

Abschließend erhebt sich vielleicht die Frage, wie es in der Zeit seines Erscheinens um die Streuwirkung bzw. um den Interessentenkreis dieses Wörterbuchs bestellt war. Einen gewissen Anhaltspunkt für die Beantwortung geben die sogenannten Pränumerantenlisten, die man in den einzelnen Bänden abgedruckt findet. Unter den Pränumeranten hat man die Subskribenten zu verstehen. Mit Interesse stellt man fest, daß rund 500 Subskribenten aufgeführt sind. Dazu gehören Fürsten, fürstliche Kammern und sonstige staatliche und kommunale Dienststellen, wissenschaftliche Akademien und Gesellschaften, Gelehrte verschiedener Disziplinen, Mediziner, Apotheker, Vertreter des Bergbauwesens, Kaufleute, Bibliotheken usw., ferner eine Anzahl von

Personen, bei denen keine Berufsbezeichnungen angegeben sind. Auch „Herr Geheimerath Goethe in Weimar“ findet sich in der Liste der Pränumeranten. Ob allerdings der ebenfalls genannte „Hüttenschreiber Eyfert in Wiede“ zur Glasindustrie oder zu einem anderen Berufszweig gehörte, läßt sich nicht feststellen.

Die Art des Interessentenkreises deutet aber an, daß dem Wörterbuch zumindest in den maßgeblichen Verwaltungsstellen und Gelehrtenkreisen eine Streuwirkung beschieden war.

In der Gegenwart aber bedeutet „JACOBSSONS Technologisches Wörterbuch“ für technik- und kulturgeschichtliche Fragestellungen ein sehr wertvolles Informationsmittel.

8. Literatur

- [1] KLEMM, F. (Hrsg.): Die Technik der Neuzeit. Potsdam: Athenaion 1941ff. Darin: F. KLEMM: Die Technik im Zeitalter des Rationalismus. Bd. I, S. 37–48, bes. S. 38.
 [2] KARMARSCH, K.: Geschichte der Technologie seit der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts. München: Oldenbourg 1872. Bes. Teil II, S. 859–887.
 [3] KLEMM, F.: Technik. Eine Geschichte ihrer Probleme. Freiburg (Br.) u. München: Alber 1954, S. 227–248.
 [4] KLEMM, F.: Kurze Geschichte der Technik. Freiburg (Br.): Herder 1961. (Herder-Bücherei Bd. 106), S. 111–128.
 [5] KLEMM, F.: Die Geschichte des technischen Schrifttums. Form und Funktion des gedruckten technischen Buches vom ausgehenden 15. bis zum beginnenden 18. Jahrhundert. Diss. (Nat.-wiss.) TH München v. 29. 4. 1948 (maschinenschriftl.), bes. S. 119–137. (50410)

DK 571.2:539.211:531.112:679.8.057(091)

Zur bruchmechanischen Deutung der Schlagmarken an Steingeräten

Von FRANK KERKHOF, Freiburg i. Br., und HANSJÜRGEN MÜLLER-BECK, Tübingen

(Mitteilung aus dem Ernst-Mach-Institut, Freiburg, und dem Lehrstuhl für Urgeschichte der Universität Tübingen)

(Eingegangen am 13. August 1969)

Die bei der Herstellung von urgeschichtlichen Steingeräten auftretenden Schlagmarken werden an Hand einiger charakteristischer Funde beschrieben. In gleicher oder ähnlicher Form sind derartige Marken auch an Bruchproben aus Glas feststellbar; sie können auf Grund unserer heutigen Kenntnisse vom spröden Bruchvorgang gedeutet und auch durch gezielte Versuche simuliert werden.

Schon zu Beginn der wissenschaftlichen Beschäftigung mit urgeschichtlichen Steingeräten haben die an ihnen erkennbaren Schlagmarken Beachtung gefunden [11]. Ihre offensichtlich gezielte und systematisch wiederholte Anordnung wurde als Beweis der künstlichen Herstellung der damals noch sehr umstrittenen Steingeräte gewertet. Wir wissen heute, daß praktisch alle künstlich erzeugten Schlagmarken im Prinzip auch durch natürliche Vorgänge verursacht werden können, wie etwa ADRIAN [1] in systematischen Untersuchungen nachweisen konnte. Rein empirisch lassen sich aber doch zwischen künstlichen und natürlichen Schlagmarken und vor allem auch ihren verschiedenen Anordnungen und Kombinationen offensichtlich Unterschiede beobachten. Künstlich wird hier als „vom Menschen verursacht“ verstanden. In dem von ADRIAN [1] beschriebenen Material der Hasenquelle — das als natürlichen Ursprungs gelten muß — kommen nur 2 bis 3% Schlagbuckel-Formen vor, die auch in sicher künstlich entstandenen Inventaren zu beobachten sind. Ein Prozentanteil, der statistisch kaum von Belang ist, ja der eigentlich zu erwarten ist (bezogen auf 500 artefaktähnliche Einzelstücke). Trotz derartiger eindeutiger empirischer Befunde ist es bisher nicht gelungen, die Merkmalsgrenze zwischen künstlichen und natürlichen Schlagmarken zu beschreiben. Das ist kaum verwunderlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß bisher nicht einmal wirklich experimentell nachgeprüfte Klarheit über die Einzelvorgänge beim Schlag künstlichen Ursprungs herrscht. Es gibt zwar

bereits einige experimentelle Ansätze zur Untersuchung derartiger Vorgänge in Gesteinen und der daraus resultierenden Spuren, die aber mehr als ein halbes Jahrhundert zurückliegen. Die bisher intensivste Arbeit dürfte von PFEIFFER [14] stammen, auf die vor kurzem JEBSEN-MARWEDEL [6] hingewiesen hat. PFEIFFER experimentierte systematisch an Glasblöcken und war danach in der Lage, die entstehenden Einzelmarken zu beschreiben und zum Teil auch zu erklären. Durch den Hinweis von JEBSEN-MARWEDEL und seine dankenswerte Vermittlung wurde der Kontakt zwischen den beiden Autoren, Physiker und Archäologen, hergestellt. Das Ergebnis waren zahlreiche Diskussionen und einige konkrete Vor-Experimente, deren vorläufige Resultate hier mitgeteilt werden sollen. Die Autoren sind sich durchaus der Tatsache bewußt, daß sie vorerst nur einfachste Vorgänge beschreiben und allenfalls teilweise erklären können. Dennoch scheint ihnen eine Veröffentlichung bereits angebracht, zumal damit auch eine nicht eben gewöhnliche praktische Zusammenarbeit dokumentiert wird. Außerdem wird schon jetzt für den Archäologen die Entstehung einiger ihm durchaus geläufiger Schlagmarken verständlicher als bisher.

1. Der archäologische Befund

Die bei der Herstellung eines Abschlags entstehenden Schlagmarken lassen sich sowohl am abgetrennten Stück („Abschlag“), wie auch am zurückbleibenden, angeschlagenen Rest („Nukleus“) beobachten. Trotz der

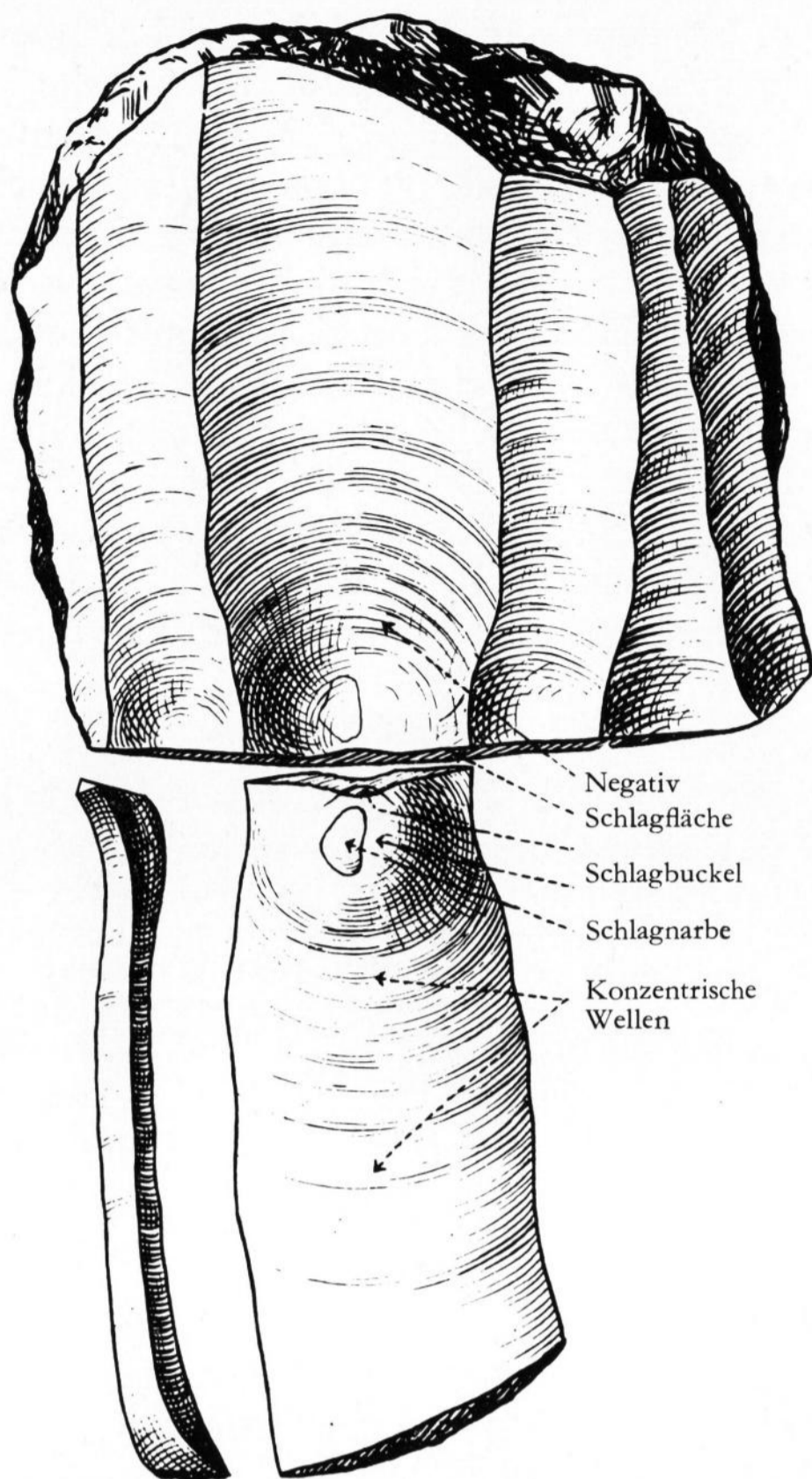


Bild 1. „Nukleus“ (Feuersteinkern) und „Abschlag“ (Abspliß) nach einer Zeichnung des frühen 20. Jahrhunderts im Archiv des Lehrstuhls für Urgeschichte der Universität Tübingen.

