

JOSEF RÖDER

Oberflächenforschungen an römischen Bergkristallarbeiten

Teil I: Die Bergkristallringe von Lommersum-Hausweiler und Neuß

Einleitung

Die vorliegende Arbeit bildet einen Ausschnitt aus Untersuchungen, die der Verfasser an antiken Werkstücken aus den verschiedensten Werkstoffen – freilich mit vorläufiger Beschränkung auf Inkrustationsgesteine und Edelsteine – durchführt mit dem Ziel, die materialspezifischen Verfahren zur Herstellung von Feinoberflächen in der Antike samt Vorfertigungsstufen aufzuhellen¹. Die schriftlichen Zeugnisse² darüber sind so unzureichend, daß nur eine auf breite Basis gestellte Untersuchung der Originale weiterhelfen kann. Die aus den Erfordernissen der modernen Metallindustrie erwachsene Oberflächenkunde hat die nötigen Untersuchungsverfahren (einschließlich Geräten), Definitionen und Auswertungen zur Verfügung gestellt, deren Anwendung auf antike Oberflächen eine Fülle neuer Beobachtungen ermöglicht. Diese – und nicht die Deutung – werden bei allen Untersuchungen dieser Art erst einmal im Vordergrund stehen müssen. Sie erfordern Einzeluntersuchungen und eine Fülle von Dokumentation, die späterhin, wenn erst die Grundlinien klarer geworden sind, nicht mehr in diesem Umfang nötig sein werden. Eine solche Einzeluntersuchung sei denn hier auch in allen notwendigen Details des Untersuchungsganges und der Spuren vorgelegt.

Wenn bei diesen Untersuchungen antike Bergkristallarbeiten, überhaupt aber Arbeiten aus Materialien der Quarzgruppe, zuerst stark im Vordergrund des Interesses stehen, so deswegen, weil sie verhältnismäßig häufig in den Sammlungen anzutreffen sind, die verschiedenartigsten Gegenstände in den verschiedensten Techniken in diesem Material hergestellt sind und die Oberflächen sich durch die Erdlagerung praktisch nicht veränderten. Insofern ist Bergkristall ein ideales Objekt für Oberflächenstudien, wenngleich – und das sei mit Nachdruck betont – die an diesem Material zu gewinnenden Ergebnisse für andere Edelsteine³ nur bedingt stellvertretend sein können.

¹ Dazu J. Röder in ZEISS-Werkzeitschr. 42, 1961, 89 ff. – Verfasser bereitet einen Bildband antiker Oberflächen vor.

² Zusammengestellt bei A. Schneider, Entwicklung der Schleiftechnik bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts (Braunschweig 1930). – Vgl. auch die S. 226 genannten Werke.

³ Nachdem die unsinnige Bezeichnung 'Halbedelstein' durch internationale Übereinkunft (vgl. dazu: Edelsteine, Schmucksteine, Perlen, Korallen, Begriffe und Bezeichnungen, RAL 560 A5 [Berlin, Köln, Frankfurt 1963]) fallengelassen ist, spricht man heute von Schmuck- und Edelsteinen, ohne die Grenze zwischen beiden genau festzulegen. Nach der gleitenden Definition von K. Schloßmacher, Edelsteine und Perlen (Berlin 1962), die durch die Einbeziehung der Wertschätzung zu den einzelnen Zeiten auch den historischen Gegebenheiten gerecht wird, ist es zumindest für die römische Zeit angebracht, von Bergkristall als Edelstein zu reden. Zu den Eigenschaften der Mineralien der Quarzgruppe vgl. M. Bauer



1 Der Bergkristallring von Lommersum-Hausweiler (Venusring).
Maßstab etwa 3 : 1.

Bergkristall war in der römischen Antike⁴ ein beliebtes Material für Gemmen, Schalen, Becher, Kannen, Flaschen und Fläschchen, aber auch für Perlen, Ringe, kleine Plastiken, Reliefs und dergl. Als Herkunftsort des Rohmaterials nennt Plinius⁵ Kleinasien (Alabanda, Ortosia), Cypern, die Insel Neron im Roten Meer, die Alpen und Portugal. Damit sind freilich selbst damalige Hauptgebiete nicht alle genannt, z. B. die Marmor-

u. K. Schloßmacher, *Edelsteinkunde* (Leipzig 1932) u. a.; weiterhin K. Schloßmacher, *Leitfaden für die exakte Edelsteinbestimmung* (Stuttgart 1950); K. F. Chudoba u. E. J. Gübelin, *Schmuck- und edelsteinkundliches Taschenbuch* (Bonn 1953); Ch. Schwahn, *Die praktische Edelsteinkunde* (Berlin 1959) und die in diesen Werken angegebene weiterführende Literatur.

⁴ Über die Wertschätzung unseres Materials mit Beispielen des außerordentlichen Luxus, der mit Bergkristallgefäßen getrieben wurde, vgl. Plinius, *nat. hist.* 37, 9, 10. Dazu auch S. H. Ball, *A Roman Book on Precious Stones* (Los Angeles 1950) 124 ff. 226 ff.; für Mittelalter und Neuzeit u. a. E. V. Strohmeyer, *Prunkgefäße aus Bergkristall* (Wien 1947).

⁵ A. a. O.



2 Der Bergkristallring von Neuß (Marsring).
Maßstab etwa 3 : 1.

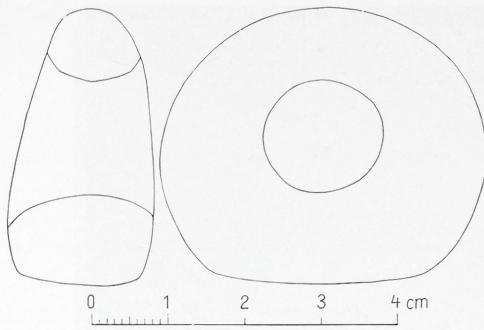
brüche von Luna (Carrara)⁶. Es wird und muß viele weitere, vor allem kleine Fundstellen gegeben haben. Für die rheinischen Bergkristallarbeiten kämen Fundstellen in den Schweizer und französischen Alpen sowie in Belgien in Frage⁷. Auch an Bergkristallgerölle ('Rheinkiesel') im Schotter des Rheins wäre zu denken⁸, werden doch in der Gegend von Bonn z. B. heute noch gelegentlich bis armdicke abgerollte Kristalle gefunden. Das Aufsuchen und Ausbeuten vieler Tausender einzelner Kristallklüfte durch die sogenannten 'Strahler' in der Schweiz⁹ zeigt, daß wir bei diesen Vorkommen

⁶ M. Bauer u. K. Schloßmacher a. a. O. 657.

⁷ B. Dammer u. O. Tietze, Die nutzbaren Mineralien mit Ausnahme von Erzen und Kohle (Stuttgart 1927) 140. – P. Niggli, J. Königsberger, R. L. Parker, Die Mineralien der Schweizeralpen (Basel 1940) passim.

⁸ A. Berg, Deutsche Diamanten, in: Der Naturforscher 5, 1928/29, 215.

⁹ P. F. Maissen, Mineralklüfte und Strahler der Surselva (Freiburg/Schweiz 1955). – X. Gpos, Aus dem Strahlerleben (o. O. 1964).



3 Venusring. Umriß und Querschnitt.
Natürliche Größe.

mit einer großen Zahl ausgebeuteter und inzwischen längst vergessener Fundstellen zu rechnen haben, so daß es unmöglich erscheint, die Herkunft des Materials festzulegen. Auch eine Herkunft des Rohmaterials aus dem Süden kann bei Stücken, die wie unsere Ringe im Rheinland oder in Gallien gearbeitet sein mögen, nicht ausgeschlossen werden. Solch wertvolles Rohmaterial konnte weite Strecken zurücklegen.

Beschreibung der Prüflinge

1. Bergkristallring von Lommersum-Hausweiler, Kr. Euskirchen (im folgenden als 'Venusring' bezeichnet). – Bild 1 und 3.

Es handelt sich um einen alten Fund aus einem Brandgrab, das außerdem ein prächtiges Millefiorikännchen und drei lange Gewandnadeln enthielt. – 1. Jahrhundert n. Chr.

Die Gestalt des Ringes wird aus Bild 1, besser freilich aus der Umriß- und Querschnittzeichnung (Bild 3) deutlich, so daß sich eine eingehende Beschreibung erübrigt. Die elliptische Platte ist leicht gewölbt. Das ursprüngliche Ringloch ist stark ausgeweitet und im Übergang zum 'Reif' noch abgefast. Das Material ist frei von Blasen, Fahren und Federn¹⁰. Die Gravur zeigt Venus mit den Waffen des Mars. Die Göttin steht in Vorderansicht neben einer Säule, auf die sie sich mit dem rechten Ellenbogen stützt. Mit nach links gewendetem Kopf betrachtet sie den (korinthischen) Helm des Mars, den sie mit weitabgewinkelttem Arm etwa in Schulterhöhe hält. Die Chlamys ist bis zur Hüfte herabgesunken. Seitlich der Beine fällt das Gewand in langen Längsfalten herab, über den Beinen ist es durch kräftige Schüsselfalten angegeben. Die kaum angedeuteten Brüste werden durch ein Busenband gehalten. Es ist durch zwei Gravurstriche bezeichnet. Die Göttin trägt ein Diadem oder auch einen Blattkranz. Die Frisur ist mit kräftigen Wellen angedeutet. Die Lanze, von rückwärts quer gegen die Säule gestellt, wird zum Teil durch den Körper der Göttin verdeckt. Wie beim Neußer Ring sind das obere und untere Ende der Lanze parallel zueinander verschoben, was beim Betrachten hier wie dort jedoch kaum auffällt. An die Säule ist der Schild des Gottes angelehnt.

Maße: Breite 4,30 cm; Höhe 3,65 cm; Dicke 1,91 cm.

¹⁰ Beim Bergkristall versteht man unter Fahren gewebeartige Schichten von feinen Bläschen, unter Federn feine Sprünge und Spalten, die oft wie Vogelfedern aussehen und durch Interferenzfarben farbige Lichter haben können.

Literatur: H. Lehner, Führer durch das Rheinische Provinzialmuseum Bonn, 2. Aufl. (1924), 102. – F. Henkel, Die römischen Fingerringe der Rheinlande (Berlin 1913) 147 und Taf. 60 Nr. 1615/1615 a/b und Taf. 75 Nr. 145 (seitenverkehrt).

2. Bergkristallring von Neuß (im folgenden als 'Marsring' bezeichnet). – Bild 2.

Der Ring wurde in Neuß ostwärts des Gepaplatzes in einem Grab der Nachfolgesiedlung der Legionscanabae gefunden. Nach dem Fundzusammenhang gehört er der zweiten Hälfte des 2. Jahrhunderts oder dem Anfang des 3. Jahrhunderts n. Chr. an. Das Material ist von feinen Fahnen durchzogen. Der Ring gleicht dem Venusring in der Gestalt, doch ist die Platte eben (dazu S. 255) und das ebenfalls ausgeweitete Ringloch im Querschnitt nur flach gewölbt. Das Intaglio, die Gravur, zeigt einen Gott als Jüngling, der mit dem linken Bein fest auf dem Grund steht, während er das rechte ausruht. Ein kurzer Mantel hängt von der Schulter auf den Rücken herab. Mit der Linken hält der Gott einen korinthischen Helm, den er zu betrachten scheint, mit der gesenkten Rechten eine Lanze. Sie wird zum Teil durch den Körper des Gottes verdeckt. Die beiden Enden der Lanze sind parallel gegeneinander verschoben. Rechts neben ihm lehnt ein Rundschild.

H. v. Petrikovits hat aus ikonographischen Gründen auf eine Darstellung des norisch-pannonischen Gottes Mars Latobius geschlossen und geglaubt, daß der Ring aus diesen Provinzen an den Rhein gekommen sei. Nach mündlichen Mitteilungen hält er heute an der Deutung nicht mehr fest und denkt an die Darstellung irgendeines der gallischen Martes.

Maße: Breite 4,425 cm; Höhe 3,23 cm; Dicke 1,765 cm.

Literatur: H. v. Petrikovits, Novaesium. Das römische Neuß. Führer des Rheinischen Landesmuseums in Bonn Nr. 3 (Köln 1957) 42. 63. 110 ff. Abb. 51.

Bei diesen beiden Bergkristallringen handelt es sich um Stücke, die wegen ihrer Größe und wegen der Enge des Ringloches nicht am Finger getragen werden konnten. H. v. Petrikovits denkt deshalb daran, daß es sich um Ringe handelt, die Toten mitgegeben wurden. Das Material, das man in der Antike für zu Stein verfestigtes Eisen hielt, sollte den Toten sicher durch die feurige Zone des Jenseits geleiten. Nun gibt es solche nicht tragbaren Ringe auch aus Metall, Bernstein und anderen Materialien. M. E. wäre eine monographische Beschäftigung mit dem Komplex der Totenringe nötig.

Grundbegriffe der Oberflächenkunde¹¹

Jedes Werkstück – etwa ein Ring – ist ein Kompromiß zwischen der Soll- und der Istgestalt. Die Abweichungen können sich nun auf die Form als Ganzes oder Teile von ihr – eben die Oberfläche erstrecken. Früher sprach man von Abweichungen im makro- bzw. mikrogeometrischen Bereich. DIN 4760 (1960) hat 6 Ordnungen von Gestaltabweichungen festgelegt und diese wieder in 4 Gruppen zusammengefaßt:

¹¹ Zur Oberflächenkunde allgemein vgl.: J. Perthen, Prüfen und Messen der Oberflächengestalt (München 1949). – H. Schorsch, Gütebestimmung an technischen Oberflächen (Stuttgart 1958).

Die aufgeführten Werke entsprechen nicht in allem dem neuesten Stande, doch gibt es, soweit ich sehe,

- 1. Ordnung: Formabweichungen
- 2. Ordnung: Welligkeit
- 3.–5. Ordnung: Rauheit
- 6. Ordnung: –

Die 4. Gruppe interessiert in unserem Zusammenhang nicht mehr. Bild 4 erläutert die einzelnen Gestaltabweichungen und ihre Genese. Freilich sind die hier genannten Beispiele für die Entstehung der einzelnen Gestaltabweichungen der modernen Metallindustrie entnommen und auf unsere Beispiele nur gelegentlich übertragbar, aber sie geben wesentliche Hinweise für die Untersuchung und die Klassifizierung der Spuren. Vorwegnehmend sei festgestellt, daß bei den hier behandelten Prüflingen die Gestaltabweichungen der einzelnen Ordnungen u. a. folgende Gründe haben können:

Gestaltabweichungen:




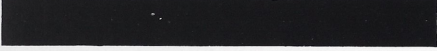

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1. Ordnung (Formabweichungen) | a) Fehler des Rohmaterials
b) Falsche Abmessungen des Rohmaterials
c) Fehler in der Bearbeitung <ul style="list-style-type: none"> 1. Schräge Anlage von Sägeschnitten 2. Außermittiger Ansatz der Bohrung 3. Meßfehler |
| 2. Ordnung (Welligkeit) | Sägen, Bohren, Drehen |
| 3.–5. Ordnung (Rauheit) | Gravieren, Schleifen, Polieren. |

Die Oberflächenkunde setzt als Bezugssystem der Messung ein in Form und Oberfläche ideales Wandstück als Endzustand voraus. Die Frage, was bei den Gestaltabweichungen, besonders Formabweichungen, beabsichtigt oder – etwa aus künstlerischen Gründen – nicht angestrebt war, steht dabei nicht zur Diskussion, da einer Messung nicht zugänglich. Andererseits umfaßt der Begriff der künstlerischen Qualität, nicht zuletzt bei kunsthandwerklichen Arbeiten, auch den Begriff der technischen Vollendung im Sinne höchster erreichbarer Güte der Werkzeuge und ihrer Handhabung. Wie exakt eine Drehbank oder eine Graviermaschine lief, eine Säge oder ein Bohrer bedient wurde usw., all das gehört in den Bereich der Technik und ist der Messung zugänglich. Da die Genauigkeit, mit der mit diesen und anderen Geräten gearbeitet werden kann, die Auflösungsgrenze des menschlichen Auges beträchtlich unterschreitet, so ist es durchaus sinnvoll, sie auch mit entsprechenden Meßgeräten zu untersuchen. Das gleiche gilt selbstverständlich für die Gestaltabweichungen höherer Ordnung.

Im Gegensatz zur industriellen Oberflächenprüfung, bei der es auf die Feststellung der Beschaffenheit und der Güte der Oberfläche ankommt, da die Bearbeitungsverfahren

im Augenblick noch kein neueres zusammenfassendes Werk in deutscher Sprache und auf Grundlage der Deutschen Normen. Diese (die für unsere Untersuchung besonders wichtigen Nummern sind kursiv gesetzt) sind niedergelegt in:

1. DIN 3141 (Vornorm 1960): Oberflächenzeichen in Zeichnungen.
2. DIN 3142 (1960): Kennzeichnung von Oberflächen in Zeichnungen durch Rauheitsmaße.
3. *DIN 4760* (1960): Begriffe für die Gestalt von Oberflächen.
4. DIN 4761 (1960): Begriffe, Benennungen und Kurzzeichen für den Oberflächencharakter.
5. *DIN 4762* Blatt 1–3 (1960): Erfassung der Gestaltabweichungen 2.–5. Ordnung an Oberflächen an Hand von Oberflächenschnitten.
6. DIN 4763 (1960) und Beiblatt 1 (Entwurf 1960): Stufung der Maße für die Rauheit der Oberfläche.
7. *DIN 4764* (Entwurf 1953): Technische Oberflächen.

