

NOTIZEN

**Das Kalium-Argon-Alter des Bosumtwi-Kraters
in Ghana und die chemische Beschaffenheit
seiner Gläser**

Von W. GENTNER, H. J. LIPPOLT und O. MÜLLER

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg
(Z. Naturforschg. 19 a, 150–153 [1964]; eingeg. am 25. Dezember 1963)

Two glasses from the Bosumtwi crater in Ghana which we collected during an excursion had been dated by potassium argon measurements. The glass from the Buonomi river shows an age of $(1.2 \pm 0.1) \cdot 10^6$ y, which may be slightly lowered because of diffusion loss. The glass from the valley of the Ata river shows an age of $(1.4 \pm 0.2) \cdot 10^6$ y. It possibly is somewhat increased by inherited argon. The average value for the age of the crater therefore is $(1.3 \pm 0.3) \cdot 10^6$ y. This value is in good agreement with the potassium argon age of the Ivory Coast tektites¹ $(1.3 \pm 0.2) \cdot 10^6$ y. By these experiments the common origin of Bosumtwi crater and the Ivory Coast tektites has been experimentally founded for the first time.

The chemical major and minor constituents of these two glasses and a tektite specimen from the Ivory Coast have been determined by X-ray-fluorescence technique and compared among each other. They yielded considerable chemical similarities, above all for the minor elements, the abundances of which are much more characteristic than those of the major constituents. The K/Zr, Rb/Zr, Ni/Fe and Cr/Ni ratios are also similar for these three samples and are important arguments in the discussion on the origin of Ivory Coast tektites.

The origin of these glasses seems to be the same as described in an earlier paper about the glasses of the Nördlinger Ries and the Moldavites. In both cases a meteorite impact could be the source of these glasses.

Im westafrikanischen Staat Ghana liegt 300 km landeinwärts ein nahezu kreisrunder, mit einem See gefüllter Krater von 13 km Durchmesser, der Bosumtwi-Krater. Die Entstehung dieses Gebildes hat der Geologie ähnliche Rätsel aufgegeben wie das Nördlinger Ries in Süddeutschland. Als mögliche Mechanismen wurden tektonische Senkung, vulkanische Eruption und der Einschlag eines Riesenmeteoreten diskutiert. Als Indizien für die letzte Hypothese werden „Vergriesungsscheinungen und Drucksuturen“ (ROHLEDER²) und das Vorkommen von Coesit in bimssteinähnlichen Glasbildungen (LITTLER et al.³) gewertet.

Obwohl dieser Bosumtwi-Krater in sehr alte, präkambrische ($> 1.7 \cdot 10^9$ a) Gesteine gesprengt ist, deuten die wohlerhaltene Form des Kraters, eventuell eiszeitliche Terrassenbildungen, Ablagerungen fossiler Fische und auch die Isoliertheit gegenüber dem allgemeinen Bewässerungssystem des Landes auf ein jungtertiäres, vielleicht sogar pleistozänes Alter des Kraters.

¹ J. ZÄHRINGER, Radioactive Dating, International Atomic Energy Agency, Wien 1962, S. 289.

² H. P. T. ROHLEDER, Centr. Bl. Min. Geol. Paläont. 1936, 316.

Tuffe und Brekzien, welche die Folgen der Kraterbildung sind, enthalten glasige, bimssteinartige Bestandteile, die nach der Kalium-Argon-Methode datiert werden können. Zwei Fundstellen sind bekannt, im Tal des Flüßchens Ata und des Buonomi. Der Geological Survey von Ghana überließ uns ein Sammlungsstück des „Suevits“ von Ata. Daraus isolierten wir 500 mg grünes Glas. Als Alter erhielten wir dafür $t \leq 5.5 \cdot 10^6$ a. Eine exaktere Angabe war nicht möglich, weil kein Material zur Nachmessung zur Verfügung stand. Eine Erhöhung des Alters durch eine nicht entdeckte Verunreinigung des Glases mit dem sehr alten umgebenden Gestein und durch den Gasinhalt der Blasen dieses Glases konnte nicht sicher ausgeschlossen werden.