(In starker Reduktion als Vignette abgebildet bei SCHMIDT [18], Tafelteil.)

offensichtlichen Einfachheit des Vorganges gibt es bisher keine international gebräuchliche nomenklatorische Norm für die dabei entstehenden Marken. In Bild 1 sind einige geläufige Bezeichnungen zusammengestellt. Die Fläche des „Abschlages“, auf die der Schlag geführt worden ist und die demnach proximal zu ihm liegt, wird als Schlagfläche oder, international üblicher, als Basis bezeichnet. Die entsprechende Fläche des zurückbleibenden Nukleus' heißt Schlagfläche oder Plattform. Der engere Bereich des eigentlichen Aufschlages wird als Treffpunkt, Schlagpunkt oder auch nur als Schlagmarke im engeren Sinne angesprochen. Unter diesem Schlagpunkt bildet sich nicht selten ein mehr oder weniger deutlich ausgeprägter Schlagkegel (Bild 2). Er kann aber auch völlig fehlen oder nahezu unausgebildet bleiben. Dagegen erscheint beinahe immer im oberen (proximalen oder basalen) Bereich der Ventralfläche (= Spaltfläche zwischen getrenntem Abschlag und verbleibendem Nukleus) eine mehr oder weniger deutliche kugelige Aufwölbung, die als Schlagbuckel, Schlagzwiebel oder heute bevorzugt Bulbus angesprochen wird (Bild 1). Ein entsprechendes konkav-kugeliges Negativ findet sich an der Außenfläche des verbleibenden Nukleus' (Abbaufläche), der naturgemäß spiegelbildlich die ganze Ventralfläche des Abschlages wiedergibt, mit dem er ja die gleiche Spaltfläche teilt. Recht häufig löst sich zwischen eigentlichem Abschlag und Nukleus eine kleine Schuppe, die ihrerseits eine wieder konkav gewölbte Marke auf der Fläche des Bulbus hinterläßt und die Schlagnarbe genannt wird

(Bild 1, Bild 4a). Auf der entsprechenden Teilfläche des Nukleus sitzt gelegentlich noch die aus der Schlagnarbe ausgesprengte Schuppe, die naturgemäß nie eine Basis besitzt. Sie kann bei schon serienmäßig hergerichteten und ausgebeuteten Nuklei aus jungsteinzeitlichem Zusammenhang von durchaus erheblicher Größe sein (bis 1,5 cm lang). Die Entstehung derartiger Schlagnarben ist bisher ungeklärt. Ihre wechselnde Größe könnte sehr gut auf unterschiedliche Schlagtechniken zurückgehen. Anzunehmen ist lediglich, daß sie auf irgendwelche wechselnden Überlagerungen von Schlagwellenzügen (s. u.) zurückzuführen sind. Interessant ist, daß ausgeprägte Schlagnarben, die an den lateralen Rändern „gefaltet“ sein können, an Naturprodukten offensichtlich nicht auftreten. Typische Schlagmarken sind auch die eben schon erwähnten, auf der Ventralfläche des Abschlages erhöht wirkenden Wellenzüge, deren eher eingetieft wirkende Gegenstücke auf der Nukleus-Teilfläche erscheinen. Sie werden Schlagwellen, Schlagringe oder konzentrische Wellen genannt, wobei in allen Fällen das sich bietende Bild recht treffend beschrieben wird. Offensichtlich gehen die ringförmigen Wellen von einer eng begrenzten Region aus, die sich allerdings zwischen Schlagpunkt und Mittelpunkt des Bulbus' in ihrer Lage nicht eindeutiger fixieren läßt, wie es die Zeichnung recht treffend zeigt (Bild 1).

Eine typische Basis mit deutlich abgesetztem Schlagpunkt und zugehörigem Kegel zeigt ein Abschlag aus La Quina (Bild 2). Der Übergang des sehr markanten Kegels zur übrigen Ventralfläche des Abschlages erfolgt nicht allmählich und regelmäßig, sondern unter Störungen und abwinkelnder Flächenbildung, ohne daß hier etwa eine typische Schlagnarbe entsteht. Es wird an diesem Bild ganz offensichtlich, daß sich der eigentliche Schlagkegel unter Umständen sehr markant ausbilden kann, bevor der Abschlag durch die eigentliche Spaltfläche, die ja auch links und rechts vom Oberende des fast freien Kegelstumpfes liegt, vom Nukleus gänzlich abgetrennt wird. Neben diesen Schlagspuren tritt eine weitere nicht immer vorkommende Erscheinung auf: Links und rechts vom oberen Teil des markanten Kegels erscheinen strahlenförmige, bisweilen blitz- oder treppenartig gezackte Sprünge, von denen unten noch ausführlicher die Rede sein soll. Sie gehen rechts vom Kegelstumpf-Oberende sogar wieder, offensichtlich in Entsprechung des Verlaufes der Spaltfläche, nach oben gegen die Basis (Bild 2). Schlagwellen sind auf der Ven-



Bild 2. Retuschierter Abschlag des Moustériens (Ventralfläche) aus La Quina (Charente), Frankreich, Grabung H. Martin, Horizont B 2.

Original in der Sammlung des Bernischen Historischen Museums (Inventar-Nr. 36434), Breite 6,5 cm.

Bild 3a. Abschlag des Altpaläolithikums
aus Montières

(Somme), Frankreich (Dorsalfläche).

Original in der Sammlung des Bernischen Historischen Museums (Inventar-Nr. 36533),

Höhe 11,5 cm.

Bild 3b. Nukleus der Hamburger Stufe
aus Meiendorf (Schleswig-Holstein),
Grabung A. Rust.

Original in der Sammlung des Bernischen Historischen Museums (Inventar-Nr. 37759),

Höhe 8,5 cm.



3a)



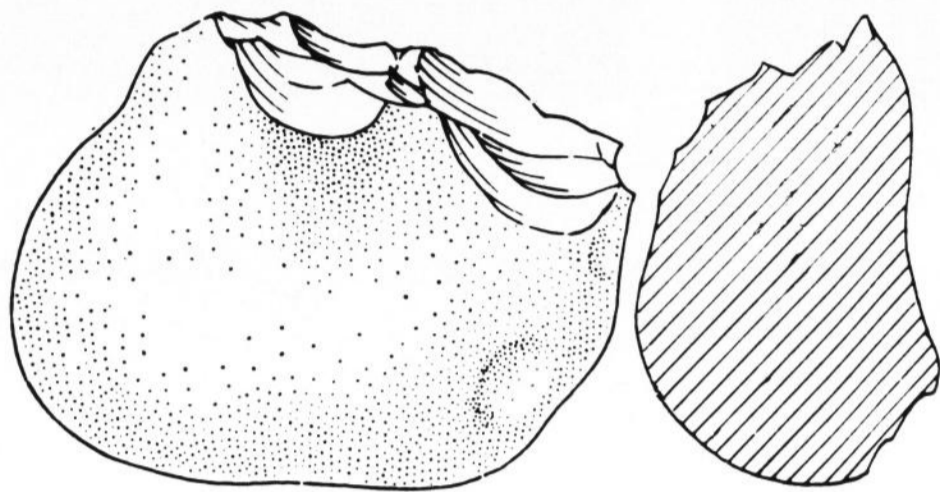
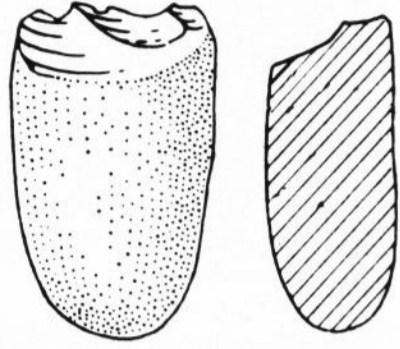
3b)

tralfläche dieses sehr kurzen Abschlates nicht zu erkennen.

Dagegen kommen Schlagwellen auf der Dorsalfläche eines Abschlates von Montières deutlich zur Ausbildung. Die Dorsalfläche eines Abschlates stellt jeweils einen Ausschnitt aus der Abbaufäche eines Nukleus' dar und zeigt dementsprechend Narbennegative der zuvor abgetrennten Abschläge. Voraussetzung ist dabei natürlich, daß der Nukleus schon in einem vorhergehenden Arbeitsgang beschlagen worden ist. Ist das nicht der Fall, so befindet sich auf der Dorsalfläche des Abschlates die Rinde der zuvor noch nicht angeschlagenen Rohrolle. In diesem Falle (Bild 3a) laufen die Wellen im mittleren Bahnnegativ, das links und rechts von einem zum Teil getreppten Grat abgegrenzt wird, eher weitbogig. Die Radien der einzelnen Wellenbögen bleiben keineswegs konstant, sondern wechseln unregelmäßig (Bild 3a). Auch auf dem rechten Bahnnegativ sind die Wellenringe durch die Helligkeitsunterschiede, die Höhenunterschieden entsprechen, gut zu beobachten. Mehr oder weniger senkrecht zu ihnen findet sich ein ganzes Feld von gestuften Sprüngen, die schon auf Bild 2 zu beobachten waren (Bild 3a, unten rechts). Sie werden von dem Archäologen als Strahlen- oder Radialsprünge bezeichnet und damit lediglich in ihrer Richtung, nicht aber in ihrer Form, näher beschrieben, wobei freilich die Benennung Strahl darauf hinweist, daß diese Sprünge sich häufig terminal verzweigen. Sie sind im vorliegenden Beispiel wieder deutlich getreppt. An ihrem Ende haben sie zudem die Ausformung des Grates zur nächsten Negativbahn beeinflusst. Sie weisen unregelmäßige Aussprengungen auf, die an die kleinen Schlagnarben auf der Bulbusfläche erinnern. Gleichartige Wellenringe treten auch auf einem Kern auf (Bild 3b). Sie bilden sich hier in dicht gestaffelter Ausprägung nur am unteren Ende der Negativbahnen, während sie im oberen einen deutlich weiteren Abstand aufweisen, eine Erscheinung die durchaus geläufig ist. Die besonders dicht gelagerten Ringe kreuzen sich teilweise in ihren Richtungen (Bild 3b, unten rechts). Die etwas weniger deutlichen Radialsprünge liegen wieder ungefähr senkrecht zu ihnen. Es sei hier vorweggenommen, daß der Physiker diese Radialsprünge als Lanzettbrüche bezeichnet, wodurch er ebenfalls die Verjün-

gung unterstreicht, zugleich aber auch die oft treppenförmig gezackte Form anspricht, die durchaus häufig ist.