Gestaltabweichung (als Profilschnitt überhöht dargestellt)	Beispiele für die Art der Abweichung	Beispiele für die Entstehungsursache
1. Ordnung: Formabweichungen 	Unebenheit Unrundheit	Fehler in den Führungen der Werkzeugmaschine, Durchbiegung der Maschine oder des Werkstückes, falsche Einspannung des Werkstückes, Härteverzug, Verschleiß
2. Ordnung: Welligkeit 	Wellen	Außermittige Einspannung oder Formfehler eines Fräasers, Schwingungen der Werkzeugmaschine oder des Werkzeuges
3. Ordnung: 	Rau- heit	Rillen Form der Werkzeugschneide, Vorschub oder Zustellung des Werkzeuges
4. Ordnung: 		Riefen Schuppen Kuppen Vorgang der Spanbildung (Reißspan, Scherspan, Aufbauschneide), Werkstoffverformung beim Sandstrahlen, Knospenbildung bei galvanischer Behandlung
5. Ordnung: nicht mehr in einfacher Weise bildlich darstellbar		Gefüge- struktur Kristallisationsvorgänge, Veränderung der Oberfläche durch chemische Einwirkung (z. B. Beizen), Korrosionsvorgänge
6. Ordnung: nicht mehr in einfacher Weise bildlich darstellbar	Gitteraufbau des Werkstoffes	Physikalische und chemische Vorgänge im Aufbau der Materie, Spannungen und Gleitungen im Kristallgitter
		Überlagerung der Gestaltabweichungen 1. bis 4. Ordnung

Die in der Tabelle dargestellten Gestaltabweichungen 1. bis 4. Ordnung überlagern sich in der Regel zu der Istoberfläche, wie sie beispielsweise im unteren Bild im Schnitt dargestellt ist.

4 Gestaltabweichungen. Nach DIN 4760.

ja bekannt sind, wird eine archäologische Oberflächenprüfung erst einmal das Hauptgewicht auf die Sichtbarmachung der Spuren in ihrem Verlauf und ihrer Überlagerung legen und dann erst auf Messung bedacht sein. Welche Deutungsschwierigkeiten auftreten, zeigt die vorliegende Arbeit zur Genüge und damit auch, welche umfangreiche Untersuchungen notwendig sind, um die Arbeitsspuren auf Altertümern bestimmten Arbeitsverfahren zuordnen zu können.

Geräte zur Oberflächenprüfung

Hier werden nur Geräte erwähnt, die bei der vorliegenden Untersuchung eingesetzt wurden. Lediglich zur Betrachtung und ersten Orientierung dienen Lupe und Stereomikroskop.

An optischen Geräten, die bei unseren Untersuchungen absoluten Vorrang haben, wurden zur Vermessung verwendet¹²:

Für Gestaltabweichungen

1. Ordnung: Formabweichung

Meßmikroskop oder Profilprojektor

2. Ordnung: Welligkeit

Lichtschnittmikroskop

3. u. 4. Ordnung: Rauheit

Interferenzmikroskop

¹² Die technische Entwicklung der Geräte, die sich freilich auf den Bedienungskomfort bezieht, geht in allen Ländern so rasch vor sich, daß kein Werk existiert, das auch nur annähernd über den neuesten

Neben die optischen Geräte treten die sog. Tastschnittgeräte, die normalerweise Welligkeit und Rauheit erfassen, in spezieller Ausführung oder mit Zusatzgeräten, aber auch zu Formprüfungen eingesetzt werden können¹³.

Meßmikroskope und Profilprojektoren, auf deren optische Besonderheiten hier nicht eingegangen werden kann, gestatten die Vermessung bzw. vergrößerte Nachzeichnung von kleinen Prüflingen, die je nach Vergrößerung als Ganzes oder in Teilen betrachtet werden können. Betrachtet und vermessen wird normalerweise das Schattenbild des Prüflings. Neben Längen und Winkelmessungen können durch Zusatzgeräte die Radien von Kreisen und Kreisbögen ermittelt bzw. Kreismittelpunkte und die exakte Ausführung von Kreisdurchbrüchen kontrolliert werden. Wichtig ist vor allem die Möglichkeit, mit Hilfe solcher Geräte exakte, maßhaltige, vergrößerte Zeichnungen von kleinen und kleinsten Prüflingen oder Teilen von solchen herzustellen, evtl. auch nach Abdrücken.

Beim Lichtschnittmikroskop – verwendet wurde das Gerät von Carl Zeiss-Oberkochen – wird ein schmales Lichtband unter einem Winkel von 45° auf die Oberfläche projiziert. Die Auslenkungen dieses Bandes auf der Oberfläche werden mit einem ebenfalls unter einem Winkel von 45° zur Oberfläche stehenden Mikroskop betrachtet und mit einem Okularschraubenmikrometer vermessen. Das Lichtschnittmikroskop liefert also nur jeweils ein Profil an der geraden beobachteten Stelle. Bei Durchmusterung des Präparates mit Hilfe des Kreuztisches und gleichzeitiger photographischer Aufnahme kann man einzelne Profillängen aneinanderreihen bzw. Serienschritte durch die Oberfläche herstellen. Es gibt allerdings auch Geräte, die von vornherein, durch die Projektion mehrerer Lichtbänder auf die Oberfläche, einen simultanen Serienschritt erreichen. Zu den physikalischen und technischen Grundlagen der Interferenzmikroskopie vergleiche man die einschlägige Literatur¹⁴. Die vorliegenden Untersuchungen wurden mit Zweistrahl-Interferenzen durchgeführt. Bei diesen wird die vom Objekt deformierte Wellenfront mit einer ebenen Vergleichswellenfront zur Interferenz gebracht. Liegen beide in einer Ebene so entsteht der sog. Interferenzkontrast oder der gerade Schnitt, der vor allem zur Verdeutlichung einer Oberfläche viel benutzt wird, da sich feine Oberflächenstrukturen im Hell-Dunkel-Kontrast (bei Verwendung von monochromatischem Licht) oder in Farbe (bei Weißlicht) damit gut sichtbar machen lassen. Bei größeren Höhendifferenzen entstehen dunkle oder farbige Schichtlinien, die Punkte gleicher Höhe miteinander verbinden und Höhenunterschiede von jeweils einer halben Wellenlänge des verwendeten Lichtes anzeigen. Formprüfungen werden hierdurch freilich nur im engsten Bereich der Prüfstelle möglich. Kugeloberflächen müssen einen

Stand Auskunft geben kann. Hier ist man auf Firmenprospekte bzw. zahlreiche, kaum zu übersehende Zeitschriftenaufsätze angewiesen. Zu den Grundlagen und älteren Ausführungen der genannten Geräte vgl. neben den oben angeführten Werken von Perthen und Schorsch vor allem K. Rantsch, *Die Optik in der Feinmeßtechnik* (München 1949).

Bei unseren Untersuchungen wurden verwandt: 1. Zeiss-Kleines-Werkzeug-Meßmikroskop, Zeiss-Druckschrift (G 60–260/I); 2. Zeiss-Lichtschnitt-Mikroskop, Zeiss-Druckschrift (G 60–620); 3. Zeiss-Interferenzmikroskop, Zeiss-Druckschrift (64–603). Für instrumentelle Hilfe ist der Verfasser der Deutschen Forschungsgemeinschaft zu großem Dank verpflichtet.

¹³ Für Tastschnittgeräte gilt das oben für Meßmikroskope, Profilprojektoren und Lichtschnittmikroskope Gesagte in noch stärkerem Maße, da elektrische Geräte heute einer noch schnelleren Entwicklung unterliegen als optische. Die in Bild 7 und 8 wiedergegebenen Tastschnitte wurden mit dem Leitz-Rauhtester geschrieben. Dazu vgl. Leitz-Druckschrift (86–4aR) und W. Holle, *Der Leitz-Rauhtester* (Firmensonderdruck). Der Verfasser ist der Firma E. Leitz-Wetzlar, in deren Laboratorien die Tastschnittschiebe angefertigt wurden, zu besonderem Dank verpflichtet.

¹⁴ Dazu vor allem W. Krug, J. Rienitz, G. Schulz, *Beiträge für Interferenzmikroskopie* (Berlin 1961). Ferner: A. Kohaut, *Technische Interferenzmikroskopie*, in: H. Freund, *Handbuch der Mikroskopie in der Technik I 2* (Frankfurt-Main 1960) 557 ff.

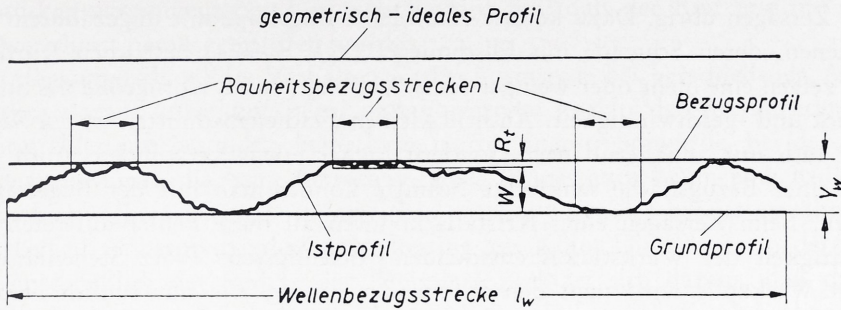
kreisrunden und konzentrischen Verlauf der Interferenzen, zylindrische Flächen einen streng parallelen ergeben. Jede Abweichung davon ist ein Hinweis auf Formfehler. Wird Objekt- und Vergleichswellenfront etwas gegeneinander verkippt, so entsteht das Interferenzstreifenbild oder der schräge Schnitt. Ist die Oberfläche nicht völlig eben, so können auch die Interferenzen nicht gerade sein, sie werden Verbiegungen aufweisen als Hinweise auf die Form oder auch auf Formfehler. An der Stelle von Furchen und Rillen werden sie örtliche Auslenkungen zeigen. So erhalten wir einen Profilschnitt durch die Oberfläche. Das Streifenfeld der Interferenzen ergibt also einen Serienschnitt durch die Oberfläche. Indem die Auslenkungen sich oft linienartig an gleicher Stelle aller Interferenzstreifen finden, können Furchen, Rillen und Systeme von solchen meßbar verfolgt werden. Man kann die Interferogramme als eine Reihe sehr flach projizierter Lichtschnitte mit der Oberfläche auffassen. Da der Streifenabstand immer eine halbe Wellenlänge des verwendeten Lichtes beträgt, so ergeben die Auslenkungen der Streifen unmittelbar ein Maß für die Tiefe einer Rille oder Furche, da Streifenauslenkungen bis zu etwa $1/10$ des Streifenabstandes ($= 0,027 \mu\text{m}$ bei Thalliumlicht) bequem zu messen bzw. zu schätzen sind. Mit diesem Verfahren lassen sich bei Verwendung von monochromatischem Licht Rauhtiefen von etwa $1 \mu\text{m}$ bis $0,027 \mu\text{m}$ erfassen, bei Benutzung von Weißlicht ($1/2$ Wellenlänge etwa $0,3 \mu\text{m}$) das nur wenige scharfe Streifen ergibt, solche von etwa 2 bis $0,03 \mu\text{m}$. Feinere Auswertverfahren sowie die Möglichkeit, in gewissen Fällen (Kohaut-Verfahren) den Linienabstand (Streifenabstand) bis auf etwa $0,15 \mu\text{m}$ zu verringern, interessieren erst im II. Teil dieser Arbeit. Wichtig ist dagegen die Möglichkeit, durch Betrachtung immergierter Filmabdrücke der Oberfläche in der Zehenderkammer den Linienmaßstab zu vergrößern und zwar bis zu $10 \mu\text{m}$. Damit sind alle interessierenden, auch die größeren Oberflächen bis etwa $60 \mu\text{m}$ Rauhtiefe der Interferenzbetrachtung zugänglich und das Interferenzverfahren auch zur Auswertung und Erfassung von Welligkeiten oder den restierenden Tälern einer Welligkeit sowie wellenähnlicher Erscheinungen in einer weiterverarbeiteten Oberfläche geeignet.

Normalerweise reichen optische Geräte zum Studium und zur Charakterisierung antiker Oberflächen aus. In der modernen Oberflächenkunde, vor allem bei industriellen Oberflächenprüfungen, werden sie allerdings immer mehr durch die Tastschnittgeräte zurückgedrängt. Zur Klärung spezieller Fragestellungen, zur Verdeutlichung der Interferenzbilder (der Tastschnitt wird im allgemeinen als sinnfälliger empfunden als das Interferenzbild) oder zur Charakterisierung von Oberflächen, bei denen wegen mangelnder Reflexionskraft, zu zerrissener oder zu grober Beschaffenheit die optischen Geräte nicht oder nur bedingt einsetzbar sind, sind auch für unsere Untersuchungen Tastschnittgeräte unerlässlich. Bei diesen wird eine Saphirnadel über die zu prüfende Oberfläche geführt. Die Bewegungen der Nadel werden in elektrische Impulse umgewandelt und können einerseits in Profilschrieben wechselnder Überhöhung (Verzerrung) festgehalten werden, andererseits können über entsprechende Rechenschaltungen verschiedene Profilmittelwerte angezeigt werden. Der Vorzug flächenhafter Prüfung hat bei unseren Untersuchungen dazu geführt, das Interferenzverfahren, wo immer nur möglich, anzuwenden. Der weitere Vorzug, mit dem gleichen Instrument Auflichtaufnahmen einmal ohne und einmal mit Interferenzstreifen von genau dem gleichen Ausschnitt einer Oberfläche herzustellen, trägt weiter dazu bei, dem Interferenzverfahren eine beherrschende Stellung einzuräumen.

Auswertung

Grundsätzlich wäre die Darstellung in Gestalt eines Höhenschichtplanes für einen als repräsentativ gehaltenen Ausschnitt einer technischen Oberfläche ein wünschenswertes Ziel. Wenn unter speziell günstigen Umständen und meist nur bei zu kleinem Gesichtsfeld die Interferenzaufnahme im geraden Schnitt möglich und obendrein die Zuordnung der Streifen völlig eindeutig ist, dann ist dieses Ziel auch erreicht. In der Mehrzahl der Fälle müssen wir uns mit dem schrägen Schnitt (eventuell sogar bei Weißlicht mit seinen wenigen Profillinien) begnügen. Lichtschnitt- und Tastschnittgeräte liefern sowieso nur jeweils einen Profilschnitt. So ist es begreiflich, wenn in der Oberflächenkunde fast ausschließlich Profile ausgewertet werden. Die sinngemäße Auswertung eines Oberflächenprofils sagt dann auch sehr viel über seine Entstehung aus. Nehmen wir als Ausgangspunkt der Betrachtung nochmals Bild 4, das die Entstehung und Überlagerung der Gestaltabweichungen darstellt, und stellen die Tatsache daneben, daß bei der Herstellung von Feinoberflächen immer feinere Abtragungen aufeinander folgen, so besteht normalerweise unsere Aufgabe darin, aus dem Endprodukt – und in diesem – auf die Vorbearbeitungsgänge zu schließen. Hat die Oberfläche eine Güte erreicht, wie sie Bild 19 darstellt, dann wird diese Aufgabe schwierig, ja, vielleicht unlösbar, sofern sich nicht am gleichen Werkstück und an Stellen mit sicherlich gleichen Bearbeitungsgängen, Oberflächen finden, die noch Spuren der Vorbearbeitung zeigen. Nun hat die Antike – und dies ist oft sogar ein Kennzeichen antiker Arbeit – die Spuren der Vorbearbeitungsgänge nicht so sorgfältig entfernt, bzw. einzelne Arbeitsgänge früher abgebrochen als spätere Zeiten dies tun, so daß die Oberflächen noch eine gute Spurenschichtung zeigen. Hier gilt es nun, die einzelnen Gestaltabweichungen bzw. die Spuren der Gestaltannäherung herauszuarbeiten. Ganz allgemein werden bei den Schleifverfahren, und um solche handelt es sich in der Hauptsache, die gröberen Arbeitsgänge gegenüber den feineren einen gröberwelligen Charakter zeigen. Wir werden bei der Kennzeichnung gröberer Gestaltsabweichungen direkt vom welligen Charakter der restierenden Spuren reden, obwohl dies der Definition nicht immer entspricht. Ganz allgemein gilt, daß immer eine größere Anzahl von Spuren des feineren Arbeitsganges auf den Zwischenraum zwischen den Restspuren des gröberen entfallen: beim Feinschliff gegenüber dem Grobschliff oder verschiedenen Feinschliffen untereinander, beim Polieren gegenüber dem Feinschliff. Es werden also zur Erfassung der gröberen Abweichungen größere Bezugsstrecken nötig sein als für feinere. In unserem Zusammenhang ist auf jeden Fall die Sichtbarmachung der Spuren und eine klare Deutung der Profile die primäre Aufgabe. Sie kann und muß durch charakteristische Maße unterstützt werden. Die Auswertung geschieht aufgrund von DIN 4762 Blatt 1 u. 2. Einzelheiten sollen hier nur insoweit gebracht werden, als sie Bild 5 erläutern, das alle für uns wichtigen Maße enthält.

