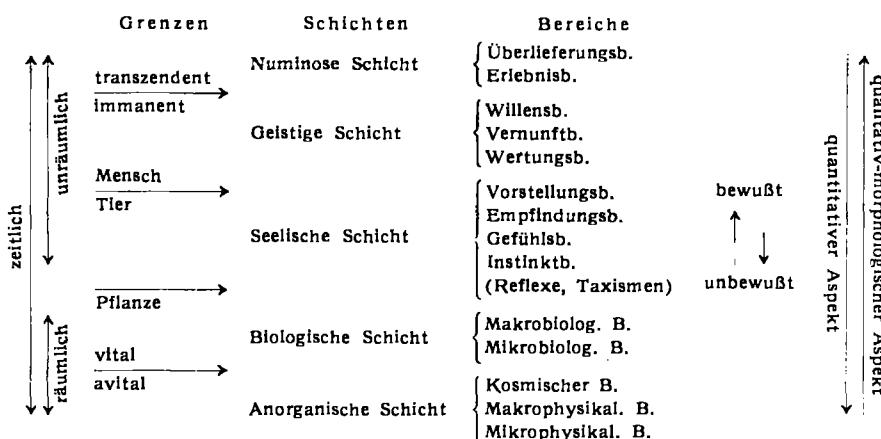


tonik der Wirklichkeit bzw. unserer Erfahrungswelt darstellen. Darnach sind fünf Schichten zu unterscheiden, wobei die oberen auf den unteren ruhen und sie zur Voraussetzung haben. Die einzelnen Schichten sind wieder in sich, teils nach der Breite, teils nach ihrer Tiefe strukturiert.

Tabelle 15. Natürliches System der Wirklichkeit



Ganz allgemein kann zwischen einem mehr qualitativ-morphologischen und einem mehr quantitativen Aspekt innerhalb der einzelnen Schichten unterschieden werden, wobei die Bedeutung des Quantitativen nach oben rasch abnimmt, die des Qualitativen aber zunimmt. Eine jede Schicht zeigt die ihr eigenen Beziehungen und Gesetzmäßigkeiten, und doch stehen sie wieder alle in einem sinnvollen Zusammenhang und schließen sich zu einem Ganzen. Hierauf soll andernorts näher eingetreten werden.

Es gibt nun Wissenschaften, die zunächst nur für eine Schicht zuständig sind, wie die Chemie, die Physik, die Biologie, die Psychologie und die sog. Geisteswissenschaften. Die Medizin umfaßt aber den biologischen und den psychologischen Bereich, ja erstreckt sich weit in den geistigen hinauf, und dasselbe gilt sinngemäß auch für eine umfassend gedachte Pharmakologie. Ich glaubte, an dieser Stelle auf diese Dinge hinzuweisen zu müssen, sind sie doch zu wenig bekannt. Hier tut sich eine bedeutsame Entwicklung auf, deren Reichweite noch gar nicht abzumessen ist.

Das Ergebnis dieser Betrachtungen mag in der Feststellung gipfeln, daß wir auf dem Gebiete der Heilmittel nicht etwa am Ende einer langen Entwicklungsreihe stehen, sondern daß sich hier alles noch im Umbruch befindet.

Allen Mitarbeitern, die mir bei der Sammlung des Materials an die Hand gegangen sind, insbesondere Herrn Dr. A. Marxer, möchte ich hier meinen besten Dank aussprechen.

Eingeg. am 16. März 1953 [A 490]

Fortschritte der Spektralanalyse von Kupfer und Kupferlegierungen seit 1940¹⁾

Von Dr. GERT MAASEN, Hamburg
Norddeutsche Affinerie, Hamburg

Es wird an Hand der heute zugänglichen Literatur eine Übersicht über die Spektralanalyse von Rein-Kupfer, Rohkupfer, Messing, Bronzen und Rotguß gegeben¹⁻³⁾.

I. Kupfer

In den Jahren von 1940 bis 1945 befassen sich von 1044 Arbeiten⁴⁾ über Spektralanalyse nur 5 mit Kupfer und 32 mit Kupferlegierungen, und auch in den Fortschrittsberichten über Emissionsspektroskopie für 1946 bis 1949⁵⁾ und 1950/51⁶⁾ sind keine Arbeiten über Kupfer oder Kupferlegierungen erwähnt.

Diese unfaßbare Vernachlässigung des Kupfers ist nicht etwa darauf zurückzuführen, daß die Spektralanalyse des Kupfers bereits vor 1940 abgeschlossen gewesen wäre oder ein unmittelbares Interesse hierfür nicht vorläge. Es wäre im Gegenteil außerordentlich begrüßenswert, wenn die umständliche und langwierige chemische Bestimmung der Verunreinigungen des reinen Kupfers durch ein einfaches

und schnelles spektralanalytisches Verfahren abgelöst werden könnte. So muß die Ursache wohl in Schwierigkeiten der Materie selbst zu suchen sein.

Die bevorzugte und am besten durchentwickelte Anregungsart für die quantitative Spektralanalyse war und ist auch heute noch die Funkenanregung. Nun sind im reinen Kupfer mit mehr als 99,9% Cu die Gehalte an Verunreinigungen so klein, in der Größenordnung von höchstens tausendstel Prozenten, daß die Funkenanregung hierfür nicht ausreicht.

Auch der Abreibbogen hilft nicht weiter. Wenn H. Moritz⁷⁾ schreibt, daß in seinem Laboratorium Kupfer (und Kupferlegierungen) „uneingeschränkte Domäne des Abreibbogens“ seien, so handelt es sich wohl um Kupfer geringerer Reinheit, beispielsweise um As- oder Ni-haltiges Kupfer⁸⁾.

Für die quantitative Silber-Bestimmung im Kupfer wendet de Boer⁹⁾ den Abreibbogen an und untersucht das Verhalten von Ag- und Cu-Linien sowohl des Abreibbogens wie auch des Funkens.

¹⁾ H. Moritz, Spektralanalyt. Metallunters. im Betrieb, Metallk. 33, 341/6 [1941].

²⁾ H. Moritz: Spektrochem. Betriebsanalyse, Stuttgart 1946.

³⁾ F. de Boer, Spektralanalyse mit dem Abreibbogen, Rec. trav. chim. Pays-Bas 60, 5/12 [1941].

⁴⁾ Aus einem Vortrag auf der Tagung des Zentralausschusses für Spektrochemie und angewandte Spektroskopie am 2. 10. 1952 in Bad Neuenahr.

⁵⁾-⁶⁾ Benutzt Spezialzeitschriften sind: 1) Applied Spectroscopy, 6 [1952], 2) H. Someren, Spectrochemical Abstr., Vol. 3, 1940/45. Verlag. Hilger u. Watts, London 1947. 3) Spectrographer's News Letter, Verlag. Appl. Res. Labor. Glendale, USA.