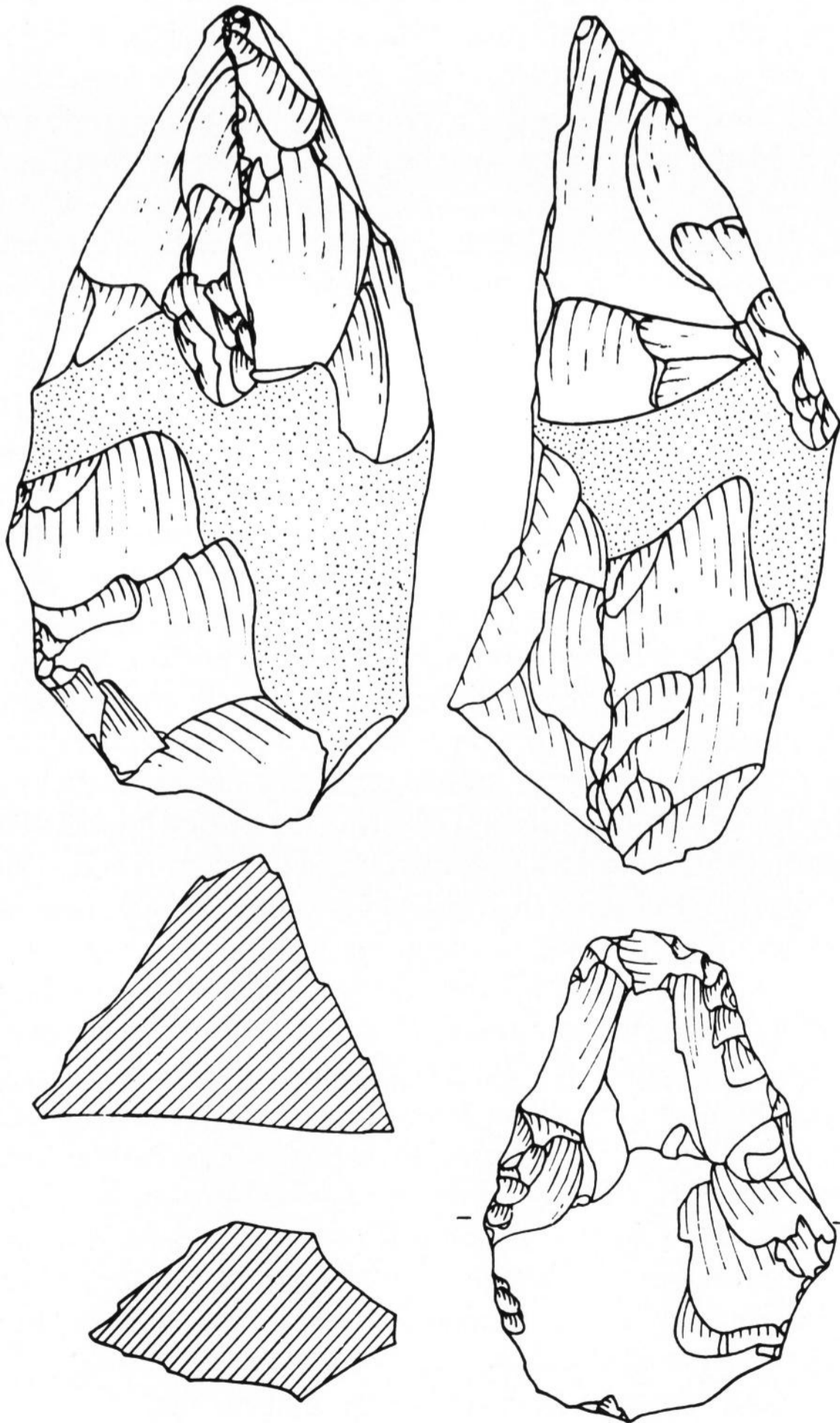
Es ist augenscheinlich, daß alle bisher beschriebenen einfachen Merkmale auf die Schlagwirkungen zurückgehen, die notwendig waren, um die Abschläge von den Nuklei abzuspalten, ein Vorgang, den als systematische Technik schon die ältesten bisher bekannten Steingeräte belegen (Bild 4a). Sie blieb für Jahrhunderttausende die wichtigste Grundlage der technischen Entwicklung. Denn mit Hilfe der immer besser beherrschten Spaltvorgänge wurden allmählich regelmäßigeren Abschläge erzielt und durch ständig verfeinerte Kantenbearbeitung im Schlagverfahren (Retusche) zu immer zweckmäßigeren Geräten geformt. Zum Teil wurden auch widerstandsfähigere Großgeräte aus dem Vollen in Kernform ausgearbeitet, ähnlich wie der Nukleus, der ja nur ein Zwischenprodukt darstellt. Die bekannten Faustkeile (Bild 4b) gehören zu derartigen Geräten. Sie können freilich auch aus größeren Abschlägen durch beidflächige Überarbeitung geformt werden. Durch intensive Flächenbearbeitung im Schlagverfahren wurden schließlich sogar regelmäßig gestaltete Waffenköpfe hergestellt (Bild 4c). Weitere Verbesserungen ergaben sich durch die Anwendung des indirekten Schlages (gezielte Wirkung durch Aufsetzen eines Meißels) und endlich verschiedener Druckverfahren, die „nur“ einige Jahrzehnttausende oder sogar Jahrtausende alt zu sein scheinen. Die so unter ständiger Entwicklung des Verfahrens geformten Geräte dienten ihrerseits wieder zur Bearbeitung von Holz, Knochen, Häuten und Fasern. Der geschärfte Stein übernahm also über unwahrscheinlich lange Zeiträume hinweg im Rahmen der menschlichen Technik die Rolle der Metalle in ihrer Anwendung als Grundwerkzeuge. In der Tat wird er erst durch sie verdrängt. Dabei ist zu beachten, daß die Schärfung durch Schlag und nicht etwa durch Schliff erfolgt. Er setzt sich am Stein erst durch, wenn es zur Ausbildung zielgenau arbeitender Zimmererwerkzeuge kommt. Das ist nicht der Fall vor Beginn der jüngeren Steinzeit und der Einführung umfangreicher Holzkonstruktionen, die Jägerkulturen nicht kennen. Ausnahmen bilden hier lediglich spezialisiertere und entwickeltere Fischer, die aber auch erst verhältnismäßig spät auftreten.



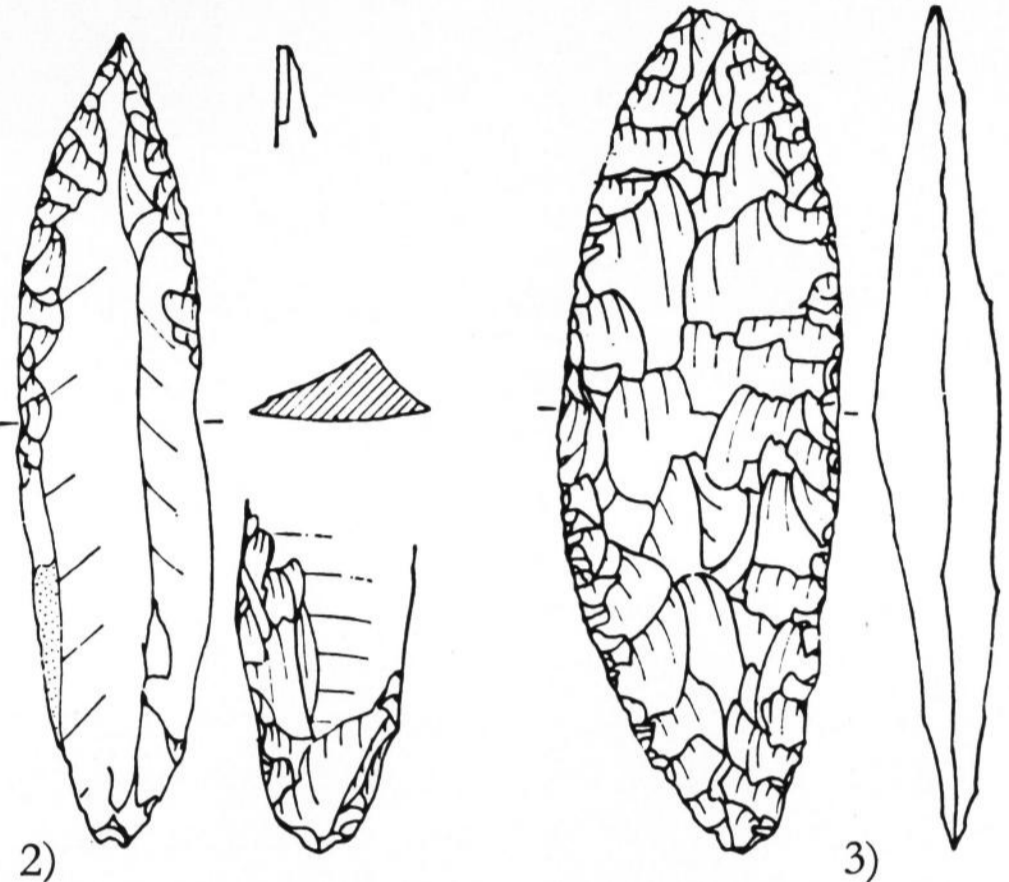
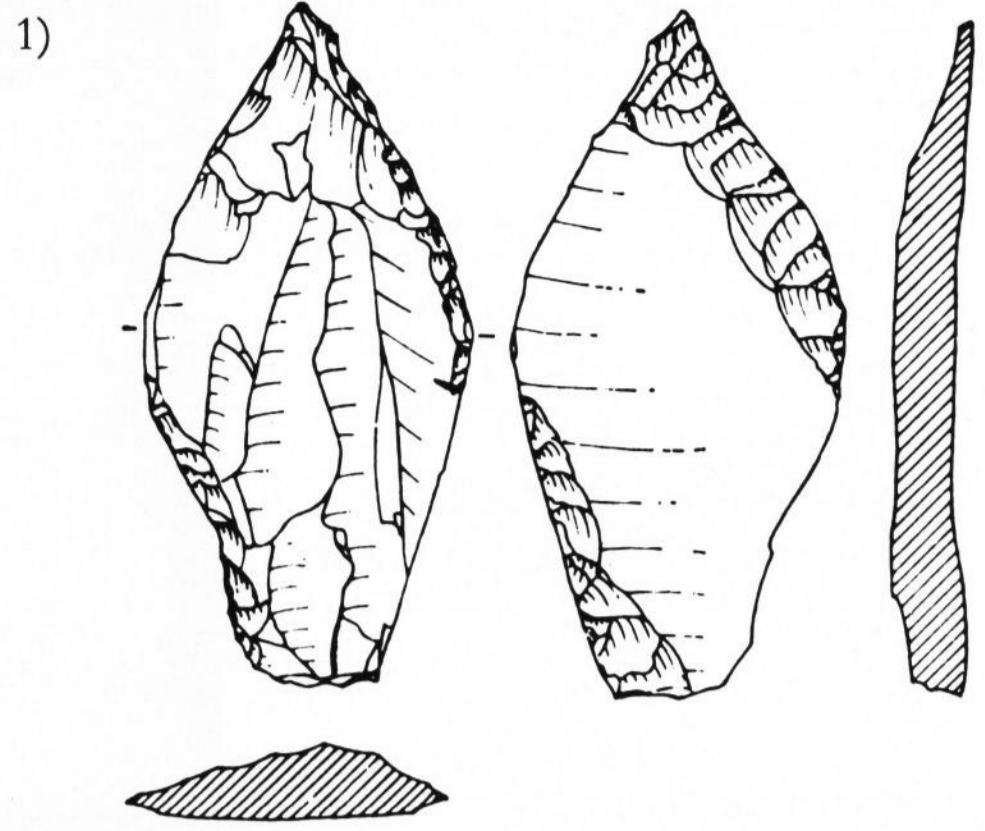
4a)

Bild 4a. Abschläge und Kerngeräte („chopping tools“) des Frühpaläolithikums aus der Grotte du Vallonet (Seetalpen), Frankreich; nach DE LUMLEY u. a. [10].

Es handelt sich um Stücke aus dem bisher ältesten europäischen Steingerät-Inventar (Begleitfauna des „Villafranchian“ = Ältest-Pleistozän, geschätztes Mindestalter 0,8 bis 1,0 Millionen Jahre).



4b)



4c)

Bild 4c. 1: Altertümliche steinerne Waffenspitze (links: dorsal, rechts: ventral) aus Weimar-Ehringsdorf (Thüringen); 2: entwickeltere steinerne Waffenspitze und 3: beidflächig intensiv retuschiertes Blattmesser aus der Nietoperzowa-Höhle (Südpolnischer Karst). 1) stammt aus dem jüngeren Abschnitt des letzten Interglazials („Riss/Würm“, etwa 70000 bis 110000 Jahre vor heute), 2) aus einem wärmeren Abschnitt der letzten Eiszeit („Würm-Interstadial“, etwa 45000 bis 35000 Jahre vor heute).

Es ist in der Tat notwendig, diese so lange angewandten Schlagverfahren besser zu verstehen. Das dürfte durch die Untersuchung der hinterlassenen Spuren durchaus möglich sein. Vielleicht sind die Ergebnisse sogar für die Formungsverfahren durch Schlag und Druck in der heutigen Technik aufschlußreich. Auf jeden Fall sollte es bei systematischen Untersuchungen und Experimenten möglich sein, aus den an den Originalfunden zu beobachtenden Spuren die ursprünglichen Arbeitsverfahren annähernd oder sogar genau zu rekonstruieren. Dies würde zum besseren Verständnis der technischen Entwicklung und ihrer regionalen Differenzierung — unbedingt historisch relevante Vorgänge — in urgeschichtlichen Zeiten beitragen. Vielleicht gelingt es endlich sogar, die Grenze zwischen natürlichen und künstlichen Schlag- bzw. Druckprodukten besser zu definieren, als das vorerst der Fall ist.

Bild 4b. Altertümliche Faustkeile aus Abbéville, Grube St. Gilles (Somme), Frankreich; nach MÜLLER-BECK [12]. In einfacher Kerntechnik gearbeitete Geräte.