Zur Ausmessung der durch optische Geräte oder durch Schriebe erhaltenen Profilbilder (Istprofil) müssen diese in Beziehung gesetzt werden zur angestrebten idealgeometrischen Form der Prüfstelle (Gerade, Kreisbogen usw., bei der Kürze der Ausschnitte vielfach eine Gerade). Eine Äquidistante zum idealgeometrischen Profil wird bis an die Spitzen des Istprofils herangeschoben (Bezugsprofil), eine weitere (Grundprofil) an die Tiefen der Täler. Die Auswertung von Welligkeit und Rauheit erfolgt in gleicher Weise durch Anlegen von Bezugs- und Grundprofil an das Istprofil. Man



5 Erfassung der Gestaltabweichungen. Nach DIN 4762.

erhält in diesem Fall als Gesamthöhe die Wellentiefe (W), in anderen die Rauhtiefe (R_t). Freilich benötigt man zur Erkennung der Ausbildung der Welligkeit eine längere Bezugsstrecke (Wellenbezugsstrecke l_w) als zur Erfassung der typischen Ausbildung der Rauheit (Rauheitsbezugsstrecke l). Jede dieser Bezugsstrecken muß so lang sein, daß sie mehrere Wellen bzw. Rillen umfaßt. Nun ist es, wie einleitend schon betont, durchaus üblich, daß mehrere Gestaltsabweichungen sich überlagern und auseinandergehalten werden müssen. Ebenso wie zwischen Wellen und Rillen kann auch zwischen größeren Rillen und feineren Rillen meßtechnisch unterschieden werden, wenn es nur, wie im vorliegenden Falle, hauptsächlich um die Herausarbeitung der Arbeitsgänge geht. Profilmittelmaße (vgl. DIN 4762 Blatt 1) zur Kennzeichnung der Oberflächengüte spielen bei unseren Untersuchungen kaum eine Rolle. Hier genügt meist das Interferenzbild und die Angabe des jeweils zur Auflösung notwendigen Streifenabstandes.

Die Untersuchung der Fundstücke

Wenngleich das Schwergewicht dieser Arbeit auf der eigentlichen Oberflächenuntersuchung – d. h. der Gestaltabweichung 2. und höherer Ordnung – liegt, so müssen wir uns doch zuerst mit den Formabweichungen befassen, Fehlern also, die bei Betrachtung des ganzen Stückes offenbar werden. Diese geben wesentliche Hinweise auf die ersten Arbeitsgänge vom Rohmaterial bis zum Rohling, dessen Außenhaut dann lediglich noch weitere Bearbeitung erfuhr, die an der Form aber nichts mehr änderte.

1. Gestaltabweichungen 1. Ordnung (Formfehler)

Ausgangsmaterial unserer Ringe sind kleine Bergkristallplatten. Da der Bergkristall in der Natur normalerweise in dicken sechsflächigen, oft riesengroßen Kristallen vorkommt, so bestand der erste Arbeitsgang in der Anfertigung von Plättchen der passenden Größe. Selten nur wächst der Bergkristall in der Natur plattenförmig, indem zwei gegenüberliegende Seiten doppelt so breit werden wie die anderen vier. Der Verfasser besitzt einen solchen plattigen Kristall (aus dem Binntal im Wallis), aus dem man durch Zerteilen 3 Rohstücke für Ringe unserer Größe hätte herstellen können. Normalerweise wird man größere Kristalle zerteilt haben. Dies konnte nicht durch Zerschlagen geschehen. Dabei hätte man zu viel Verlust an edelstem Material in Kauf nehmen müssen. Außerdem kann man gerade beim Bergkristall den Sprung nur schlecht berechnen und leiten, da das Material keine entsprechende Spaltbarkeit von Natur aus besitzt. Es bleibt also hier, wie bei anderen Mineralien der Quarzgruppe,

nur das Zersägen übrig. Dazu konnte eine kleine Bügelsäge mit ungezähntem Kupferblatt dienen, deren Schneide mit Ölschmirgel (vgl. S. 274) bestrichen wurde. Sägeschnitte zeigen eine mehr oder weniger feine Wellung je nach Korngröße des Schmirgels, Sägedruck und -geschwindigkeit. Auch in kleinen Flächenabschnitten ist ein Sägeschnitt niemals auch nur annähernd eben, sondern immer etwas verwunden. Auch parallele und zu einer Bezugsfläche senkrechte Schnitte konnte man mit der Bügelsäge kaum herstellen. Beim Zersägen eines Kristalls konnten all diese Fehler auftreten und die Formhaltigkeit des Werkstückes entscheidend beeinflussen. Trotz Stehenlassens eines gewissen Werkzolls wird man den Rohquader so eng wie nur tunlich herausgesägt haben, um Schleifarbeit zu sparen. So konnte der Rohquader bereits allerhand Formfehler veranlassen.

Nach dem Zuschnitt durch die Säge wurde der Rohquader durchbohrt. Daß das Durchbohren bereits in diesem frühen Arbeitsstadium geschah, beweist ein kleiner Chalcedonring aus Köln, der im II. Teil dieser Arbeit behandelt werden soll. Dieses Durchbohren geschah mit Hilfe einer rotierenden Kupferhülse, deren Schneiden wiederum mit Schmirgel bestrichen wurden. Die Spuren sind die gleichen wie beim Sägen, ja, dieses Steinbohren ist technologisch nur eine Abart des Sägens. Beide Bearbeitungen boten einzeln und in Kombination eine Fülle von Fehlerquellen, die durch die späteren Arbeitsgänge kaum oder nur umständlich ausgeglichen werden konnten. Man denke z. B. nur an eine durch die Unparallelität des Rohblockes verursachte schiefe und außermittige Bohrung. Schließlich konnten noch Formfehler durch bei der Bearbeitung entdeckte Materialfehler, falsche Abmessungen und Fehler bei den weiteren Arbeitsgängen (Anschleifen der Form, Grob- und Feinschliff) entstehen.

Die Formprüfung erfolgt zunächst mit bloßem Auge. Schon diese zeigt ein auffällig unterschiedliches Verhalten beider Ringe in der Breitenansicht (Schnitt) und in der Schmalansicht, eine große Formtreue in der ersteren – trotz der beim Venusring dem bloßen Auge auffallenden Unrundheit des Ringloches –, eine Fülle von Formfehlern in der zweiten. Beide Umrisse wurden beim Venusring mit Hilfe der Projektionseinrichtung des Meßmikroskopes gezeichnet und diese Zeichnung unterstützt eindrucksvoll den Eindruck des Auges (Bild 3). Die Breitenansicht läßt erkennen, daß die Ringe gut spiegelsymmetrisch sind. Ganz anders verhält es sich beim Blick auf die Schmalseite. Man wird sofort erkennen, daß sich hier keine Symmetrieachse finden lassen wird. Die beiden Seitenflächen besitzen unterschiedliche Wölbung, die Schnittlinie (Umriß der Breitenseite) als ungefähre Mittellinie des Ringes steht – am auffälligsten beim Marsring – im Winkel zur Platte. Auffällig ist die Unsymmetrie der Locherweiterung und der Abfasung am Venusring, die besonders stark auf der Seite ist, die der Blickrichtung der Gravur zugekehrt ist. Möglicherweise liegt hier ein völlig ausgeschliffener Materialfehler vor. Wenn man den Ring trotz dieses schweren Formfehlers ausführte, so ergibt sich m. E. daraus ein Hinweis auf die Kostbarkeit des Materials. Auch zeigt dieser Ring in der schmalen Partie eine leichte Verwindung. Trotz all dieser Abweichung besitzen symmetrische Stellen im wesentlichen gleiche Dicken, sowohl in sagittaler wie radialer Richtung. Die Abweichungen liegen bei den radialen Maßen – selbst beim Venusring mit seinem unrunder Loch – unter 0,5 mm und überschreiten normalerweise 0,2 mm nicht. Das gleiche gilt für die sagittalen Maße. Erst bei der Schattenbildbetrachtung in der Projektion des Meßmikroskops wird in der Schmalseitenansicht deutlich (Bild 3), daß die äußere Wölbung des Reifens sich aus vielen verrundeten kleinen

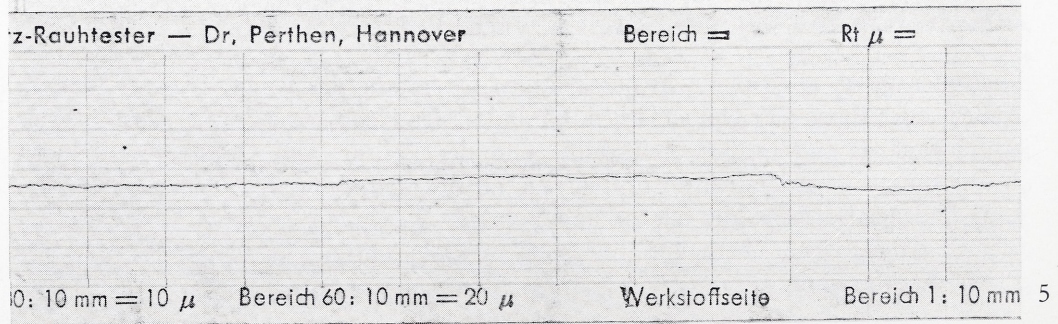
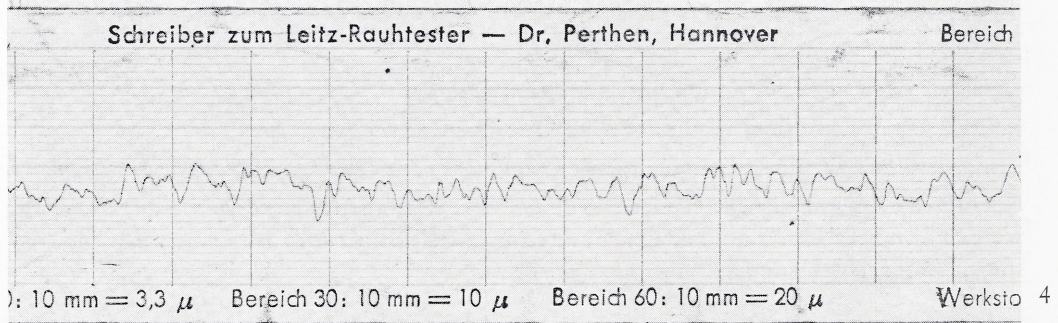
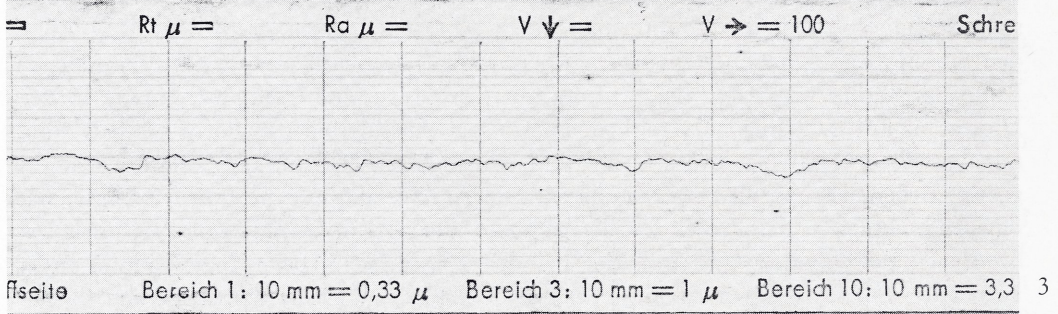
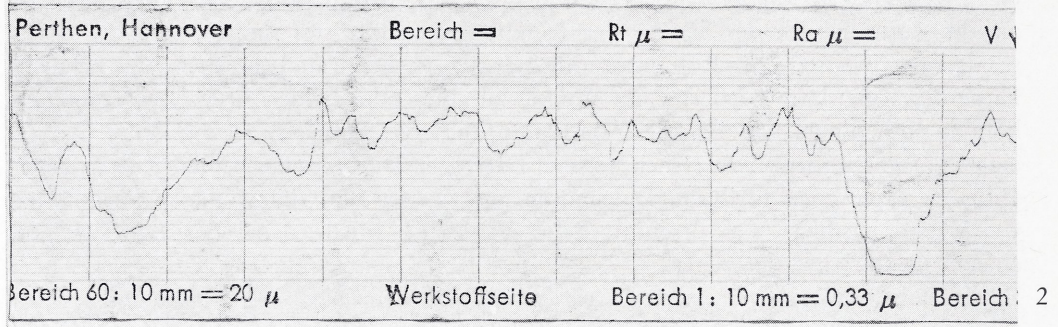
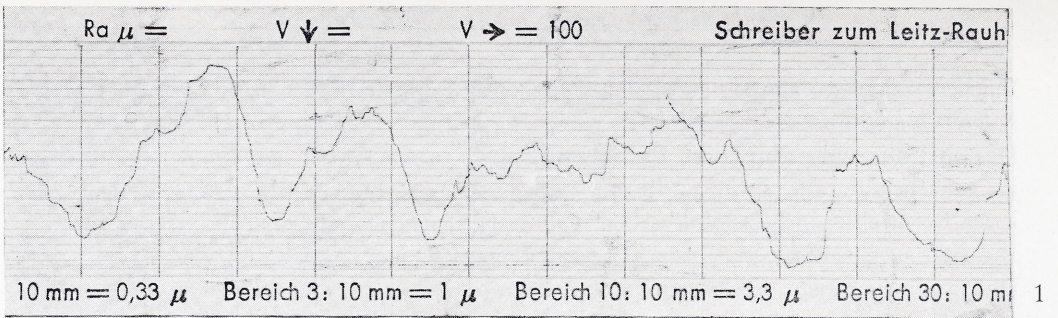
Flächenstücken zusammensetzt. Das weist darauf hin, daß der Reif erst mit polygonalem Querschnitt herausgeschliffen wurde.

Das auffällig unterschiedliche Verhalten in der Formtreue bei verschiedenen Ansichten ist sicherlich darauf zurückzuführen, daß Formtreue nur in der Breitansicht, in der jeder Formfehler sich besonders bemerkbar macht, angestrebt wurde, bei der Schmalansicht dagegen nicht, die beim Betrachten eines Ringes auch kaum eine Rolle spielt. Daß auch hier mehr Formtreue zu erreichen war, beweist der bereits erwähnte, aber erst im II. Teil zu besprechende Chalcedonring aus Köln. Die Schiefe in der Schmalansicht, einschließlich der Schiefe der Ringplatte, erklärt sich daraus, daß die Sägeschnitte der Breitseite der Rohplatte nicht parallel verliefen und die ehemalige Schnittfläche der Ringplatte wiederum im Winkel zu einer oder beiden Breitseiten stand. Es kommt noch hinzu, daß bei dieser Situation auch das Bohrloch zwangsläufig nur zu einer Plattenseite senkrecht stehen konnte. Deswegen wurde es bei beiden Ringen beidseitig zu einer quasi-torischen Innenfläche ausgeweitet und damit dieser Formfehler weitgehend kaschiert und beseitigt. Beim Venusring wurde dabei das Bohrloch auf einer Seite stärker ausgeweitet.

Dieses Bohrloch, das bei exakter Ausführung sich dem Auge als vollkommen rund darbietet, spielt bei der Ausarbeitung des Umrisses des ganzen Ringes eine bedeutende Rolle. Von hier aus konnte man durch Abtasten lageentsprechender Reifdicken den Schleifvorgang genauestens überwachen. Durch Vergleich mit dem vollkommenen Rund des Loches war schon bei Prüfung mit dem Auge eine Übereinstimmung in den Dicken bis auf 0,02 mm zu erreichen. Dieses sog. Anschleifen der Form geschah wohl mit denselben Geräten wie das Grob- und Feinschleifen (vgl. unten). Hierbei war die größte Arbeitsleistung zu bewerkstelligen. Die Annäherung an die Form erfolgte, wie das Schattenbild in der Projektionsbetrachtung nahelegt, in Gestalt eines vielfältig gebrochenen polygonalen Umrisses, der bei den folgenden Arbeitsgängen immer mehr verrundet wurde, wenn auch nicht bis zur Vollendung. Oben wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Interferenzbetrachtung auch zur Formprüfung herangezogen werden kann, indem bei ebenen Flächen die Interferenzstreifen in ihrem Gesamtverlauf gerade, bei gleichmäßig gekrümmten Flächen ebenfalls gleichmäßig gekrümmt sind. Dort, wo das Werkstück vom idealgeometrischen Profil abweicht, tut es auch der Interferenzlinienverlauf. Deshalb können alle hier wiedergegebenen Interferenzaufnahmen auch der Formprüfung im mikroskopischen Bereich dienen. Die gleichmäßige Krümmung einer Ringplatte oder des Ringkörpers kann damit ohne weiteres geprüft werden. Einzelheiten sind bei der Besprechung der Bilder des folgenden Abschnittes soweit nötig nachgetragen.

2. Gestaltabweichungen 2. und höherer Ordnung

Hierunter fallen alle Spuren in der heutigen Oberfläche der Ringe, seien es Platten, Außen- oder Innen-(Ringloch-)flächen. Es sind in der Hauptsache Spuren verschiedener Schliffvorgänge (Grob- und Feinschliff) und der Politur, also Gestaltabweichungen 3. Ordnung. Es wird ferner zu prüfen sein, ob sich noch Spuren 2. Ordnung (Welligkeit) finden, also Reste des Sägens und Bohrens. Wegen der späteren Überarbeitung bleiben dabei, wenn überhaupt, nur wenig Stellen übrig: Die Ringlöcher und die Platte des Marsrings.



6 Bergkristall. Tastschnittschriebe verschiedener Stadien moderner Oberflächenbearbeitung.
 1 Sägeschnitt (Diamantsäge). 2-4 Verschiedene Stadien des Feinschliffs. 5 Politur.
 Vergrößerung (horizontal): 10 mm = 100 μ m;
 Vergrößerung (vertikal): 1-3 10 mm = 3,3 μ m; 4-5 10 mm = 1 μ m.

Exkurs: Das Werden der Feinoberfläche an modernen Bergkristallarbeiten.

Es erscheint nützlich, vor Betrachtung der antiken Oberfläche sich das Entstehen der Oberflächen in der heutigen Bergkristallschleiferei, wie sie die Tastschnitte Bild 6 verdeutlichen, vor Augen zu führen.

