

Violanthren. Werden dem Peropyren in 1,2- und 9,10-Stellung zwei Benzolringe annelliert, so gelangt man zum Violanthren. Der Name stammt, wie Scholl und Seer²⁸⁾ berichten, von seinem Entdecker.

„O. Bally hat die merkwürdige und wichtige Entdeckung gemacht, daß Benzanthron beim Verschmelzen mit reinen oder alkoholischen Ätzalkalien in einen Küpenfarbstoff von bis dahin unbekannter Art verwandelt wird, den er wegen der (bläulich) violetten Färbungen und der an Indanthren innernden Eigenschaften Violanthren nannte, ein Name, den wir unter Hinweis auf die Ketonnatur des Körpers durch Violanthron ersetzen.“

Der Name Violanthren wurde dann später auf den Kohlenwasserstoff übertragen.

Benzanthren. Zu Ketoderivaten dieses Kohlenwasserstoffes gelangten Scholl und Bally²⁷⁾ 1904 in der B. A. S. F. Das ihm zu Grunde liegende Ringsystem erhielt auf Vorschlag von Scholl den Namen Benzanthron, zusammengezogen aus Benzanthrachinon. Der entsprechende Kohlenwasserstoff wurde später von demselben Autor hergestellt.

Triphenylen. Dieser Kohlenwasserstoff wurde 1866 von Marcelin Berthelot²⁹⁾ in den Reaktionsprodukten aufgefunden, die er beim Durchleiten von Benzoldämpfen durch eine glühende Porzellanröhre erhielt.

Er nannte ihn anfangs Chrysène und bemerkte: „C'est donc un polymère, (C¹²H⁸)₃, du carbure non condensé et inconnu qui répondrait à la formule C¹²H⁴ (phenylène)“.

Ein Jahr darauf taucht neben diesem Namen schon die jetzige Bezeichnung „triphenylène“ auf²⁹⁾, die obiger Definition entspricht. Um Verwechslungen mit Laurents Chrysène zu vermeiden, entschließt er sich dann 1874 endgültig, diesen Namen fallen zu lassen.

Coronen. Die Synthese dieses interessanten Kohlenwasserstoffes gelang 1932 R. Scholl und Meyer³¹⁾:

„Die Lösung des Problems der Herstellung des Hexabenzobenzols oder, wie wir es nennen wollen, Coronens (von corona-Kranz, weil die äußeren Benzolringe einen Kranz bilden) . . .“.

²⁸⁾ Liebigs Ann. Chem. 394, 126 [1912].

²⁷⁾ Ber. dtsch. chem. Ges. 38, 195 [1905].

²⁶⁾ Ann. chim. phys. (4) 9, 458 [1866].

²⁵⁾ Ann. chim. phys. (4) 12, 185 [1867].

²⁴⁾ Bull. Soc. chim. France (1) 22, 439 [1874].

²³⁾ Ber. dtsch. chem. Ges. 66, 902 [1932].

Analytisch-technische Untersuchungen

Über die Bestimmung kleinster Beryllium-Gehalte auf chemischem Wege

Von Prof. Dr. WERNER FISCHER und Dr. JOSEF WERNET
Freiburg i. B., Chem. Universitätslaboratorium, Anorgan. Abteilung

Die Bestimmungen spurenhafter Beimengungen (10⁻²–10⁻⁴%), die heute nicht nur wissenschaftliches Interesse besitzt, sondern für manche technischen Probleme von geradezu ausschlaggebender Bedeutung geworden ist, wurde in größerem Umfang erst durch den Ausbau der spektrographischen Methoden ermöglicht. Es mehren sich aber in letzter Zeit die Arbeiten, die diese analytische Aufgabe auf chemischem Wege zu lösen versuchen. Die Gründe, die zu dieser Entwicklung führten, sowie die Vor- und Nachteile beider Methoden sollen hier nicht erörtert werden. Eine Konkurrenz zwischen ihnen ist möglich geworden, seitdem für die Mehrzahl der Elemente – meist colorimetrische – Verfahren bekannt geworden sind, die Mengen in der Größenordnung von 1 γ zu bestimmen gestatten. Doch liegen bei vielen chemischen Spurenbestimmungen noch erhebliche Schwierigkeiten in den notwendigen vorbereitenden Trennungsoptionen, an deren Leistung bei der vorliegenden Aufgabe z. T. höchste Anforderungen gestellt werden. Selten ist eine Bestimmungsreaktion frei von Störungen durch andere Elemente, sodaß erstens diese abgetrennt werden müssen. Zweitens ist aber meist auch eine weitgehende Entfernung der in großem (bis über 10⁵-fachem) Überschuß anwesenden Hauptbestandteile, auch wenn diese die Bestimmungsreaktion an sich nicht beeinflussen, deswegen erforderlich, weil nur so die erforderliche Mindestkonzentration des zu bestimmenden Elements erreicht werden kann.

Die Ausarbeitung einer Spurenbestimmung auf chemischen

Picen. Sein Entdecker, O. Burg³²⁾, berichtet 1880:

„Wegen seiner Gewinnung aus dem Braunkohlenpech habe ich ihm den Namen Picen gegeben“. (pix = Pech).

Rubren. Im Jahre 1926 entdeckten Moureu, Dufraise und Dean³³⁾ diesen orangefarbenen Kohlenwasserstoff, der 1935 als Tetraphenyl-tetracen erkannt wurde:

„... nous avons réussi à trouver . . . un hydrocarbure . . . qu'en raison de sa couleur nous avons appelé rubrène“. (rubrum = rot).

Anthanthren. L. Kalb³⁴⁾ gelangte 1914 zu Oxoderivaten dieses Kohlenwasserstoffes:

„Die beiden Dicarbonsäuren des α-Binaphthyls, welche die Carboxylgruppen in peri-bzw. ortho-Stellung zur Binaphthylbindung enthalten, also die 1,1'-Binaphthyl-8,8'- und 2,2'-dicarbonsäure . . . lassen sich in ein und dasselbe neue Chinon . . . , welches Anthanthron genannt werden soll, überführen“.

Die eigenartige Verknüpfung zweier Anthracen-Kerne soll in dem Namen zum Ausdruck gebracht werden.

Pyranthren. Durch Reduktion des als Indanthren-Goldorange bekannt gewordenen Farbstoffes erhielt 1910 R. Scholl³⁵⁾ den zu Grunde liegenden Kohlenwasserstoff, dem er den Namen Pyranthren gab, da der Farbstoff „als ein Pyren der Anthrachinonreihe betrachtet werden kann“.

Andererseits kann das Pyranthren auch als 1,2,7,8-Dibenzanthranthron aufgefaßt werden.

Fulvene. Abschließend seien noch die von J. Thiele³⁶⁾ entdeckten Fulvene erwähnt:

„Dieselben sind außerordentlich intensiv orange bis blutrot gefärbt, und es liegen in ihnen offenbar Repräsentanten einer ganzen Klasse von gefärbten Kohlenwasserstoffen vor, welche sich als Substitutionsprodukte eines Isomeren des Benzols auffassen lassen, das ich wegen der leuchtenden Farbe seiner Derivate als Fulven bezeichne.“ (fulvus = rotgelb).

Eingeg. am 15. Mai 1947. [A 45].

³²⁾ Ber. dtsch. chem. Ges. 13, 1834 [1880].

³³⁾ C. R. hebd. Séances Acad. Sci. 182, 1441 [1926].

³⁴⁾ Ber. dtsch. chem. Ges. 47, 1724 [1914].

³⁵⁾ Ber. dtsch. chem. Ges. 43, 347 [1910].