⁷⁾ F. Scribner u. W. F. Meggers: Index to the Literature of Spectrochemical Analysis, Part. II, 1940/45. A.S.T.M., Philadelphia 1947.

⁸⁾ F. W. Meggers, Emissionsspektroskopie 1946/49, Analyt. Chemistry 21, 29/31 [1941].

⁹⁾ F. W. Meggers, Emissionsspektroskopie 1950/1, ebenda 24, 23/27 [1952].

Ostashevskaja¹⁰⁾ benutzt ebenfalls für die Bestimmung des Silbers den Abreißbogen, während für die Goldbestimmung der Dauerbogen herangezogen wird. Wenn seine Angaben bestätigt werden können, daß bis zu 25 g/t Ag und 1,7 g/t Au bestimmbar sind, so liegen diese Werte noch über den üblichen Gehalten.

Erwähnenswert ist ein Verfahren von Castro¹¹⁾, der feinste Drähte bis 0,1 mmØ mit einem niedrig gespannten Wechselstrombogen kleiner Intensität zerstörungsfrei prüft.

Beim Übergang zum Dauerbogen nimmt die Nachweisempfindlichkeit für die Verunreinigungen erheblich zu, wie die aus „Spectrographer's News Letter“¹²⁾ entnommene Tabelle 1 deutlich zeigt. Es handelt sich bei A bis D

Element	Å	Konzentrationsbereiche in %			
		A	B	C	D
Zink	3072.1	15.0	-40.0	0.5	-40.0
	3345.0	0.03	-0.5	0.01	-0.5
Nickel	3003.6	0.5	-30.0	0.5	-30.0
	3414.8	0.01	-0.5	0.01	-0.5
Zinn	3330.6	1.0	-10.0	1.0	-10.0
	2840.0 × 2	0.05	-1.0	0.01	-1.0
Aluminium	2660.4	1.0	-10.0	0.5	-10.0
	3961.5	0.005	-1.0	0.002	-0.5
Blei	2663.2 × 2	1.0	-5.0	1.0	-5.0
	4057.8	0.05	-1.0	0.01	-1.0
Eisen	2966.9	0.3	-3.0	0.3	-3.0
	2382.0	0.02	-0.3	0.005	-0.3
Silicium ..	2881.6	0.01	-3.0	0.005	-3.0
Mangan ...	2949.2	0.005	-2.0	0.001	-2.0
Antimon ..	2598.1 × 2	0.1	-0.2	0.03	-0.2
Arsen ..	2349.8			0.02	-0.2
Phosphor .	2553.3	≥ 0.1	≥ 0.1	0.025	-0.5
				0.005	-0.05

Tabelle 1

Bestimmungsgrenzen für die Verunreinigungen im Kupfer bei Funken- und Bogenanregung
($\times 2$ = Spektr. 2. Ordnung). Als Cu-Vergleichslinien wurden bei den Verfahren A und B Cu 3108,6, bei C und D Cu 2766,4 benutzt.

um verschiedene Entladungsarten des „Multisource“-Gehrates, und zwar ist bei A und B die Entladung funkenähnlich — gut brauchbar bei Kupferlegierungen —, bei C bogenähnlich und schließlich ist bei D ein Dauerbogen von 5 Amp. zwischen negativem Probestab und einer oberen Gegenelektrode aus reinstem Kupfer angewandt worden. Da, wo selbst diese Anregung nicht ausreichte, wurde mit Erfolg die „globule arc method“ benutzt.

Der großen Nachweisempfindlichkeit des Bogens — bei qualitativen Untersuchungen bevorzugt — steht für die quantitative Analyse sein schlechter Ruf der Inkonstanz entgegen. Die Beseitigung dieses Nachteils ist nur möglich, wenn man die Ursache hierfür, d. h. aber, die Vorgänge im Bogen genau kennt.

Mit einer eingehenden Untersuchung über den Kupferbogen setzt Milbourn^{13, 14)} die Reihe eigener und vieler deutscher Arbeiten fort. Milbourn hat sich vor allem um die Entwicklung der „globule arc method“, des Kugelbogenverfahrens verdient gemacht. Nach diesem Verfahren wird ein Probestückchen von stets gleichem Gewicht zwischen 0,15 bis 0,5 g auf eine Graphitkathode gelegt und im Gleichstrombogen von 4 mm Länge und 5 Amp. angeregt. Als obere Gegenelektrode dient ein an-

¹⁰⁾ A. L. Ostashevskaja, Spektralanalyse von Au und Ag in Cu, Bull. Acad. Sci. URSS 4/9/15 [1940]; Chem. Zbl. 1942, II, 2723.

¹¹⁾ R. Castro, Spektralanalyse feiner Metalldrähte, Cahier Phys. 12, 52/6 [1942]; Chem. Abstr. 40, 2087 [1946].

¹²⁾ M. F. Hasler, F. Barley u. B. R. Boyd, Quantometrische Analyse von Cu-Legierungen, Spectrogr. News Letter 4, Nr. 2 [1951].

¹³⁾ M. Milbourn, Spektralanalyse von Cu und Cu-Legierg. nach dem Kugelbogenverfahren. Einzelheiten des geschilderten Verfahrens nach einer persönlichen Mitteilung. J. Inst. Met. 69, 441/63 [1943].

¹⁴⁾ M. Milbourn, Erscheinng. an d. Kathode eines Cu-Bogens, Proc. Phys. Soc. 59, 273/5 [1947].

gespitzter 6-mm-Rundstab aus reinstem Kupfer. Die Graphitelektrode dient nur als Träger und Stromleiter, der Bogen muß zwischen dem Probestück und dem Kupferstab übergehen. Gleich gute Ergebnisse wurden auch mit einer Kupfer-Trägerelektrode erhalten. Das Besondere des Kugelbogenverfahrens speziell für Kupfer liegt darin, daß, wenn die Probe als Kathode geschaltet ist und der Luftsauerstoff ungehinderten Zutritt zur Probe hat, der Abbau der Kupferprobe nur über geschmolzenes Kupferoxydul verläuft. Die Probe selbst braucht dabei nicht zu schmelzen. Beachtenswert ist, daß der Kugelbogen des Kupfers keine Kathodenschicht aufweist und das Spektrum im Bereich von 2350 bis 4500 Å frei von Funkenlinien ist. Der Bogen brennt nur wenige Sekunden nach der Zündung unruhig, bis nämlich die Kupfer-Oberfläche oxydiert ist.

