

- [6] J. Strähle u. H. Bärnighausen, Z. Anorg. Allg. Chem. 357, 325 (1968).  
 [7] M. Veith u. H. Bärnighausen, Acta Crystallogr. B 30, 1806 (1974); M. Veith, ibid. B 31, 678 (1975).  
 [8] A. M. Domingos u. G. M. Sheldrick, Acta Crystallogr. B 30, 517 (1974).

## Struktur des „echten“ Metavanadat-Ions

Von Joachim Fuchs, Soroush Mahjour und Joachim Pickardt<sup>[\*]</sup>  
 Professor Georg Manecke zum 60. Geburtstag gewidmet

Zahlreiche Untersuchungen<sup>[1a]</sup> über Größe und Struktur des in wässrigen Vanadat(v)-Lösungen bei  $Z \approx 1$ <sup>[1b]</sup> ( $\text{pH} \approx 7$ ) vorliegenden Isopolyvanadat-Ions haben zu widersprüchlichen Aussagen geführt. Diskutiert werden ketten- oder ringsförmige Tri- oder Tetravanadat-Ionen mit vier- oder fünf- fach koordiniertem Vanadium. Strukturuntersuchungen an Salzen, die aus solchen Lösungen kristallisieren, ließen bisher keinen Aufschluß über den Lösungszustand zu, weil die Kristallisation aus wässriger Lösung stets mit einer Polymerisation des Anions einhergeht. So bestehen die Anionen der wasserfreien Alkalimetall-„metavanadate“ aus zu unendlichen Ketten verknüpften  $\text{VO}_4$ -Tetraedern (Diopsid- oder Spodumen-Typ)<sup>[2]</sup>.  $\text{KVO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}(\text{VO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ <sup>[2]</sup> und  $\text{Sr}(\text{VO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ <sup>[3]</sup> enthalten Ketten aus kantenverknüpften  $\text{VO}_5$ -Einheiten.

Durch Umsetzung von  $\text{V}_2\text{O}_5$  mit alkoholischer Tetrabutylammoniumhydroxid-Lösung<sup>[4]</sup> wurde erstmals ein Isopolyvanadat der „Metavanadat“-Stufe mit diskretem Polyanion erhalten:  $[\text{N}(\text{C}_4\text{H}_9)_4]_3\text{HV}_4\text{O}_{12}$ . Dieses Hydrogentetravanadat löst sich leicht in vielen organischen Solventien. Osmometrische Bestimmungen in Chloroform ergaben eine Molmasse von 1210 ( $M_{\text{ber.}} = 1124$ ). Aus Lösungen in Aceton lassen sich durch Zugabe von Benzol Einkristalle züchten, die unter der Mutterlauge oder unter trockenem Benzol längere Zeit beständig sind. Mit einem Syntex-Vierkreisdiffraktometer wurden an einem im Mark-Röhrchen unter Benzol eingeschlossenen Kristall die Intensitäten von 1630 nichtäquivalenten Reflexen gemessen. Die Verbindung kristallisiert in der Raumgruppe  $\text{P}2_1/c$  mit den Gitterparametern:  $a = 12.347 \pm 0.005$ ,  $b = 24.463 \pm 0.005$ ,  $c = 23.236 \pm 0.005 \text{ \AA}$ ;  $\beta = 92.476 \pm 0.05^\circ$ ;  $V = 7011.6 \text{ \AA}^3$ ;  $Z = 4$ . Die Vanadiumpositionen wurden mit direkten Methoden, die Leichtatomlagen sukzessiv durch Differenz-Fourier-Synthesen bestimmt. Wegen der ungünstigen Aufnahmeverhältnisse und einer teilweisen Fehlordnung der Kohlenstoffatome (Endglieder der Butylketten) konnte eine Verfeinerung nur bis zum R-Wert 12.8 % erreicht werden.

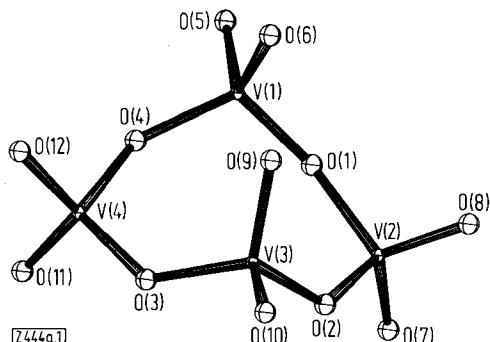


Abb. 1. Anionenstruktur des Tetrabutylammoniumhydrogentetravanadats  $[\text{N}(\text{C}_4\text{H}_9)_4]_3\text{HV}_4\text{O}_{12}$ .

[\*] Prof. Dr. J. Fuchs und Dipl.-Chem. S. Mahjour  
 Institut für Anorganische Chemie FB21-WE1 der Freien Universität  
 Fabeckstraße 34-36, 1000 Berlin 33

Dr. J. Pickardt  
 Institut für Anorganische und Analytische Chemie der Technischen Universität  
 Straße des 17. Juni 135, 1000 Berlin 12

Das Anion erweist sich als ein Ring aus vier eckenverknüpften  $\text{VO}_4$ -Tetraedern (Abb. 1), ähnlich dem Tetrametaphosphat<sup>[5]</sup> sowie dem Cyclotetrasilikat-Ion<sup>[6]</sup>. Die vier verbrückenden O-Atome bilden ein Quadrat, die V-Atome sind alternierend oberhalb und unterhalb dieser Ebene angeordnet (Eigensymmetrie des Rings  $\approx \text{D}_{2d}$ ).