2. Der Bruchvorgang im Glas bei Druck- und Schlagbeanspruchung

Die schon erwähnten Schlagversuche von PFEIFFER [14] an Glas als amorphe, isotrope, sprödbrechende Modellsubstanz fordern die Frage heraus, wie die Schlagmarken, die in gleicher oder ähnlicher Form an archäologischen Artefakten wie an Probekörpern aus Glas feststellbar sind, auf Grund unserer heutigen Kenntnisse vom spröden Bruchvorgang gedeutet oder auch durch gezielte Versuche simuliert werden können.

Für den weiten Teil dieser Gemeinschaftsarbeit hat sich daher der Physiker die Aufgabe gestellt, den Bruchvorgang in Glasblöcken sowohl unter statischer Druckbeanspruchung wie bei Schlagbeanspruchung zu untersuchen, dabei auch die Ausbildung der sekundären linienartigen Markierungen auf den erzeugten Glasbruchflächen zu deuten und mit jenen auf den archäologischen Funden zu vergleichen.

2.1. Primäre Bruchbildung unter statischem Druck

Unter hinreichend starkem statischem Druck einer Kugel oder eines zylinderförmigen Bolzens gegen die ebene Oberfläche eines Glasblockes entsteht eine Bruchfläche in Form der Mantelfläche eines Kegelstumpfes: der sogenannte HERTZsche Kegelbruch (Bild 5). Die Form einer solchen Bruchfläche läßt sich nach dem Normalspannungsgesetz der Sprödbrechungsausbreitung theoretisch ermitteln; nach diesem liegt die Bruchrichtung stets senkrecht zur jeweiligen maximalen Hauptzugspannung. Die hierzu notwendige Kenntnis der Spannungsverteilungen bei derartigen Druckversuchen kann man schon den alten Veröffentlichungen von HERTZ [4] und HUBER [5], oder auch neueren zusammenfassenden Darstellungen, z. B. von TIMOSHENKO und GOODIER [22], entnehmen.

Erwähnt seien hier nur die wesentlichen Ergebnisse der Theorie für den Kugeldruck gegen die ebene Oberfläche eines ideal elastischen Körpers unter der Annahme unendlich kleiner Verschiebungen:

$$a = \left[\frac{3}{4} PR (c_1 + c_2) \right]^{1/3}, \quad (1)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{1 - 2\mu_1}{2} \frac{P}{a^2}. \quad (2)$$

Hierbei bedeuten (vgl. Bild 5): a = Radius der Kontaktfläche, σ_{\max} = maximale Zugspannung (senkrecht zum Kontaktkreis) in kp/cm^2 ; P = Drucklast in kp ; R = Kugelradius; $c_{1,2} = \frac{1 - \mu_{1,2}^2}{E_{1,2}}$; $E_{1,2}$ = Dehnungsmoduln; $\mu_{1,2}$ = Poisson-Konstanten mit Index 1 für die ebene Fläche, Index 2 für die Kugel.

Um die Größe des Kontaktkreises abschätzen zu können, sei für Spiegelglas mit $E_1 = 7,6 \cdot 10^5 \text{ kp/cm}^2$, $\mu_1 = 0,23$ und Stahl mit $E_2 = 24 \cdot 10^5 \text{ kp/cm}^2$, $\mu_2 = 0,28$ der Wert der in die Gleichung (1) eingehenden Konstante angegeben:

$$\frac{3}{4} (c_1 + c_2) = 1,22 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{kp}.$$

Für eine Stahlkugel mit dem Radius $R = 1 \text{ cm}$ und eine Drucklast von $P = 1 \text{ kp}$ ergibt sich also ein Kontaktradius $a = 0,11 \text{ mm}$.

Ein kreisförmiger Riß mit dem darunter liegenden Kegelbruch tritt nur dann auf, wenn der Druck P über

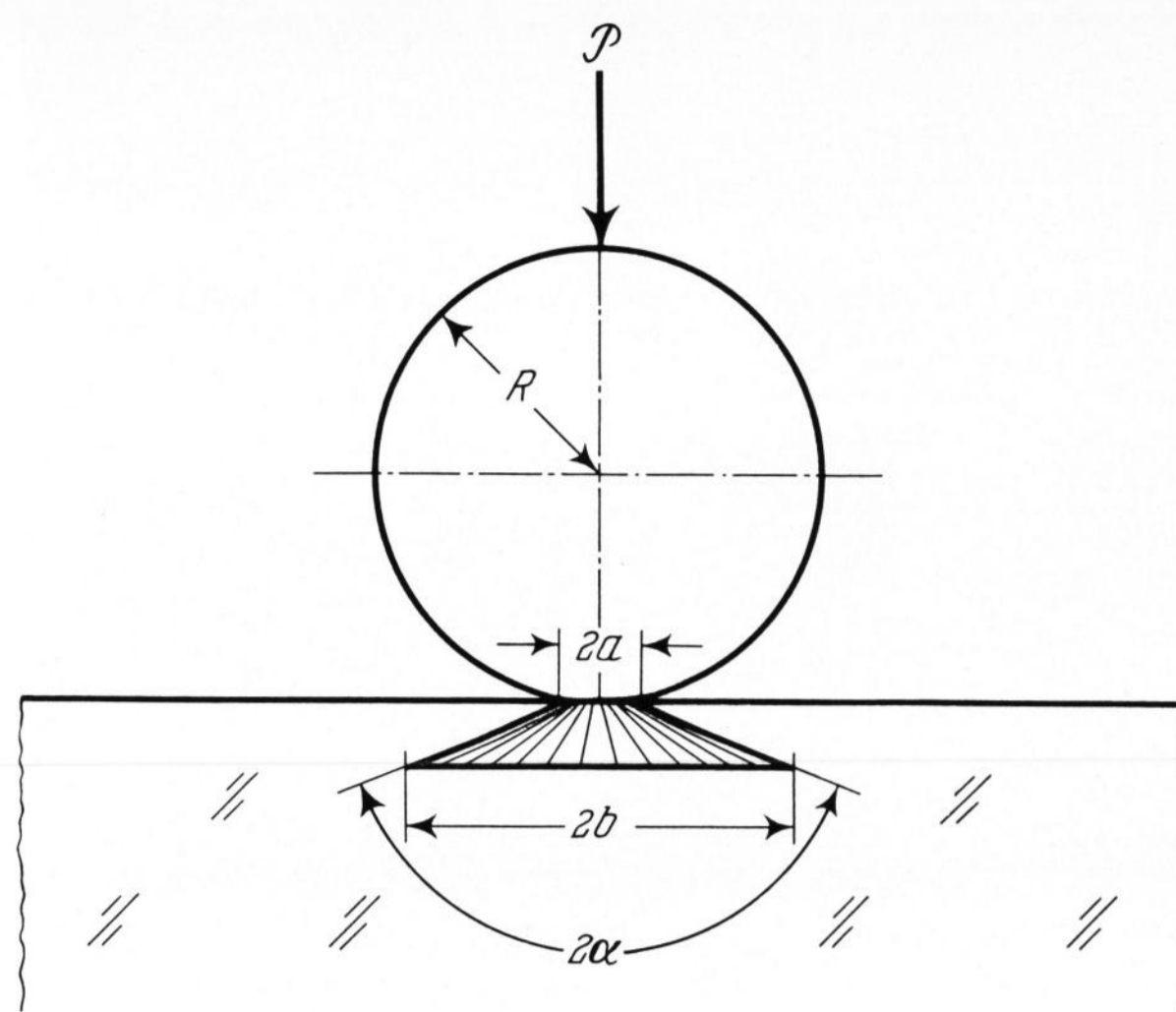


Bild 5. Prinzipskizze zur Entstehung eines HERTZschen Kegelbruchs durch Kugeldruck.

P : Druckkraft (kp); R : Kugelradius; a : Radius des Kontaktkreises; b : Radius der Kegelstumpfbasis; 2α : Öffnungswinkel des Kegels.

einen bestimmten kritischen Druck P_c gesteigert wird, der mit dem Kugelradius R nach der einfachen sogenannten AUERBACHSchen Beziehung zusammenhängt:

$$P_c = kR. \quad (3)$$

Die hierin eingehende empirische Konstante k beträgt für Spiegelglas rund 60 kp/cm (vgl. PETER [13] und TILLET [21]). In dem vorstehenden Zahlenbeispiel ist für eine Stahlkugel mit $R = 1 \text{ cm}$ also eine Mindestdruckkraft von 60 kp zur Erzeugung eines Kegelbruchs erforderlich. Der zugehörige kritische Kontaktradius a_c wäre dann nach Gleichung (1):

$$a_c = 0,42 \text{ mm}.$$

Nach PETER erhält man bei Kugeldruckversuchen eine rein elastische Verformung bis zur Bildung von Ringrissen am Rande der Kontaktfläche und zugehörigen HERTZschen Kegelbrüchen, wenn der Radius R der Kugel größer als rund $0,2 \text{ mm}$ ist.

In Strenge ist auch im Augenblick des Rißbeginns zwischen dem eigentlichen Kontaktradius und dem Radius der Ringrisse zu unterscheiden. So ergaben neuere Eindruckversuche von TURNER, SMITH und ROTSEY [23] mit relativ großen Kugeln ($R = 1,2 \text{ cm}$) aus Beryll, daß der gemessene Radius der Kontaktfläche um etwa 20% kleiner als der Radius des zugehörigen Ringrisses ist. Steigert man nach dem Auftreten des ersten Ringrisses die Last kontinuierlich weiter, so entstehen mehrere konzentrische Ringrisse.

Bei Versuchen mit zylinderförmigen Eindruckkörpern ist die Kontaktfläche unabhängig vom Druck, so daß nur einfache Ringrisse und dementsprechend einfache Kegelbrüche erzeugt werden.

Der Radius b der Kegelstumpfbasis läßt sich nach einer von ROESLER [16] angegebenen Näherungsbeziehung abschätzen:

$$b^3 = 1,19 \cdot 10^{-3} \cdot \sin \alpha \frac{P^2}{\Phi \cdot \mathcal{G}_A}. \quad (4a)$$

Hierin ist: α = der halbe Öffnungswinkel des HERTZschen Kegels; $\Phi = \frac{E_1}{2(1 + \mu_1)}$ = der Torsions-