Die Schaltung der Probe als Kathode ist für die Empfindlichkeit und Genauigkeit der Bestimmung der Verunreinigungen des Kupfers wichtig, da diese sich dann auch wie das Kupfer verhalten, während bei der Schaltung als Anode Schmelzen der Probe und damit selektive Destillation der Verunreinigungen möglich ist. Auch Kupferreiche Legierungen mit Sn, Zn, Cd und Ni verhalten sich, als Kathode geschaltet, ähnlich wie Kupfer. Legierungen mit leicht oxydierbaren Elementen, wie P, Al, Si brennen jedoch beim Kugelbogenverfahren mehr oder weniger lange unregelmäßig und sind daher auszuschließen. Bei visueller Auswertung mit Hilfe homologer Linienpaare erreichte Milbourn bei Gehalten unter 0,2% die Genauigkeit chemischer Betriebsanalysen.

Hasler, Barley und Boyd¹⁵⁾ benutzen das Kugelbogenverfahren zur Bestimmung von As, Sb und P im Reinkupfer und erzielen gute Ergebnisse, obwohl die Reproduzierbarkeit einer solchen Entladung manches zu wünschen übriglassen soll. Da sie von „selektiver Destillation“ der Verunreinigungen sprechen, müssen sie die Probe im Gegensatz zu Milbourn als Anode geschaltet haben. In einer persönlichen Mitteilung hat Hasler dies bestätigt. Danach reicht bei Schaltung als Kathode die Empfindlichkeit nicht aus.

Die bei der Fa. Hilger entwickelte Anordnung zur Erzeugung eines „konstanten Gleichstrombogens“¹⁶⁾ dürfte eine wesentliche Hilfe für die quantitative Analyse mit dem Dauerbogen darstellen. Der konstante Bogenstrom von 5,6 Amp. wird über einen Gleichrichter einem Stromkreis entnommen, dessen Induktion und Kapazität so abgestimmt sind, daß der Bogenstrom unabhängig vom Bogenwiderstand ist. Zur Verbesserung des Spektrums blenden Smith und Wiggins¹⁶⁾ die von der Graphitanode herrührenden, störenden CN-Bande durch eine besondere Vorrichtung am Spalt aus.

Smith¹⁶⁾ zieht das Kugelbogenverfahren mit konstantem Bogen zur Untersuchung von Kupfer-Standardproben für spektralanalytische Zwecke heran. Ein Stückchen der Kupfer-Probe wird auf eine Kupfer-Kathode gelegt, während als Anode und Gegenelektrode ein Graphitstab dient.

Filimonov und Mitarbeiter¹⁷⁾ oxydieren die Kupfer-Probe vollends vorher im Sauerstoff-Strom und führen das Kugelbogenverfahren dann mit der Oxydschmelze aus. Damit verschwindet der Einfluß leicht oxydierbarer Elemente, die Genauigkeit wird erhöht gegenüber dem üblichen Verfahren von 15 bis 30% auf 3 bis 5% und selbst die absoluten Schwärzungen sind weitgehend konstant.

¹⁵⁾ D. M. Smith u. G. M. Wiggins, Spektralanalyse hochreiner Metalle, Spectrochim. Acta 3, 327/40 [1948].

¹⁶⁾ D. M. Smith, Cu-Eichproben für Spektralanalyse, ebenda 5 1/4 [1952].

¹⁷⁾ L. N. Filimonov u. Mitarbeiter, Spektralanalyse hochreinen Kupfers, Zavodsk. Labor. 16, 1200/7 [1950]; Chem. Zbl. 1951, II 3074.

Ein abgeändertes Kugelbogenverfahren mit Multisource-Gleichstrombogen wird von *Wright*¹⁸⁾ zur Schnellbestimmung von Pb, Bi, As, Sb, Sn, Fe, Ni, Te und Ag im Drahtbarrenkupfer benutzt. Als Elektrode dient ein Stück des Leitfähigkeitsmeßdrahtes.

*Danielsson*¹⁹⁾ wendet eine andere Variante des Kugelbogenverfahrens an, indem er ein 350 mg Kupferdrahtstück auf eine Kupfer-Anode legt und mit einer Kupfer-Gegenelektrode bei 5,8 Amp anregt. Die Kupfer-Elektroden (5 mm Ø) werden aus dem gleichen Draht wie das Drahtstück entnommen. Der Bogen brennt sehr gleichmäßig und die Ergebnisse werden als gut bezeichnet.

Den Umweg über die Lösung und Überführung in Oxydschlägen *Milbourn* und *Hartley*²⁰⁾ ein. Beachtlich ist die Feststellung, daß das Funkenspektrum des Kupferoxyd-Pulvers bogengleich ist und sich kaum vom Bogenspektrum der metallischen Kupfer-Elektroden unterscheidet. Die Nachweisgrenzen für die Verunreinigungen entsprechen nicht ganz den Anforderungen.

Weitere Veröffentlichungen befassen sich mit Sonderbestimmungen^{21, 22)}.

Bei verunreinigtem Kupfer, beispielsweise Anoden-Kupfer, liegen die Verunreinigungen im allgemeinen in einer solchen Größenordnung, daß hier die üblichen Anregungsbedingungen des Funkens oder des Abreißbogens oder des Multisource-Gerätes sowohl bei Selbstelektroden wie auch bei Lösungen genügen. Trotzdem finden sich

¹⁸⁾ R. E. Wright, Spektralanalyse der Verunreinigungen in Elektrolytkupfer, Pittsburgh Conf. on Analyt. Chem., March 1952; Analyt. Chemistry 24, 603 [1952] (Ref.).

¹⁹⁾ A. Danielsson, Der Autor dankt hiermit Herrn Dr. *Danielsson* (Schweden) für diese persönliche Mitteilung und sein Einverständnis der Bekanntgabe.

²⁰⁾ M. Milbourn u. H. E. R. Hartley, Anfunkens von Metalloxyden, Spectrochim. Acta 3, 320/6 [1948].

²¹⁾ E. K. Jaycox u. A. E. Ruehle, Spektralanalyse von Pb und Tl in Cu, Ind. Engng. Chem., Edit. 12, 195/6 [1940].

²²⁾ F. Twyman, W. Zehner u. E. S. Drehlow, Bestimmung von Cd in Cu, J. Soc. Chem. Ind. 59, S. 238/42 [1940]; Chem. Zbl. 1941, II, 3103/4.

außer der schon angeführten Arbeit von *Hasler, Barley und Boyd*¹²⁾ nur zwei weitere Arbeiten hierüber.

*Wright*¹⁸⁾ regt eine brikettierte Anodenkupferprobe mit Multisource-Funken an und bestimmt schnell und genau Pb, Bi, As, Sb, Ni, Fe und Te.

*Danielsson*¹⁹⁾ saugt die Probe aus der Schmelze mit einem Pyrexglasrohr hoch und bestimmt Pb, Bi, As, Sn und Sb mit dem Abreißbogen.

