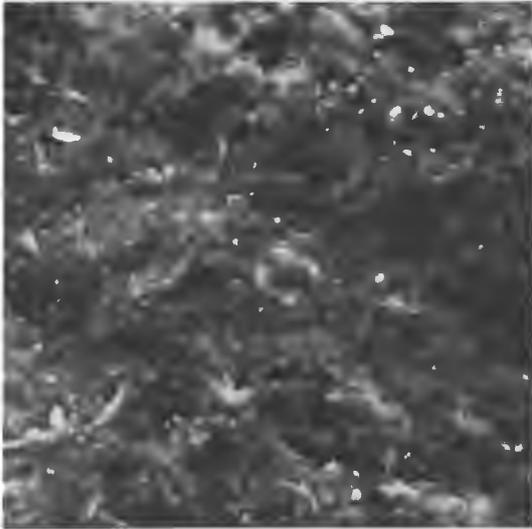


Abb. 15. Quarzit, Windschliff durch Sand, Original,  
REM-Aufnahme, 1500 x,  
MPAD 24 658/3

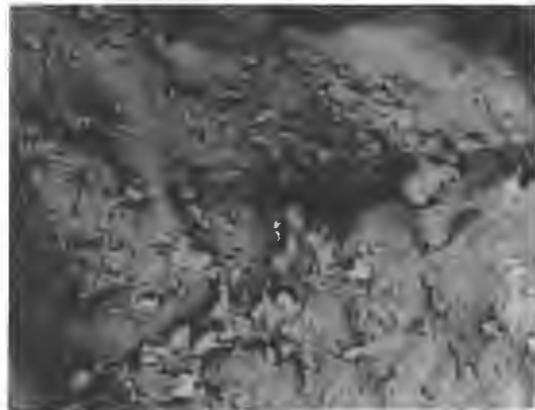


Abb. 16. Quarzit, Windschliff durch Eiskristalle,  
Abdruck,  
REM-Aufnahme, 2100 x

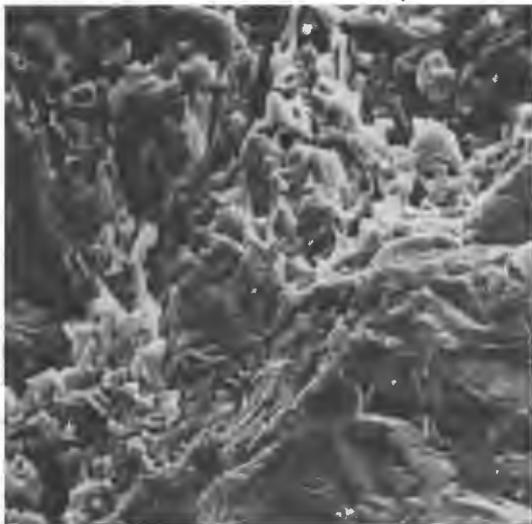


Abb. 17. Quarzit, Wasserschliff  
Original,  
REM-Aufnahme, 1500 x,  
MPAD 24 832/1

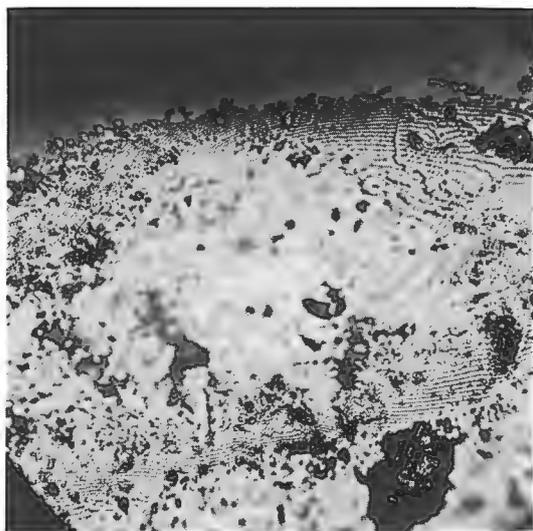


Abb. 18. Neolithische Sichelklinge mit „Sichelglanz“.  
Auflicht. 250 x.



Abb. 19. Neolithische Sichelklinge mit „Sichelglanz“.  
Interferenzaufnahme mit Thalliumlicht. 250 x.

## 7. Zusammenfassung

Die Darstellung von Artefaktbruchflächen wurde hauptsächlich mit dem Raster-Elektronen-Mikroskop (REM) durchgeführt. Die Vorbehandlung der Proben, die neuentwickelte Abdruckmethode mittels Celluloseacetatfolie und ihre Bedampfung mit Gold werden beschrieben. Mit ihrer Hilfe wurde es erstmals möglich, die fortschreitende Veränderung der Schneidkante nach Holzbearbeitung zu verfolgen. Vielkristalline Werkstoffe, wie z. B. Quarzite eignen sich besonders gut für die Beobachtung von Bearbeitungsspuren, da man leicht das unbeeinflusste Kristallgefüge zum Vergleich heranziehen kann. Bei hoher Vergrößerung weisen die meisten Werkzeuge Bearbeitungsspuren in Form von feinen Kratzern, Riefen oder Rillen auf. Aus ihrem Verlauf kann man auf die Arbeitsrichtung schließen. Die Untersuchung der Arbeitskanten eines Faustkeils aus Kieselschiefer ergab unterschiedliche Abnutzungsspuren, die auf eine Mehrzweckverwendung hindeuten. Der Hinweis auf Holzbearbeitung an einem sehr alten polyedrischen Quarzgerät aus Olduvai BK II (Tansania) ergibt einen wichtigen Hinweis für die Entwicklung der Paläotechnik.

Verfasser dankt der DFG, Bonn, für Unterstützung.

## Literatur

- DIES, K., Physikalische Betrachtungen an einem Pseudo-Geröllartefakt, *Quartär*, 26, 1975, 147–157.  
DIES, K., Statistische Beurteilung eines Fundkomplexes von altsteinzeitlichen Geröllgeräten in der Umgebung von Münzenberg, *Wetteraukreis. Fundberichte aus Hessen*, 13, 1973, 59–64.  
DIES, K. und M., Die Standardisierung urgeschichtlicher Artefakte als Maß für die Entwicklung der Paläotechnik, *Quartär*, 27/28, 1977, 45–63.  
DIES, K. und M., Die Standardisierung der Werkzeuge früher Hominiden, *Naturwissenschaften*, 64, 1977, 634.  
KEELEY, L. H., The Functions of Paleolithic Flint Tools, *Scientific American*, 237, 1977, 108 ff.  
KEELEY, L. H. und NEWCOMER, M. H., Microwear Analysis of Experimental Flint Tools: a Test Case. In: *Journal of Archaeological Science* 1977, 4, 29–62.  
LEAKEY, M., D., *Olduvai Gorge*, Vol. III., Cambridge 1971.  
SEMENOV, S. A., *Prehistoric Technology*, London 1964.