Es gelang uns, gemeinsam mit den Professoren Th. Monod (Dakar) und A. F. J. SMIT (Legon) die Fundplätze wieder aufzufinden und Material zu entnehmen. Der erste Fund bestand aus einem großen, im Wasser des Buonomi liegenden Gesteinsquader eines grauen Gesteins, das sich als glasig auswies. Der zweite Fund war ein brekziöses, im Flussbett des Ata anstehendes Gestein mit kleinen, mm- bis cm-großen glasigen Einschlüssen. Professor FRECHEN (Bonn) untersuchte die Dünnschliffe dieser Gesteine. Probe Buonomi ist ein poröses, farbloses bis grau-braun pigmentiertes Glas, das wahrscheinlich schwach umgebildet ist. Die Pigmentierung kann durch winzige sekundäre Limonitbildungen verursacht sein. Eine fein verteilte Tonmineralbildung auf den Porenwänden bedingt die schwach grünliche Färbung des Glases. Als Einsprenglinge kommen selten Feldspat, häufig Quarzglas vor. Probe Ata stellt gut erhaltenes Glas grüner Färbung dar, es enthält Blasen und ist teilweise schaumig. Die Brekzie, aus der es stammt, enthält viele Gesteinsfragmente hohen Alters, Phyllit und Glimmerschiefer mit viel Biotit, Muskovit und Zoisit-Epidot.

Probe Buonomi war im wesentlichen ein einheitliches Glas. Wir zerkleinerten es und siebten uns drei Fraktionen aus, welche wir getrennt datierten, um eventuelle Blaseninhalte als Fehlerquellen auszuschließen. Probe Ata hatte jedoch ein weites Größenspektrum, da die Glaskörper beim Herauspicken aus dem Wirtsgestein leicht zerstört wurden. Wir siebten uns auch hier drei Fraktionen heraus. Die mit den größten Körnern (mm-Größe) wurde daraufhin unter dem Mikroskop ausgelesen, damit jede Verunreinigung durch anhaftendes altes Gestein vermieden ist. Aus dem daraufhin gereinigt vorliegenden Glasmaterial sortierten wir die dunklen Glassplitter mit wenig Blasen und die hellen, bla-

³ J. LITTLER, J. J. FAHEY, R. S. DIETZ u. E. C. T. CHAO, Abstr. 74. Ann. Meeting Geol. Soc. Amer. 1961.



senreichen Glasstücke aus. Das dunklere Glas ist spezifisch schwerer als das helle, was vermutlich auf die Blasen zurückzuführen ist.

Diese beiden Konzentrate wurden getrennt datiert, und zwar in der ursprünglichen Korngröße 1–3 mm, als ca. 0,2 mm große Körner und als Pulver (ca. 50 bis 70 μ). Bei diesem Pulver waren nahezu alle Blasen aufgeschlagen. Die Kaliumgehalte wurden flammenphotometrisch bestimmt. Den Altersangaben legten wir die Konstanten für den Kaliumzerfall $\lambda = 5,32 \cdot 10^{-10}$ a⁻¹ und $\lambda_k/\lambda_\beta = 0,123$ zugrunde. Die Ergebnisse sind in Tab. 1 aufgeführt. Die angegebenen Alter sind Mittelwerte von jeweils mindestens zwei Messungen.