Aussichten einer quantitativen Spektralanalyse des Kupfers

Der Fragenkomplex läßt sich vielleicht am besten an Hand einer Zusammenstellung über Anforderungen und Leistungen erörtern. Die linken Spalten der Tabelle 2 enthalten die zu bestimmenden Verunreinigungen, z. B. im NA-Drahtbarren- oder Elektrolytkupfer, und amerikanische und englische Normvorschriften. Dabei bedeuten die Angaben in den Normen bekanntlich Höchstwerte, die im allgemeinen mehr oder weniger unterboten werden. In den rechten Spalten sind die in den oben besprochenen Arbeiten angegebenen untersten Nachweis- oder Bestimmungsgrenzen wiedergegeben. Die verschiedenen Werte sind nicht untereinander vergleichbar und kein Maßstab für das Leistungsvermögen der einzelnen Verfahren, weil die Definitionen der „untersten Grenze“ zu verschieden sind; so liegen die Werte bei „ARL“ verhältnismäßig hoch, weil mit dem Quantometer ohne Berücksichtigung des Untergrundes gearbeitet wurde und die Grenze da angenommen ist, wo der mittlere Fehler $\pm 25\%$ erreicht. Das Verfahren von *Milbourn* wäre bei photometrischer Auswertung sicherlich leistungsfähiger. Dagegen müssen die Angaben von *Filimonov* wohl mit einiger Zurückhaltung betrachtet werden. Bei vielen Verunreinigungen erreicht die Spektralanalyse die verlangte Größenordnung. Allerdings erfordern diese Arbeiten leistungsfähige Littrow- oder Gitterspektrographen, was zweifellos ein Grund mit für die geringe Anzahl Arbeiten auf diesem Gebiete ist.

Verunreinigung	Forderungen					Spektralanalytische Leistungen						
	Drahtbarren-Cu Nordd. Aff.	Kathod.-Cu Nordd. Aff.	Kathod.-Cu 1035 Brit. Norm	*) FRTP US-Norm	Toughpitch 1038 Brit. Norm	ARL ¹⁸⁾ **) bogenähnl. Dauerb.	Milbourn ¹³⁾ homol. L.-paare	Smith ¹⁶⁾	Filimonov ¹⁷⁾ kath. anod.	Daniels-son ¹⁹⁾	Milbourn und Hartley ²⁰⁾	
Pb	.002	.00013	.005	.004	.01	.01	.002	.007	.0003	.0001/5	.0002/3	.0001 .003
Bi	<.0001	.00004	.001	.003	.003			.001		.0001/5	.0001	.00005 .0005
As	.0015	.0002		.012	.02	.01	.003	.003		~.001	.0002/3	.0001 .003
Sb	.0015	.0006		.003	.005	.02	.002	.002		~.001	.0002/3	.0001 .001
Sn	.0004	.0005			.01	.01	.002	.01		.0001/5	.0002/3	
Fe	.0018	.002			.01	.003		.01	>.0001	.0001/5		
Mn						.001		.01	~.0002	.0001/5		
Ni	.0035	<.0005		.05	.05	.005		.01	~.0005	.0001/5		.0001 .002
Zn						.005		.015	>.013	~.001	.0002/3	
Al						.001		.02				
Si						.003		.02		.0001/5		
Se				.025	.02				>.01			
Te					.01							.0001
P						.025	.005	.02		~.005		
Ag	.0012	.0008							.0001		.0001	.003
						Spektral-gerät:	Gittersp. oder Quantometer	Hilger E 313 oder 498	Hilger E 498	?	?	ARL 2 m-Gittersp. Hilger E 498

Tabelle 2. Geforderte und erreichte untere Nachweisgrenzen für die Verunreinigungen im Reinkupfer
*) Fire refined tough pitch. **) ARL = Applied Research Labor., USA.

Wenn auch das Ziel der Erfassung aller Verunreinigungen des reinen Kupfers durch die Spektralanalyse noch nicht erreicht ist, so ist die Lage aber insofern hoffnungsvoll, als nun ein klarer Weg über das Kugelbogenverfahren, u. U. mit konstantem Dauerbogen zu erkennen ist.

II. Kupfer-Legierungen

Die Voraussetzungen für die Spektralanalyse der Kupfer-Legierungen mit ihren nennenswerten Gehalten an Legierungsbestandteilen und faßbaren Mengen an Verunreinigungen sind wesentlich günstiger als bei Kupfer selbst. Dennoch entspricht die Zahl der Arbeiten auf diesem Gebiet nicht der Bedeutung der Kupfer-Legierungen.

1) Messing

Die Arbeiten befassen sich zum größten Teil mit der Bestimmung der Verunreinigungen oder Nebenbestandteile, ein kleinerer Teil beschäftigt sich mit der Bestimmung des Zinks. Mit Funken- oder Abreißbogenanregung zur betriebsmäßigen Zink-Bestimmung arbeiten einige russische Spektralanalytiker²³⁻²⁷⁾. Mit dem Abreißbogen erreichen *Magaziner* und *Sventitskii*²⁵⁾ eine beachtliche Genauigkeit; bei 28% Zn und dreifacher Ausführung der Analyse betrug der mittlere Fehler $\pm 1,35\%$, der bei Blei-haltigen Proben mit ca. 1% Pb und 40% Zn sogar auf $\pm 1,02\%$ sank.

In gleicher Größenordnung liegt der Fehler mit $\pm 1,5\%$ bei 40% Zn bei Analysen von *Prokofjev*²⁸⁾ mit Funkenanregung. Innerhalb einer Vorfunkzeit von 8 min sinkt die Intensität der Zn-Linien auf ein Sechstel und bleibt dann konstant. Der gleiche Verfasser untersuchte²⁷⁾ den Einfluß eines dritten Partners und des Materials der oberen Gegenelektrode auf das Intensitätsverhältnis von Cu- und Zn-Linien.

Aus der Vielzahl der möglichen Anregungen mit dem Multisource-Gerät wählt *Schatz*²⁹⁾ für verschiedene Legierungstypen drei besonders geeignete heraus. Die ebenen Probestücke werden mit Graphitgegenelektroden angefunkt. Bei der Bestimmung von 20 bis 40% Zn beträgt auch hier der mittlere Fehler $\pm 1,18\%$. *Schatz* hat weiterhin den Einfluß des Kupfer-Gehaltes auf die Bestimmung der Verunreinigungen untersucht. Danach ist es für genaue Bestimmungen nicht angängig, ein und dieselbe Eichkurve bei beispielsweise 60 und 90% Cu zu benutzen. Vorsicht ist bei der Pb-Bestimmung in Blei-haltigem Messing geboten; sie ist nur bei feiner und gleichmäßiger Verteilung des Bleies einwandfrei, wovon man sich durch metallographische Prüfung überzeugen muß.