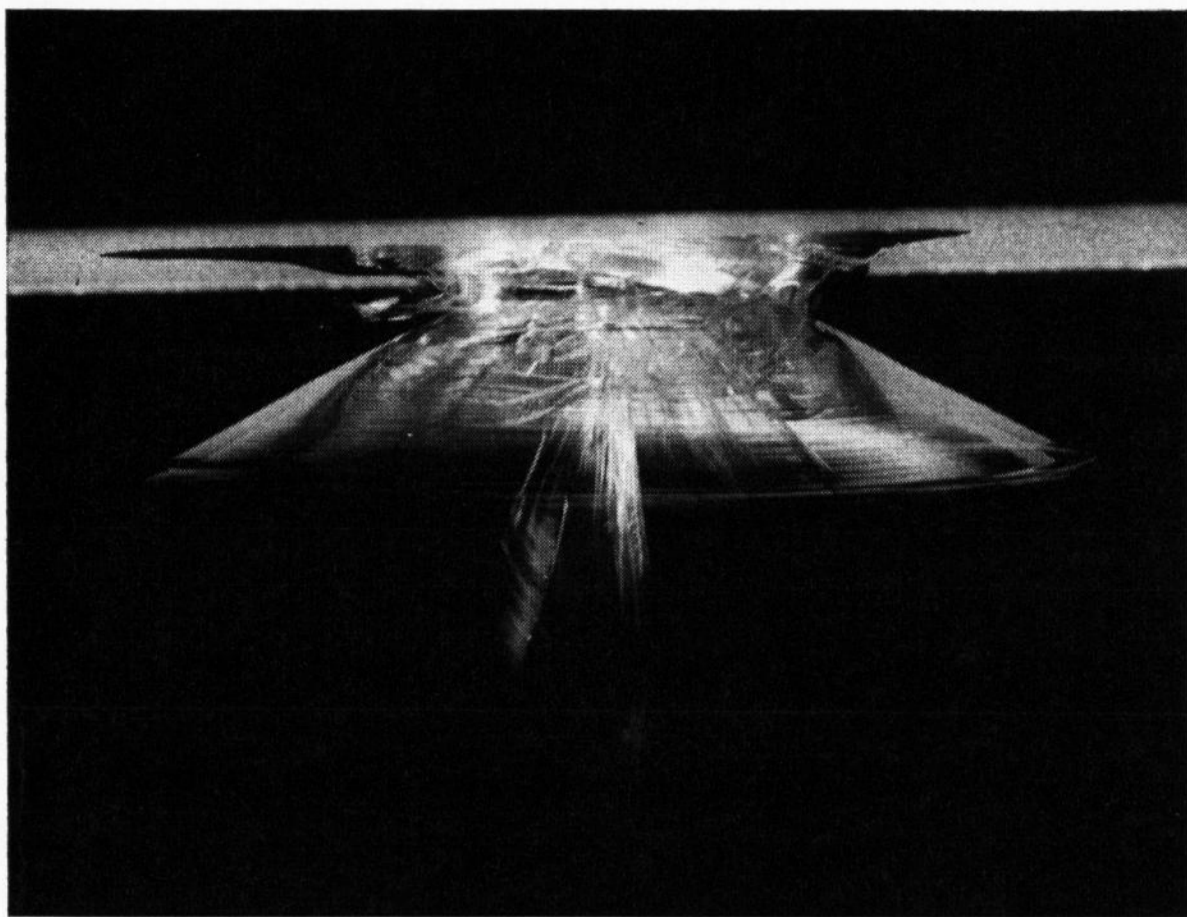


Bild 6. Kegelbruch in einem Quader aus dem optischen Glas BK 7 ($100 \times 100 \times 50$ mm) nach Kugelschlag. Gewicht: 3,25 kp; Fallhöhe: 23 cm; Kugeldurchmesser $2R$: 30 mm; Durchmesser der Kegelstumpfbasis: $2b$: 26 mm.

modul des Glases; \mathcal{G}_A = der „Anhaltewert“ der spezifischen Bruchenergie, d. i. diejenige Energie, die gerade noch ausreicht, um die Reißfläche (Kegelmantelfläche) um 1 cm^2 zu erweitern. (Zum Begriff der spezifischen Bruchenergie siehe KERKHOF und RICHTER [9].)

Bei seinen Druckversuchen mit Stahlbolzen fand ROESLER für α einen Mittelwert von $68^\circ 12'$ und berechnete hiermit und mit der Poisson-Zahl $\mu_1 = 0,25$ numerisch den in Gleichung (4a) angegebenen Zahlenfaktor.

Mit dem angegebenen Winkel α , mit einem Torsionsmodul $\Phi = 3,1 \cdot 10^5 \text{ kp/cm}^2$ (entsprechend den oben angegebenen Daten für E_1 und μ_1) und mit einem Anhaltewert der spezifischen Bruchenergie $\mathcal{G}_A \approx 8 \cdot 10^{-3} \text{ kp/cm}$ nach CULF [3] (der etwa gleich dem kritischen Wert \mathcal{G}_0 nach KERKHOF und RICHTER [9] ist), erhält man schließlich aus Gleichung (4a):

$$b \approx 7,7 \cdot P^{2/3} \text{ mm}, \quad (4b)$$

wenn P in t eingesetzt wird.

Es ist noch darauf hinzuweisen, daß auch bei absolut stabilen Belastungen noch ein geringer Anstieg der Kegelstumpfbasis $2b$ mit der Belastungszeit festzustellen ist: Bei Druckversuchen mit Stahlbolzen unter der Einwirkung verschiedener Flüssigkeiten und Gase fand CULF [3], daß eine stabile Endgröße der Bruchfläche bei Versuchen unter Wasser erst nach 3 Tagen, unter CO_2 -Gas nach 4 h, aber unter einem Silicon-Öl schon nach 1 min auftrat.

2.2. Primäre Bruchbildung bei Schlagbeanspruchung

Auch bei Schlagbeanspruchung mit einem kugelförmigen Körper entsteht primär ein Kegelstumpf mit

einem Öffnungswinkel von etwa 135° . Als Beispiel ist in Bild 6 ein solcher Kegelbruch in einem optischen Glas (BK 7)¹⁾ wiedergegeben, der dem „Kegel“ des in Bild 2 gezeigten Abschlages entspricht. Dieser Kegelbruch wurde dadurch erzeugt, daß eine Stahlkugel (mit $2R = 30 \text{ mm}$), die an ein zylindrisches Eisenstück geschraubt war, aus einer Höhe von 23 cm (= Abstand Kugelmittelpunkt-Glasoberfläche) auf die 50 mm breite Oberfläche der quaderförmigen Glasprobe fallen gelassen wurde. Das Gesamtgewicht des Eisenstückes mit Stahlkugel betrug 3,25 kp.

Ähnlich wie beim statischen Druckversuch entstehen beim Schlag mit einer Kugel im allgemeinen nicht nur ein Kegelstumpf, sondern zwei oder noch mehr kegelähnliche, ineinander sitzende Bruchflächen, aus denen muschelbruchartige Spaltflächen herauswachsen können (vgl. Bild 6; Mitte, sowie Bilder 9 und 10).

Die zeitliche Entwicklung der primären Kegelbrüche bei Schlagbeanspruchung wurde mit einer funkenkinematografischen Anlage untersucht, deren Prinzip in Bild 7 skizziert worden ist.

Bei dieser wird das Licht von 24 Funken über einen Hohlspiegel auf die 24 Objektive einer großen Kamera abgebildet. Die Objektive bilden ihrerseits jeweils das Objekt — in unserem Falle den schlagbeanspruchten Glasquader — 24mal auf die Fotoplatte bzw. auf den Film (der Gesamtgröße $180 \times 240 \text{ mm}$) in der Kamera ab. Alle Strahlengänge — von denen in Bild 7 nur zwei gezeichnet worden sind — durchsetzen das Objekt in einem elektronisch steuerbaren Zeitabstand von 1 oder mehreren Mikrosekunden, so daß jedes Einzelbild auf dem (ruhenden) Film einem bestimmten Zeitpunkt zugeordnet ist. Der erste Funke wird am einfachsten durch den elektrischen Kontakt ausgelöst, der beim Aufprall der Stahlkugel auf die mit Leitsilberlack versehene Glasoberfläche entsteht.

Das Prinzip der Funkenkinematografie wurde bekanntlich schon von CRANZ und SCHARDIN [2] in die Kurzzeitfotografie eingeführt und seitdem technisch so weitgehend vervollkommen (vgl. VOLLRATH [24]), daß heute ausgereifte Industrie-Geräte erhältlich sind.

Bild 8 zeigt sechs Einzelaufnahmen aus einer funkenkinematografischen Bildserie vom Kugelschlag auf einen Quader ebenfalls aus dem optischen Glas BK 7. Die Auswertung der gesamten Bildserie ergab, daß die Bruchgeschwindigkeit (gemessen auf der Mantelfläche des Kegelstumpfes) von anfänglich unmeßbar kleinen Werten auf etwa 1600 m/s, ansteigt und dann wieder auf Null absinkt. Auch bei dieser Belastungsart bleibt

¹⁾ Für die Überlassung von Versuchsgläsern danken die Autoren der Fa. Jenaer Glaswerke Schott & Gen., Mainz.

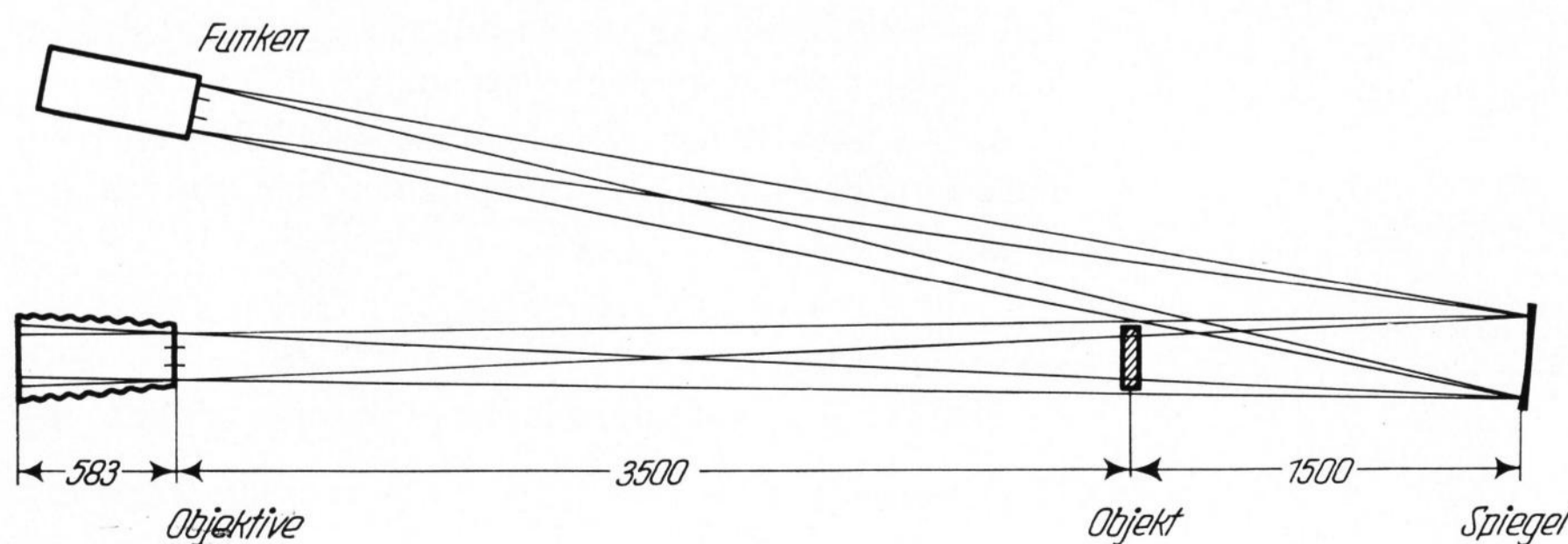
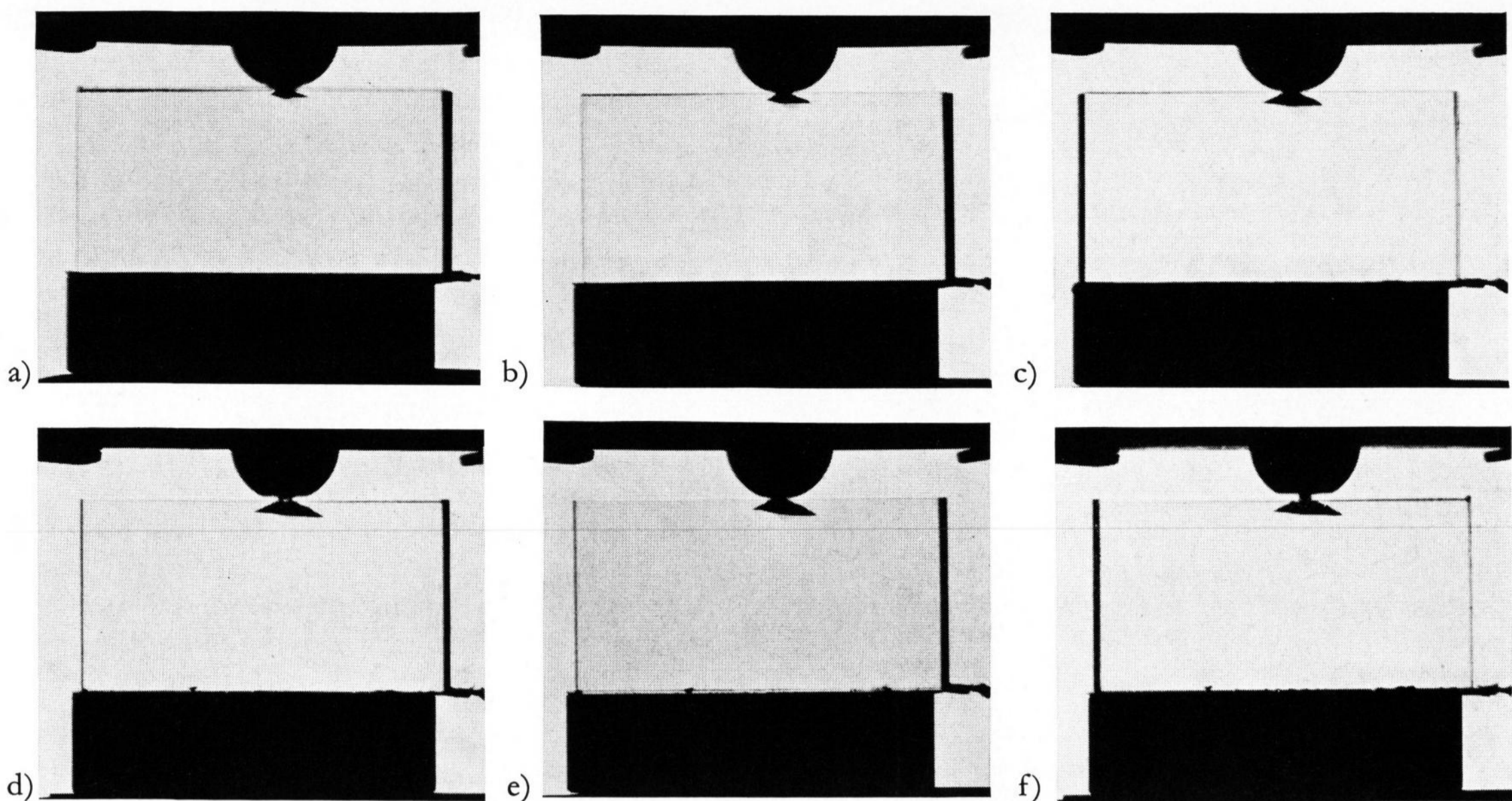