³⁶⁾ Ber. dtsch. chem. Ges. 33, 667 [1900].

Wege muß sich also auf folgende Punkte erstrecken: 1. Bestimmung des Elements in reinen Lösungen. 2. Prüfung auf Störungen durch andere Elemente; dies hat sich praktisch auf das ganze periodische System zu erstrecken, weil im allgemeinen Falle mit der spurenhafter Gegenwart fast aller Elemente gerechnet werden muß und weil die für unseren Zweck notwendigen extrem empfindlichen Reaktionen schon durch solche Spuren gestört werden können. 3. Abtrennung a) der als störend erkannten Elemente, b) der in den zu untersuchenden Materialien in großem Überschuß zu erwartenden Elemente. Die bei einer solchen Untersuchung erzielten Ergebnisse werden fast stets über das spezielle Problem der Spurenanalyse hinaus von Bedeutung sein, die unter 3. genannten besonders auch für die präparative Chemie.

Unter diesen Gesichtspunkten haben wir die Bestimmung von kleinsten Beryllium-Gehalten in Silicaten, Tonerde-Mineralien und ähnlichen Stoffen untersucht.

I. Die Bestimmung kleinster Beryllium-Mengen mit Chinalizarin

Das am besten geeignete Verfahren zur Bestimmung kleiner Beryllium-Mengen dürfte die Reaktion mit Chinalizarin (1,2,5,8-Tetraoxy-anthrachinon) nach Hellmut Fischer (1926)³⁷⁾ sein. Die

³⁷⁾ Vgl. R. Fresenius u. G. Jander: Handbuch d. analyt. Chemie, 3. Teil, Bd. IIa, S. 48 bis 54. Im folgenden ohne Zitat angeführte Literaturangaben sind in diesem Handbuchtartikel referiert. Vgl. ferner A. S. Komarowsky u. J. M. Korenman, Z. analyt. Chem. 94, 247 [1933].

rotviolette Farbe der Lösung dieses Farbstoffes in verd. Natronlauge wird durch Zusatz einer genügenden Menge Beryllium in ein reines Kornblumenblau verwandelt.

Diese Erscheinung läßt sich in verschiedener Weise zur quantitativen Bestimmung nutzbar machen. Die Ausfällung des blauen Farblacks mit anschließender colorimetrischer Bestimmung nach *H. Fischer* ist für unsere Zwecke ungeeignet, weil diese Arbeitsweise u. a. praktisch vollständige Abtrennung des Aluminiums und der Phosphorsäure voraussetzt. — Die sog. „colorimetrische Titration“ nach *H. Fischer* ist schon bei Mengen von 0,1 mg BeO mit erheblichen Fehlern¹⁾ bis 30% behaftet und für die uns interessierende Größenordnung nicht mehr anwendbar. Der an sich nicht ganz scharfe und schwierig erkennbare Farbumschlag verflacht nämlich mit abnehmender Beryllium-Konzentration immer mehr; nach unseren Erfahrungen sind Bestimmungen bei $< 5 \gamma$ BeO/cm³ praktisch nicht mehr durchführbar. Die Bestimmung kleinster Be-Mengen nach diesem Verfahren setzt also das Arbeiten in sehr kleinen Volumina voraus; dann aber ist die in Colorimetergefäßen unter Gleichhaltung der Volumina von Vergleichs- und Analysenlösung vorzunehmende Titration nur sehr umständlich und nicht mehr sicher ausführbar. Zahlreiche Erfahrungen die wir über die Konzentrationsabhängigkeit des Farbtons und der Breite des Farbumschlages bei der Titration sammelten, deuten alle darauf hin, daß die in verd. Natronlauge gelöste Be-Chinalizarin-Verbindung mit abnehmender Konzentration in die Komponenten dissoziiert, worauf bisher noch nicht hingewiesen worden ist. Verdünnt man z. B. eine blaue, natron-alkalische Be-Chinalizarin-Lösung mit Natronlauge der gleichen Konzentration, so wird der Farbton zunehmend rotstichiger und nähert sich schließlich demjenigen einer Be-freien Lösung von Chinalizarin.

Gerade diese Mischfarben, die als Folge von teilweiser Dissoziation der Be-Chinalizarin-Verbindung bei geringer Konzentration auftreten, lassen sich nun nach unseren Erfahrungen zur Durchführung einer einfachen und sicheren Bestimmung kleinster Beryllium-Mengen von etwa 2–50 γ BeO verwenden, wenn man nach der ältesten, primitiven colorimetrischen Methodik wie folgt verfährt:

Man bringt in einer Reihe von gleichen Küvetten (es genügen Präparatengläser mit flachem Boden von etwa 2 cm Dmr.) z. B. 0, 6, 12, 24, 36, 48 γ BeO in Form einer Chlorid- oder Nitrat-Lösung auf gleiche Volumina, z. B. von je 15 cm³ und gleiche Konzentration an NaOH ($\sim n/4$ oder $n/4$). Die Analysenlösung wird in gleicher Weise behandelt. Alle Lösungen werden dann gleichzeitig²⁾ mit je 0,4 cm³ einer höchstens 1 Tag alten 0,05%igen Lösung von Chinalizarin³⁾ in $n/4$ NaOH⁴⁾ versetzt. Zum Farbvergleich wird die ganze Küvettenreihe bei gleichmäßiger, diffuser, aber möglichst heller Beleuchtung vor einem weißen Hintergrund entweder bei seitlicher oder senkrechter Durchsicht beobachtet; in letzteren Falle dürfen die Gläser wegen Schattenbildung nicht unmittelbar auf dem weißen Untergrund aufstehen. Die Vergleichslösungen mit 0–48 γ BeO zeigen eine recht gleichmäßige Farbtonabstufung von Violett nach Blau, die zwischen 36 und 48 γ BeO schon etwas verflacht und bei weiterer Erhöhung des Gehaltes asymptotisch zu einem reinen Blau führt⁵⁾. In diese Reihe lassen sich die Analysenlösungen einordnen; dabei können auch Zwischenwerte noch überraschend gut geschätzt werden, bei größeren Gehalten mit einem Fehler von etwa $\pm 3 \gamma$, bei kleinen etwa $\pm 1 \gamma$ BeO.

Diese Arbeitsweise bietet folgende Vorteile: Man kann die Analysenlösung gleichzeitig mit der ganzen abgestuften Vergleichsreihe betrachten, wobei sich besonders eine falsche Einordnung sehr deutlich bemerkbar macht, so daß noch kleinere Farbtonunterschiede erkannt werden können, als es beim Vergleich der Analysenlösung mit nur einer Vergleichslösung im Colorimeter möglich ist; man kann ferner mit beiden Augen beobachten und nach Bedarf den Standpunkt wechseln. Dies alles macht die Entscheidung sehr sicher und vermeidet Ermüdung der Augen, die uns bei der colorimetrischen Titration sehr störte.

Unsere Erfahrungen über den Einfluß der NaOH-Konzentration stehen im wesentlichen in Einklang mit denen von *H. Fischer* und von *Rienäcker*. Lösungen, die $n/4$ bis $n/4$ an NaOH sind, liefern die günstigste Farbtabstufung

der Vergleichsreihe und zugleich die beste Empfindlichkeit; bei 1–2 γ BeO beobachteten wir bei der beschriebenen Arbeitsweise noch deutlich positive Reaktion. Sowohl in $n/4$, als auch in $n/4$, NaOH werden die Be-freien Lösungen etwas blau-, die Be-reichen Lösungen etwas rotstichiger als in $n/4$, und damit die Farbtonabstufung, Empfindlichkeit und Fehlergrenze ein wenig ungünstiger. Doch ist dieser Einfluß so gering, daß eine Abweichung der NaOH-Konzentration um etwa $\pm 20\%$ zwischen den einzelnen Lösungen einer Vergleichsreihe noch ohne Bedeutung ist.