Die drei Buonim-Korngrößen ergaben nahezu dasselbe Alter von $(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^6$ a. Die Ata-Proben dagegen brachten je nach Korngröße ein anderes Alter. Die höchsten Alter ergaben die unzerkleinerten, mm-großen Körner, nämlich $2,7 \cdot 10^6$ a beim hellen und $2,2 \cdot 10^6$ a beim dunklen Glas. Die mittlere Korngröße zeigte ein Alter von 1,7 bzw. $1,5 \cdot 10^6$ a. Die Pulver hatten ein K-Ar-Alter von 1,7 bzw. $1,4 \cdot 10^6$ a. Die Erklärung dieses scheinbaren Altersgangs mit der Korngröße liegt in den Blasen. Wir zertrümmerten je eine Probe im Vakuum, um den Blaseninhalt zu analysieren und stellten dabei für die Ata-Proben Argon-Blasengehalte von über $1 \cdot 10^{-6}$ cm³/g mit einem kleinen Beitrag überschüssigen Argon 40 fest (2–3%). Das läßt die hohen Werte der großen, blasenhaltigen Körner verstehen. Die mittlere Korngröße enthält nur noch wenig Blasen, deshalb weniger atmosphärisches Argon und auch ein kleineres Alter. Der gemessene Luftargongehalt des Pulvers ist wieder höher, da durch das Pulverisieren die adsorbierende Oberfläche größer wird. Die K-Ar-Alter der Pulver kommen wohl dem wahren Alter am nächsten. Es fragt sich, warum der Wert für das helle Glas 20% höher liegt als der des dunklen. Es ist möglich, daß im hellen Glas, dessen Blasenreichtum eine weniger fortgeschritten Entgasung andeutet, noch ererbtes Argon vorhanden ist. Da auch beim dunklen Glas aus diesem Grunde eine leichte Erhöhung sein könnte,

nehmen wir den Wert von $1,4 \cdot 10^6$ a als obere Grenze und sagen, daß das Alter des Bosumtwi-Glases Ata kleiner oder gleich $1,4 \cdot 10^6$ a ist. Die Datierung des uns vom Geological Survey von Ghana überlassenen Ata-Glases ist vermutlich wegen der Blasen und einer Fremdgesteinserunreinigung zu hoch ausgefallen.

Das K-Ar-Alter der Probe Buonim ist vermutlich zu klein. Das schließen wir aus den mikroskopisch erkennbaren Veränderungen und aus einem Diffusionsexperiment, das wir mit diesem Glas durchführten. Es ergaben sich für Zimmertemperatur Diffusionskonstanten von 10^{-18} bis 10^{-19} cm²/sec und eine Aktivierungsenergie von nur 22 kcal/Mol. Deswegen muß man Diffusionsverluste seit der Bildung des Glases in Betracht ziehen. Wir können also nur aussagen, daß das K-Ar-Alter des Glases Buonim älter oder gleich $1,2 \cdot 10^6$ a ist.

Die Gläser Ata und Buonim sind aber beide gleichzeitig während der Bildung des Kraters entstanden. Deswegen geben wir in diesen beiden Altern Grenzen des Zeitintervalls an, innerhalb dessen der Bosumtwi-Krater gebildet wurde. Unter Berücksichtigung des experimentellen Fehlers beträgt dieses Intervall 1,1 bis $1,6 \cdot 10^6$ a. Würden wir der Datierung des gepulverten hellen Ata-Glases dasselbe Gewicht geben, dann würde sich das Intervall bis $1,7 \cdot 10^6$ a erhöhen.

Der Bosumtwi-Krater hat unter Zugrundelegung aller dieser Fehlermöglichkeiten ein Alter von $(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^6$ a. Die gefundene Zeit deutet nach den neueren Vorstellungen über die jungtertiäre Zeitskala auf mittleres bis unteres Pleistozän und ist in Übereinstimmung mit dem geologischen Befund.