Normalerweise werden die Rohlinge heute mit der Diamantenkreissäge zurechtgeschnitten. Es entsteht dabei eine so feine Welligkeit, daß diese mit bloßem Auge vielfach nicht mehr erkennbar ist. Auf dem Tastschnitt Bild 6,1 – man beachte die 30fache Überhöhung – kommt sie deutlich zum Ausdruck. Massive Berge sitzen zwischen breiten Tälern, die im vorliegenden Fall in einem Abstand von 200–250 μm aufeinanderfolgen. Nach dem dritten Tal von links folgt allerdings ein massiver Berg von der doppelten Breite. Solche Unregelmäßigkeiten kommen an Sägeschnitten öfter vor, können freilich auch vorgetäuscht sein, indem die durch den Tastschnitt getroffene Stelle gerade nicht die typische Ausbildung zeigt. In der Tat besitzt dieser Berg eine Einsattelung, die auf ein hier nicht voll ausgebildetes Wellental hinweist. Die gesamte Profilhöhe beträgt etwas über 8 μm .

Nach dem Sägen beginnt die Schleifarbeit¹⁵. Entfernt sich die zukünftige Form des Werkstückes noch weit vom Zuschnitt durch die Säge, so wird mit dem Sandsteinrad im Grobschliff sich der endgültigen Form genähert. Dieser Grobschliff wäre im gleichen Maßstab wie der Sägeschnitt auf einem Tastschrieb nicht darstellbar gewesen, da die Profilhöhe normalerweise dabei 100 μm übersteigt, oft sogar um ein beträchtliches. Sie überschritt auch die größte Tasttiefe des benutzten Gerätes (Leitz-Rauhtester), die bei 60 μm liegt. Bei den großen Sandsteinrädern (1,50–2,20 m Durchmesser), wie sie heute in Gebrauch sind¹⁶, und bei der beträchtlichen Umdrehungsgeschwindigkeit besteht dieses Grobschleifen in einem Aussplittern des Steines mit zahllosen kleinen muscheligen Ausbrüchen, die vielfach eine gewisse Reihung überhaupt vermissen lassen, so daß an den Werkstücken die Schleifrichtung vielfach nicht feststellbar ist.

Diese durch Andrücken an das große Sandsteinrad hergestellte Oberfläche hat also ein wesentlich anderes Aussehen als eine gesägte. Wenn ein Vergleich aus der Steinmetzarbeit erlaubt sein mag, so verhalten sich diese beiden Oberflächenformen zueinander wie eine scharrierte zu einer gespitzen Fläche. Solche rauhen Oberflächengebirge werden nun im folgenden Arbeitsgang, dem Feinschleifen, immer mehr eingeebnet. Grob- und Feinschliff können mit den gleichen Schleifsteinen ausgeführt werden. Durch den Schleifvorgang wird nicht nur das Werkstück, sondern auch der Schleifstein abgenutzt, so daß die Schleifkraft schließlich nur mehr einen feineren Abrieb gestattet. So betrachtet, handelt es sich gerade beim Feinschleifen um eine Reihe von Arbeitsgängen (früher unterschied man in der Achatschleiferei zwei Feinschleifgänge), die auch an den Tastschnitten sehr deutlich werden. Zunächst werden in einem noch verhältnismäßig groben Schliff die Welligkeiten des Sägens bzw. die Buckel und Rücken des Grobschliffs weggenommen. Bild 6,2 zeigt diesen Vorgang noch in seinen Anfangsstadien. Ein breiter Wellenberg, als solcher noch an den tiefen seitlichen Tälern kenntlich, wird abgetragen. Dieser

¹⁵ Zur Technologie des Schleifens vgl. G. Stade, Technologie des Schleifens (München 1962); A. Abendroth und G. Menzel, Grundlagen der Zerspanungslehre (Leipzig 1960). – Zu den Schleifmitteln: B. Kleinschmidt, Schleif- und Poliertechnik Bd. IV (Berlin 1935) passim.

¹⁶ K. E. Wild, Zur Geschichte der Schmucksteinschleiferei im Gebiet der oberen Nahe und der Saar (Neuwied 1959) Abb. 2. 16 und 18 sowie die Beschreibung einer Achatschleiferei von 1776 a. a. O. 56 ff.

Vorgang wird fortgesetzt bis eine Oberfläche entsteht, auf der man höchstens noch an einigen Stellen die Furchen der ehemaligen Wellentäler erahnen kann, wie dies in Bild 6,3 noch der Fall ist. Die vorliegende Oberfläche besitzt noch eine Rauhtiefe von etwa $1,4 \mu\text{m}$. Alle bisher wiedergegebenen Tastschnitte sind in der gleichen Überhöhung (30 : 1) geschrieben. Ein bereits noch feiner geschliffenes Oberflächenstück ist in Bild 6,4 noch einmal mit der Überhöhung 100 : 1 geschrieben worden. Jetzt werden die Täler und Spitzen der feinen Rillung sehr deutlich. Die Rauhtiefe beträgt nunmehr rund $0,5 \mu\text{m}$. In ihr sind Spuren der Vorbearbeitungsgänge nur noch zu erahnen. Betrachtet man eine solche Oberfläche im Auflicht oder in einem Abdruck, so ist sie durchzogen von dicht neben und hintereinanderliegenden lanzettförmigen Schleifspuren, die einzeln kaum eine Länge von 1 mm erreichen, selten darüber gehen.

Nach Grob- und Feinschliff besitzt das Werkstück eine feine, aber noch undurchsichtige Oberfläche. Das entstandene Oberflächengebirge ist so rau, daß es der Interferenzdirektbetrachtung noch nicht zugänglich ist. Das Polieren, das die Oberfläche spiegelndglänzend und durchsichtig macht, ist ein vom Schleifen wesentlich verschiedener Vorgang. Die Oberfläche wird nicht wie beim Schleifen durch Aufrieb kleiner und kleinster Teilchen weiter verfeinert, sondern eine äußerst dünne Zone der Oberfläche gerät ins Fließen. Feinste Unebenheiten können dadurch beseitigt werden. Je nach Struktur der Poliermittel, vor allem aber der Poliermittelträger, werden auch die Flanken und Tiefen der Rillentäler glatt und glänzend oder sie werden von der Politur überhaupt nicht oder nur wenig erfaßt. Auch können bei ungleichmäßiger Körnung des Politurmittels feine Rillen entstehen und in der Politur sichtbar bleiben. In Verbindung mit der Betrachtung bzw. Erschließung der Gestalt der Oberfläche am Ende der Schleifvorgänge lassen sich daher in gewissen Grenzen Rückschlüsse auf den Politurmittelträger ziehen. Wie beim Schleifen muß der Politurmittelträger je nach Gestalt und Zugänglichkeit der zu polierenden Stellen verschiedene Form haben. In der modernen Achatschleiferei sind für Außenflächen dicke lange Holzwalzen im Gebrauch, die wie die Schleifsteine auch Profile tragen können. Als Poliermittel dient Tripel (Infusorienerde)¹⁷.

In diesem Zusammenhang muß betont werden, daß in heutigen Werkstätten, sofern sie mehrere Kräfte beschäftigen, die Politurarbeit meist nicht vom Schleifer, sondern von eigenen Fachkräften besorgt wird. Das hat eine gewisse Bedeutung insofern, als durch den Übergang des Werkstücks in andere Hände gewisse handwerkliche Regeln gelegentlich nicht eingehalten werden. Es ist alter Handwerksbrauch, daß Grobschliff, Feinschliff und Politur alle in derselben Richtung erfolgen sollen. Schon beim Schliff und bei der Politur der Feuersteinbeile läßt sich dieses Verfahren nachweisen. Man mochte aus Erfahrung herausgefunden haben, daß sich dabei schneller eine befriedigende Oberflächengüte erzeugen ließ, als mit wechselnden Arbeitsrichtungen. Der Grund ist leicht ersichtlich. Selbst wenn das durch die grobe Vorbehandlung gebildete Oberflächengebirge nicht völlig abgetragen wurde, so wurden bei der Feinbehandlung durch Feinschliff und Politur doch die Berge und Täler bei gleicher Arbeitsrichtung schneller in ihrem ganzen Verlauf geglättet, als bei wechselnder Arbeitsrichtung, die zuerst nur eine immer feinere Zerteilung mit sich brachte. Lediglich bei Aushöhlungen (Schalen und dergl.) gilt die Regel, die Arbeitsrichtung möglichst zu wechseln.

¹⁷ Zu den Poliermitteln vgl. B. Kleinschmidt a. a. O. 9 f. (Tripel).



7 Tastschnittschiebe antiker Oberflächen.

1 Feiner antiker Sägeschnitt an dichtem vulkanischem Gestein. 2-4 Marsring. 5 Venusring.

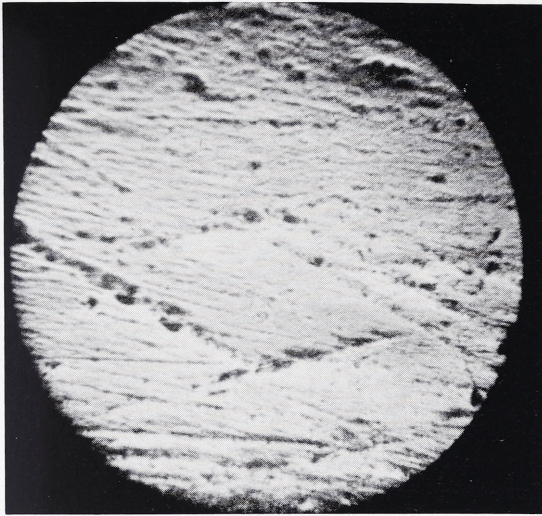
Vergrößerung (horizontal): 10 mm = 100 μ m;

Vergrößerung (vertikal): 1 10 mm = 20 μ m; 2-5 10 mm = 1 μ m.

In Bild 6,4–5 sind in gleichem Maßstab Feinschliff und Politur in Tastschnitten einander gegenübergestellt. Es wird hierdurch sinnfällig, welche Einebnung die Politur mit sich bringt. Es zeigt sich aber auch in der Politur eine ganz feine Rillung, die in unserem Falle $0,05 \mu\text{m}$ nicht übersteigt. Das ist nun freilich eine Oberflächengüte, die beim Schleifen von Bergkristall heute normalerweise nicht durchgängig erreicht und angestrebt wird und auch in polierten Flächen meist nur stellenweise vorkommt. Nun ist, wie das Feinschleifen, auch der Politurvorgang eine Frage der aufgewandten Zeit. Zwischen der Matt- und der Hochglanzpolitur liegt eine kontinuierliche Reihe von Einebnungsvorgängen.

In Bild 7,2–5 sind diesen Beispielen nun Tastschnitte der Oberflächen des Mars- und Venusringes gegenübergestellt. Unmittelbar vergleichbar als Endprodukte sind freilich nur Bild 6,5 und Bild 7,2–5, denn es handelt sich um polierte Oberflächen. Die antiken Oberflächen weisen stärkere Spuren der Vorbearbeitungsgänge auf als die modernen. Der Feinschliff wurde zu früh unterbrochen. Ein recht erheblicher Zeitaufwand wurde gerade damit eingespart, denn der Feinschliff bedingte ein besonders zeitraubendes, sorgfältiges Arbeiten. Galt es doch, die Spuren des groben Vorbearbeitungsganges zu beseitigen, d. h. das ganze Oberflächengebirge bis in die Tiefen der Täler abzutragen, damit diese selbst, wie im gezeigten modernen Beispiel, in den Rauheiten des Feinschleifens mit untergehen. Es könnte der Einwand gemacht werden, daß die Antike keine Prüfverfahren gekannt habe, um solche feine Rauheiten noch zu erfassen. Dies ist nun keineswegs der Fall. Es gibt Steinbeile, die eine Rauhtiefe von weniger als $0,03 \mu\text{m}$ besitzen, und von den meisten Almandinen gilt dasselbe. Allein ein rasches Abtasten einer Oberfläche mit dem Fingernagel läßt Rauheiten bis zu $0,1 \mu\text{m}$ erkennen, allerdings gehört einige Übung dazu, Rauheiten bis zu dieser unteren Grenze zu erfühlen. Es kann m. E. kein Zweifel sein, daß das Abbrechen des Feinschliffs an einem Punkt – als dieser begann, eine für die meisten Verwendungszwecke überflüssige Zeitverschwendung darzustellen – beabsichtigt war. Es kam hinzu, daß die Politur, wenn sie in der gleichen Richtung wie der Schleifvorgang und mit dem entsprechendem Poliermittel erfolgte, auch die Flächen oder sogar die Tiefen der Täler erreichen konnte. Unsere Tastschnitte zeigen eindeutig, wie die stehengebliebenen Rauheiten durch den Poliervorgang noch eingeebnet wurden.

Den Tastschnitten Bild 7,2–5 ist in Bild 7,1 der Tastschnitt eines antiken Sägeschnittes vorangestellt. Da ein nicht überarbeiteter antiker Sägeschnitt an Bergkristall bisher zur Untersuchung nicht zur Verfügung stand, so wurde ein solcher an einem dichten, dunklen vulkanischen Gestein ausgewählt. Sein Oberflächengebirge ist wesentlich zerklüfteter als der Schnitt Bild 7,1 und er hatte sich im gleichen Maßstab wie dieser nicht schreiben lassen. Es ist daher nur eine Verzerrung von 5 : 1 gewählt worden. Es erhebt sich die Frage, ob den Oberflächen der Platte des Neußer Rings – wie bei den modernen Beispielen – nicht auch ein Sägeschnitt vorausgeht. Die entsprechenden rhythmisch wiederkehrenden tiefen Taleinschnitte könnten darauf hinweisen. Hier kann nun freilich, wenn überhaupt, nur die flächenhafte Prüfung weiterhelfen.



8 Venusring, Platte.
Maßstab etwa 110 : 1.

a. Die Ringplatten (außer Gravuren)

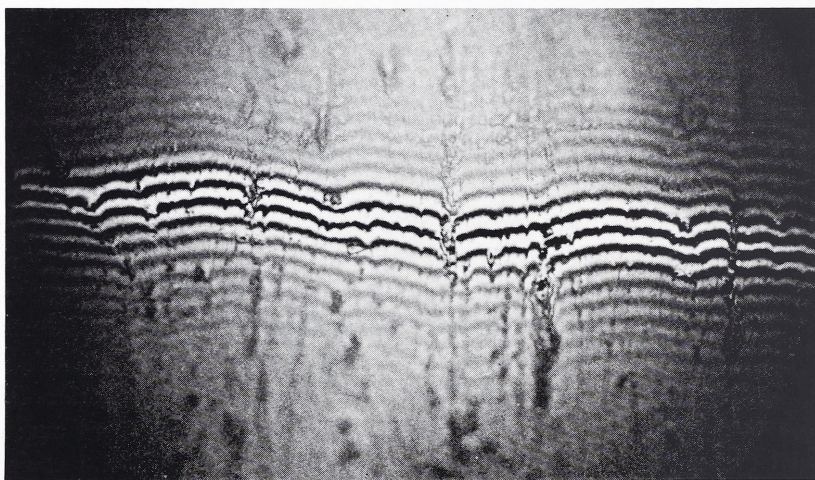
LOMMERSUM-HAUSWEILER

Die gewölbte Platte besitzt eine spiegelnde Hochglanzpolitur, in der mit bloßem Auge keine Vorbearbeitungsspuren sichtbar werden. Unter dem Mikroskop zeigt diese Oberfläche freilich zahlreiche tiefere und flachere Schleiffrillen, von denen die tieferen von der Politur oft nicht erreicht wurden. Eine Durchmusterung der Platte ergibt überall das gleiche Bild: gröbere wie feinere Spuren bündeln sich zu Systemen, die sich in kurzem Wechsel unter verschiedenen Winkeln kreuzen (Bild 8). Die Spuren setzen oft recht breit ein und dünnen rasch aus. Andere sind breit und kurz, wieder andere oft nur muldenförmig ausgebildet. Nun wird man sagen, daß dies bei einer gewölbten Fläche alles ganz selbstverständlich sei, sie muß von verschiedenen Seiten her angeschliffen werden. Auch werden in einer gewölbten Fläche Arbeitsspuren schneller auslaufen als in einer ebenen, ja, die Herstellung einer gewölbten Fläche verlangt, abhängig vom Wölbungsgrad, nur einen kurzstreckigen Angriff seitens des Schleifgeräts. All das ist richtig, doch zeigt gerade der Vergleich der so grundverschiedenen Spuren an den Außenflächen beider Ringe, wie sehr bei gleichen geometrischen Formen der Ausfall der Spuren vom Arbeitsgerät und seiner Handhabung abhängt. Es ist eben für das Aussehen der Spuren nicht gleich, ob ein fester Schleifstein – sei es eine Reibplatte oder ein rotierendes Rad – oder ein elastischer Schleifmittelträger benutzt wird. Außerdem kann das Werkstück während des Angriffs punktförmig aufgesetzt oder leicht gedreht werden. All das wird sich in der Form der Spuren aussprechen und ihre Deutung komplizieren.