II. Das Verhalten anderer Elemente bei der colorimetrischen Be-Bestimmung

Es wurde erstens die Mehrzahl der Elemente daraufhin geprüft, ob sie mit alkalischer Chinalizarin-Lösung eine störende Reaktion ergeben. Diejenigen, die dies nicht tun, könnten aber noch die Reaktion des Be mit dem Chinalizarin beeinträchtigen. Wir haben zweitens auch dies geprüft, uns aber auf die Elemente beschränkt, die bei dem unten beschriebenen Trennungsgang in nennenswerter Menge das Be begleiten können.

1. Reaktion anderer Elemente mit alkalischer Chinalizarin-Lösung

Zur Prüfung dieser Frage brachte man bestimmte Mengen der unten angegebenen Verbindungen auf ein Volumen von 16 cm³ und eine NaOH-Konzentration von $n/4$. Da die Lösungen dieser Verbindungen z. T. infolge von Hydrolyse sauer bzw. basisch waren, titrierte man zuvor eine gleichgroße Probe der Lösung gegen Phenolphthalein und berücksichtigte das Ergebnis bei Einstellung der gewünschten Alkalität. Nach Zusatz von 0,4 cm³ 0,05%iger Chinalizarin-Lösung verglich man die Probe mit einer wie oben bereiteten, ebenfalls $n/4$ alkalischen Reihe von Vergleichslösungen mit 0, 6 und 12 γ BeO.

Störungen treten selbstverständlich bei solchen Stoffen auf, die mit NaOH Fällungen ergeben. Viele Hydroxyd-Fällungen lassen sich aber durch Tartrate verhindern. *H. Fischer* hat gezeigt, daß man so z. B. Be neben Fe bestimmen kann, daß aber Tartrate in Gemeinschaft mit Al den Farbton der Chinalizarin-Lösung ändern. Wir prüften deshalb die Mehrzahl der Elemente auch bei der Gegenwart von — meist 40 mg — Seignettesalz. Ergebnisse bei diesem Zusatz sind im folgendem durch +S. gekennzeichnet, während —S. Abwesenheit von Seignettesalz und \pm S. keine erhebliche Abhängigkeit der Beobachtungen von diesem Zusatz bedeutet. — Soweit nicht besonders vermerkt, wurden die geprüften Elemente in Form ihrer Chloride angewandt. Nschl. bedeutet Auftreten eines Niederschlages.

a) Verhältnismäßig groß ist die Zahl der Elemente, die unter den obigen Bedingungen eine ähnliche Blaufärbung wie Be ergeben. Im folgendem ist angegeben, wieviel Milligramm dieser Elemente eine ungefähr ebenso starke Veränderung des Farbtons nach Blau hervorrufen wie 2–4 γ BeO $\sim 1 \gamma$ Be.

Li \pm S. 5–10. Mg —S. 0,005; bei höherer Konz. Nschl. +S. 0,002. Ca \pm S. 5–10, Nschl. Sc —S. 0,002; +S. wechselnd (s. unten). Ytterterdengemisch +S. 0,03. La +S. 0,05. Ce (als $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$) +S. \ll 3. Th +S. 2. Co +S. 0,01. Ni +S. 0,05. Pt —S. 0,2; +S. rotstichig, verblaßt in 5 min. Hg(I) u. Hg(II) (als Nitrat) \pm S. 2, Nschl. Pb (als $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) \pm S. 2–5 Nschl. Bi (als Nitrat) \pm S. 5, verblaßt bald, Nschl. — Lanthaniden, Y, Th, Co, Ni ergeben auch —S. eine Blaufärbung, außerdem bei höherer Konzentration Nschl. — Bei Sc, Hg und Pb entwickelt sich die Blaufärbung langsam im Verlauf einiger Minuten. — Eigentümlich ist das Verhalten von Sr und Ba. 0,05 mg Sr \pm S. ergeben eine ähnliche Blaufärbung, wie 1 γ Be, die mit steigenden Sr-Mengen zunächst etwas zu-, dann aber wieder abnimmt und bei 10 mg Sr praktisch verschwindet. 1 mg Ba \pm S. ergibt eine Blaufärbung wie etwa 1 γ Be. Bei größeren Mengen verstärkt sich die Blaufärbung. Dies gilt jedoch nur, wenn man die Chinalizarin-Lösung zur alkalischen Ba-Lösung fügt. Setzt man hingegen zu einer so bereiteten blauen Lösung nachträglich, also nach der Chinalizarin-Zugabe, noch mehr Ba-Lösung hinzu, so wird der Farbton nunmehr merkwürdigerweise wieder rotstichiger. Auch in einigen anderen Fällen, z. B. bei Sc, hat die Reihenfolge bei der Mischung einen Einfluß auf den Farbton.

Wie man sieht, rufen Mg, seltene Erden, Co und Ni in ähnlich empfindlicher Weise eine Blaufärbung hervor wie Be. Diese Elemente müssen also vor der Be-Bestimmung besonders sorgfältig entfernt werden. Andererseits kann man jene Erscheinung auch zum Nachweis und zur Bestimmung der fraglichen Elemente auszunutzen versuchen. Das ist für Mg allgemein bekannt. Die Reaktion mit Sc beobachtete erstmals *G. Beck*⁷⁾; sie führt aber nach unseren Erfahrungen gemeinsam mit *G. Dernbach* und *O. Steinhauser* zu so schlecht reproduzierbaren Färbungen, daß

¹⁾ Vgl. *H. Fischer*, Wiss. Veröff. Siemens-Werken 6, 115 u. 118 [1926]. Die geringere Fehlergrenze, die *H. Fischer*, Z. analyt. Chem. 73, 54 [1928], später erzielte, konnten wir nicht erreichen.

²⁾ Das Volumen kann innerhalb ziemlich weiter Grenzen, etwa 5–25 cm³, beliebig gewählt werden, muß nur innerhalb einer Vergleichsreihe konstant sein. Je nach der Größe dieses Volumens variiert man zweckmäßig auch die Menge der zugefügten Chinalizarin-Lösung.

³⁾ Die Färbung bleicht langsam aus, doch sind gleichzeitig angesetzte Lösungen noch nach 1/2 h, meist sogar wesentlich länger, ohne Störung vergleichbar; direktes Sonnenlicht ist jedoch zu vermeiden. Die Geschwindigkeit des Ausbleichens wird durch die Gegenwart einiger anderer Elemente z. T. stark beeinflusst.

⁴⁾ Wir verwendeten ein frisches und ein mehrere Jahre altes Präparat; beide stammten von der Firma Merck und verhielten sich bei den Versuchen gleich.

⁵⁾ Nicht in stärkerer Lauge lösen und dann verdünnen!

⁶⁾ Nach der von *H. Fischer* für den blauen Komplex angegebenen Zusammensetzung von 2 BeO:1 Chinalizarin sollte eigentlich schon die Mischung mit 36 γ BeO rein blau sein. Daß diese Farbe bei der von uns angewandten Verdünnung nur allmählich bei höheren Be-Gehalten erreicht wird, läßt sich wieder als Folge einer Dissoziation des Komplexes deuten.

⁷⁾ Mikrochim. Acta [Wien] 2, 11 [1937].

sie für eine quantitative Bestimmung des Sc unbrauchbar ist^{7a)}. Die Blaufärbung durch Co und Ni ist in der Literatur merkwürdigerweise noch nicht erwähnt worden⁸⁾.