Mit flachen Messingproben und einer Gegenelektrode aus Graphit arbeitet *Beale*²⁹⁾ zur Bestimmung von Pb, Bi, Sn, Fe, Mn, Al, Ni.

*Sventitskii*³⁰⁾ punkt das Messingstück mit einer Kupfer-Gegenelektrode an.

Für die Bestimmung von Spurenelementen im Messing bedient sich *Liechtle*³¹⁾ des Kugelbogenverfahrens. *Smith*

- ²³⁾ G. E. Pantischenko, Spektralanalyse von Si-halt. Messing auf Si, Pb, Zn, Bull. Acad. Sci. URSS, Sér. Phys., 6, 313/18 [1941]; Chem. Abstr. 37, 2297 [1943].
- ²⁴⁾ G. E. Pantischenko, Spektralanalyse von Messing und Bronze im Werk „Lenin“, ebenda 4, 222/4 [1940]; Chem. Zbl. 1942, II, 2621.
- ²⁵⁾ Magaziner u. N. J. Sventitskii, Zn-Bestg. in Messing, Zavodsk. Labor. 9, 992/4 [1940]; Chem. Zbl. 1941, II, 2001.
- ²⁶⁾ V. K. Prokofjev, Zn-Best. in Messing durch Funkenanreg., J. Tech. Phys. URSS 14, 719/24 [1945]; Chem. Abstr. 40, 1752 [1946].
- ²⁷⁾ V. K. Prokofjev, Spektralanalyse von NE-Metallen, Bull. Acad. Sci. URSS 9, 607/18 [1945]; Chem. Abstr. 40, 4977 [1946].
- ²⁸⁾ F. V. Schatz, Best. v. Zn, Pb und Fe in Cu und Cu-Legierg., J. Inst. Metals 80, 77/84 [1951]; Chem. Zbl. 1952, 4053.
- ²⁹⁾ P. T. Beale, Metallanalysen, Metal Ind. [London] 75, 43, 49 [1949].
- ³⁰⁾ N. S. Sventitskii, Messinganalysen mit dem Abreißbogen, Bull. Acad. Sci. URSS 4, 16/18 [1940]; Chem. Zbl. 1942, II, 2621.
- ³¹⁾ P. A. Liechtle, Spurenbest. in Messing, J. Opt. Soc. Amer. 34, 354/63 [1944]; Chem. Abstr. 38, 2747 [1944].

und Walsh³²⁾ wählen für die Aluminium-Bestimmung in Al-haltigem Messing an Stelle einer Cu-Linie die Zn-Linie 3282 als Bezugslinie. Eine genaue Arbeitsvorschrift für die Bestimmung von Pb, Ni und Fe mit dem Abreißbogen teilt Moritz³³⁾ mit.

Daß die Spektralanalyse der in Oxyd übergeführten Messingproben zur Bestimmung von Zink und Spuren-elementen einerseits, wie auch zur Blei-Bestimmung in Blei-haltigem Messing andererseits zu brauchbaren Ergebnissen führen kann, zeigt die Arbeit von Antheunissens³³⁾ und eine spätere von Milbourn und Hartley²⁰⁾. Der erstere prüft eingehend den Einfluß der Polarität der Probe auf die Genauigkeit der Bestimmungen. Zink kann unter günstigsten Bedingungen mit einem Fehler von $\pm 6,3\%$ bestimmt werden. An Verunreinigungen sind Pb, Mn, Ni und Fe bis 0,001%, As und Sb bis 0,01% nachweisbar.

Schließlich bleiben noch einige Veröffentlichungen mit allgemeiner gehaltenen Angaben über betriebsmäßige Spektralanalyse von Messing zu erwähnen³⁴⁻³⁹⁾.

2) Rotguß und Bronzen

Grundlegend unterscheiden sich die Untersuchungsverfahren für diese Gruppe von Kupfer-Legierungen nicht von denen für Messing. Eine Reihe von Arbeiten benutzt zur Spektralanalyse von Rotguß und Bronzen Selbstelektroden mit Funken-^{40, 41)} oder Abreißbogenanregung⁴²⁾. Bezüglich der näheren Anregungsbedingungen, der ausgewählten Analysenlinien oder sonstiger Einzelheiten muß auf die Originalliteratur bzw. Referate verwiesen werden.

Staahl und *Halliwell*⁴³⁾ beschreiben den Einsatz der Spektralanalyse in einem Messing- und Bronze-Schmelzbetrieb. Die Schwierigkeit, lunkerfreie Elektroden zu gießen, wird durch die Probenahme aus dem Schmelzbad mit einem Pyrexglasrohr von 6 mm I.W. umgangen. Sie heben die gute Homogenität der so gezogenen Proben hervor; weder ein Einfluß der Gießtemperatur, noch der Korngöße ist erkennbar. Zur Anregung mit funkenähnlicher Entladung mit dem Multisource-Gerät wird die obere Probelektrode mit einer unteren, angespitzten Graphitelektrode zusammengebracht. Bei der Bestimmung von Spuren oder auch von Antimon, in Proben mit mehr als 0,25% Fe, wird eine Bogentladung zweier Metallelektronen bevorzugt. Die Bestimmung der Legierungsbestandteile der verschiedenartigsten Bronzen gelingt mit einem mittleren Fehler von ± 3 bis 4%.

Zur Überwachung eines Bronze- und Rotguß-Schmelzbetriebes bedient sich *Maassen*⁴⁴⁾ der Spektralanalyse zur

- ³²⁾ D. M. Smith u. A. Walsh, Al-Best. in Messing, Coll. Papers on Metallurgy, Anal. Spectrogr., London 1945, S. 130/4; Chem. Abstr. 40, 5659 [1946].
- ³³⁾ F. F. Antheunissens, Messinganalyse mit dem Bogen, Metallwirtsch. 23, 329/32 [1944].
- ³⁴⁾ B. E. Balmasov, Sortieren von Messing u. Bronze mit dem Spektroskop, Zavodsk. Labor. 9, 1279/80 [1940]; Chem. Abstr. 35, 2374 [1941].
- ³⁵⁾ A. R. Striganov, Pb-Best. in Messing, Bull. Acad. Sci. URSS 9, 641/2 [1945]; Chem. Abstr. 40, 4973 [1946].
- ³⁶⁾ N. F. Sacharjina u. T. I. Berlin, Spektralanalyse von NE-Metallen, Zavodskaj. Labor. 13, 226/7 [1947]; Chem. Zbl. 1949, I, 100.
- ³⁷⁾ H. Moritz, Spektralanalyt. Metalluntersuchg. im Betrieb, Z. Metallkunde 33, 341/6 [1941].
- ³⁸⁾ H. Moritz, Spektralanalyt. Übersichtsanalysen, Arch. Metallk. 1, 122/3 [1947].
- ³⁹⁾ H. Moritz, Verunreinigg. in Metallen u. Lösgg., Metallocberfläche 2, 237/45 [1948].
- ⁴⁰⁾ M. S. Ashkinazi u. R. S. Tripolskaja, Best. von Mn, Zn u. Fe in Bronzen, Zavodsk. Labor. 9, 179/82 [1940]; Chem. Zbl. 1941, I, 3415.
- ⁴¹⁾ N. N. Semenov, Best. von Sn, Pb, Fe, Ni, Si, P in Bronzen, ebenda 11, 215/18 [1945]; Chem. Abstr. 40, 1112 [1946].
- ⁴²⁾ L. Bréšek, Spektralanalyse von Buntmetallen, Hutnické Listy 3, 212/3 [1948].
- ⁴³⁾ G. E. Staahl u. G. P. Halliwell, Spektralanalyse bei der Erzeug. von Rotguß u. Bronze, Amer. Foundryman 12, 51/7 [1947]; Chem. Abstr. 42, 2206 [1948].
- ⁴⁴⁾ G. Maassen, Best. von Pb, Sb, Fe und Zn in Bronze u. Rotguß, Erzmetall 2, 103/112 [1949].