Das von ZÄHRINGER¹ angegebene Kalium-Argon-Alter der Elfenbeinküste-Tektite beträgt $(1,3 \pm 0,2) \cdot 10^6$ a. Innerhalb der Fehlergrenzen haben also die Tektite der Elfenbeinküste und der Bosumtwi-Krater dasselbe Alter. Der ursächliche Zusammenhang zwischen diesen Tektiten und dem Krater, der schon 1931 von MACLAREN⁴ als Meteoritenkrater gedeutet wurde und der von COHEN⁵ als Ursprung der Elfenbeinküste-Tektite bezeichnet wurde, ist demnach möglich und hat durch

Probe	Körnung ϕ in mm	Ar (total) 10^{-7} cm ³ /g	Ar (radioigen) %	10^{-7} cm ³ /g	K %	Alter 10^6 a	Bemerkungen
Buonim	1	8,55	11	0,94	2,13	$1,1 \pm 0,1$	Mögliche Diffusionsverluste sind hier nicht berücksichtigt
	0,4	7,62	13	0,98	2,16	$1,2 \pm 0,1$	
	0,1	7,42	13	0,96	2,10	$1,2 \pm 0,1$	
Ata hell	1–3	12,8	13	1,67		$2,7 \pm 0,3$	Erhöhtes Alter infolge des Blasen-Argons Beitrag ererbten Ar möglich
	0,1–0,3 0,05–0,07	3,98 5,29	27 21	1,06 1,09	1,57	$1,7 \pm 0,1$ $1,7 \pm 0,2$	
Ata dunkel	1–3	8,66	16	1,34		$2,2 \pm 0,2$	Erhöhtes Alter infolge des Blaseninhaltes Weniger Überschuß, da weniger Blasen
	0,3–0,5 0,1–0,3 0,05–0,07	3,17 2,60 6,24	30 35 14	1,04 0,90 0,86	1,53	$1,7 \pm 0,2$ $1,5 \pm 0,1$ $1,4 \pm 0,2$	

Tab. 1. Kalium-Argon-Altersbestimmungen an zwei Gläsern vom Bosumtwi-Krater in Ghana. Die Werte sind Mittelwerte aus mindestens zwei Messungen. Die Fehler sind die experimentellen Fehler der Argon- und Kaliumbestimmung. Bei Buonim ist außerdem ein Diffusionsverlust möglich, beim gepulverten „Ata dunkel“ ein kleiner Beitrag ererbten Argons. Alter des Bosumtwi-Kraters: $(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^6$ a.

⁴ M. MACLAREN, Geograph. J. **78**, 270 [1931].

⁵ A. J. COHEN, J. Geophys. Res. **66**, 2521 [1961].

diese Messungen erstmals eine experimentelle Begründung gefunden.

Auf Grund des gleichen Alters erschien es uns wichtig, die chemische Zusammensetzung der Gläser A ta und Buonim mit der eines Tektiten der Elfenbeinküste von Oullé (Nr. 107 der eigenen Sammlung) unter besonderer Berücksichtigung der Spurenelemente zu vergleichen. Die Analysen wurden mit der RÖNTGEN-Fluoreszenzmethode durchgeführt.

Im Jahr 1937 wurde erstmals von H. und W. H. BENNETT⁶ die chemische Zusammensetzung eines bläsigem und eines schwarzen Glases vom See Bosumtwi bestimmt. Wie unsere Analysen ergaben, sind die Hauptbestandteile der Gläser A ta und Buonim denen des bläsigem Glases (1937) ähnlich, kleinere Abweichungen deuten wir als Schwankungen bezüglich der Fundorte.

Die Analyse unserer Elfenbeinküste-Probe entspricht etwa dem Mittelwert der von RAOULT⁷ untersuchten drei Elfenbeinküste-Tektiten. Das Glas A ta und unser Tektit sind sich in den Hauptbestandteilen mit Ausnahme von Calcium und Natrium, die in diesem Bosumtwi-Glas etwa doppelt so groß sind, sehr ähnlich. Das Glas Buonim jedoch unterscheidet sich sehr im Calcium- und Mangan-Gehalt, die im Vergleich zum Glas A ta und dem Tektit wesentlich niedriger sind. Bezuglich der chemischen Hauptbestandteile der Bosumtwi-Gläser und der Tektite der Elfenbeinküste besteht also nach unseren Befunden weitgehende Übereinstimmung, wie auch der von COHEN⁵ gemachte Vergleich auf Grund der älteren Analysen zeigt.