Bild 9 zeigt zunächst als vordringlichstes Merkmal die weiten zusammenhängenden Politurflächen, denen die nur stellenweise durch tiefere Rillenreste unterbrochenen, im wesentlichen aber zusammenhängenden Interferenzlinien entsprechen. Wie der allgemeine Verlauf solcher Linien für die Formprüfung ausgewertet werden kann – an der Stelle des Interferenzprofils ist die Platte weder eben noch etwa gleichmäßig gewölbt –, wurde bereits oben dargelegt (S. 243). Die groben Schleifspuren samt ihrer Umgebung



9 Venusring, Platte. Interferenzaufnahme (Weißlicht).
Maßstab 130 : 1.



10 Venusring, Platte. Interferenzaufnahme (Weißlicht).
Maßstab 310 : 1.

sind bereits soweit eingeebnet, daß sie nur noch unzusammenhängend erhalten sind. Das gleiche gilt für die feineren Rillen, die außerdem alle gut auspoliert sind. Einzelheiten lassen sich besser auf Bild 10 studieren, einem vergrößerten Ausschnitt von Bild 12 links oben. Eine gewisse weitgespannte Welligkeit im Verlauf der Interferenzlinien macht sich bemerkbar, die sich zwischen nichtauspolierten Resten ehemaliger grober Rillen ausspannt. Feinere Rillen verursachen gelegentlich Auslenkungen bis zu einem halben Streifenabstand, die meisten liegen beträchtlich darunter. Feinste Auslenkungen im Linienverlauf von rund 0,1 bis 0,05 des Streifenabstandes ($= 0,03\text{--}0,015 \mu\text{m}$) rühren vom Poliervorgang her.

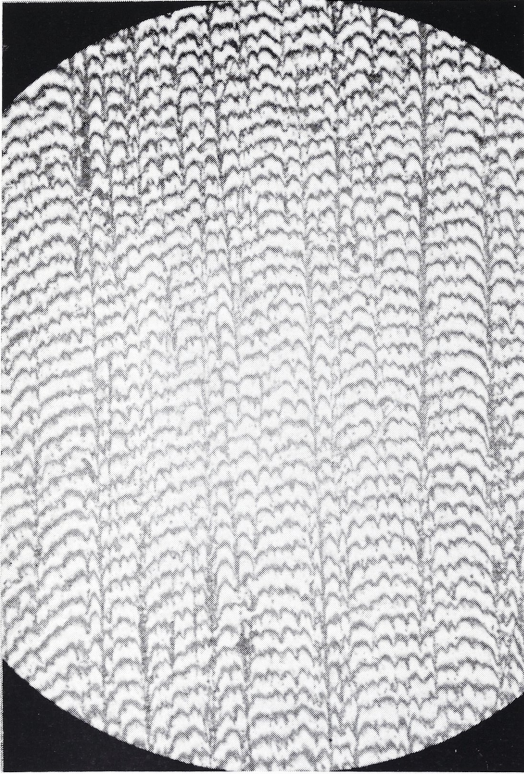


11 Marsring, Platte mit Schleifspuren. Zeichnung nach durchsichtigem Abdruck. Maßstab 3,3 : 1.

NEUSS

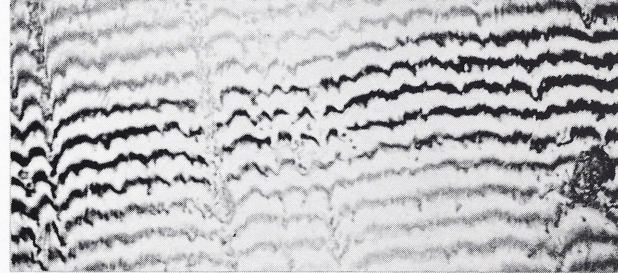
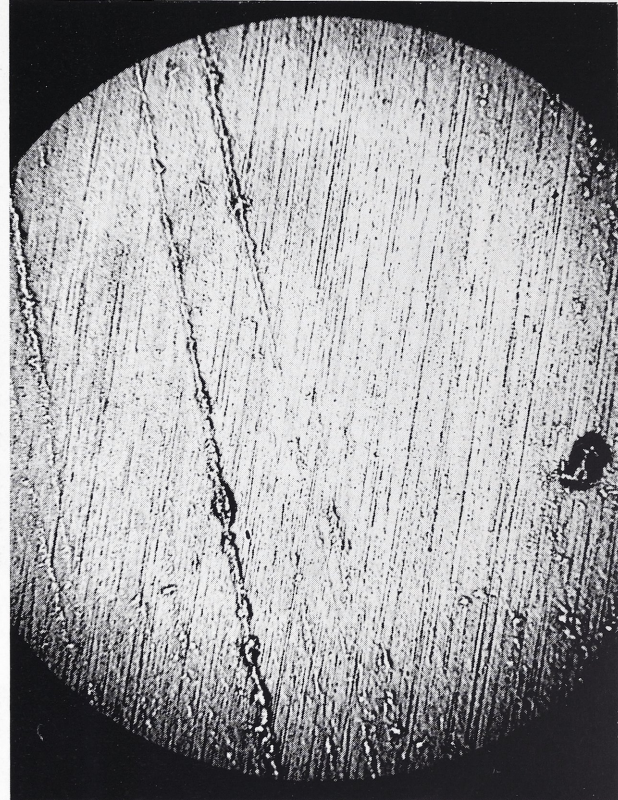
Betrachtet man die Platte im spiegelnden Glanze, so fallen selbst bei unbewaffnetem Auge viele Längsrillen auf. Die Rillen, die auf der Aufnahme Bild 25 deutlich zu sehen sind, laufen im wesentlichen in einer Richtung und können bis 5 mm lang sein. Die Spurensysteme wurden mit Hilfe eines durchsichtigen Abdrucks auf der Projektions-einrichtung des Meßmikroskops gezeichnet (Bild 11). Damit sind freilich nur die größeren Rillen erfaßt. Schon darin offenbart sich ein wesentlicher Unterschied zur Platte des Venusrings, die eine solche Nachzeichnung der Spuren nicht erlaubt hätte. Die Durchmusterung der Platte im Auflicht- und Interferenzstrahlengang zeigt, daß diese einen recht unterschiedlichen Grad der Verebnung des Oberflächenreliefs aufweist.

Die Bilder 12 und 13 mögen die Verhältnisse im einzelnen verdeutlichen. Dazu vergleiche man auch Tastschnitt Bild 7,2. Betrachten wir zunächst die Interferenzaufnahme Bild 12. Auf die Gegenüberstellung dieser Aufnahme mit einer Auflichtaufnahme konnte verzichtet werden. Der gebogene Verlauf der Interferenzstreifen zeigt, daß hier keine völlig ebene Fläche vorliegt. Ob es sich dabei um eine durchgebogene oder gewölbte Fläche handelt, kann aus der Aufnahme nicht entschieden, wohl aber bei der Betrachtung ermittelt werden. In unserem Falle bildet der Mittelteil eine Vertiefung. Oben wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Platte auffällig verwunden ist. Zunächst zeigt die Abbildung eine ganze Reihe von tiefen Rillen, die ganz oder teilweise durch das Gesichtsfeld laufen (A–E) und zwar mit der gleichen Ritzbreite durch das ganze Formprofil der Platte. Die größten Rillen werden durch Interferenz nicht mehr bis in ihre Tiefe erfaßt. Die Interferenzstreifen brechen an den Grabenböschungen ab. Das hat seinen Grund darin, daß die Rauftiefe zu groß (die Tiefe dieser groben Rillen kann auf Grund der Tastschnitte bis zu $1,2 \mu\text{m}$ erreichen) und daher der Interferenzbetrachtung unzugänglich wird. In der weitaus größeren Zahl der Fälle liegt es aber daran, daß die tieferen Flankenteile und die Talsohlen dieser Rillen nicht von der Politur erfaßt wurden und rauh geblieben sind und daher keine ausreichende Reflexion be-



A B C D E

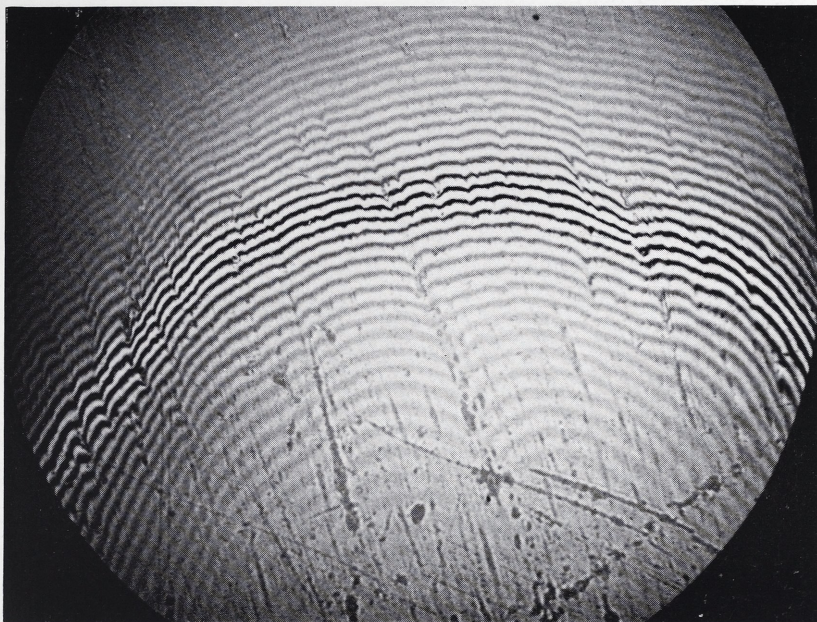
12 Marsring, Platte.
Interferenzaufnahme (Thalliumlicht).
Maßstab 45 : 1.



A B C

13 Marsring, Platte in Auflicht (oben)
und Interferenzbetrachtung (Weißlicht: unten).
Maßstab 45 : 1.

sitzen. Zwischen diese tiefen Rillen ziehen Bergrücken wechselnder Breite hin, die ihrerseits wieder die Spuren eines feineren Schliffs zeigen, der in gleicher Richtung läuft und diese Bergrücken weitgehend abgetragen, verrundet und in kleinere Bergrippen aufgespalten hat. Der Grundcharakter einer ausgeprägten strenggerichteten Welligkeit, die in auffälligem Gegensatz zu der des Venusringes steht, wird in dieser Aufnahme, die typisch für den größten Teil der Oberfläche ist, besonders deutlich. Die Oberfläche wurde noch überpoliert, wobei die gerundeten Buckel wie die Flanken und Sohlen des zweiten Schleifvorganges zwar nicht ganz, aber doch auf weite Strecken, mit erfaßt sind. Eine Trennung zwischen dem groben Vorbearbeitungsang und dem Feinschliff läßt sich besser durchführen, wenn beide Systeme sich unter einem Winkel schneiden, was freilich am Neußer Ring nur an wenigen Stellen vorkommt. Bild 13 gibt eine der besten Oberflächen der Ringplatte wieder. A, B, C sind Spuren des groben Vorbearbeitungs-



14 Venusring, Oberfläche seitlich der Platte. Interferenzaufnahme (Weißlicht).
Maßstab 130 : 1.

ganges. Sie werden von den Interferenzstreifen trotz der guten Verebnung teilweise nicht aufgelöst. Im Winkel von etwa 20° zu diesem System liegen die Spuren des Feinschliffs, die genau wie diese parallel ausgerichtet, teilweise über das ganze Gesichtsfeld zu verfolgen sind. Zwischen ihnen liegen weite Bereiche einer im Auflicht spurenlosen Politurfläche. Im Interferenzbild heben sich die Reste der Feinschliffriellen als Auslenkungen von 0,25 bis fast 0,5 des Streifenabstandes gut ab.

b. Die Außenflächen (außer Platten)

Auffällig ist bei den beiden Ringen die hohe Qualität der Politur. Fast an allen Stellen sind über das ganze Gesichtsfeld reichende zusammenhängende Interferenzen – zumindest bei Verwendung von Weißlicht – zu erreichen. Viele moderne Kratzer stören leider die Beobachtung immer wieder. Sie sind als solche sofort zu erkennen, da sie im Gegensatz zu den alten Bearbeitungsspuren in den Aufbau der Oberfläche nicht eingreifen. Tiefe originale Bearbeitungsspuren machen sich ohne weiteres dadurch bemerkbar, daß sie eine Ablenkung der Interferenzen schon in ihrer Nachbarschaft bewirken, was bei späteren Verletzungen nicht der Fall ist.

LOMMERSUM-HAUSWEILER

Wie bei der Platte so fallen auch am Reif schwere schlagartig einsetzende und rasch ausdünnende Rillen auf. Bild 14 – ein Ausschnitt am Ringkörper direkt seitlich der Platte – bringt sehr deutlich diese Spuren. Die Interferenzlinien haben, durch die Vorbereitung bedingt, einen grob-welligen Verlauf, besonders an den Seiten des Bildfeldes, doch werden die Interferenzlinien nirgends unterbrochen. Im Untergrund werden neben den Resten grober Rillen auch solche von feineren Schleifspuren sichtbar, die sich in Streifenauslenkungen von 0,2–0,3 des Streifenabstandes aussprechen.



15 Venusring, Stelle ähnlich Bild 14. Interferenzaufnahme (Weißlicht).
Maßstab 310 : 1.

Bild 15 ist ein Ausschnitt aus dem linken unteren Bereich von Bild 14 in mehr als doppelter Vergrößerung. Die Interferenzstreifen wurden möglichst breit auseinandergezogen (Übergang zum geraden Schnitt!). Jetzt zeigen die Streifen Hunderte von feinsten Zacken, bzw. neben diesen dünne weiße Linien, die in die Streifen hineinlaufen. Es sind die feinen Spuren des Poliervorganges, die auf diese Weise sichtbar werden.

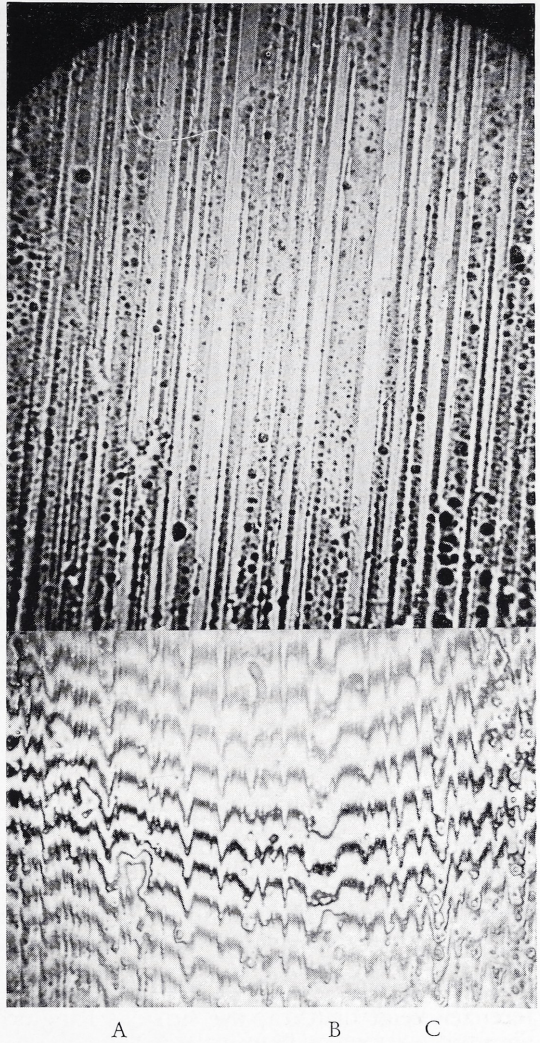
NEUSS

Bild 14 sei eine Aufnahme der entsprechenden Stelle des Neußer-Ringes gegenübergestellt (Bild 16). Sie entspricht in großen Zügen Tastschnitt Bild 7,3. Im Auflicht deuten sich einzelne gleichbleibend breite, ebene, auspolierte Streifen an, zwischen denen sich noch nicht oder nur stellenweise, bzw. unvollkommen auspolierte Rillen hinziehen. Wieder handelt es sich um ein völlig paralleles Rillensystem, und die Verwandtschaft dieser Oberfläche mit der der Platte fällt in die Augen. Die Durchbiegung der Interferenzstreifen zeigt, daß die Fläche nicht völlig eben ist, und zwar handelt es sich, entsprechend der Lage der Prüfstelle am Ringkörper, um eine leichte Wölbung. Auffällig, aber für unsere Frage bedeutungslos, sind die vielen größeren und kleineren, durch die Bearbeitung angeschnittenen Luftbläschen im Gestein, die den Austritt einer Fahne an dieser Stelle anzeigen. Durch ihr massenhaftes Auftreten verunklaren sie leider den Verlauf der Interferenzlinien etwas. Reste tieferer Gräben machen sich bei A, B, C bemerkbar, besonders deutlich bei B ein Graben mit breiter Sohle. Die breiten Zwischenstreifen sind von tieferen und flacheren Spuren durchzogen, die Ergebnisse eines möglicherweise in zwei Arbeitsgängen ausgeführten Feinschliffs sind. Kleine zittrige Auslenkungen auf den flachen Oberflächenstreifen rühren von feinen Politurrillen her. Die besprochenen, über das ganze Gesichtsfeld laufenden parallelen Schleifspuren sind an den Flanken des Ringkörpers nahe der Platte noch verständlich, wo die Wölbung keine allzu großen Ausmaße annimmt. Sie treten jedoch auch an Stellen stärkster Rundung des Ringreifens auf, z. B. an der dünnsten Stelle des Reifes gegenüber der Platte (Bild 17). Der

stark gebogene Verlauf der Interferenzen zeigt die Biegung des Ringes an dieser Stelle. Die Spuren A–H laufen fast alle durch das ganze Gesichtsfeld, meist mit gleichbleibender Breite. H ist höchstwahrscheinlich modern. Bei den anderen handelt es sich um alte Spuren, die im Zusammenhang mit der Oberflächenstruktur stehen.