Schnellbestimmung von Pb, Sb, Fe und Zn. Gegossene Elektrodenstäbchen werden mit gesteuertem Feuerfunkens angeregt. Das Verhalten des Bleies und Zinks während des Funkens wird an Hand von Abfunkkurven dargestellt. Für die Legierungen GBz 10, Rg 5 und Rg 9 werden Arbeitsvorschriften mitgeteilt. Die Arbeit zeigt, daß zwar die Spektralanalyse solcher Kupfer-Legierungen auch mit einem kleinen Spektrographen vom Typ des Q 12 (Zeiß) möglich ist, daß aber nicht die Genauigkeit wie mit großen Spektrographen erzielt werden kann.

Bemerkenswert ist ein Verfahren von Otto⁴⁵⁾ zur Herstellung von Elektroden aus kleinen Spänenmengen, wie sie bei der Untersuchung historischer Metallgegenstände nur zur Verfügung stehen. 0,2 g Späne werden in der verschlossenen Bohrung einer Graphitelektrode im Bogen geschmolzen. Der Regulus wird zu kleinen Elektroden ausgeplattet.

Das Anfunken ebener Probestücke mit einer Graphitgegenelektrode — entweder als obere oder untere —, die sog. „point-to-plane-technique“, umgeht die Herstellung von Selbstelektroden und kann zu recht guten Ergebnissen führen⁴⁶⁾.

Beispielsweise gibt Gruscecki⁴⁷⁾ bei der Zink-Bestimmung bis 10% Zn Abweichungen von der chemischen Analyse von -0,01 bis +0,17% und bei 3% Zn von -0,06 bis +0,12% an. Bei der Blei-Bestimmung sind die Abweichungen größer. Eigenartig ist die Feststellung, daß für Bronzeproben verschiedener Hersteller nicht ein und dieselbe Eichkurve benutzt werden konnte; die verschiedenenartigen Schmelz- und Gießbedingungen werden hierfür verantwortlich gemacht. Abhilfe wird dadurch geschaffen, daß für die Proben eines jeden Lieferanten eine besondere Eichkurve benutzt wird.

Fraglich erscheint ein Verfahren von Spicer⁴⁸⁾, aus dem Intensitätsverhältnis einer Bogen- und Funkenlinie des Kupfers dieses in der Größenordnung von 70 bis 97% Cu in Kupfer- und Nickel-Legierungen zu bestimmen.

Bei der Anwendung des Kugelbogenverfahrens schalten Milligan und France⁴⁹⁾ die Probe als Anode und stellen bis zu 3 min Brenndauer keine selektive Destillation des Phosphors fest. Phosphor wird bis zu Gehalten von 0,001% P auf $\pm 5\%$ genau bestimmt.

Das Material der GegenElektrode ist nicht ohne Einfluß auf die Linienintensitäten. Nach Prokofjev⁵⁰⁾ rufen — verglichen mit Cu-Gegenelektroden — solche aus Graphit eine Abnahme, solche aus Aluminium eine Zunahme der Linienintensitäten beim Bogen hervor, während sie sich beim Funken umgekehrt verhalten.

Bei Kupfer-Legierungen mit Zinn, Zink und Blei kann mit einem gegenseitigen Einfluß dieser Komponenten im Spektrum des kondensierten Funkens gerechnet werden⁵¹⁾. Vor allem beeinflußt der Zink-Gehalt das Linienintensitätsverhältnis Sn/Cu und Pb/Cu; der Zinn-Gehalt wirkt sich nur beim Linienpaar Zn/Cu aus, während der Blei-Gehalt ohne Einfluß ist. Auch die absoluten Intensitäten — sogar der eigenen Linien — werden vom Zinn bzw. Zink beein-

⁴⁵⁾ H. Otto, Spektralanalyse kulturhistorischer Metalle, Spectrochim. Acta 1, 381/99 [1941].

⁴⁶⁾ M. K. Gosh u. K. Z. Mazunder, Spektralanalyse von Lagermetallen, Indian J. Phys. 22, 409/12 [1948]; Spectrochim. Acta 4, 182 [1950] (Ref.).

⁴⁷⁾ P. J. Gruscecki, Spektralanalyse von Bronzen, Foundry 78, 92/3 [1950]; Chem. Zbl. 1950, II, 1726.

⁴⁸⁾ W. M. Spicer, Spektralanalyt. Cu-Best. In Cu-Zn- u. Cu-Ni-Legier., Anal. Chemistry 20, 557/8 [1948].

⁴⁹⁾ W. E. Milligan u. W. E. France, P-Best. in Phosphorbronze, Ind. Engng. Chem. Analyt. Edit. 13, 24/7 [1941]; Chem. Abstr. 35, 1351 [1941].

⁵⁰⁾ V. K. Prokofjev, Elektrodenverdampfung in spektralanalyt. Lichtquellen, Bull. Acad. Sci. URSS 11, 281/2 [1947]; Chem. Abstr. 42, 1843 [1948].

⁵¹⁾ J. I. Woronzov, Einfluß der Komponenten der Sn-Bronzen, Zavodsk. Labor. 13, 438/41; Chem. Zbl. 1949, I, 100.

flußt. Die Verwendung nadelförmiger Elektroden soll den störenden Einfluß dieser Komponenten mindern.

van Calker⁵²⁾ untersucht den Einfluß des Sauerstoffs auf die Arsen-Bestimmung im Kupfer.