Die Abstände der brückenbildenden O-Atome zum Vanadium betragen im Mittel  $1.80 \text{ \AA}$ , die der endständigen O-Atome mit Ausnahme von O(9)  $1.62 \text{ \AA}$ . Das Sauerstoffatom O(9) fällt durch einen hohen Temperaturfaktor und seinen deutlich größeren V-O-Abstand ( $1.86 \text{ \AA}$ ) auf; es liegt offenbar (bevorzugt) protoniert vor. Die Stickstoffatome der Kationen umgeben das Polyanion annähernd oktaedrisch.  $^1\text{H}$ -NMR-Messungen in Deuteriochloroform zeigen, daß das OH-Proton sehr leicht ausgetauscht wird (Signal bei  $-3.99 \text{ ppm}$ ).

Das Raman-Spektrum des Tetrabutylammoniumsalzes gleicht dem Spektrum einer bis zur „Metavanadat“-Stufe ( $Z=1$ ) angesäuerten Alkalimetallvanadat-Lösung, was darauf schließen läßt, daß solche Lösungen ebenfalls das cyclische Tetravanadat-Ion enthalten. Die polarisierten Banden entsprechen totalsymmetrischen Schwingungen endständiger ( $947 \text{ cm}^{-1}$ ) und verbrückender ( $477 \text{ cm}^{-1}$ ) Sauerstoffatome sowie der Vanadimatome ( $325 \text{ cm}^{-1}$ ). Die Banden bei  $920$  und  $628 \text{ cm}^{-1}$  sind asymmetrischen Schwingungen terminaler und verbrückender Sauerstoffatome zuzuordnen. Die symmetrische VOV-Valenzschwingung ist im Feststoffspektrum erwartungsgemäß aufgespalten ( $512$  und  $471 \text{ cm}^{-1}$ ); die Winkel V(1)-O(1)-V(2) und V(1)-O(4)-V(4) betragen  $132^\circ$ , die Winkel V(2)-O(2)-V(3) und V(3)-O(3)-V(4)  $146^\circ$ . Das Raman-Spektrum einer Natrium-„metavanadat“-Lösung bleibt auch bei hoher Verdünnung (bis  $4 \cdot 10^{-3} \text{ M}$  an V) unverändert; es findet sich kein Hinweis auf ein konzentrationsabhängiges Gleichgewicht zwischen Tetra- und Trivanadat-Ionen<sup>[7]</sup>.

Eingegangen am 12. Januar 1976 [Z 444a]  
 Auf Wunsch der Autoren erst jetzt veröffentlicht

CAS-Registry-Nummern:  
 $[\text{N}(\text{C}_4\text{H}_9)_4]_3\text{HV}_4\text{O}_{12}$ : 59005-33-3.

[1] a) Vgl. Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie, Syst.-Nr. 48, Bd. 1, S. 149ff. (1967). – b)  $Z$  ist das Verhältnis von umgesetzten  $\text{H}^+$ - zu ursprünglich vorhandenen  $\text{HVO}_4^{2-}$ -Ionen. Bei  $Z=1$  liegt formal  $\text{H}_2\text{VO}_4$  vor, das durch  $\text{H}_2\text{O}$ -Abspaltung (Bildung der „Metasäure“) formal in  $\text{VO}_5$  umgewandelt wird.

[2] H. T. Evans Jr., Z. Kristallogr. 114, 257 (1960).

[3] P. Sedlaczek u. K. Dornberger-Schiff, Acta Crystallogr. 18, 407 (1965).

[4] J. Fuchs, S. Mahjour u. R. Palm, Z. Naturforsch., im Druck.

[5] D. A. Koster u. A. J. Wagner, J. Chem. Soc. 1970, 435; H. M. Ondik, Acta Crystallogr. 17, 1139 (1964).

[6] W. Hilmer, Acta Crystallogr. 17, 1063 (1964).

[7] F. Brito, N. Ingri u. L. G. Sillén: Acta Chem. Scand. 18, 1557 (1964); P. H. Rieger, Aust. J. Chem. 26, 1173 (1973).

## Anionenstruktur des Tetrabutylammoniumoctamolybdat<sup>6</sup> $[\text{N}(\text{C}_4\text{H}_9)_4]_4\text{Mo}_8\text{O}_{26}$

Von Joachim Fuchs und Hans Hartl<sup>[\*]</sup>

Aus einer Lösung von Tetrabutylammoniumhexamolybdat,  $[\text{N}(\text{C}_4\text{H}_9)_4]_2\text{Mo}_6\text{O}_{19}$ , in Aceton kristallisiert nach Zugabe alkoholischer Tetrabutylammoniumhydroxid-Lösung das Octamolybdat  $[\text{N}(\text{C}_4\text{H}_9)_4]_4\text{Mo}_8\text{O}_{26}$ . Die gleiche Verbindung ist in feinkristalliner Form auch aus schwach angesäuertem wässriger Natriummolybdat-Lösung mit Tetrabutylammoniumbromid erhältlich.

[\*] Prof. Dr. J. Fuchs und Prof. Dr. H. Hartl  
 Institut für Anorganische Chemie FB21-WE1 der Freien Universität  
 Fabeckstraße 34-36, 1000 Berlin 33