Da die Tektite sich insgesamt in den Hauptbestandteilen nicht charakteristisch unterscheiden und die Kenntnis der Spurenelemente eine viel feinere Aussage

über den Chemismus bei der Entstehung zuläßt, geben wir in Tab. 2 die gefundenen Analysenwerte an.

Bemerkenswert an diesen Ergebnissen ist, daß die absoluten Gehalte an Cr, Ni, Cu, Sr und Zr in den Bosumtwi-Gläsern auffallend ähnlich sind und mit Ausnahme des Zr gegenüber z. B. Australiten und Bediasiten relativ hoch sind. Die gefundenen Ni-Gehalte sind auch im Vergleich zu Moldaviten und Riesgläsern beträchtlich höher (etwa um den Faktor 5).

Im unteren Teil von Tab. 2 werden von verschiedenen Elementen Verhältnisse gezeigt, die Separationen einzelner Elemente bei der Entstehung der Gläser veranschaulichen sollen.

Das K/Zr-Verhältnis ist für Glas A ta und den Tektit praktisch gleich. Für das Glas Buonim liegt es beträchtlich höher; mögliche Gründe hierfür werden bei der Diskussion der Rb/Zr-Verhältnisse angegeben.

SCHÜLLER und OTTEMANN⁹ fanden im Rb/Zr-Verhältnis ein Einteilungsmerkmal für vulkanische Gläser, Einschlagsgläser und Tektite, indem sie 56 Proben auf Rb und Zr analysierten. Das Rb/Zr-Verhältnis für saure vulkanische Gläser liegt danach zwischen 2,8 und 0,8, das für Moldavite und Ries-Gläser zwischen 0,8 und 0,45, das der indoaustralischen Tektite zwischen 0,45 und 0,25 und das der Bediasite, Einschlagsgläser und basischen vulkanischen Gläser unter 0,25.

Wie Tab. 2 zeigt, beträgt das von uns bestimmte Verhältnis Rb zu Zr im Glas A ta 0,45, im Glas Buonim 0,81 und im Tektit 0,39. Die Werte für Glas A ta und den Tektit liegen nahe zusammen und fallen in den oberen Bereich der von SCHÜLLER und OTTEMANN⁹ für die indoaustralischen Tektite angegebenen Grenzen. Beide Verhältnisse sind wesentlich tiefer als die üblichen Werte für saure vulkanische Gläser. Auch der Wert für das Glas Buonim liegt mit 0,81 niedriger als diese, ist jedoch wesentlich höher als die beiden anderen. Die Ursache hierfür könnte in der verschiedenen Beschaffenheit von Glas A ta und Buonim zu suchen sein. Da die Probe Buonim aus einem sehr großen Block stammt, nehmen wir an, daß dieser Block zwar einheitlich, aber bei kleineren Temperaturen als das Glas A ta aufgeschmolzen war, das ja nur in kleinen Tropfen vorliegt. Bei tieferen Temperaturen ist die Verdampfung von Rb kleiner und somit ein höherer Rb-Gehalt im Glas Buonim zu erwarten, was ein höheres Rb/Zr-Verhältnis zur Folge hat.

EHMANN^{8, 10} bestimmte durch Aktivierungsanalyse die Nickel-Gehalte einer Reihe von Tektiten und anderen natürlichen Gläsern und diskutierte hauptsächlich das Ni/Fe-Verhältnis. Er findet für eindeutige Einschlagsgläser, wie z. B. Henbury und Aouelloul, Werte zwischen 100 und 230, für Tektite Verhältnisse zwischen 5 und 57 und für drei Obsidiane solche zwischen 1,1 und 1,5 (alle Werte $\cdot 10^{-4}$). Für einen Tektit der Elfenbeinküste gibt EHMANN ein Ni/Fe-Verhältnis von $22 \cdot 10^{-4}$ an. Sowohl der Wert für unseren Tektit die-

Element	Glas Buonim ppm	Glas A ta ppm	Tektit ppm
Cr	153	164	262
Mn	253	652	541
Ni	86	90	130 105 *
Cu	56	59	82
Rb	127	73	64
Sr	267	358	316
Zr	156	164	163
K/Zr	135	96	82
Rb/Zr	0,81	0,45	0,39
(Ni/Fe) $\cdot 10^{-4}$	18	20	27 22 *
Cr/Ni	1,78	1,82	2,02

* Nickel-Bestimmung durch Aktivierungsanalyse (EHMANN⁸).