Bei den Elementen, die erst in größerer Menge eine Blaufärbung bewirken, wie z. B. Li und Erdalkalien, lag die Vermutung nahe, daß eine Verunreinigung z. B. durch Mg vorliegen könne. Deshalb wurden diese Versuche mit 2–3 möglichst reinen Präparaten verschiedener Herkunft durchgeführt, von denen je eines nochmals durch mehrfache Umkristallisation gereinigt worden war; doch erhielt man dabei keine unterschiedlichen Ergebnisse. Außerdem trat die Blaufärbung auch auf, wenn man z. B. LiCl oder BaCl₂ mit NaOH schmolz, mit Wasser aufnahm und filtrierte; dabei wäre Mg sicher entfernt worden.

b) Störungen anderer Art. Die Zahlen bedeuten Milligramm des betreffenden Elementes, die bei der oben beschriebenen Arbeitsweise in 16 cm³ enthalten waren.

Alle farbigen Stoffe stören in höherer Konzentration durch ihre Eigenfarbe. Da man hierauf schon vor dem Chinalizarin-Zusatz aufmerksam wird, erübrigte sich für uns eine gesonderte Prüfung, zumal bei dem unten beschriebenen Trennungsgang von diesen Stoffen allein das Chromat-Ion das Be begleitet.

Eine Niederschlagsbildung erfolgt \pm S. bei: Mn (als MnCl₂) 1 mg (nebst Verfärbung nach Schmutzgrün); Ag (als AgNO₃) 1; Cd \sim 1–5. Nachl. tritt -S. auf bei: Zr 1, Hf 1 und Cu(II) 1; schon kleinere Zr- und Hf-Mengen (\sim 0,05) färben rotstichig, + S. stärker als -S. Ähnlich verhält sich FeCl₃; es wird + S. durch 0,1 mg Fe die Farbstofflösung ein wenig rotstichig, durch 10 mg bräunlich verfärbt. Schon 1 mg Ti als TiNO₃ gibt \pm S. eine blaugrüne Färbung, als Ti(NO₃)₃ Nachl. 1 mg Sn (als SnCl₄ oder als Natriumstannat) stört \pm S. nicht, während größere Mengen -S. Nachl. ergeben, + S. den Farbstoff etwas rotstichig verfärben. 1 mg U (als UO₂NO₃)₂ gibt -S. schmutzig-grünen Nachl., 2 mg rufen + S. noch keine Störung hervor.

Ammonium-Salze setzen nach H. Fischer die Empfindlichkeit der Reaktion herab.

In Übereinstimmung mit Rindacker, aber teilweise abweichend von H. Fischer, stellten wir fest, daß -S. kleine Aluminium-Mengen nicht stören, daß aber etwa ab 2 mg Al die Chinalizarin-Lösung mit steigender Al-Menge zunehmend etwas rotstichig wird. Während S. allein keine Farbtonverschiebung erzeugt (s. unter c), ruft schon 0,1 mg Al + S. deutliche Rotstichigkeit hervor, worauf H. Fischer bereits hinwies; die Verfärbung steigert sich sowohl mit wachsender Al- als auch S.-Konzentration. — Titan (als TiCl₄) lieferte uns -S. bei \sim 0,05 mg schwache Rotfärbung, bei wechselnden Mengen in der Größenordnung von 1 mg Nachl., während Rindacker keine Störung feststellte; dieser Unterschied dürfte auf nicht reproduzierbares kolloidchemisches Verhalten des Titanhydroxyds zurückzuführen sein. + S. verhält sich Titan wie Aluminium, doch ist die Rotfärbung noch stärker.

c) Keine Störungen durch Niederschlagsbildung bzw. Verfärbung fanden wir \pm S. bei folgenden Verbindungen (die Zahlen geben die angewandte Stoffmenge in Milligramm der angegebenen Formel an):

NaNO₃ 8000, KCl 2000, RbCl 2, CaSO₄ 1, H₂BO₃ 0,5–50, NaVO₃ 2–200, VOCl₃ 0,4, Na₂MoO₄ 20–200, Na₂WO₄ 1–10, ZnCl₂ 2–20, GaCl₃ 2–25, InCl₃ 2–20, Na₂SiO₃ 40–200, Na₂GeO₃ 0,2–20, Na₂HPO₄ 70, As₂O₃ 1–150, Na₂HAsO₄ 2–250, SbCl₃ 2–20, Na₂SeO₄ 20, Na₂TeO₄ 20, NaF 500, NaCl 5000, Seignettesalz KNaC₄H₄O₆ 25–1200; bez. Carbonaten s. u.

Da Niob-, Tantal- und Antimon(V)-Verbindungen bei der Zugabe zu der alkalischen Probelösung weitgehend gefällt werden, prüfte man auf eine Störungsmöglichkeit durch diese Elemente in Anlehnung an den unten entwickelten Trennungsgang in der Weise, daß man je 10–20 mg Nb₂O₅, Ta₂O₅ bzw. K₂Sb(OH)₆ mit so viel NaOH im Silber-Tiegel schmolz, daß nach dem Aufnehmen mit Eis \pm S. 15 cm³ einer n/4 alkalischen Lösung entstanden, die nach dem Filtrieren in der üblichen Weise untersucht wurden. 15 mg UO₂(NO₃)₂ wurden in gleicher Weise + S. behandelt. In keinem dieser Fälle wurde eine Störung beobachtet, wobei es im Hinblick auf die unten beschriebene Arbeitsweise gleichgültig ist, ob dies darauf zurückzuführen ist, daß jene Elemente mit Chinalizarin nicht reagieren, oder darauf, daß nur verschwindende Beträge in Lösung gehen.

2. Einfluß anderer Elemente auf die Beryllium-Chinalizarin-Verbindung

Es wurde jeweils eine Lösungsreihe mit 0, 6, 12 . . . 48 γ BeO verglichen mit einer gleichen Reihe, die außerdem den zu prüfenden Stoff enthielt; die Angaben über die angewandte Menge beziehen sich im folgenden stets auf das 15 cm³ betragende Volumen einer Einzellösung.

800 mg NaCl verändern die durch steigende Be-Mengen hervorgerufene Farbtonabstufung nicht merklich. 500 mg NaF verhalten sich ebenso; je-

doch flockte nach \sim 5 min ein blauer Niederschlag aus (vgl. dagegen H. Fischer). 500 mg Na₂SO₄ verfärbten alle Lösungen sehr wenig nach Blau. 10 mg Na₂HPO₄ stören nicht, während 100 mg den Farbton Be-armen Lösungen etwas nach Rot, den Be-reicher Lösungen nach Blau verschieben, so daß bei der Schätzung des Be-Gehaltes Fehler bis zu 25% auftreten können. Im gleichen Sinne und etwa ebenso stark wirken 150 mg NaVO₃, während 850 mg Na₂MoO₄ durchweg eine eben deutliche Rotverschiebung hervorrufen.

Demnach ist ein erheblicher Chlorid-Gehalt der Analysenlösungen ohne Bedeutung; auch Fluorid stört nicht, wenn man den Farbvergleich rasch durchführt. Auf kleine Gehalte an Sulfat, Phosphat, Vanadat und Molybdat braucht keine Rücksicht genommen zu werden, während man die Wirkung größerer Gehalte der Analysenlösung an diesen Anionen dadurch unschädlich machen kann, daß man den Lösungen der Vergleichsreihe eine gleich große Menge dieser Stoffe zufügt. Das gleiche gilt für kleinere Chromat-Gehalte, deren Eigenfarbe so kompensiert werden kann.