Die Interferenzlinien zeigen wieder die Täler zwischen den Gebirgsrücken. Die Auslenkungen betragen gelegentlich noch über eine Streifenbreite. Eine so strenge Parallelität des Verlaufs wie auf der Platte finden wir hier freilich nicht. Aufgrund eines Abdruckes wurde in einem Ausschnitt ein Teil der Reifflanke mit seinen Spuren im Meßmikroskop gezeichnet. Es treten dabei – wohlge-merkt über eine gekrümmte Fläche hinweg – Spuren von über 3 mm Länge auf (Bild 18).

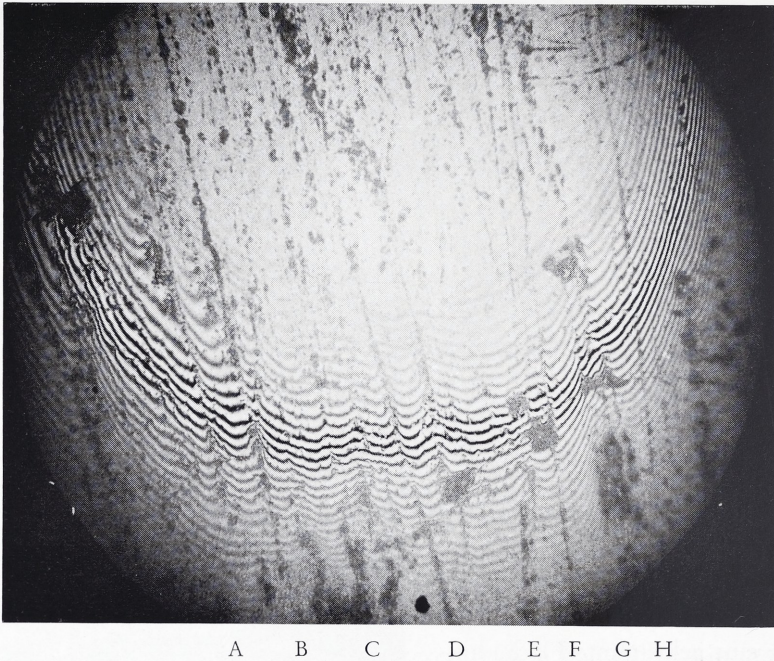
Besitzen die bisher besprochenen Oberflächen am Neußer Ring durch die vielen Spuren der Vorbearbeitung noch keineswegs eine einwandfreie Oberfläche im Sinne einer immer größeren Glättung, so kommen durchaus Stellen vor, die als vollendet bezeichnet werden müssen (Bild 19). Ihr entsprechen Teile des Tastschnittes Bild 7,4. Mit Ausnahme einiger moderner Kratzer (links und in der Mitte) und unvermeidlicher Poren im Gestein ist diese Oberfläche – vor allem im mittleren und unteren Teil – in ihrer Glättung nahezu vollkommen. Lediglich am rechten unteren wie oberen Bildrand erscheinen nicht auspolierte Stellen von Vorbearbeitungsgängen. Solchen Oberflächen ist kein Anhaltspunkt zu ihrer Genese mehr zu entnehmen.



16 Marsring. Oberfläche seitlich der Platte in Auflicht- (oben) und Interferenzbetrachtung (Weißlicht: unten). – Maßstab 310 : 1.

c. Ringloch

Oben (S. 246 f.) wurde bereits die Gestalt dieser nach dem Bohren erweiterten Öffnungen beschrieben. Da es sich um Innenflächen handelt, waren sie einer Interferenz-Direktbetrachtung nicht zugänglich. Es mußten Abdrücke gemacht werden und zwar wurden durchsichtige Folienabdrücke und formfeste Abgüsse mit Hilfe einer Gießmasse hergestellt und ausgewertet.



17 Marsring, Ringreif. Interferenzaufnahme (Weißlicht). – Maßstab 130 : 1.

LOMMERSUM-HAUSWEILER

Bild 20 zeigt einen Ausschnitt an der schmalsten Stelle des Loches. Es ist so orientiert, daß die Waagerechte der Lochachse entspricht. Zur Deutung der Interferenzstreifen sei auf das oben (S. 242) über den 'geraden Schnitt' Gesagte verwiesen, die Interferenzlinien bilden Höhenschichtlinien. So ist es auch zu erklären, daß im Gegensatz zu den Bildern im 'schrägen Schnitt' Täler und Berge in der unteren Hälfte des Bildes wie üblich, in der oberen jedoch in umgekehrter Richtung verlaufen. Die Gesamtfigur der Interferenzen zeigt deutlich, wie sich das Ringloch beidseitig nach außen erweitert und nur im Innern, in ganz kleinem Bereich, noch ungefähr zylindrische Form hat, die freilich durch Welligkeiten und Rauheiten gestört wird. Nur hier in diesem Bereich könnten sich Reste der umlaufenden Bohrrillen (bzw. -wellen) erhalten haben. Manches könnte in dem Interferenzbefund, dem in Bild 21 nochmals eine Aufnahme eines immergierten Abdrucks der gleichen Zone – wenn auch etwas anderer Stelle – gegenübergestellt sei (Linienmaßstab $0,5 \mu\text{m}$), dafür sprechen, vor allem die erst bei Untersuchung eines ganzen Profils deutlich werdende stärkere Welligkeit in der Mittelzone. Doch ist es sowieso klar, daß das ursprüngliche Ringloch durch Bohrung hergestellt wurde. Im 2. Teil dieser Arbeit werden Bohrungen samt ihrer Spuren vorgeführt, so daß noch rückblendend einiges zu den hier auftretenden Spuren zu sagen ist. Wichtiger ist eine andere Erscheinung, die auf unseren Bildern ausschnittsweise deutlich wird und bei Durchmusterung einer größeren Zahl von Abdrücken überall auftritt: sämtliche Arbeitsspuren laufen in sich parallel und senkrecht zur Lochachse. Lediglich am Rand treten stellenweise sich kreuzende Spuren auf. Im übrigen bedürfen die Interferogramme kaum einer weiteren Deutung. Die Welligkeit, hauptsächlich in der Mittelzone, wird von einer leichten Rauheit als Ergebnis eines feineren Schliffvorganges überlagert. Nur ganz tiefe Rillen



18 Marsring. Oberflächenausschnitt am Ringreif mit Schleifspuren. Zeichn. nach durchsichtigem Abdruck. – Maßstab 10 : 1.

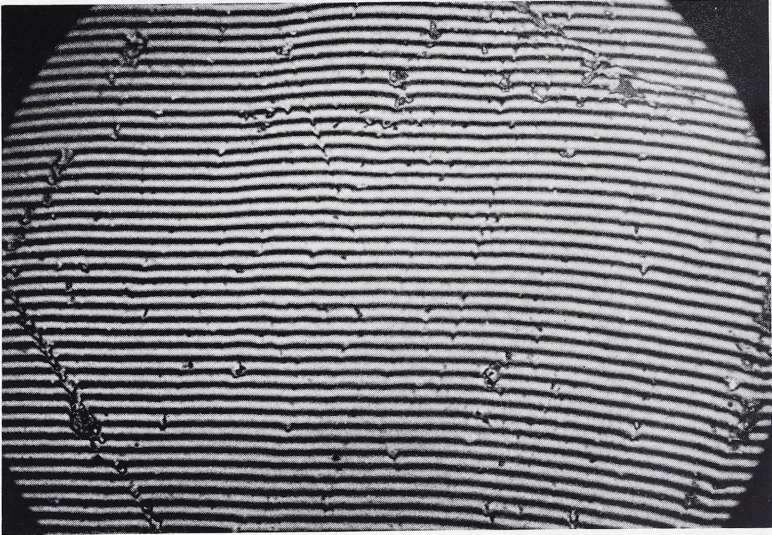
(Wellentäler) sind vom Poliervorgang nicht erfaßt. Im Ringloch selbst hat die Politur im allgemeinen auch die tieferen Täler mit erreicht, sie ist hier stellenweise sogar besser als auf der Oberfläche.

NEUSS

Ein wesentlich anderes Bild bietet die Lochfläche des Neußer Ringes. Wieder sind die Bilder so orientiert, daß die Lochachse in Richtung der Waagerechten läuft. Eine dem Bild 20 auch nur annähernd vergleichbar deutliche Einstellung der Mittelzone ließ sich hier trotz stundenlangen Suchens nirgends auffinden. Bild 22 ist das besterreichbare geblieben. Als Formvergleich zeigt es in Gegenüberstellung zu Bild 20, daß hier die Innenfläche als Form die Güte des Ringes von Lommersum-Hausweiler keineswegs erreicht. Zur Erklärung des Verlaufs der Interferenzstreifen ist Bild 23 zu vergleichen. Es zeigt an der Innenfläche des Ringloches gradstrichige, langgezogene Spuren, die sich unter einem Winkel von 45° schneiden. Dabei handelt es sich wieder um zwei Spurensysteme, ein gröberes und ein feineres, die sich in gleicher Richtung überlagern. Weiter nach dem Rande zu laufen viele Spuren mehr in Richtung der Lochachse. An der engsten Stelle treffen sich all diese Spuren in dichtester Bündelung. Hier ist denn auch die Oberflächengüte am schlechtesten, so daß kaum zusammenhängende Interferenzen entstehen können. Die (bis $1 \mu\text{m}$ tiefen) Rillentäler des ersten groben Ausschleifens sind nur unvollkommen durch den Feinschliff entfernt worden, so daß sich wellenartige breite Buckel zwischen ihnen ausspannen. Trotzdem wurde ein recht hoher Politurgrad erreicht, da viele dieser Rillen besonders in den äußeren Partien des Ringloches fast völlig auspoliert sind.

d. Die Gravuren (Bild 24 und 25)

Mit der Politur war die Arbeit in der Schleiferei beendet. Der Ring ging nun zum Graveur. Diese aus allgemeinen Erwägungen erschlossene Arbeitsteilung läßt sich bei den beiden Ringen auch eindeutig nachweisen. Die Gravur ist in die polierte Ringfläche eingeschnitten. Die Politur geht bis zum Rand der Gravuren. Wäre die Ringplatte



19 Marsring. Oberfläche seitlich der Platte. Interferenzaufnahme (Thalliumlicht). – Maßstab 310 : 1.

später poliert worden, so würden auch die Ränder der Gravur eine leichte Anpolierung zeigen. Diese fehlt aber vollständig; im Gegenteil, die Politur zeigt Beschädigungen durch die Gravurarbeiten.

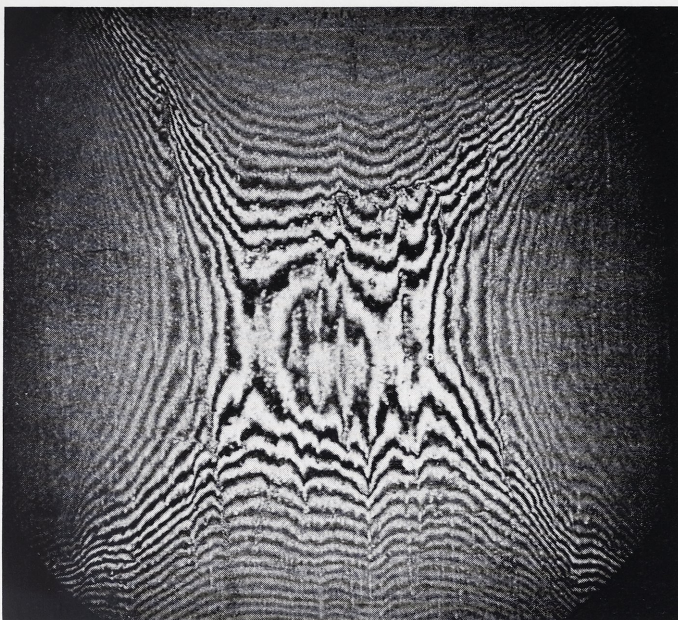
Auch die Gravur kennt drei Arbeitsgänge: Grobgravur, Feingravur, Politur. Die Aufteilung der Gravurspuren auf unsere Gestaltabweichungen, die ja aus Arbeitsverfahren der modernen Metallindustrie heraus definiert sind, ist schwierig. Sie gleichen oft Sägespuren und zeigen welligen, in feinerer Ausführung rilligen Charakter. Das nimmt nicht wunder, denn das Gravieren ist letztlich einem Sägen mit kleinen Kreissägen vergleichbar. Als Gerät kommt für die römische Zeit zweifelsfrei die sogenannte Gravierbank in Frage, die sich im Laufe der Zeiten nicht in ihrem Wesen, wohl aber im Bedienungscomfort geändert hat. Sie kann deswegen vorwegnehmend schon hier besprochen werden. Sie besteht aus einem tischartigen Gestell mit auf zwei Ständern waagrecht gelagerter Welle auf der Tischplatte. Ihre Entwicklung ist mit der Drehbank aufs engste verbunden¹⁸. Ob die Antike über reine Fiedelbogenbänke hinaus zu Wippenbänken mit Fußantrieb oder sogar zu solchen mit Schwungrad, Kniewelle, Tretraste und Riemenübertragung jemals gelangt ist, bleibt eine offene Frage. Im Sinne einer Wippenbank möchte ich die schematische Darstellung eines Graviergerätes auf einem kaiserzeitlichen Grabstein des Gemmenschneiders Kantoleon von Philadelphia bei Smyrna deuten¹⁹. Die Fußraste des Tretantriebes ist m. E. deutlich dargestellt. Einwandfrei ist, daß die waagrecht gelagerte Welle mit dem deutlich wiedergegebenen Gravierrädchen in einem zweisäuligen Gestell ruht.

Die Gravierbank bot gegenüber primitiveren Vorstufen, die hier nicht interessieren²⁰,

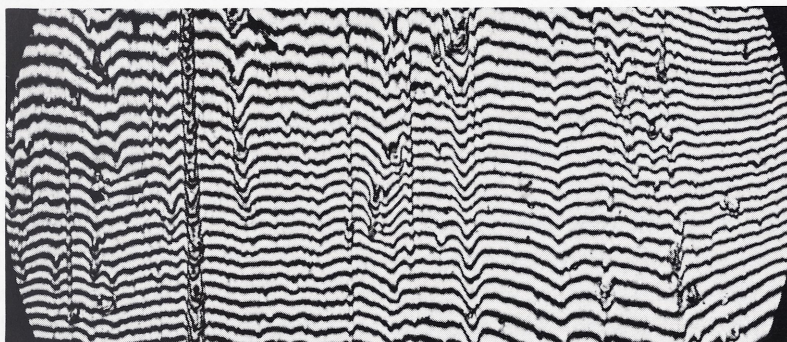
¹⁸ K. Wittmann, Die Entwicklung der Drehbank bis zum Jahre 1939 (1960). – R. S. Woodbury, The History of the Lath (Cleveland-Ohio 1961).

¹⁹ Dazu u. a. R. S. Woodbury a. a. O. 33. – A. Furtwängler, Die antiken Gemmen, Bd. III (Leipzig und Berlin 1900) 399 Abb. 206.

²⁰ Dazu u. a. Furtwängler a. a. O. 399 ff. – V. E. G. Kenna, Cretan Seals (Oxford 1960) 70 ff. – G. M. A. Richter, Catalogue of Engraved Stones, Metropolitan Museum of Art – New York (Rom 1956). – J. H. Middleton, The Lewis Collection of Gems and Rings . . . (1892) 30 ff.