Bild 7. Prinzipskizze zur benutzten funkenkinematografischen Anlage.



Bilder 8a bis f. Sechs Einzelbilder aus einer funkenkinematografischen Bildserie vom Kugelschlag auf einen Quader aus BK7 der Breite 100 mm.

a) 0 μ s; b) 8 μ s; c) 11 μ s; d) 14 μ s; e) 17 μ s; f) 20 μ s.
 Gewicht: 3,25 kp; Kugeldurchmesser: 30 mm; Fallhöhe: 23,0 cm.

also die Bruchgeschwindigkeit, innerhalb der bei diesen Versuchen bisher möglichen Meßgenauigkeit, unter der für das Glas BK 7 bekannten Bruchhöchstgeschwindigkeit von 1677 m/s (KERKHOF [7]).

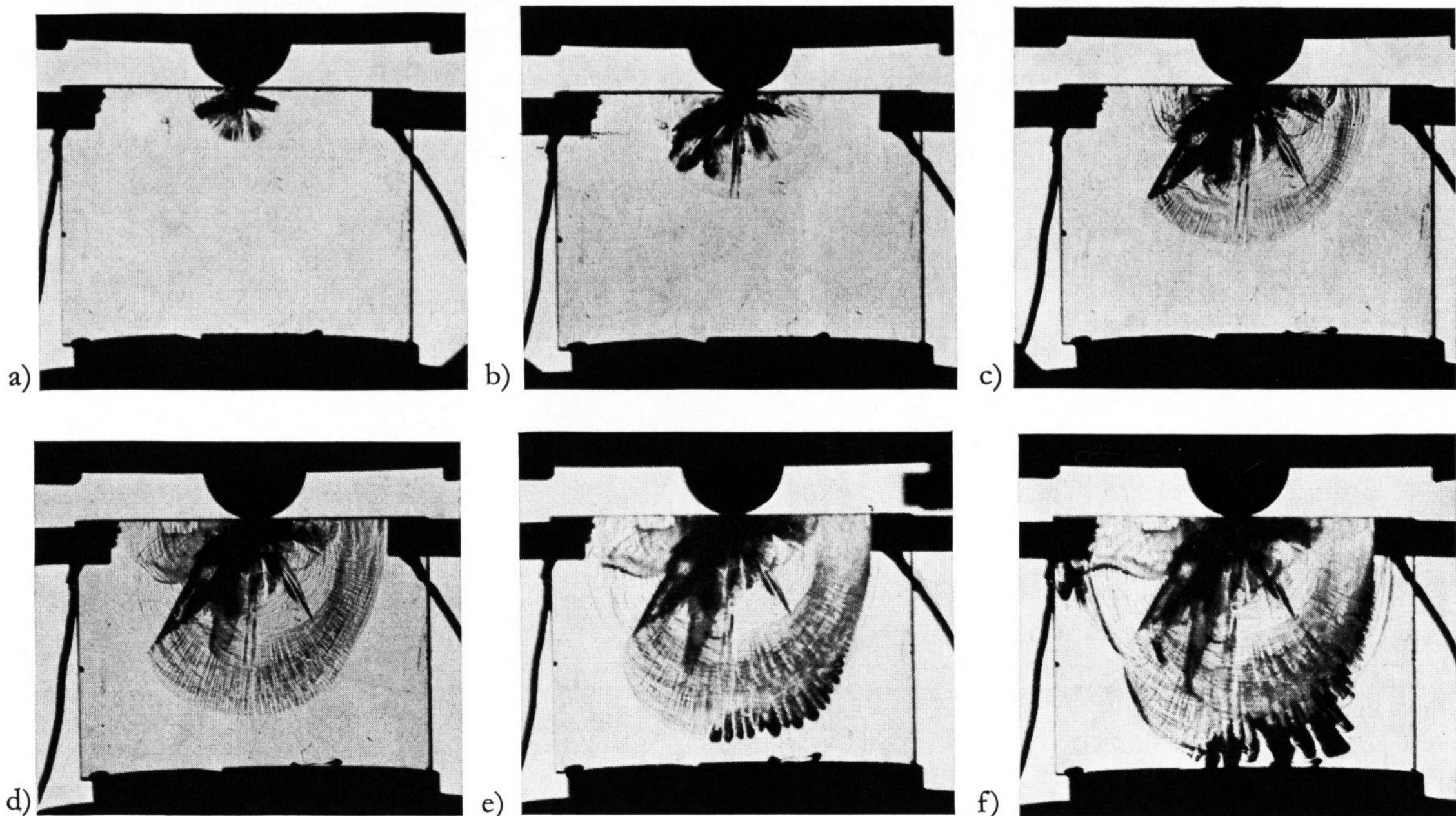
2.3. Sekundäre Brucherscheinungen

Offenbar kann der bereits fast oder ganz zum Stillstand gekommene Bruch infolge der im Probekörper erzeugten elastischen Wellen sich erneut — und zwar vor allem in Form von Spaltflächen oder Muschelbrüchen — weiter ausbreiten. Hierbei haben naturgemäß die Form der Probe, die Entfernung der Schlagstelle von den Seitenwänden und schon vorher vorhandene Kerben

oder Anrisse einen maßgeblichen, aber im einzelnen schwer analysierbaren Einfluß.

Schon das Bild 6 ist ein Beispiel hierfür: Man erkennt darin deutlich die Ansätze von Rißflächen, die teilweise aus dem primären HERTZschen Kegelbruch herausgewachsen sind.

Die zeitliche Entwicklung von solchen sekundären Rissen zeigt Bild 9, in dem sechs Einzelaufnahmen aus einer funkenkinematografischen Bildserie vom Kugelschlag auf eine nur 23 mm dicke Spiegelglasprobe wiedergegeben sind. Man erkennt, wie sich vor allem eine große muschelartige Spaltfläche parallel zu den großen Seitenflächen ausbildet. Die detaillierte Auswertung er-



Bilder 9a bis f. Sechs Bilder einer funkenkinematografischen Bildserie vom Kugelschlag auf eine Spiegelglasscheibe der Breite 100 mm und Dicke 23 mm.

Kugeldurchmesser: 30 mm; Gewicht: 3,25 kp; Fallhöhe: 65,0 cm; Zeitlicher Bildabstand: 10 μ s.



Bild 10. Spaltbruchfläche mit Wallner-Linien und Lanzettbrüchen.

Am oberen Bildrand: Bruchbeginn mit Kegelbruchteilen; Optisches Glas BK7; Bildhöhe \triangleq Höhe der Bruchprobe = 100 mm.

gab, daß einzelnen Bruchzweige, wie die nach links unten gerichtete Spitze mit stark wechselnden Geschwindigkeiten voranschreiten, die zwischen praktischem Stillstand und der maximalen Bruchgeschwindigkeit von etwa 1500 m/s liegen.

Die für die Ausbildung derartiger Spaltflächen notwendigen statischen und dynamischen Voraussetzungen im einzelnen zu klären, dürfte die Kardinalfrage sein, die der Archäologe an den Physiker zu stellen hat — womit zugleich zugestanden sei, daß damit nicht viel mehr als eine gewisse Präzisierung der Fragestellung über die steinzeitliche Schlagtechnik erreicht ist.

Andererseits erlauben die auf den — im obigen Sinne „sekundären“ — Spaltflächen feststellbaren wellenartigen Linien „Schlagwellen“ oder Schlagringe sowie die ebenfalls schon im Abschnitt 1. erwähnten „Lanzettbrüche“ wenigstens nachträgliche Aussagen über Bruch-

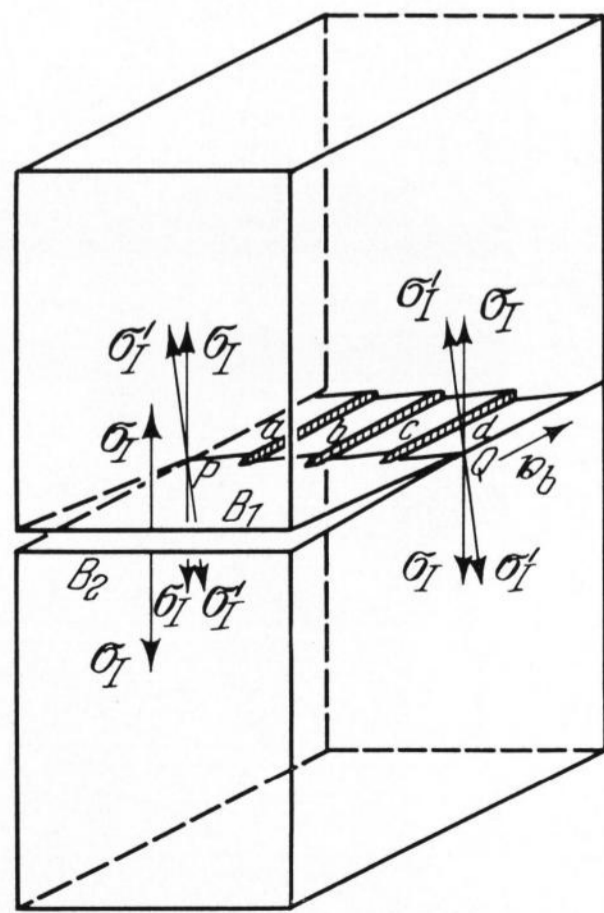


Bild 11. Zur Entstehung von Lanzettbrüchen infolge einer Richtungsänderung der maximalen Hauptzugspannung ($\sigma_I \rightarrow \sigma'_I$).

richtung und Bruchgeschwindigkeit, die zur Zeit des Bruchvorganges an den verschiedenen Stellen der Bruchfläche geherrscht haben. Hierzu seien einige erläuternde Bemerkungen gestattet.