Während wenige Milligramm Aluminium den Farbton der Be-haltigen Lösungen ebensowenig verändern wie denjenigen Be-freier, ist es zweckmäßig, bei 10 und mehr Milligramm Al wegen der dann allgemein auftretenden schwachen Rotverschiebung auch den Vergleichslösungen einen größenordnungsmäßig gleichen Al-Gehalt zu geben. — Für den Fall einer Be-Bestimmung neben Titan muß dieses wegen seiner Fällbarkeit durch NaOH mittels Seignettesalz (S.) in Lösung gehalten werden. Jedoch bewirkt die Kombination von S. mit Titan und ebenso mit Aluminium durchweg eine erhebliche Rotverschiebung, wie es für Be-freie Lösungen schon erwähnt wurde; dabei wird die Abstufung im Farbton bei kleinen Be-Gehalten ungünstiger, während sie im Gebiet von 30–50 γ etwas deutlicher wird. Eine Bestimmung nicht zu kleiner Be-Mengen ist deshalb auch neben S. und Ti bzw. Al möglich, wenn man den Vergleichslösungen diese Stoffe in etwa \pm 20% gleichen Mengen zusetzt. Bei $>$ 10 mg Al neben 100 mg S. bzw. $>$ 1,5 mg Ti neben 150 mg S. wird die Farbtonabstufung allerdings bereits merklich undeutlicher. Da eine Steigerung des Tartrat-Gehaltes allein bei unveränderter Ti- bzw. Al-Konzentration die Störung verstärkt, muß man den S.-Zusatz möglichst niedrig halten. Der Mindestbetrag, der eine gewisse Titan-Menge gerade in Lösung zu halten vermag, ist aber nicht genau reproduzierbar; der Fällungsbeginn hängt von Zufälligkeiten ab; für 0,5 mg Ti in 15 cm³ genügen aber meist 50 mg Seignettesalz.

Wichtig erschien schließlich die Frage, ob ein zufälliger hoher Carbonat-Gehalt der verwendeten Natronlauge von Einfluß ist. Es wurden zwei Vergleichsreihen nach Kap. I mit 0–36 γ BeO hergestellt, von denen die eine wie üblich 0,3 n an NaOH, die andere 0,2 n an NaOH, zusätzlich aber 0,1 n an Na₂CO₃ war. Selbst bei diesem relativ hohen Carbonat-Gehalt ergab sich nur eine kaum erkennbare Farbtonverschiebung nach Blau.

Zu einem kleinen Teil der in diesem Kapitel mitgeteilten Beobachtungen liegen vergleichbare Angaben in der Literatur⁹⁾ vor; sie decken sich im allg. mit unseren Befunden, größere Abweichungen bestehen nur gegenüber einigen Angaben von Komarowsky u. Korenman. Größer, als aus der Literatur zu ersehen war, ist insbes. die Zahl der störenden Elemente; doch lassen sich diese, wie in Kap. III gezeigt werden wird, durch eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Operationen praktisch vollständig vom Beryllium abtrennen.

III. Abtrennung der störenden Elemente und Konzentrierung des Berylliums

Kieselsäure hindert an sich die Be-Bestimmung nicht. Sie muß aber trotzdem entfernt werden, weil sekundäre Störungen auftreten können, wenn man diesen Bestandteil in den weiteren Trennungsgang hineinschleppt; so ist z. B. der AlCl₃·6H₂O-Niederschlag (s. u.) bei Gegenwart von Kieselsäure sehr schlecht zu filtrieren. Die Entfernung der Kieselsäure kann auf dem üblichen Wege erfolgen. — Bei einer evtl. Abtrennung der durch Schwefelwasserstoff aus saurer Lösung fällbaren Elemente sind Verluste an Beryllium nicht zu befürchten. — Der eleganteste Weg, das Beryllium verlustlos von beliebig großen Eisen-Mengen zu befreien, ist zweifellos das Ausäthern aus salzsaurer Lösung nach Rothe, weil dabei Adsorption, Okklusion usw. sicher nicht auftreten können. — Zwar kann man das Beryllium mit Chinalizarin noch neben einem 10³–10⁴-fachen Überschuß an Aluminium bestimmen, wenn man auch die Vergleichslösungen mit Al versetzt. Doch müßten wir u. U. mit noch größeren Al-Mengen rechnen, und außerdem wird auch schon bei mittleren Al-Gehalten der weitere Trennungsgang langwieriger und weniger sauber und das Ergebnis unsicher, wenn man die Hauptmenge des Al nicht zuvor abtrennt. Zur Scheidung des Berylliums von solch großen Aluminium-Mengen besitzen wir ein sehr leistungsfähiges Verfahren in der Fällung von AlCl₃·6H₂O nach Gooch u. Havens⁹⁾ durch Sättigen der Lösung mit HCl-Gas. Da für unsere Zwecke ein beim Be verbleibender Rest von etwa 1 mg Al belanglos ist, kann man die Fällung aus wäßriger Lösung ohne Zusatz von

^{7a)} Zusatz Dez. 1947.

⁸⁾ H. Fischer spricht nur von der Störung durch die Eigenfarbe. Die von ihm vorgeschlagene Tarnung durch KCN beseitigt auch die Blaufärbung des Chinalizarins durch Ni, so daß dann eine Be-Bestimmung wohl möglich ist. Co verhält sich komplizierter.

⁹⁾ Vgl. W. Fischer u. W. Seidel, Z. anorg. allg. Chem. 247, 333 [1941].

Äther vornehmen. Das hat den Vorteil, daß man das meist ebenfalls in erheblichem Überschuß vorhandene Titan im gleichen Arbeitsgang nach Seidel¹⁰⁾ abtrennen kann, indem man die Lösung mit NH_4Cl versetzt, so daß bei der Sättigung mit HCl die Abscheidung des Titans als $(\text{NH}_4)_2\text{TiCl}_6$ bis auf einen Rest von 1,5 mg Ti je 100 cm^3 erfolgt. Während andere Autoren¹¹⁾ eine oder sogar zwei Umfällungen des Aluminiumchlorid-Niederschlags zur vollständigen Gewinnung des Berylliums für notwendig halten, konnten wir unter den Arbeitsbedingungen von W. Fischer u. Seidel deren gute Trennungsergebnisse bestätigen. (Vgl. Kap. V, wonach eine einfache Fällung ausreicht.)

Durch anschließende Ammoniak-Fällung können die störenden zweiwertigen Metalle und die Alkalien entfernt werden. Wenn andere durch NH_3 fällbare Elemente fehlen, soll wenigstens für die Gegenwart von etwas Eisen gesorgt werden; denn dann erhielten wir bei Beachtung der unter IV, 5 angegebenen Vorsichtsmaßnahmen stets quantitative Abscheidung selbst kleinster Mengen, während die vollständige Fällung reiner Be-Lösungen durch NH_3 nach einigen Autoren Schwierigkeiten bereiten soll¹²⁾. Bei dieser Fällung werden etwa noch vorhandene Reste von Al und Ti sowie einige meist nur in geringer Menge vorhandene Elemente (z. B. seltene Erden) vollständig mit abgeschieden und auch von den zweiwertigen Elementen kleine Teile mitgerissen. Da diese fast alle die Be-Bestimmung stören, müssen sie ebenso wie der kleine Eisen-Rest zuvor entfernt werden.