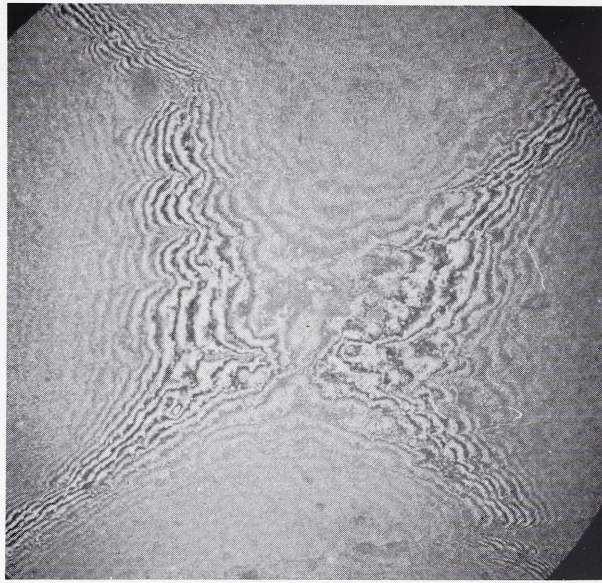


20 Venusring, Ringloch. Interferenzaufnahme (Weißlicht) nach Abdruck. – Maßstab 130 : 1.



21 Venusring, Ringloch. Interferenzaufnahme eines immigrierten Abdrucks. (Linienmaßstab 0,5 μm). – Maßstab 130 : 1.

den Vorteil, daß das Werkstück mit der Hand gegen das Gravierrad geführt werden konnte, darüber hinaus noch den Vorzug des stoß- und schlagfreien Laufes der Rädchen. Die Rädchen waren, wie auch die modernen, sicherlich an Dornen befestigt, die in die Tülle der Welle gesteckt wurden. Durch ein Bleifutter zwischen Tülle und Dorn konnte, wegen der Nachgiebigkeit des Materials, durch leichte Schläge auf die aufgesteckte Achse jeder Winkelfehler im Lauf der beiden Achsen ausgeglichen werden. Bekanntlich reagiert der Tastsinn besonders bei rhythmischen Stößen außerordentlich empfindlich. Abweichungen von etwa 0,02 mm von der idealen Rundung sind auf diese Weise beim Rundlauf eines Rädchens noch zu spüren. Der Ausgleich erfolgt durch Abdrehen, indem man ein Messer oder einen Schleifstein gegen das Rädchen hält. Die aus der Glasgravur stammende Bezeichnung 'Rädchen' scheint sich auch in der Edelsteingravur, wo früher für die Rädchen die Bezeichnung 'Perl' für kugelige, 'Zeiger'

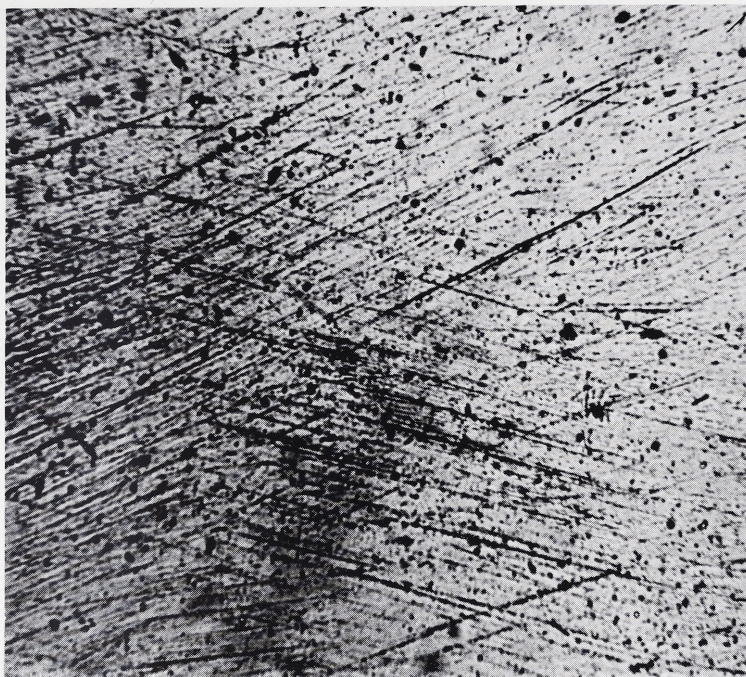


22 Marsring, Ringloch. Interferenzzufnahme (Weißlicht) nach Abdruck. – Maßstab 125 : 1.

für scheibenförmige und konische Rädchen üblich war, immer mehr durchzusetzen. Wir bleiben deswegen bei dieser Bezeichnung, die auch die nahe Verwandtschaft zur Glasgravur betont. Wie dort waren auch früher in der Edelsteingravur durchweg Rädchen aus Kupfer üblich. Heute sind Stahlrädchen an ihre Stelle getreten. Ein Edelsteingraveur besitzt etwa 100 bis 120 verschiedene Rädchen (einschließlich der Polier­rädchen): kugelige (Kugelrad oder Rundperl), scheibenförmige mit keilförmiger Laufbahn (Schneidrad oder Schneidzeiger), ebensolche mit flacher (Flachrad, Flachperl oder Flachzeiger) oder leicht verrundeter Laufbahn (Bolzenrad) und konische Spitzen (Spitzzeiger), evtl. in Form einer kleinen Hülse zum Ausbohren runder Kreisgravuren. Farbrädchen (Rädchen mit geriffelter Laufbahn), wie sie heute zum Schneiden der Wappenfarben benutzt werden, kannte die Antike wohl nicht. Die für die Gravur auf unseren Ringen benutzten Rädchen werden uns nach Form und Größe noch besonders interessieren, soweit sie aus der Analyse der Spuren greifbar werden. Zum Polieren der Gravur konnten Blei-, Hartholz-, Weichholz- oder Korkrädchen dienen, in ähnlichen Größen und Formen wie die Gravierrädchen.

Bei diesen rein technischen Betrachtungen spielen Fragen der künstlerischen Qualität eine untergeordnete Rolle. Die Venusfigur des Ringes von Lommersum-Hausweiler ist dürftig, der Mars des Neußer Ringes dagegen ein recht anständiges kunsthandwerkliches Erzeugnis. Das spricht sich, wie wenigstens an einigen Beispielen gezeigt werden soll, auch in der Handhabung der Werkzeuge eindeutig aus. Insoweit interessiert die Qualitätsfrage auch in unserem Zusammenhang.

Zum Ausgravieren einer Figur braucht wohl jeder Graveur ein Vorbild am Arbeitsplatz in Gestalt einer Zeichnung, eines kleinen Reliefs oder – besser noch – dessen Negativs. Nur ein bedeutender Künstler mit einer reichen und sicheren plastischen Vorstellungskraft konnte eines solchen Vorbildes entraten. Auch eine Vorzeichnung der Umrisse der Figur auf dem Stein ist in den meisten Fällen vorauszusetzen, da sie vor groben Fehlern



23 Marsring, Ringloch. Schleifspuren, Aufnahme nach Abdruck. Maßstab etwa 50 : 1.

beim Gravieren schützte. Solche Vorzeichnungen konnten auf verschiedene Weisen ausgeführt sein, am sichersten – weil unverlierbar beim Arbeiten mit Ölschmirgel, wiederholtem Abspülen beim Wechsel der Schmirgelkörnung, Abreiben usw. – war eine dünne Vorzeichnung mit einem härteren Stein wie Topas, Korund, Diamant oder auch dem Gravierrädchen. Diamantvorzeichnungen für Gemmen hat Furtwängler²¹ nachgewiesen. Die Marsfigur des Ringes von Neuß weist keine Spur solcher Vorzeichnung auf, dagegen sind feine Linien, die nur als Vorzeichnungen zu deuten sind, am Venusring zu finden und zwar neben der Säule (Bild 24). Offenbar sollte die Säule, die ja einen Baumstamm darstellt, in der ursprünglichen Planung geschwungener verlaufen als in der endgültigen Ausführung. Bild 26 a–c zeigt Detailaufnahmen dieser Vorzeichnung, dabei bildet b die Fortsetzung von a, c die von b. Trotz ihrer Feinheit waren sie in ihrem Linienzug mit dem Auge gut zu erkennen. Es kann sich nur um ein erstes tastendes Festhalten einer später kräftiger ausziehenden Linie handeln, eine flüchtige erste Skizzierung also. Dafür spricht auch, daß die Linie sich nach unten zu in zwei Zügen aufspaltet, wobei die äußere Linie auf eine längere Strecke sogar aus einem Doppelstrich (auf eine kurze Entfernung sogar aus drei Strichen), einem kräftigen und einem feineren besteht. Die Ränder sind nur geringfügig ausgebrochen. Es handelt sich um typische Ritzspuren, wie man sie mit einem Ritzdiamanten leicht selbst auf einem Bergkristall herstellen kann, wenn man den Diamanten nicht steil hält, sondern die Linie mit schräggestelltem Diamanten zwanglos ohne großen Druck – wie beim Zeichnen – auszieht. Neben diesem Ritzstrich treten auf Bild 26 drei kräftige, unregelmäßige kurze Striche

²¹ A. a. O. 400 f. und Abb. 207–210.



24 Venusring, Gravur. – Maßstab etwa 7 : 1.



25 Marsring, Gravur. – Maßstab etwa 8 : 1.

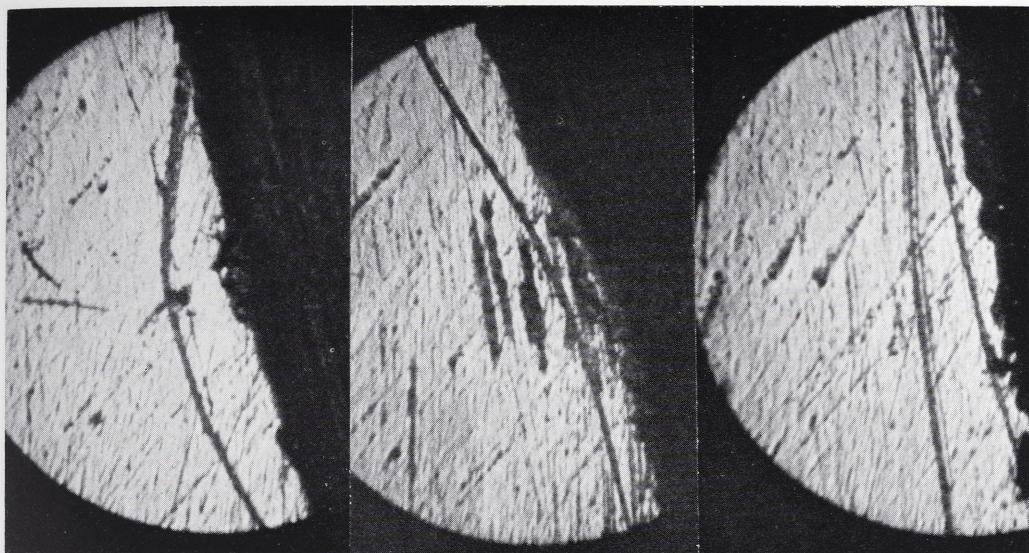
auf, die zweifellos vom kurzen Einsetzen eines Gravierrädchens herrühren. Etwas Ähnlichem begegnen wir an den Lippengravierungen gleich zweimal (Bild 27), wo das Rädchen eine kurze Strecke vor der eigentlichen Gravur leicht aufgesetzt wurde. Hier sind dünne Striche erzeugt, die an unsere Vorzeichnungen denken lassen. Daß es tatsächlich Rädchen mit so dünn ausgezogenen Keilschneiden gab, zeigt Bild 28. Es handelt sich dabei um einen dünnen stehengebliebenen Steg zwischen Hand und Helm der Venusfigur. Auf der rechten Seite des Steges sieht man gleich zweimal den spitzen Einschnitt eines solchen Rädchens. So könnte man denken, daß auch die Vorzeichnung Bild 26 mit dem Rädchen gemacht sei. Eine eingehende Untersuchung unter dem Stereomikroskop ließ jedoch nichts vom rilligen Charakter solcher Rädchenschnitte erkennen. Alles weist auf eine Ritzung, vermutlich mit dem Diamanten.

Der Gravurvorgang ist im Gegensatz zu den Arbeitsvorgängen an den anderen Ringteilen bei beiden Ringen im wesentlichen der gleiche, so daß mit einer Darstellung der Verhältnisse am Marsring und gelegentliche Verweise auf den Venusring alles Wichtige zu erfassen ist.

Nach dem Festlegen der Figur – auch beim Neußer Ring möchte ich an eine Vorzeichnung denken – wurde zunächst das Negativ der hauptsächlichsten Aushöhlungen mit einem Kugelrad und grobkörnigem Schmirgel niedergebracht. Die Spuren dieses groben 'Reißens' sind an vielen Stellen stehengeblieben und zwar mit vollster Absicht, da sie ein stumpfes Matt ergeben, auf dem sich weitere feinere Gravuren gut abheben. Die Oberfläche dieser Gravuren kann so körnig und rauh sein, daß sie keine Spur der Laufrichtung des Rädchens zeigt. In anderen Fällen treten grobe Wellen auf. Es hängt dies von der Körnung des verwandten Schmirgels, der Schnittgeschwindigkeit und der zielbewußten Führung des Werkzeugs ab. Reste dieses groben Niederbringens finden sich am Kopf zwischen den Haarsträhnen, hinter Augen und Nase (vgl. Bild 29), am Hinterkopf, am Hals, an der halsnahen Partie der Brust, an Unterleib und Unterarm, an Ober- und Unterschenkel, den Füßen, der Standlinie und dem Schild (mit Ausnahme des Schildbuckels). Flächenhaft grob gerissen ist auch der Mantel mit Ausnahme der Säume. Die Arbeitsrichtungen – soweit erkennbar – sind recht unterschiedlich. So ist ein Bein in Längsrichtung ausgraviert, das andere schräg dazu. Die polierte Ringplatte ist von diesem Grobschliff an den Rändern oft in Mitleidenschaft gezogen und ausgefranst. Lichtschnitte dieses Grobschliffs mit seinen unruhigen Bodenprofilen zeigt Bild 30 k und l von Schild und Standfläche. Auch die stark vergrößerten Abdrücke Bild 29 a und c lassen diesen Grobschliff um Nase und Augen bzw. am Mantel gut erkennen.

Nach dieser Grobgravur (Grobriß) lag die Gestalt der Figur in ihren Tiefen und im wesentlichen Umriss fest. Es galt nun, sie weiter auszumodellieren, was mit Hilfe von Rädchen verschiedener Größe und feinerer Schmirgelkörnung geschah. Diese Rädchenarbeit ist in der Übersichtsaufnahme Bild 25 und ganz besonders gut in den Abdrücken Bild 29 a–c zu studieren. Dazu sind noch die Lichtschnittprofile Bild 30 zu vergleichen.

Zunächst einmal wurde mit einem Kugelrädchen weiter gearbeitet. Typische Stellen sind die Wangen, der Bizeps des linken Armes, beide Hände, Teile der Brust und der Lendengegend, die rechte Ferse und schließlich Helm und Schildbuckel. Die Feingravur hebt sich durch ihre gleichmäßigere Oberfläche (vgl. dazu Lichtschnitt Bild 30 i durch die linke Hand) und helleres Weiß plastisch vom groben Untergrund ab, setzt gleichsam Lichter auf oder betont wichtige Details auch außerhalb der menschlichen Figur. Der folgende



26 Venusing. Reste der Vorzeichnung links der Säule. – Maßstab 50 : 1.



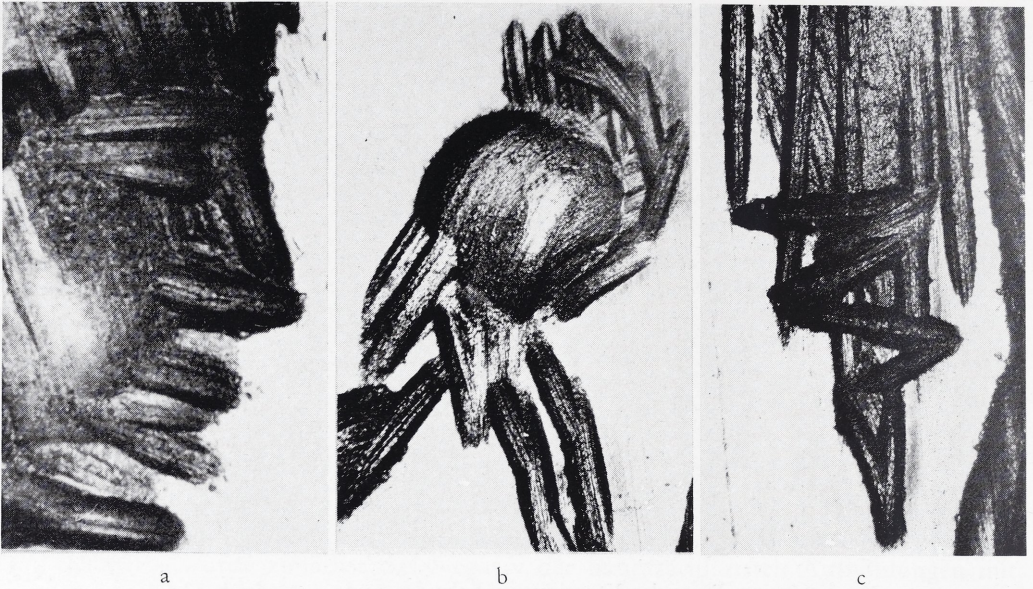
27 Venusing. Mundpartie. Maßstab 65 : 1.



28 Venusing. Steg zwischen Hand und Helm. Maßstab 65 : 1.

Arbeitsgang, die Gravur mit Schneid- und Bolzenrädchen erstreckt sich bereits nicht mehr auf die ganze Figur, sondern beschränkt sich auf den Kopf, die Mantelsäume, die Helmzier mit den Fingern der haltenden Hand und die Lanze.

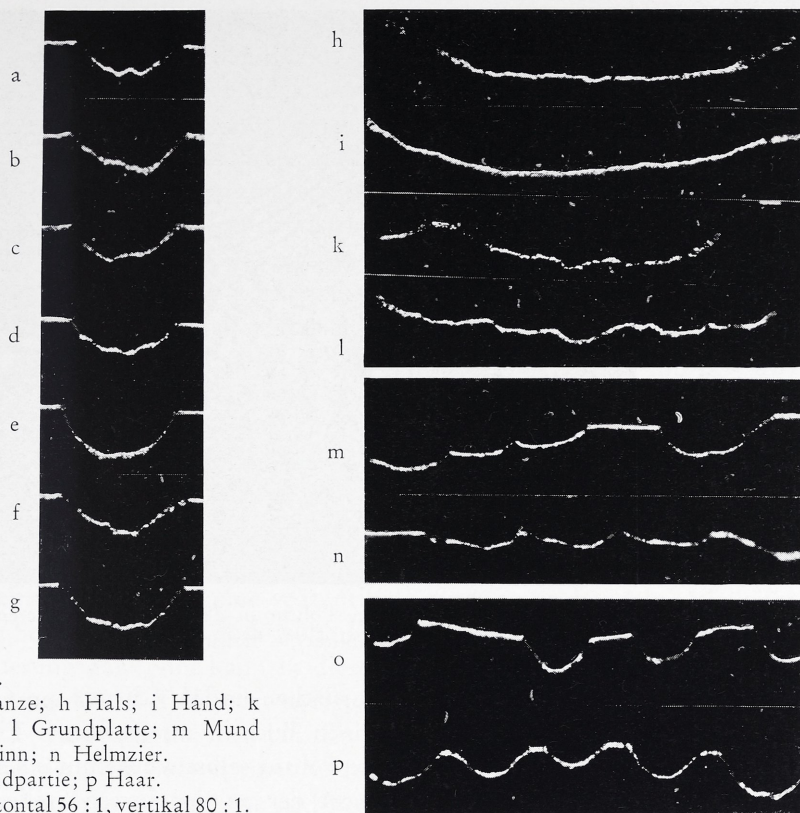
Bei den bisherigen Arbeitsgängen war das Gesicht, aber auch die Haarpartie, als rohe formlose Masse stehengeblieben. Jetzt galt es, das Gesichtspröfil, die Augen und die Haare einzuschneiden. Im Umgang mit Schneid- und Bolzenrad zeigt sich erst die ganze Kunst des Graveurs. Man braucht in diesem Zusammenhang nur die Mund- und Kinnpartien der Figuren des Marsringes (Bild 30 m) und des Venusinges (Bild 30 o) zu vergleichen, um zu sehen wie gefühlvoll oder wie roh eine solche Arbeit ausgeführt werden



29 Marsring. a Gesicht, b Helm, c Mantel. Aufnahmen nach durchsichtigem Abdruck.
Maßstäbe: a etwa 30 : 1, b und c etwa 20 : 1.

konnte. Hier kam es auf Strichstellung, -länge, -tiefe und -staffelung entscheidend an; auf der einen Seite ein sauberes Ineinander und geschickte Staffelung der Spuren, auf der anderen ein geistloses Nebeneinander.