Bild 10 zeigt eine Spaltbruchfläche, die mit der mehrfach erwähnten Kugelschlagmethode in einem Quader aus BK7-Glas erzeugt worden ist. Sie wurde als Beispiel gewählt, weil sie sowohl „Schlagwellen“, oder in der Sprechweise des Physikers „Wallner-Linien“, wie auch Lanzettbrüche in besonders prägnanter Weise enthält.

Man erkennt am oberen Rande dieses Bildes noch Ausläufer des ursprünglichen primären Bruchkegels, durch den auch der Bruchsprung eindeutig gekennzeichnet ist. Die davon fast strahlenförmig ausgehenden feinen Risse — die absatzweise verschwinden und wieder auftauchen — sind Lanzettbrüche. Die zu diesem etwa senkrecht orientierten, weicheren Linien, die fast konzentrisch zum Bruchursprung verlaufen, sind Wallner-Linien.

2.3.1. Lanzettbrüche

Die Entstehung der sogenannten „Lanzettbrüche“ wurde von SMEKAL [19] erstmalig als eine Erscheinung gedeutet, die aus dem im Abschnitt 2.1. erwähnten Normalspannungsgesetz gefolgert werden kann, wenn man dieses auch auf das dreidimensionale Problem der Bruchausbreitung erweitert, d. h. auf den Fall, in dem die an der Bruchfront momentan wirkende maximale Hauptzugspannung nicht mehr senkrecht zur Bruchfront orientiert ist.

In Bild 11 ist die Bildung von drei Lanzettbruchflächen veranschaulicht. Der unter der Einwirkung der Zugspannung σ_I erzeugte Trennungsbruch sei bis zur Bruchfront PQ fortgeschritten. Von hier ab änderte die Hauptzugspannung σ_I ihre Richtung (σ'_I). Sie ist zwar noch senkrecht zur ursprünglichen und weiterhin unveränderten Bruchrichtung, die durch den Pfeil η_B dargestellt ist. Sie steht aber nicht mehr senkrecht auf den bisherigen Bruchflächen B_1 und B_2 (die nur zur besseren Unterscheidung deutlich getrennt gezeichnet worden sind). Jede der Teilflächen a, b, c und d hat nun nach dem Normalspannungsgesetz das Bestreben, senkrecht zur Hauptzugspannung σ'_I orientiert zu sein. Die notwendige Folge ist, daß sich zwischen den Flächen sekundär schmale Bruchflächen (in Bild 11 schraffiert) ausbilden, die in Bruchrichtung weisen und die etwa senkrecht zur primären Bruchfläche stehen.

Der Mechanismus der Ausbildung von Lanzettbrüchen ist von SOMMER [20] eingehender untersucht worden.

Rückschauend auf den archäologischen Befund können besonders gut ausgeprägte Lanzettbrüche in der unmittelbaren Nachbarschaft des Schlagkegels in Bild 2 festgestellt werden, sowie in der Nähe des Wortes „Montières“ in Bild 3a. Gemeinsam mit den Wallner-Linien (s. unten) geben sie im allgemeinen eindeutige Hinweise auf die Bruchrichtung.

2.3.2. Wallner-Linien

Vor der eigentlichen Erklärung von Wallner-Linien sei noch auf Bild 12 hingewiesen, das zahlreiche Wallner-Linien zeigt, die in erster Linie von der — vorher eingesägten — Kerbe am oberen Bildrand ausgehen, in dessen Mitte ungefähr auch der Bruchursprung liegt.

Eine große Schar fiederförmig angeordneter Wallner-Linien geht außerdem von der Vereinigungslinie der beiden Bruchfrontenteile aus, die durch die Kapillare aus der ursprünglich einheitlichen Bruchfront (im oberen Bilddrittel) entstanden sind.

Klar ausgeprägte Wallner-Linien sieht man im übrigen nur — und auch nur bei geeigneter Beleuchtung — auf glatten, spiegelnden Bruchflächen, auf den sogenannten „Bruchspiegeln“.

Die Wallner-Linien wurden von WALLNER [25] erstmalig gedeutet. In Bild 13 ist für den Fall konstanter Bruchgeschwindigkeit v_B die Entstehung einer einzigen Wallner-Linie (ABCDE) skizziert. Um den Bruchursprung P sind konzentrisch fünf aufeinanderfolgende Bruchfronten in zeitlich konstantem Abstand T eingezeichnet. Der erste Kreis durch A stellt die Bruchfront nach der Zeit t_0 dar, der Bruch hat bis zu diesem Zeitpunkt also den Weg $v_B t_0$ zurückgelegt. Bei A befindet sich nun zufällig eine kleine Kerbelle. Die an dieser Kerbelle (durch allgemeine mechanische Beanspruchung) konzentrierte, elastische Energie wird in dem Augenblick frei, in dem die Bruchfront die Stelle A erreicht, und breitet sich in Form eines zur entstehenden Bruchfläche transversalen Impulses mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit v_t radialsymmetrisch aus. Nach jeweils der Zeit T ist der Impuls bis zu einem gestrichelten Kreis fortgeschritten. Es ist also $t_1 - t_0 = T$, $t_2 - t_0 = 2T$, $t_3 - t_0 = 3T$ usw. (für Bild 5 wurde angenommen, daß $v_t = 2,3 v_B$ ist). Bruchfront und Impulswelle haben nun für die folgenden Zeiten die folgenden Punkte gemeinsam: t_0 : A, t_1 : B, t_2 : C, t_3 : D usw. Auf diese Weise entsteht eine Wallner-Linie als Spur der Überlagerung einer bei A ausgelösten Impulswelle mit dem Bruchprozeß. Ist nun der ganze Bruchspiegel von solchen einander kreuzenden Wallner-Linien durchzogen, so lassen sich — auf Grund des soeben beschriebenen Konstruktionsprinzips einer Wallner-Linie — die Bruchfronten zu einzelnen Zeitpunkten rekonstruieren und damit die Bruchgeschwindigkeiten für alle Punkte des Bruchspiegels ermitteln, wenn die Geschwindigkeit der zeichnenden transversalen Impulswellen bekannt ist.

Es gibt auch verschiedene Möglichkeiten, aus den Winkeln an Wallner-Linien das Verhältnis der Bruchgeschwindigkeit zur Geschwindigkeit transversaler Wellen zu bestimmen (vgl. PONCELET [15] und KERKHOF [8]). An dieser Stelle sei nur die besonders einfache Gleichung angegeben:

$$\frac{v_B}{v_t} = \frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\cos \beta}, \quad (5)$$

die für den Fall gilt, daß die Wallner-Linien wie in Bild 14 zueinander spiegelsymmetrisch verlaufen, daß also $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ ist. Unter den Winkeln β_1 und β_2 sind dabei in Strenge diejenigen Winkel zu verstehen, die von den Tangenten an die Wallner-Linien mit den Verbindungsgeraden des gemeinsamen Schnittpunktes mit den Ursprungspunkten A_1 und A_2 gebildet werden. Häufig kann in einem bestimmten Bereich einer Bruchfläche mit nahezu konstanten Winkeln $\beta_{1,2}$ gerechnet werden, so daß dann im wesentlichen der Schnittwinkel φ ein Maß für die Bruchgeschwindigkeit im Schnittpunkt zweier Wallner-Linien ist.

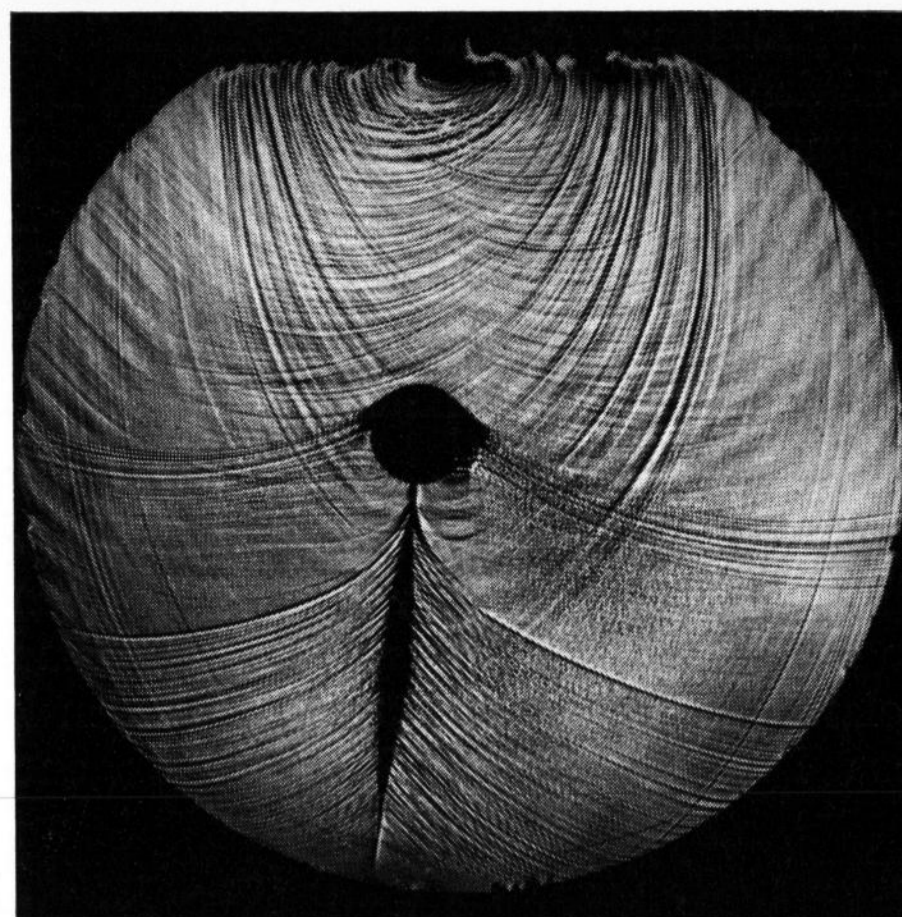


Bild 12. Bruchfläche eines gekerbten Rundstabes ($\varnothing = 10$ mm) mit Kapillare.

Zahlreiche Wallner-Linien gehen vor allem von der Kerbe und von der Vereinigungslinie der beiden Teilbrüche hinter der Kapillare aus. Diese „Nahtlinie“ gibt die Richtung der wiedervereinigten Bruchfronten an (nach SOMMER, Ernst-Mach-Institut Freiburg i. Br., unveröffentlicht).