Diese Trennung erzielt man, zumal die Menge der Hydroxyd-Fällung meist sehr gering ist, leicht und quantitativ, wenn man den Hydroxyd-Niederschlag im Silber-Tiegel, bei niedrigster Temperatur verascht (wobei die die Be-Bestimmung ebenfalls beeinträchtigenden Ammoniumsalze entfernt werden), mit Ätznatron schmilzt und nach Rienäcker¹³⁾ mit Eis aufnimmt, wodurch die Hydrolyse des Beryllats vermieden wird. Eisen, Zirkon, seltene Erden u.a. bleiben in kompakter, wenig adsorbierender Form zurück; auch Reste von Mg, Erdalkalien, Co und Ni usw. bleiben (z. T. als Carbonate) ungelöst, u. zw. — wie es Rienäcker schon für Mg feststellte — so vollständig, daß, obwohl diese Stoffe z. T. schon in Spuren Beryllium vortäuschen können, jede Störung vermieden wird; vgl. die Kontrollversuche in Kap. V. Wenn man bei der Ätznatron-Schmelze für die Gegenwart weniger Milligramm Fe sorgt, wird außerdem der geringe Titanrest, der bei der $(\text{NH}_4)_2\text{TiCl}_6$ -Fällung in Lösung verbleibt, vollständig vom Niederschlag zurückgehalten.

So gelangt man zu einer natronalkalischen Endlösung, wie sie für die Chinalizarin-Reaktion gefordert wird. Außer dem gesamten Beryllium enthält die Lösung nur noch wenige Bestandteile des Ausgangsmaterials und diese im allg. nur teilweise (vornehmlich Phosphat, Vanadat, Chromat). Nur das letztere stört schon in kleinen Mengen durch seine Eigenfarbe; vgl. hierzu die Bemerkungen unter „Sonderfall c“.

IV. Arbeitsvorschrift

1. Die Einwaage soll möglichst so bemessen werden, daß sie mehr als 10–15 γ BeO enthält. Die Angaben über Reagensmengen usw. sind im folgenden auf eine Einwaage von ~ 2 g bezogen. Nach zweckmäßigem Aufschluß (mit Säure, Natriumcarbonat- oder -pyrosulfat-Schmelze¹⁴⁾) wird die Kieselsäure wie üblich unlöslich gemacht (einmalige Abscheidung genügt), abgetrennt, mit $\text{HF} + \text{H}_2\text{SO}_4$ verflüchtigt, der Rückstand mit Na-Pyrosulfat aufgeschlossen und mit der Hauptlösung vereinigt.

2. Die Lösung wird bis zum Krystallbrei eingedampft, wobei beginnende Hydrolyse auf jeden Fall vermieden werden muß; war mit Schwefelsäure aufgeschlossen worden, so erhitzt man bis zum Rauchen und entfernt den Säureüberschuß bis auf wenige Kubikzentimeter. Man nimmt mit etwa 100 cm^3 20%iger Salzsäure auf und schüttelt zur Entfernung des Eisens einmal mit einem der Wasserschicht gleichen Volumen Äther, dann noch dreimal mit geringeren Mengen aus. Der Äther braucht nicht mit Salzsäure zurückgewaschen zu werden, so daß man zweckmäßig das früher beschriebene¹⁵⁾ einfache Gerät (oder einen gewöhnlichen Stehkolben) verwendet.

3. Die Wasserschicht wird vom Äther befreit und eingeeengt. Falls mehr als einige Zehntel Milligramm durch H_2S fällbarer Elemente, die die Be-Bestimmung stören, zu erwarten sind, sowie auf alle Fälle, wenn beim Aufschluß Platin in Lösung gegangen sein kann, wird eine H_2S -Fällung eingeschaltet.

4. Die Lösung wird vom H_2S befreit, auf 70–80 cm^3 eingeeengt, mit 4,0 g NH_4Cl versetzt¹⁶⁾ und bei 0° unter Rühren mit HCl -Gas von Atmosphärendruck gesättigt¹⁷⁾. Man filtriert durch eine Glasfritte G 3 und wäscht gut, mindestens 5mal mit kleinen Mengen (5–8 cm^3) einer eisgekühlten, bei 0° mit HCl -Gas gesättigten Salzsäure, die je 100 cm^3 4 g NH_4Cl enthält. Filtration und Auswaschen erfordern bei richtiger Beschaffenheit der Fällung höchstens $\frac{1}{4}$ h; bei längerer Dauer, die durch Gegenwart von kolloider Kieselsäure oder von Fluoriden bewirkt werden kann, sind Erwärmung und Löslichkeitserhöhung des Niederschlags zu befürchten.

5. Das Filtrat wird durch Einengen vom Säureüberschuß weitgehend befreit, auf etwa 50 cm^3 verdünnt und, falls das Eisen beim Ausäthern fast völlig entfernt wurde, mit einer Lösung von wenigen Milligramm FeCl_3 versetzt. Man macht die siedende Lösung gegen Methylrot ammoniakalisch, läßt etwa 1 h abkühlen, filtriert nach Kontrolle der ammoniakalischen Reaktion und wäscht mit heißer, gegen Methylrot ammoniakalischer 2%iger NH_4Cl -Lösung. Das Filtrat wird über Nacht stehengelassen und ebenfalls nach Kontrolle der ammoniakalischen Reaktion auf eine evtl. Nachfällung geprüft.

6. Der Niederschlag wird in einem kleinen Silber-Tiegel, der in einem Porzellanschutztiegel steht¹⁸⁾, bei möglichst niedriger Temperatur verascht und mit etwa 0,4 g Ätznatron $\frac{1}{4}$ h, zuletzt bei schwacher Rotglut, geschmolzen. Man läßt unter Drehen die Schmelze an der Tiegelwand erstarren und nimmt dann unter äußerer Eiskühlung mit ~ 5 g klein gestoßenem Eis auf, fügt, sofern die Lösung durch Manganat grün gefärbt ist, einen oder wenige Tropfen Alkohol hinzu, beschleunigt die Auflösung durch Umschwenken des Tiegels und filtriert bald in einen 25 cm^3 -Meßkolben, spült zweimal mit wenig Eis nach, wäscht mit einer zimmerwarmen Lösung von $\sim 0,1$ g NaOH und dann mit wenig Wasser, bis der Meßkolben bis zur Marke gefüllt ist.

7. 5 cm^3 dieser Lösung werden mit Chromotropsäure (H_2O_2 ist wegen der möglichen Gegenwart von Vanadin nicht brauchbar) auf Titan geprüft; fällt die Probe positiv aus, so wird die Menge colorimetrisch geschätzt. Wenn die vorausgegangenen Trennungsoperationen fehlerfrei durchgeführt wurden, findet sich hier kein Titan; andernfalls verfähre man nach „Sonderfall a“. — Weitere 2 cm^3 der Lösung werden mit $n/10$ Säure gegen Methylrot titriert. — Dann werden 10 cm^3 der Lösung mit der auf Grund der Titration berechneten Menge $n/2$ -NaOH bzw. $-\text{H}_2\text{SO}_4$ sowie Wasser versetzt und so auf 15 cm^3 und eine NaOH-Konzentration von $n/2$ gebracht und (s. Kap. I) mit einer $n/2$ alkalischen Vergleichereihe durch die Chinalizarin-Reaktion verglichen. Hierbei können Mengen bis herab zu 1–2 γ BeO erfaßt werden; das entspricht 3–5 γ BeO in der Einwaage oder $2 \cdot 10^{-4}\%$ bei 2 g Einwaage; durch Erhöhung der Einwaage kann die Grenze nach noch kleineren Gehalten verschoben werden. — Die restliche Lösung im Meßkolben dient zu einer Kontrolle. Ist der BeO-Gehalt höher als 40 γ in 10 cm^3 , so wiederholt man die Bestimmung mit kleineren Anteilen der Lösung.