Dem störenden Einfluß von Oxydationsvorgängen bei der Analyse im Funken begegnen Berta und Palisca⁵³⁾ entweder durch eine GegenElektrode aus Graphit oder bei Bronzen durch eine solche aus Wismut. Mit einem Fehler von ± 2 bis 3% bestimmen sie so Sn, Pb, Zn, Ni und Fe.

Auf eine besondere Erscheinung weisen Hasler, Barley und Boyd⁵⁴⁾ hin. Sie fanden, daß die Intensität der im Bereich von 1 bis 5% Pb benutzten Pb-Linie 2663 bei gewalzten Proben nahezu doppelt so stark war wie bei gegossenen. Durch Umschmelzen der gewalzten Proben wurde die Intensität der Gußproben erreicht. Die übrigen Legierungsbestandteile zeigten diese Erscheinung nicht.

Erstaunlich ist es, daß bei Kupfer-Legierungen so wenig Gebrauch von der Lösungsspektralanalyse gemacht wird, obwohl Lösungen den festen Elektroden gegenüber mancherlei Vorteile verschaffen. Die Lösung stellt eine absolut homogene Probe dar; Einflüsse der Probenoberflächenbeschaffenheit, der Kristallstruktur, der Saigerungen, mit denen man gerade bei Bronzen und Rotguß rechnen muß, sind ausgeschaltet. Ein Einfluß von Fremdelementen besteht entweder gar nicht oder läßt sich leicht beheben durch Verdünnen der Probelösung mit reiner Cu-Lösung⁵⁴⁾. Nicht zu unterschätzen ist schließlich der Vorteil, daß man sich selbst leicht Eichlösungen höchster Genauigkeit, und den zu untersuchenden Lösungen bestens angepaßt, herstellen kann.

Sehr gute Ergebnisse erzielten Scribner und Ballinger⁵⁵⁾ durch Aufbringen von Lösungen auf Graphitelektroden und Abfunken mit niedriger Energie.

Eine besondere Einrichtung der ARL zum Einbringen von Lösungen in die Funkenstrecke benutzen Rouir und Vanbokestaal⁵⁶⁾. Eine rotierende Graphitscheibe, die eben in die zu untersuchende Lösung taucht, trägt stets frische Lösung dem Funken zu, der zwischen der positiven Scheibe und einer Graphitstabelektrode übergeht. Durch die Anwesenheit von Kupfer werden die Pb- und Sn-Linien stark geschwächt; durch Komplexbildung des Kupfers mit Ammoniumsalzen verschwindet die Störung. Die Verfasser vermuten, daß die Störung mit der positiven Ladung der Graphitscheibe zusammenhängt, derart, daß eine Anhäufung von Cu-Ionen in der Nähe der Scheibe die Anlandung von Pb- und Sn-Ionen erschwert. Für verschiedene Legierungstypen werden die geeigneten Lösungen mitgeteilt. Die üblichen Begleitelemente Sn, Pb, Zn, Fe, Ni, Al und Mn werden mit einer Genauigkeit von $\pm 1,5\%$ bestimmt. Auch die Bestimmung von 78 bis 95% Cu wird nach Zugabe von Eisenlösung als innerer Standard durchgeführt.

Viele weitere Veröffentlichungen, die sich mit der Spektralanalyse von Kupfer-Legierungen befassen, können nur als Fußnoten⁵⁷⁻⁷⁰⁾ aufgeführt werden, da die zugänglichen

⁵²⁾ J. van Calker, Bedeutg. des Sauerstoffs für d. Spektralanalyse vielfältig zusammenges. Stoffe, Spectrochim. Acta 2, 340/9 [1944].

⁵³⁾ R. Berta u. A. Palisca, Analyse v. Bronzen, Metall. Ital. 3, 128/34 [1949]. Z. analyt. Chem. 131, 119 [1950] (Ref.).

⁵⁴⁾ E. K. Jaycox, Spektralanalyse von Cu-Legiergg., J. Opt. Soc. Amer. 35, 175/9 [1945]; Chem. Zbl. (Vig. Chemie) 1948, II, 728.

⁵⁵⁾ B. F. Scribner u. J. C. Ballinger, Spektralanalyse v. Bronze mit d. porösen Elektrode, Res. Natl. Bur. Standards 47, S. 221/6 [1951]; Chem. Abstr. 46, 3903 [1952].

⁵⁶⁾ E. V. Rouir u. A. M. Vanbokestaal, Analyse von Cu-Legiergg., Spectrochim. Acta 4, 330/7 [1951].

⁵⁷⁾ M. S. Ashkinazi, Spektralanalyse von Bronzen, URSS Depovidi Akad. Nauk. 1940, S. 37/9; Chem. Zbl. 1942, I, 3237.

⁵⁸⁾ F. Twyman, Spektralanalyse in der NE-Metallindustrie, J. Inst. Metals 64, 379/416 [1939]; Chem. Zbl. 1940, I, 3150.

⁵⁹⁾ W. K. Prokofjev, Spektralanalyse in Metallurgie und Maschinenbau, Bull. Acad. Sci. URSS 4, 52/55 [1940].

(Fußnoten ⁵⁷⁻⁷⁰⁾ siehe Seite 291)

Referate keine brauchbaren Inhaltsangaben machen und die Originalarbeiten nicht zu beschaffen waren. Die meisten dieser Veröffentlichungen zeigen lediglich die Anwendungsmöglichkeiten der Spektralanalyse allgemein oder für besondere Industriezweige auf.

Eingeg. am 10. Dezember 1952 [A 485]

- ⁴⁰⁾ M. S. Ashkinazi u. R. S. Tripolskaja, Spektralanalyse von Bronzen (Auswertg.), Bull. Acad. Sci. URSS 10, 289/92 [1941]; Chem. Abstr. 37, 2301 [1943].
- ⁴¹⁾ V. A. Kostetskii, Spektralanalyse von Bronzen, ebenda 10, 303/7 [1941]; Chem. Abstr. 37, 2301 [1943].
- ⁴²⁾ F. Twyman, Spektralanalyse von Cu u. Cu-Legiergg., Metal Ind. [London] 58, 382/6 [1941]; Chem. Zbl. 1943, I, 187.
- ⁴³⁾ O. Werner, Spektralanalyse in der Werkstoffprüfung, Techn. Zbl. prakt. Metallbearbg. 51, 424/7 [1941].
- ⁴⁴⁾ M. F. Hasler u. J. W. Kemp, Spektralanalyse von Metallen mit Multisource-Anreg., J. Opt. Soc. Amer. 34, 21 [1944]; Chem. Abstr. 38, 1181 [1944].
- ⁴⁵⁾ G. W. Birdsall, Spektralanalyt. Schnellmethoden (Messing u. Bronzen), Steel 115, 73 [1944].
- ⁴⁶⁾ H. W. Dietert u. J. A. Schuch, Spektralanalyse zur Gießereikontrolle (Bronze), Trans. Amer. Foundrymen Assoc. 52, 889/903 [1945]; Chem. Abstr. 39, 1156 [1945].
- ⁴⁷⁾ L. E. Vnedenskil u. A. K. Andoneva, Spektralanalyse von Sn-Bronzen, Bull. Acad. Sci. URSS 9, 663/4 [1945]; Chem. Abstr. 40, 4978 [1946].
- ⁴⁸⁾ N. F. Sacharija, Spektralanalyse von Sn-Bronzen, Bull. Acad. Sci. URSS 9, 32 [1945]; Chem. Abstr. 40, 4973 [1946].
- ⁴⁹⁾ M. Seguin u. L. Gramme, Analyse von Cu-Be-Legierungen, Bull. Soc. Chim. France 1950, 388; Z. analyt. Chem. 132, 357 [1951] (Ref.).
- ⁵⁰⁾ M. van Dorselaer, Mikromethoden zur quant. Spektralanalyse von urgeschichtlichen Bronzen, Mikrochem. 36/7, 513 [1951].