Betrachtet man nun die einzelnen Rädchenspuren und -züge, so fällt auf, daß sie oft recht spitz auslaufen. Oben wurde bereits darauf hingewiesen, daß beim Venusring feinste Einschnitte bereits vor der Gravur beginnen, bzw. sich an deren Auslauf bemerkbar machen. Nun besitzt ein Graveur heute – und nach den Spuren zu urteilen muß für den antiken Graveur das gleiche angenommen werden – eine Anzahl von Rädchen mit verschiedensten Breiten und Durchmesser, die je nach Erfordernissen angewendet werden. Je mehr er sich allerdings auf eine bestimmte Arbeit spezialisiert, desto bescheidener kann das Werkzeuginventar werden. Bei Gravierstrichen, bei denen eine Korrektur von vornherein kaum nötig erscheint, wird mit einem Rädchen der nötigen Breite gearbeitet, in anderen Fällen wird der Graveur einen solchen Strich erst in halber oder noch geringerer Breite ziehen und ihn durch einen oder mehrere daneben gesetzte Striche verbreitern. Beim Marsring ist hier viel sorgfältiger verfahren worden als beim Venusring. So ist z. B. die Lanze der Venusgravur mit einem etwas abgerundeten Keilrad in einem Zuge geschnitten, die beim Neußer Ring aber in zwei nebeneinander gesetzten Gravuren. Die Lichtschnittprofile an verschiedenen Stellen des Lanzenstabes (Bild 30 a–g) machen dies deutlich. Fast alle Profile besitzen klar erkennbar zwei Spitzen in der Grabensohle oder machen durch Treppen anschaulich, daß hier ein mehrfacher Arbeitsvorgang vorliegt. Möglicherweise ist die Gesamtgravur des Lanzenstabes nach dem doppelten Einschnitt mit dem Keilrad noch mit einem Bolzenrad überglättet worden. Auch das Kinn (Bild 30 m rechts) zeigt einen doppelten Einschnitt und auch bei den Haarsträhnen (Bild 30 n) merkt man die Erweiterung des ursprünglich schmälere Schnittes. Die muldenförmigen Profile in der Mund- und Haarpartie der Venusfigur (Bild 30 o, p) stehen in auffälligem Gegensatz zu ihrem spitzen Auslaufen an der Ober-



30 Lichtschnittprofile.

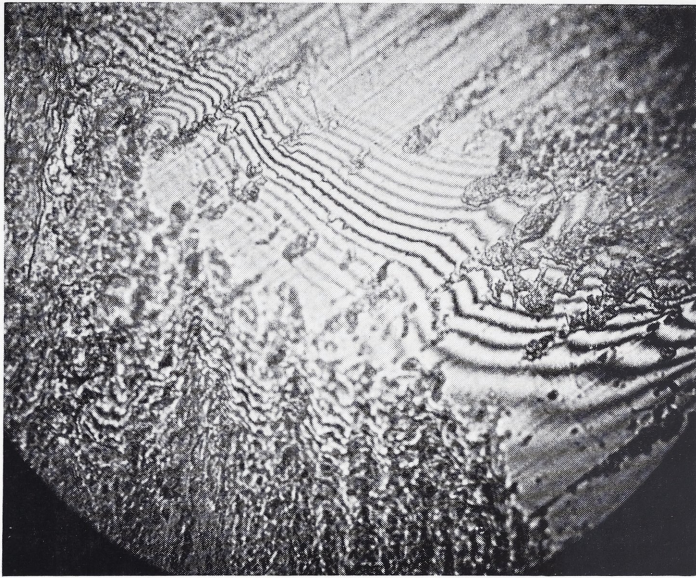
Marsring: a–g Lanze; h Hals; i Hand; k Schild; l Grundplatte; m Mund und Kinn; n Helmzier.

Venusring: o Mundpartie; p Haar.

Maßstäbe: horizontal 56 : 1, vertikal 80 : 1.

fläche. Auch hier ist ein Vorschneiden mit einem Keilrad anzunehmen (vgl. oben), wobei der Schnitt in seinen Hauptpartien dann mit einem Bolzenrad erweitert wurde. Die schmalsten Gravuren besitzen eine Breite von 0,15–0,2 mm (Venusfigur) bei einer Tiefe von 0,035–0,07 mm. Größer als 0,15 mm kann daher die Arbeitsbahn des kleinsten Rädchens nicht gewesen sein. Der Graveur der Marsfigur, dessen Striche etwas breiter sind, hat mit einem Rädchen von etwa 0,2 mm Arbeitsbreite gearbeitet. Diese Maße gelten nur für die feinen Schneid- und Bolzenrädchen. Die Kugelrädchen haben eine Breite von 0,5–1,0 mm gehabt. Die Durchmesser sind nicht ohne weiteres zu errechnen, mögen bei den scheibenförmigen Rädchen durchschnittlich 2–3 mm betragen haben, bei den Kugelrädchen etwas mehr. Die feingewellten Schnittsohlen der Gravuren, die auf den Lichtschnitten nur stellenweise, auf den Filmabdrücken aber sehr deutlich zu sehen sind, hängen mit der Vorbearbeitung der Rädchen zusammen, die durch Abdrehen geschah, was an der Laufbahn feinste Welligkeiten hinterließ und mit der sich daraus ergebenden Haftung des Schmirgels am Rädchen. Es mögen noch andere Faktoren mit-spielen.

Mit Beendigung der eigentlichen Gravurarbeit waren jedoch die Intaglios noch nicht vollendet. Um massigen Figurenteilen illusionistisch – nicht mit plastischen Mitteln – mehr Tiefe zu geben, wurden diese stellenweise poliert. Beim Marsring geschah das sehr sparsam, beim Venusring in viel stärkerem und unschönem Ausmaß. Politur kommt in der Marsfigur – auf Bild 25 deutlich zu sehen – am Halsansatz vor, ebenfalls auf der Brust, als Umrandung des Bizeps, in beiden Oberschenkeln, einem Unterschenkel und



31 Venusring. Inselartige Politur in der Gravur. Interferenzaufnahme (Weißlicht). – Maßstab 310 : 1.

im Schild. Zusammenhängende Politurflächen finden sich nur am Oberkörper; an den übrigen Stellen tritt sie nur auf kleinen Buckeln inselhaft auf. Eine besonders feine Gravur ging dieser Politur voraus. Die Politur selbst wurde mit einem Flachrädchen aus Blei oder Holz aufgebracht und gleicht der an den besten Stellen des Ringkörpers. Darin sind die Verhältnisse an beiden Ringen völlig gleichartig. Die Interferenzaufnahme Bild 31 erläutert die Gegebenheiten an einem Beispiel aus der Venusfigur. Inmitten der vom Grobschliff rau aufgerissenen Oberfläche liegen inselartig die polierten Flächen. Tal-, ja, fjordartig ragen Reste der Täler des Grobschliffs in diese Inseln hinein. Der Feinschliff hat eine mannigfach gebogene Fläche geschaffen, da es schwierig ist, mit dem Gravierrädchen selbst kleine ebene Flächen herzustellen. Die Spuren dieses Schliffs sind bis auf Reste in der Politur untergegangen. Allerdings weisen feinste zitterige Auslenkungen der Streifen darauf hin, daß noch zarte Politurrillen vorhanden sind.

Vorläufige Ergebnisse

Die Oberflächen von Platten, Reif und Ringloch wurden bei beiden Ringen mit verschiedenen Werkzeugen und Verfahren hergestellt. Die geringfügigen Unterschiede in den Gravuren dagegen rühren wohl nur von individueller Handhabung gleicher Werkzeuge her.

Spuren des Zuschnittes der Rohplatte mit der Säge sind möglicherweise auf der Platte des Marsringes erhalten. Eindeutig sicher ist dies nicht, da die Spuren der darüberliegenden Feinschliffe denselben Charakter tragen. Reste der Durchbohrung (Wellen) trägt vielleicht noch die innere Partie des Ringloches des Venusrings.

Die entscheidenden Unterschiede liegen in den Schleifverfahren. Die Spuren wurden bei der Darstellung der Untersuchung und auf bildlichem Wege so ausreichend charakterisiert, daß sich jede Wiederholung erübrigt. Eines läßt sich mit Bestimmtheit sagen: beim Venusring handelt es sich um starres Schleifgerät, einen Schleifstein also. Dabei

bleibt zunächst die Frage, ob es sich dabei um eine Reibplatte, einen feilenähnlichen Handschleifstein oder ein rotierendes Sandsteinrad handelt, das wir heute gemeinhin als Schleifstein bezeichnen. Demgegenüber steht die Tatsache, daß die Spuren am Marsring wegen ihrer Länge und Gleichmäßigkeit der Ausbildung auch an verwundenen Flächen sich nur durch einen elastischen Schleifmittelträger befriedigend erklären lassen. Die Abriebsleistung vom Rohblock bis zur fertigen Form ist schon bei unseren Ringen sehr groß, größer noch bei anderen Bergkristallarbeiten (Gefäßen usw.). Hier muß man entsprechend leistungsfähige Geräte voraussetzen. Als solches kommt zunächst das rotierende Sandsteinrad in Frage. Dessen Vorhandensein ist nun freilich aus der antiken Literatur nicht erweisbar²², wenn es auch von manchen Autoren als selbstverständlich vorausgesetzt wird. Eine Gemme in Paris mit der Darstellung eines Erotens, der Pfeile an einem Schleifstein mit Fußantrieb schleift, scheint gefälscht zu sein²³. Furtwängler hat sie nicht aufgenommen.

Die Untersuchung der spätantiken Spatha von Vrasselt²⁴ ergab, daß diese nach dem Schmieden über einem rotierenden Schleifstein von etwa 1 m Durchmesser geschliffen sein muß, indem man beim Schliff die Klinge über der Laufbahn des Steines bog. Solche Schleifsteine gab es also in den spätantiken zentralen großen Waffenschmieden. Nun braucht es sich dabei keineswegs um eine spätantike Erfindung zu handeln. Vielleicht stellen solche großen Schleifsteine, die doch wohl durch Wasserkraft angetrieben wurden, eine spätantike Neuerung dar. Nun kann in dieser Arbeit noch nicht das erst für die Schlußzusammenfassung des II. Teils notwendige Vergleichsmaterial gebracht werden. Aus diesem geht m. E. eindeutig hervor, daß die Spuren der Außenflächen des Venusringes am ehesten mit der Anwendung eines Schleifsteines von etwa 40–50 cm Durchmesser und geringer Umdrehungszahl zu erklären sind.

Die Untersuchung des Vrasselter Schwertes, die einerseits den Gebrauch großer Sandsteinräder beim Schwertschliff deutlich erschließen ließ, machte für die Herstellung spezieller Schlitze (Watenschliff des Schwertes) ein anderes Schleifverfahren deutlich, nämlich die Benutzung lederbespannter Holzräder oder Holzscheiben als Träger des Schleifmittels. Dieses Verfahren war in der modernen Schwertschleiferei noch üblich und in Japan wird es auch heute in der Achatschleiferei benutzt. Es erzeugt auch auf verwundenen Flächen lange, streng parallele, gleichmäßige Schliffrillen. Platte und Außenflächen des Marsringes lassen sich auch aufgrund vergleichenden Materials am ehesten durch dieses Verfahren erklären.

Einige Schwierigkeiten bereitet die Frage der Politurgeräte. Bei beiden Ringen erfaßte die Politur Täler und Flanken der feineren Rillen, die tieferen Rillen dagegen nur unvollkommen. Das heißt, daß ein nicht zu elastischer Poliermittelträger angenommen werden muß. Auf allen Außenflächen stehen gute und mäßige Politurstellen nebeneinander, was z. T. auf die ungleichmäßige Art des Feinschliffs, z. T. auf ein zu frühzeitiges Abbrechen des Polierens zurückzuführen ist. Im allgemeinen erreichen die Außenflächen des Marsringes (von der Platte abgesehen, die zu schlecht ausgeschliffen war) eine bessere Politur als die des Venusringes, vor allem dringt die Politur hier tiefer in die Rillen ein. Unter vorsichtigem Abwägen aller Umstände könnte man daran denken, daß beim Venusring ein Weichholzrad (Scheibe) als Poliermittelträger, beim Marsring vielleicht ein solches mit Kork- oder Lederbezug verwandt worden sei.

²² Schneider a. a. O. 13.

²³ Ebd. Abb. 3.

²⁴ Veröffentlichung in den Bonner Jahrbüchern vorgesehen.

Wie die Außenflächen so wurden auch die Innenflächen beider Ringe auf völlig verschiedene Weise hergestellt. Die Wahl verschiedener Werkzeuge ist ohne weiteres ersichtlich. Beim Venusing wurde eine viel größere Erweiterung vorgenommen als beim Marsring. Es ist deswegen selbstverständlich, daß man sich hierbei des Gravierrades, vermutlich von konischer Gestalt, bediente. Die umlaufenden Gravierspuren sind anders gar nicht zu erklären. Beim Marsring dagegen wurde das Loch mit Hilfe eines spitzen Schleifstiftes ausgeräumt. Mit einem ähnlichen Gerät wurde der Feinschliff ausgeführt. Die in beiden Fällen beachtlich gute Politur ist nur dadurch zu erklären, daß die Arbeitsrichtung dieselbe war wie die des Schleifens. Das heißt, daß sie im Falle des Venusringes ebenfalls mit der Graviermaschine und Holz-, Kork- und Bleirad ausgeführt wurde, beim Marsring dagegen gleichfalls durch Stoßen. Dabei muß ein Politurmittelträger benutzt worden sein, der das Poliermittel bis in die Tiefen der Furchen hinein wirksam werden ließ, etwa ein mit Leder umwickelter Holzstab.

Im Gegensatz zu den außerordentlich schwierigen Fragen, die die Schleifgeräte aufwerfen, ist die Gravierbank in ihren Grundzügen für die römische Zeit gesichert (vgl. oben). Es stehen nur Fragen des Bedienungskomforts zur Diskussion. Rädchengrößen (vor allem Breiten) und Schneidenbeschaffenheit lassen sich aus den Gravuren erschließen. Daß gerade auch hier mit den modernen Meßverfahren allerhand wichtige Detailansichten zu gewinnen sind, dürfte die vorliegende Untersuchung gezeigt haben.

Zum Schluß seien noch einige Worte zu den Schleif- und Poliermitteln gesagt. Neben festen Sandsteinen, die festgebundene Quarzkristalle besitzen und durch die Bewegung eine schlagende, stoßende oder ritzende und damit absplittende Wirkung auf den gleichharten Bergkristall ausüben, sich dabei aber stark abnutzen, kommen als Schleif- oder Gravierpulver nur härtere Materialien in Frage. Von diesen stand nur der Korund in Gestalt des Naturschmirgels in ausreichendem Maße zur Verfügung. Schmirgel ist ein Gemenge aus Korund und Magneteisenerz mit Hämatit, Quarz und verschiedenen Silikaten. Bedeutende Lagerstätten befinden sich auf Naxos, Iraklia und Sikinos sowie im südwestlichen Teil Kleinasiens, hauptsächlich in den Distrikten Aidin und Tyra²⁵. Die Verwendung war der Antike bekannt²⁶. Schmirgel kann nur in festen Stücken und Brocken gewonnen werden und muß zum Gebrauch als Schleifpulver zerkleinert und zermahlen werden (wohl in Kollergängen). In festen Brocken diente er als Schleifstein. Schmirgelpulver wurde mit Harz vermischt zu Kunstschleifsteinen verarbeitet. Zum Sägen, Bohren, Gravieren und zum Bestreichen der lederbandagierten Holzräder mußte der gekörnte Schmirgel in Öl angerührt werden (Ölschmirgel). Die größte Schwierigkeit bestand für die Antike im Erzielen leidlich gleichmäßiger Körnungen, was möglicherweise durch Ausschlämmen des gemahlene Schmirgels bewerkstelligt wurde.

Zum Polieren verwendet man heute Tripel (Infusorienerde). Er wird in der antiken Literatur nicht erwähnt, könnte jedoch durchaus bekannt gewesen sein, da sich auch im Mittelmeerraum (u. a. auf Sizilien) Tripellagerstätten befinden. Es konnte aber auch Hämatit oder feinsten Schmirgel benutzt werden oder eine Mischung von beiden, wie sie im Naturschmirgel sogar vorliegt.

Erst im II. Teil dieser Arbeit wird sich zeigen, daß mit der Auswahl unserer beiden Ringe für eine Untersuchung, wie die vorliegende, zwei wesentliche Etappen in der Entwicklung der Edelsteinschleiferei erfaßt wurden.

²⁵ Vgl. B. Dammer und O. Tietze a. a. O. 263 ff.

²⁶ Plinius, nat. hist. 36,10; 37,32.