Sonderfall a. Hat man die Abscheidung des Titans nach Ziffer 4 nicht durchgeführt oder war bei Operation 6 zu wenig Eisen zugegen, so daß einige Zehntel Milligramm Titan in die Endlösung gelangt sind, so versetzt man die Analysenlösung vor der Chinalizarin-Zugabe mit etwas Seignettesalz-Lösung und verwendet gleich viel Seignettesalz enthaltende Vergleichslösungen, denen man je — auf $\sim 20\%$ genau — die gleiche Titan-Menge und 0,5 mg Al, beide in Form von Chlorid-Lösungen, zufügt. Dabei ist zur Vermeidung einer Ti-Fällung folgende Reihenfolge einzuhalten: Seignettesalz-, Titan-, Aluminium-Lösung, Wasser, NaOH, Chinalizarin-Lösung. Man ermittelt vorher, wieviel Wasser und NaOH notwendig sind, damit das Endvolumen von 15 cm^3 $n/2$ an NaOH ist.

Sonderfall b. Enthält das Ausgangsmaterial viel Titan, so läßt sich eine Hydrolyse seines Chlorids beim Eindampfen nach Ziffer 1–4 nicht ganz vermeiden. Die Hydrolysenprodukte können Beryllium adsorptiv binden; außerdem wird hydrolysiertes Titan, wenn es kolloid gelöst ist, bei der $(\text{NH}_4)_2\text{TiCl}_6$ -Fällung (Ziffer 4) nicht erfaßt und gelangt dann z. T. meist bis in die Endlösung. In diesem Falle schließt man deshalb die Analysenprobe am besten mit $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ auf, nimmt mit kalter verd. H_2SO_4 auf, führt anschließend, ohne die Lösung vorher zu erwärmen, sogleich die Fällung nach Ziffer 4 und erst dann Operation 2 und 3 durch.

Sonderfall c. Ist die Endlösung von Operation 6 gelb gefärbt, so enthält sie Chromat. Ist der Gehalt geringer als etwa 0,5 mg Cr in 10 cm^3 , so kann man den Be-Gehalt in üblicher Weise ermitteln, wenn man den Vergleichslösungen vor der Chinalizarin-Zugabe so viel Chromat-Lösung zusetzt, daß

¹⁰⁾ W. Seidel u. W. Fischer, ebenda 247, 367 [1941].

¹¹⁾ H. V. Churchill, R. W. Bridges u. M. F. Lee, Ind. Engng. Chem., analyt. Edit. 2, 405 [1930]; H. Fischer u. G. Leopoldi, Wiss. Veröff. Siemens-Werken 10, Heft 2, S. 8 [1931].

¹²⁾ Vgl. R. Fresenius u. G. Jander: Handbuch d. analyt. Chemie, 3. Teil, Bd. 11a, S. 19ff.

¹³⁾ G. Rienäcker, Z. analyt. Chem. 88, 29 [1932].

¹⁴⁾ Man vermeide es, mit K-Salzen, z. B. $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$, aufzuschließen, weil sonst beim Filtrieren der Fällung mit HCl (Arbeitsvorschrift Nr. 4) ähnliche Schwierigkeiten auftreten können wie bei einer an NH_4Cl gesättigten Lösung; vgl. W. Seidel u. W. Fischer, Z. f. anorg. allg. Chem. 247 369 u. 372, Fußnote 2, [1941].

¹⁵⁾ W. Fischer u. R. Bock, ebenda 249, 186 [1942].

¹⁶⁾ Dies ist die zweckmäßige NH_4Cl -Menge für normale Titan-Gehalte. Nur wenn mehr als 0,8 g TiO_2 zugegen sind, setzt man je für weitere angefangene 0,8 g TiO_2 noch 1 g NH_4Cl hinzu. Näheres siehe bei W. Seidel u. W. Fischer, Z. anorg. allg. Chem. 247, 367 [1941].

¹⁷⁾ Eine hierfür geeignete Apparatur wurde bei W. Fischer u. W. Seidel, Z. anorg. allg. Chem. 247, 337 [1941] beschrieben.

¹⁸⁾ Zusatz Dez. 1947: Dadurch wird u.a. eine zu hohe Temperatur beim Veraschen vermieden. Nach Versuchen von G. Wirths (Diss. Freiburg i. B. 1945) hält ein bei 850° geblühter Niederschlag beim nachfolgenden Aufschluß mit NaOH bis über 30% seines Be-Gehaltes zurück.

¹⁹⁾ Z. B. indem man das Filtrat von Operation 4 stark einengt und dann auf dem Wasserbade mit 0,5 g KClO_4 in kleinen Anteilen versetzt.

ihre Gelbfärbung gleich stark ist; eine genauere Bestimmung des Cr-Gehaltes ist nicht erforderlich. Liegt mehr Chromat vor, so säuert man die Endlösung von Ziffer 6 an und wiederholt nach FeCl_3 -Zusatz die Ammoniak-Fällung 5 und die Ätznatron-Schmelze 6. Ist von vornherein bekannt, daß die Analysprobe > 1 mg Chrom enthält, so ist es einfacher, das Chrom vor der Ammoniak-Fällung (Ziffer 5) zur 6wertigen Stufe zu oxydieren¹⁾.

Sonderfall d. Ist die Menge des Hydroxyd-Niederschlages bei 5 sehr beträchtlich (dies kommt sehr selten vor, z. B. wenn viel Zirkonium, Thorium, Uran usw. zugegen sind), so genügen bei der Ätznatron-Schmelze 0,4 g NaOH nicht zur Durchdringung des ganzen Niederschlages. Man schmilzt dann mit einer größeren NaOH-Menge und neutralisiert im Filtrat den Überschuß mit Salzsäure. Bereitet das Aufweichen und Auswaschen einer solchen vergrößerten Schmelzmasse mit nur 25 cm³ Eis bzw. Wasser Schwierigkeiten, so kann man zu einem größeren Volumen lösen und dann wie bei c nach FeCl_3 -Zusatz die Ammoniak-Fällung und die Ätznatron-Schmelze wiederholen.

Sonderfall e. Ist die Menge des Ammoniak-Niederschlages bei Operation 5 gering (wenige Milligramm), was man in jedem Falle durch eine Wiederholung von 5 nach 6 wie bei den Sonderfällen c) und d) erreichen kann, so kann man die Schmelze Ziffer 6 mit einer geringeren NaOH-Menge durchführen und zu einem Volumen von weniger als 25 cm³ zu lösen. Man erreicht dadurch bei kleinsten Be-Gehalten eine Steigerung der Empfindlichkeit und Genauigkeit.

V. Kontrollanalysen

Zur Prüfung der Leistungsfähigkeit dieses Analysenganges, insbes. der verwendeten Trennungsoperationen 4, 5 und 6 wurden zunächst Mischungen reiner Salzlösungen einzelnen oder mehreren Teilen der Arbeitsvorschrift unterworfen. Von zahlreichen untersuchten Mischungen von je nur wenigen Elementen sind in Tab. 1 unter Nr. 1 und 2 als Beispiele nur diejenigen mit sehr großen Aluminium-Mengen wiedergegeben. Die anderen in dieser Tabelle aufgeführten Versuche betreffen Mischungen mit z. T. erheblichen Mengen gerade solcher Elemente, die die Be-Bestimmung stören könnten. Die Ergebnisse beweisen in jedem Falle, daß einerseits diese Elemente in einer Be-freien Mischung keinen Be-Gehalt vortäuschten, andererseits zugefügte kleine Be-Mengen

innerhalb der Fehlergrenze wiedergefunden wurden; nur in zwei extremen Fällen (Tab. 1, Versuch Nr. 9, wo der Rückstand bei der NaOH-Schmelze 500 mg betrug und die Operationen 5 und 6 wiederholt wurden, und Nr. 11 mit hohem Chromgehalt) war ein geringer Be-Verlust zu bemerken.