Ultrarotspektroskopische Reinheitsprüfung von Tetrachlorkohlenstoff

II. Mitteilung

Von cand. chem. E. GREINACHER und Dr. F. OSWALD, Freiburg i. Br.

Aus dem Institut f. physikalische Chemie der Universität Freiburg

Als Beispiel der sehr empfindlichen quantitativen spektroskopischen Analysenmethode wird das in der UR-Spektroskopie viel gebrauchte Lösungsmittel Tetrachlorkohlenstoff spektroskopisch auf seine Reinheit untersucht. Mit Hilfe eines selbstregistrierenden Spektrographen werden im Bereich von $2,5 \mu - 5 \mu$ H_2O , Trichloräthylen, Chloroform, Schwefelkohlenstoff und gesättigte Kohlenwasserstoffe in Tetrachlorkohlenstoff quantitativ bestimmt.

In einer früheren Arbeit¹⁾ wurde die Bestimmung von Verunreinigungen in Tetrachlorkohlenstoff im nächsten Ultrarot ($1.3 \dots 1.9 \mu$) beschrieben und ein Destillations-schema zur Abtrennung von Chloroform, Trichloräthylen und Wasser angegeben. Das Verfahren war auf die im sog. Obertongebiet ($\lambda < 2.4 \mu$) gebräuchlichen Spektrometer mit Glasoptik zugeschnitten und benützte die dort üblichen hohen Schichtdicken von $d=20 \text{ cm}$.

Obwohl Tetrachlorkohlenstoff für Wellenlängen größer als 3.2μ stärkere Eigenabsorption aufweist (Bild 1), ist er in Ermangelung völlig absorptionsfreier Lösungsmittel auch für Messungen im mittleren Ultrarot (bis etwa 15μ) nicht zu entbehren. Wegen der in diesem Gebiet benützten geringen Schichtdicken und den bei „Zwei-strahlgeräten“ möglichen Kompensationsmessungen (Lösung gegen Lösungsmittel) sind die Anforderungen an die Reinheit nicht so hoch wie im Obertongebiet. Es empfiehlt sich jedoch auch hier, das Lösungsmittel auf seine Reinheit zu prüfen, da bei unvollständiger Kompensation oder bei Verwendung von Einstrahlgeräten, bei denen eine Kompensation nicht möglich ist, die Absorptionsbanden der Verunreinigung stören können.

Das früher angegebene Verfahren¹⁾ ist bei registrierenden Spektrometern für das mittlere Ultrarot kaum verwendbar. Diese Geräte sind meist nur für kleinere Schichtdicken eingerichtet, lange Absorptionsrohre lassen sich nicht unterbringen, zum mindesten aber wird die Fokussierung der Strahlungsquelle auf den Eingangsspalt gestört.

¹⁾ R. Mecke u. F. Oswald, Spectrochim. Acta 4, 348 [1951].

Deshalb wurde der zur Bestimmung der Fremdstoffe durchgemusterte Spektralbereich aus dem Gebiet der ersten CH-Oberschwingung in das der CH- und OH-Grundschwingung verlegt, wodurch die Schichtdicke auf 2 cm herabgesetzt werden konnte. Es wird nur der Spektralbereich von 2.5 bis 5.0μ ($4000 \dots 2000 \text{ cm}^{-1}$) durchlaufen. Gleichzeitig wurde das Verfahren auf alle bisher in verschiedenen Lieferungen von Tetrachlorkohlenstoff festgestellten

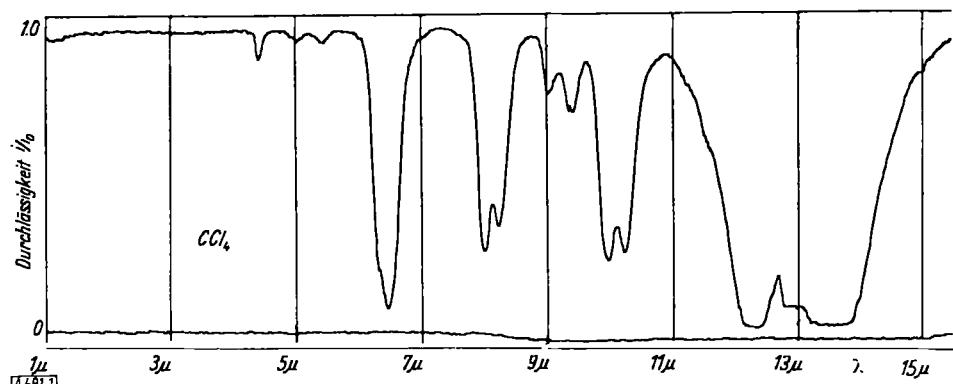


Bild 1. Ultrarotspektrogramm von Tetrachlorkohlenstoff 1 μ –15,5 μ ; Schichtdicke = 0,5 mm; NaCl-Prisma

Verunreinigungen erweitert. Es umfaßt nunmehr: Wasser, Trichloräthylen, Chloroform, Cyclohexan (nur als Vertreter aller gesättigten Kohlenwasserstoffe) und Schwefelkohlenstoff. Dem Vorteil der geringen, zur Untersuchung notwendigen Substanzmenge (etwa 7 cm^3) steht gegenüber, daß sich die in dem betrachteten Spektralbereich auftretenden Banden der Fremdstoffe teilweise überlagern, vor allem aber mit den Tetrachlorkohlenstoff-Banden zusammenfallen, wodurch die quantitative Auswertung etwas erschwert wird.

Bild 2 zeigt die Spektrogramme von Tetrachlorkohlenstoff von 2,5 bis 5,0 μ : a) in reinem Zustand, b) bis f) mit je einem absichtlich zugefügten Fremdstoff.