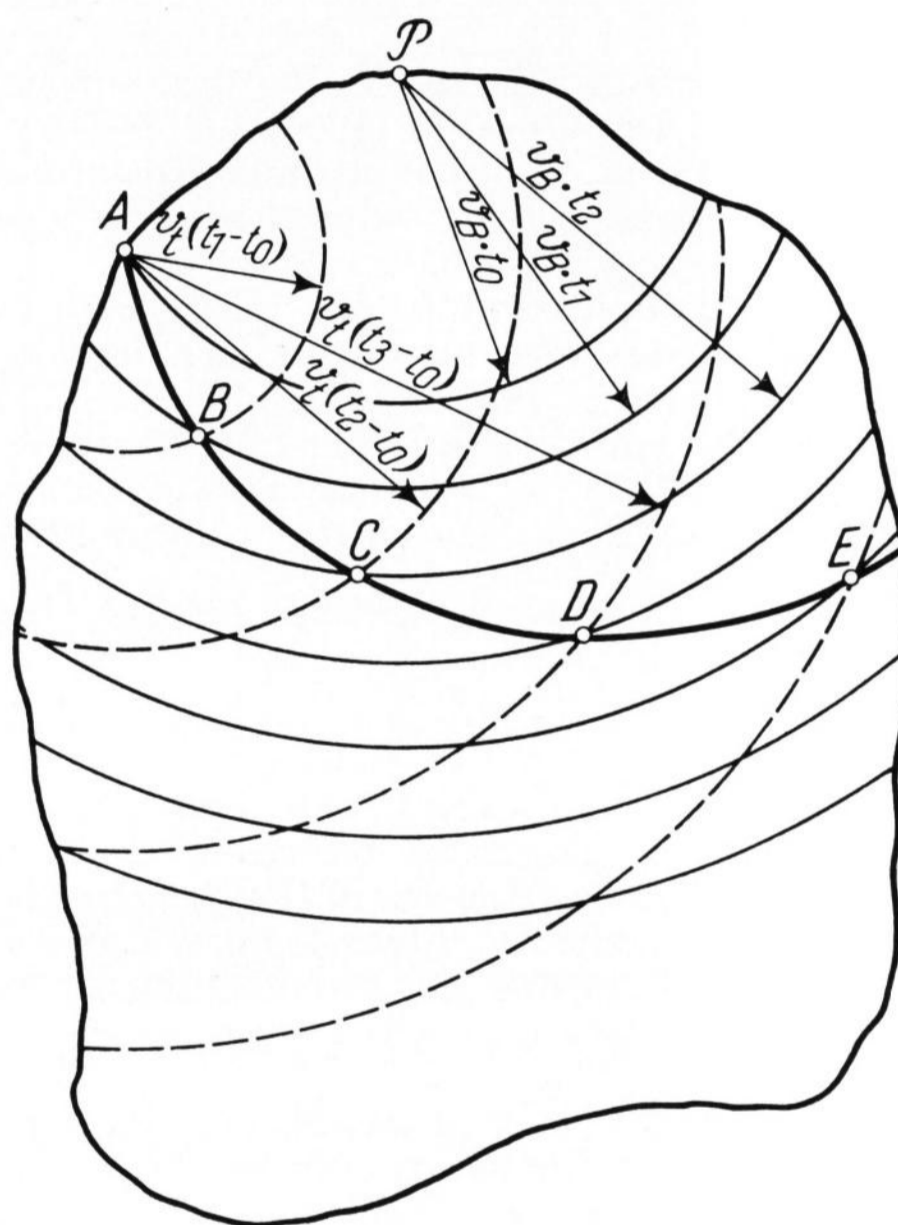


Bild 13. Prinzipskizze zur Entstehung einer Wallner-Linie (ABCDE).

P: Bruchursprung.

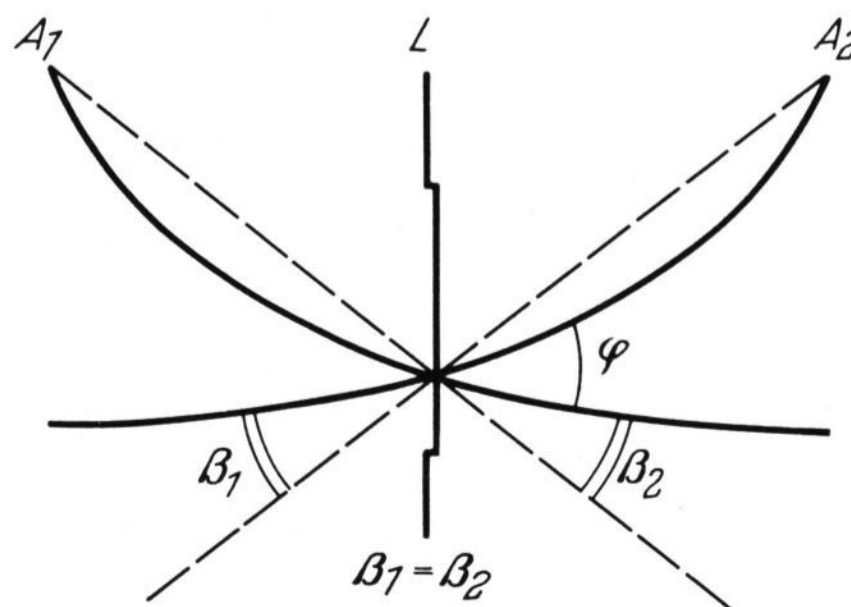


Bild 14. Symmetrische Kreuzung zweier Wallner-Linien ($\beta_1 = \beta_2$).

A_1, A_2 : Ursprungspunkte; L: Lanzettbruch durch den Schnittpunkt der Wallner-Linien.

Zur Ermittlung der Bruchgeschwindigkeit aus Wallner-Linien muß aber in allen Fällen die Lage ihrer Ursprungspunkte (in Bild 14: A_1 und A_2) bekannt sein.

In Bild 14 ist im übrigen noch ein — als gezackte Linie dargestellter — Lanzettbruch L gezeichnet, der, da er die Bruchrichtung repräsentiert, senkrecht auf der Winkelhalbierenden des Schnittwinkels φ stehen muß.

Natürlich können die Ursprungspunkte von Wallner-Linien auch außerhalb der Bruchfläche liegen, etwa in Kerbstellen, die bei einer starken dynamischen Beanspruchung ebenfalls zur Aussendung von bruchzeichnenden elastischen Impulsen angeregt werden können. Auf diese Möglichkeit der Erzeugung „anomaler“

Wallner-Linien hat SCHARDIN [17] schon hingewiesen. Liegt der Ursprung eines solchen Impulses in weiter Entfernung senkrecht über der Bruchfläche, so sollte theoretisch eine Wallner-Linie mit einer Bruchfront identisch sein (vgl. KERKHOF [8]). Es ist anzunehmen, daß bei der Entstehung eines sogenannten Muschelbruches oder einer Spaltfläche unter Schlagbeanspruchung viele anomale Wallner-Linien auf diese Weise entstehen.

In diesem verallgemeinerten Sinne können die Schlagwellen auf den archäologischen Funden in Bild 3a und 3b tatsächlich als Wallner-Linien angesehen werden, die — erwartungsgemäß — ungefähr senkrecht auf den, wenn auch spärlichen, lanzettartigen Bruchlinien stehen.

3. Literatur

- [1] ADRIAN, W.: Die Frage der norddeutschen Eolithen. Paderborn: Schöningh 1948.
- [2] CRANZ, C. und SCHARDIN, H.: Kinematografie auf ruhendem Film und mit extrem hoher Bildfrequenz. Z. Phys. **56** (1929) S. 147—183.
- [3] CULF, C. J.: Fracture of glass under various liquids and gases. J. Soc. Glass Technol. **41** (1957) S. 157—167 T. [Ref. Glastechn. Ber. **31** (1958) S. 354.]
- [4] HERTZ, H.: Gesammelte Werke. Bd. 1. Leipzig: Barth 1895.
- [5] HUBER, M. T.: Zur Theorie der Berührung fester elastischer Körper. Ann. Phys. **14** (1904) S. 153—163.
- [6] JEBSEN-MARWEDEL, H.: Glas als Rekonstruktionsmodell für die steinzeitliche Feuersteinbearbeitung. Glastechn. Ber. **40** (1967) S. 485—486.
- [7] KERKHOF, F.: Bestimmung der maximalen Bruchgeschwindigkeit verschiedener Gläser nach der Ultraschall-Methode. Glastechn. Ber. **35** (1962) S. 267—272.
- [8] KERKHOF, F.: Sprödbbruchmodulation durch elastische Wellen. In: VOLLRATH, K. und THOMER, G. (Hrsg.): Kurzzeitphysik. Wien, New York: Springer 1967. S. 498 bis 552.
- [9] KERKHOF, F. und RICHTER, H.: Die kritische spezifische Bruchenergie und ihre Messung an verschiedenen Gläsern mit Hilfe der Ultraschallfraktografie. Glastechn. Ber. **42** (1969) Nr. 4, S. 129—136.
- [10] LUMLEY, H. DE U. a.: La grotte du Vallonet, Roquebrune-Cap-Martin (A.-M.). Note préliminaire. Bull. Mus. Anthropol. préhistor. Monaco **10** (1963) S. 5—20.
- [11] LYELL, CH.: Das Alter des Menschengeschlechtes auf der Erde und der Ursprung der Arten durch Abänderung nebst Beschreibung der Eiszeit in Europa und Amerika. Leipzig: Thomas 1864. S. 75.
- [12] MÜLLER-BECK, H.: Das Altpaläolithikum. In: DRACK, W. (Hrsg.): Ur- und frühgeschichtliche Archäologie der Schweiz. Bd. 1: Die ältere und mittlere Steinzeit. 1968. S. 89—106.
- [13] PETER, K.: Sprödbbruch und Mikroplastizität von Glas in Eindruckversuchen. Glastechn. Ber. **37** (1964) S. 333 bis 345.
- [14] PFEIFFER, L.: Die steinzeitliche Technik und ihre Beziehung zur Gegenwart. Jena: G. Fischer 1912.
- [15] PONCELET, E. F.: The markings on fracture surfaces. J. Soc. Glass Technol. **42** (1958) S. 279—288 T. [Ref. Glastechn. Ber. **35** (1962) S. 208.]
- [16] ROESLER, F. C.: Brittle fractures near equilibrium. Proc. phys. Soc. **B 69** (1956) S. 981—992. [Ref. Glastechn. Ber. **31** (1958) S. 354.]
- [17] SCHARDIN, H.: Ergebnisse der kinematografischen Untersuchung des Glasbruchvorganges. III. Teil. Glastechn. Ber. **23** (1950) S. 325—336.
- [18] SCHMIDT, R. R.: Die diluviale Vorzeit Deutschlands. Stuttgart: Schweizerbarth 1912.
- [19] SMEKAL, A.: Zum Bruchvorgang bei sprödem Stoffverhalten unter ein- und mehrachsigen Beanspruchungen. Österr. Ing. Arch. **7** (1953) S. 49—70. [Ref. Glastechn. Ber. **27** (1954) S. 398.]
- [20] SOMMER, E.: Formation of fracture „lances“ in glass. Eng. Fract. Mech. **1** (1969) S. 539—546.
- [21] TILLET, J. P. A.: Fracture of glass by spherical indenters. Proc. phys. Soc. **B 69** (1956) S. 47—54. [Ref. Glastechn. Ber. **35** (1962) S. 372.]
- [22] TIMOSHENKO, S. und GOODIER, J. N.: Theory of elasticity. New York, Toronto, London: McGraw-Hill 1951.
- [23] TURNER, D. N., SMITH, P. D. und ROTSEY, W. B.: Hertzian stress cracks in beryllia and glass. J. Amer. ceram. Soc. **50** (1967) S. 594—598.
- [24] VOLLRATH, K.: Funkenlichtquellen und Hochfrequenz-Funkenkinematografie. In: VOLLRATH, K. und THOMER, G. (Hrsg.): Kurzzeitphysik. Wien, New York: Springer 1967. S. 76—165.
- [25] WALLNER, H.: Linienstrukturen an Bruchflächen. Z. Phys. **114** (1939) S. 368—378. [Ref. Glastechn. Ber. **18** (1940) S. 52.] (50456)

DK 666.1.036.4(091):666.1(091):92 Fourcault

Fünfzig Jahre mechanische Tafelglaserzeugung nach dem Fourcault-Verfahren. Zum fünfzigsten Todestag Emile Fourcaults

Von HERBERT GOERK, Witten (Ruhr)

(Mitteilung aus dem Chemischen Labor der Deutschen Tafelglas AG, Witten (Ruhr))

(Eingegangen am 1. August 1969)

Im Jahre 1919 erreichte die Entwicklung des mechanischen Ziehprozesses nach FOURCAULT betriebliche Reife, und seine Einsatzfähigkeit im industriellen Maßstabe wurde erwiesen. Im gleichen Jahre, am 11. Oktober 1919, verschied EMILE FOURCAULT, der große belgische Erfinder und Mensch.

Im Jahre 1969 jährt es sich zum fünfzigsten Mal, daß der mechanische Ziehprozeß für die Erzeugung von Tafelglas nach dem Fourcault-Verfahren bis zur betrieblichen Reife entwickelt und der Nachweis für seine

industrielle Einsatzfähigkeit erbracht wurde. Im gleichen Jahre, am 11. Oktober, gedenken wir des fünfzigsten Todestages des großen Erfinders und Menschen EMILE FOURCAULT.