Zu einer weiteren Kontrolle, ob von den abgetrennten Produkten Beryllium festgehalten wird, wurde bei Versuch Nr. 4 der Tab. 1 der Rückstand der NaOH-Schmelze nochmals mit NaOH geschmolzen und mit Eis extrahiert; in der Lösung ließ sich kein Be mehr nachweisen ($< 5 \gamma$ BeO). Entsprechend wurde bei Versuch Nr. 2 der Tab. 1 sowie bei 10 Analysen von Mineralien der $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Niederschlag nochmals umgefällt. Im Filtrat fand man nur in zwei Fällen der Mineralanalysen noch geringe Be-Mengen; bei diesen beiden, noch ohne umfangreiche Erfahrungen ausgeführten Analysen war aber der $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Niederschlag nur wenige Male ausgewaschen worden. Bei nachhaltigerem Auswaschen erwies sich der Niederschlag stets, insbes. auch bei Versuch Nr. 2 mit 50000-fachem Al_2O_3 -Überschuß, als Be-frei ($< 5 \gamma$ BeO). Daß andere Autoren¹¹⁾ unvollkommene Abtrennung des Berylliums bei dieser Fällung beobachteten, dürfte wenigstens teilweise darauf zurückzuführen sein, daß sie anscheinend nicht wie wir unter mechanischer Rührung fällten.

Es wurde ferner eine Anzahl von Mineralien (verschiedene Silicate und Bauxite) nach der vollständigen Arbeitsvorschrift von Kap. IV durch 4 verschiedene Analytiker untersucht. An 15 Proben mit einem BeO-Gehalt von 0,001–0,003% wurden Werte erhalten, die bei je 2–4 Parallelbestimmungen innerhalb einer größten Abweichung von $\pm 20\%$ lagen. Einem Bauxit, in dem man in 4 Einzelbestimmungen 0,002₄–0,002₅% BeO gefunden hatte, mischte man weitere 0,0015% BeO zu; bei einer Analyse dieser Mischung fand man einen Gehalt von 0,003₄ statt 0,004% BeO.

Bei der Ausführung der Analysen und der Erprobung der Methode unterstützten uns Dr. Ruth Wolf-Einsele, Dr. Gertrud Zienert und Ursula Schacht. Verständnissvolle Hilfe leistete Gertrud Läßle.

Versuch-Nr.	Arbeitsvorschriften Teile Nr.	Mischung von			Gefunden γ BeO ¹⁾
		mg Al_2O_3	mg TiO_2	+ mg von	
1	4, 5, 6, 7	3000	180	2 Fe_2O_3	0
2	4, 5, 6, 7	3000	180	2 Fe_2O_3	60 ± 5
3	5, 6, 7	—	—	10 Yttererdoxyde, 10 Ceriterdoxyde, 10 ZrO_2 , 1 CoO , 1 NiO , 1 MnO , 10 H_3PO_4	0
4	5, 6, 7	—	—	wie Nr. 3	50
5	5, 6, 7	—	—	wie Nr. 3 + 15 MgO	0
6	5, 6, 7	—	—	100 Li_2O , 100 CaO , 100 SrO , 100 BaO , 10 Sc_2O_3 , 100 Yttererdoxyde, 50 Ceriterdoxyde, 100 ZrO_2 , 100 ThO_2 , 10 Nb_2O_5 , 10 Ta_2O_5 , 100 MnO , 10 Fe_2O_3 , 100 CoO , 10 NiO , 10 Ti_2O_3	0
7	5, 6, 7	—	—	wie Nr. 6	60
8	4, 5, 6, 7 ²⁾	2500	300	wie Nr. 6 + 10 Cr_2O_3	0
9	4, 5, 6, 7 ²⁾	2500	300	wie Nr. 8	60
10	1–7 ³⁾	1650	250	250 Na_2O , 250 CaO , 5 Sc_2O_3 , 10 Yttererdoxyde, 10 ZrO_2 , 50 Cr_2O_3 , 25 MnO , 2500 Fe_2O_3 , 2,5 CoO , 2,5 NiO , 10 CuO , 10 PbO , 10 Bi_2O_3	0
11	1–7 ³⁾	860	125	die Hälfte der unter 10 angegebenen Mengen	75

¹⁾ Die Nachweisgrenze lag bei 5γ BeO; vgl. Arbeitsvorschrift Teil 7.

²⁾ Nach den Vorschriften „Sonderfall c und d“ behandelt.

³⁾ Nach den Vorschriften „Sonderfall b und c“ behandelt.

Tabelle 1
Analyse von Probemischungen

Eingeg. 11. Februar 1944. [A. 14].

Zuschriften

Über die Einteilung der Kohlenstoffverbindungen

Von Prof. Dr. WALTHER BORSCHKE, Organisch-chemisches Institut der Universität Frankfurt/Main.

Seit die Aufstellung von Konstitutionsformeln für die Verbindungen des Kohlenstoffs es ermöglicht hat, sie nach verwandtschaftlichen Beziehungen im Bau ihres Kohlenstoffgerüsts zu ordnen, hat man sie in zwei Hauptgruppen eingeteilt, in aliphatische Verbindungen mit offenen und in cyclische Verbindungen mit ringförmig geschlossenen Kohlenstoffketten. Als klassische Vertreter der letzteren galten und gelten die Derivate des Benzols, des ersten Stoffes, dessen Kohlenstoffgerüst man als „isocyclischen“ Ring aus 6 Kohlenstoffatomen formulierte. Die ringförmige Anordnung der Kohlenstoffatome im Benzolkern betrachtete man dabei als wesentlich für seine ungewöhnlich große Stabilität. Man ist derselben Stabilität später auch bei den heterocyclischen Verbindungen begegnet, d. h. bei Stoffen, deren „Kerne“ außer Kohlenstoff noch andere mehrwertige Atome enthalten. Zugleich hat man aber erkannt, daß der Ringschluß allein nicht genügt, um Ketten aus mehrwertigen Atomen in Kerne zu verwandeln: Cyclohexan verhält sich in allen wesentlichen Punk-

ten wie Normalhexan und nicht wie Benzol; Piperidin gehört nach seinem chemischen Charakter zu den aliphatischen Aminen und nicht in die Pyridin-Gruppe usw. Kerne entstehen vielmehr aus offenen Ketten nach Ringschluß nur, wenn Art und Zahl der Ringatome es zulassen¹⁾ und wenn an ihnen in den Endprodukten der Reaktionsfolge noch soviel unverbrauchte Affinität vorhanden ist, daß deren Absättigung innerhalb des Ringes diesem die für einen Kern charakteristische Festigkeit verleiht. Man sollte deshalb die kernhaltigen Verbindungen nicht mit den von ihnen wesensverschiedenen alicyclischen Verbindungen vom Typus des Cyclohexans, Piperidins usw. unter dem Sammelbegriff „Cyclische Verbindungen“ zusammenfassen, sondern aus ihnen eine Sondergruppe „kernhaltige Verbindungen“ oder

¹⁾ Nur sechsgliedrige isocyclische und fünf- und sechsgliedrige heterocyclische Ringe sind fähig in Kerne überzugehen, wenn die Zahl der verfügbaren π -Elektronen und einsamer Elektronenpaare es zuläßt.