Tab. 2. Spurenelemente im Glas Buonim, Glas A ta und einem Tektit der Elfenbeinküste. Der apparative und methodische Fehler beträgt $\pm 5\%$ rel. Bei den angegebenen Elementverhältnissen entfallen Einflüsse der Matrix, so daß der Fehler $\pm 3\%$ rel. ist.

⁶ H. BENNETT u. W. H. BENNETT in N. R. JUNNER, Gold Coast Geological Survey Bull. **8**, 17 [1937].

⁷ M. RAOULT in A. LACROIX, C. R. Acad. Sci., Paris **199**, 1539 [1934].

⁸ W. D. EHMANN, Geochim. Cosmochim. Acta **19**, 149 [1960].

⁹ A. SCHÜLLER u. J. OTTEMANN, Neues Jahrb. Mineral. **100**, 1 [1963].

¹⁰ W. D. EHMANN, Geochim. Cosmochim. Acta **26**, 489 [1962].

ses Fundortes ($27 \cdot 10^{-4}$) als auch die Verhältnisse für die Gläser Ata ($20 \cdot 10^{-4}$) und Buonomi ($18 \cdot 10^{-4}$) stimmen damit recht gut überein. Da alle Tektite mit Ausnahme derjenigen von Indonesien, Kambodscha und Annam Ni/Fe-Verhältnisse zwischen 5 und $10 \cdot 10^{-4}$ haben, ist das Verhältnis von etwa $20 \cdot 10^{-4}$ für die Tektite der Elfenbeinküste sehr charakteristisch. Daß auch die Ni/Fe-Verhältnisse für die Gläser Ata und Buonomi bei diesem Wert liegen, ist für die Diskussion der Herkunft der Elfenbeinküste-Tektite von entscheidender Bedeutung.

Die in Tab. 2 gezeigten Cr/Ni-Verhältnisse sind untereinander sehr ähnlich; sie liegen tiefer als die von TAYLOR¹¹ für Australite (2,65) und von CHAO¹² für Bediasite (2,77) angegebenen.

Somit bestätigt auch der spurenanalytische Befund den ursächlichen Zusammenhang zwischen Bosumtwi-Gläsern und Elfenbeinküste-Tektiten, der schon oben durch die übereinstimmenden K-Ar-Alter die erste experimentelle Stütze erhielt.

¹¹ S. R. TAYLOR, Geochim. Cosmochim. Acta **26**, 2, 685 [1962].

¹² E.C.T. CHAO, Tektites, University Chicago Press 1963, S. 51.

Es handelt sich also offenbar bei den Beziehungen zwischen Bosumtwi-Gläsern und Elfenbeinküste-Tektiten um einen ähnlichen Fall, wie er früher vom Nördlinger Ries und den Moldaviten beschrieben wurde (GENTNER et al.¹³, SCHÜLLER et al.⁹). In beiden Fällen dürfte ein ähnlich großartiges Naturereignis, wahrscheinlich ein Meteoriteneinschlag, als Ursache anzusehen sein.

Eine ausführliche Darstellung wird an anderer Stelle gemeinsam mit den Professoren Th. MONOD und A. F. J. SMIT erfolgen, denen wir die Wiederauffindung der Gläser verdanken. Dabei soll auch eine detaillierte geologische und mineralogische Beschreibung erfolgen.

Der Kwame-Nkrumah-Universität in Kumasi und besonders dem Vicechancellor Dr. R. P. BAFFOUR sind wir für die gastliche Aufnahme und die großzügige Unterstützung unserer Exkursionen zu besonderem Dank verpflichtet.

¹³ W. GENTNER, H. J. LIPPOLT u. O. A. SCHAEFFER, Geochim. Cosmochim. Acta **27**, 191 [1962].

Negative Ionen aus dem Hochfrequenzfunken zwischen Metallelektroden und ihre Verwendbarkeit zu Analysen

Von K. D. SCHUY, J. FRANZEN und H. HINTENBERGER

Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut), Mainz
(Z. Naturforschg. **19 a**, 153—155 [1964]; eingeg. am 20. Dezember 1963)

1. Massenspektren negativer Ionen

Der Hochfrequenzfunke zwischen Metallelektroden bildet neben positiven auch negative Ionen, die mit einem doppelfokussierenden Massenspektrographen auf einer Photoplatte nachgewiesen werden können. Die Spektren sind sehr linienreich bis weit über die Masse 100 hinaus und enthalten viele Multipletts. Spektren aus Elektroden von verschiedenen Metallen sind in ihrer Linienzusammensetzung sehr ähnlich. Die Linien der Hauptkomponenten des Elektrodenmaterials fehlen oft völlig. Die Identifizierung der Linien negativer Ionen ist ohne Kenntnis der genauen Massen meist nicht möglich.

2. Linienidentifizierung

Durch Berechnung der genauen Massen aus den Liniendistanzen konnten wir im Massenbereich 12 bis 48 die Linienspektren aus verschiedenen Metallelektroden vollständig identifizieren. Im Bereich höherer Massen reicht zur Zeit das Auflösungsvermögen des benutzten

Apparates nicht aus, um zwischen den Elementkombinationen sicher zu unterscheiden. Abb. 1 * zeigt im Ausschnitt einen Vergleich von Massenspektren negativer Ionen aus verschiedenen Metallproben. In den Tab. 1 und 2 sind die Linien zweier Spektren identifiziert.

3. Wichtigste Ionenarten

Tab. 3 zeigt alle bisher sicher identifizierten Ionen. Die Halogene bilden intensitätsstark einatomige negative Ionen. Die Elemente der VI. Hauptgruppe erscheinen einatomar, zweiatomar und als Hydride. Die Elemente der V. Hauptgruppe treten nur als Hydride auf. Der Kohlenstoff aus der IV. Hauptgruppe bildet negativ geladene Polymere mit starker Bevorzugung von C_2^- , wie sie auch im Hochfrequenzfunken zwischen Graphitelektroden auftreten^{1, 2}. Die Polymere des Kohlenstoffs erscheinen außerdem gekoppelt mit Wasserstoff und den Elementen der V., VI. und VII. Hauptgruppe. Sehr auffällig in allen Spektren sind die Liniengruppen bei den Massen 24 (C_2^-), 25 (C_2H^-) und 26 (CN^-), ferner bei den Massen 42 (CNO^-) und 45 (CO_2H^-), die schon früher bei anderen Erzeugungsarten negativer Ionen gefunden, aber noch nicht identifiziert worden waren²⁻⁴.

4. Herkunft der Ionen

Versuche mit verschiedenen Restgasdrucken und verschiedenen N_2 - und Ar-Füllungen im Druckbereich von

³ M. v. ARDENNE, K. STEINFELDER u. R. TÜMMLER, Angew. Chem. **73**, 136 [1961].

⁴ R. E. HONIG, Advances in Mass Spectrometry Vol. 2, Pergamon Press, London 1963.

* Abb. 1 und 2 auf Tafel S. 154 a.

¹ H. HINTENBERGER, J. FRANZEN u. K. D. SCHUY, Z. Naturforschg. **18 a**, 1236 [1963].

² W. M. HICKAM u. G. G. SWEENEY, Rev. Sci. Instr. **34**, 783 [1963].