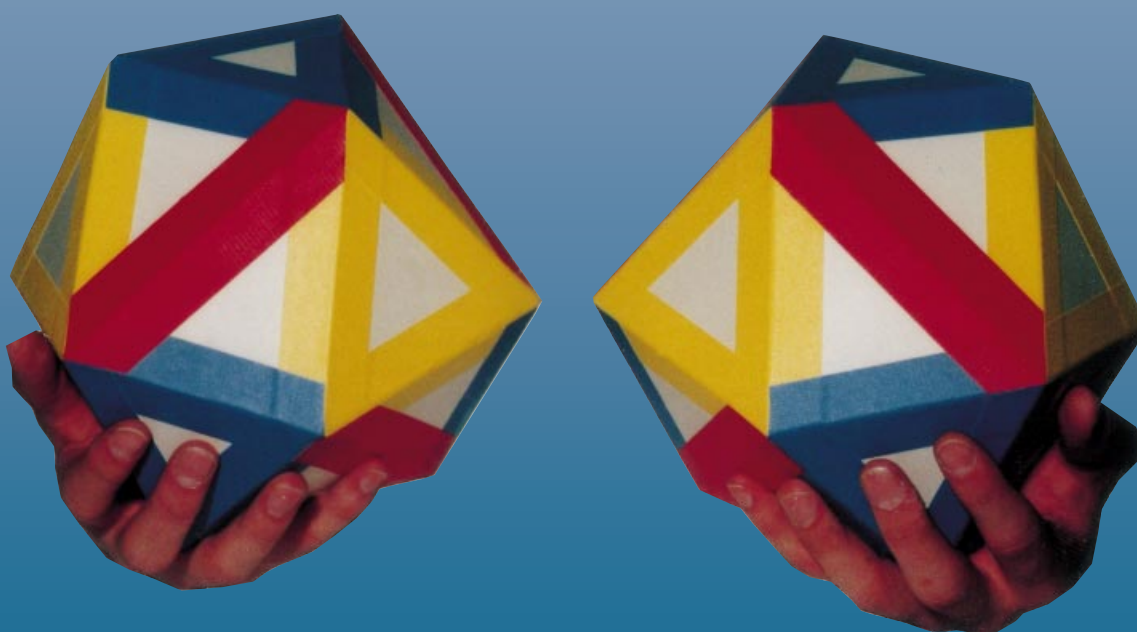


Vier gleiche Substituenten an den Ecken eines regulären Tetraeders ergeben eine hochsymmetrische, aber dennoch chirale Struktur, falls es sich bei diesen Substituenten um tripodale, flächengebundene Liganden handelt: Die resultierende Ikosaedergeometrie behält dabei die vollständige Drehsymmetrie des Tetraeders.



Mehr dazu auf den folgenden Seiten.

## T-Symmetrische Ikosaeder: eine neue Form von Chiralität bei Metallkomplexen\*\*

Jürgen Sander, Kaspar Hegetschweiler,\*  
Bernd Morgenstern, Alice Keller, Walter Amrein,  
Thomas Weyhermüller und Iris Müller

Professor Alan M. Sargeson zum 71. Geburtstag gewidmet

Die Herstellung chiraler Metallkomplexe war in den letzten 100 Jahren eine der großen Herausforderungen der präparativen Koordinationschemie. Bereits 1911 konnte Alfred Werner anhand der optischen Aktivität chiraler  $\text{Co}^{\text{III}}$ -Komplexe die oktaedrische Koordinationsgeometrie belegen.<sup>[1]</sup> Seit dieser Pionierarbeit hat das Interesse für solche Verbindungen stetig zugenommen, da eine Reihe wichtiger Eigenschaften wie enantioselektive katalytische Aktivität, spezifische Bindung chiraler Gäste sowie optische Eigenschaften durch die Chiralität bedingt sind.<sup>[2, 3]</sup> Weil eine einheitliche und reguläre Koordinationssphäre eines Metallkomplexes an sich nicht chiral ist, sind spezifische Strategien erforderlich, um die Symmetrieelemente zweiter Art aufzuheben und chirale Strukturen zu erhalten. Dies kann z. B. durch den Einsatz chiraler Liganden, durch die Verwendung heteroleptischer Komplexe oder durch die Substitution der einzähnigen Liganden L durch mehrzählige Analoga erreicht werden.<sup>[3]</sup> Die einzelnen Isomere eines solchen Komplexes können in übersichtlicher Weise dargestellt werden, in dem man diejenigen Spitzen, Kanten oder Flächen des Koordinationspolyeders, die durch einen Liganden besetzt werden, durch eine spezielle „Einfärbung“ hervorhebt. Ein einzähliger Ligand entspricht dann einer eingefärbten Spitze,<sup>[4]</sup> ein zweizähliger Ligand L-L einer eingefärbten Kante<sup>[5]</sup> und ein

dreizähliger,  $C_3$ -symmetrischer Tripodligand  $\overline{\text{L-L-L}}$  einer eingefärbten Dreiecksfläche. Bei Verwendung zwei- oder dreizähliger Liganden sind mögliche Isomere durch diejenigen Konfigurationen gegeben, bei denen sich die entsprechenden Kanten oder Flächen in keiner Spitze berühren. Für Koordinationszahlen bis zu 8 ist diese Fragestellung trivial; es gibt jeweils nur eine kleine Zahl verschiedener Möglichkeiten. Ein prominentes Beispiel sind die oktaedrischen,  $D_3$ -symmetrischen Tris-Chelate  $[\text{M}(\text{L-L})_3]$ . In diesem Zusammenhang interessiert die Frage, ob auch chirale und gleichzeitig *isometrische* Strukturen erhalten werden können. Solche Komplexe wären insofern einmalig, als sie optische Aktivität ergeben könnten, ohne in einem externen elektrischen oder magnetischen Feld eine Vorzugsrichtung einzunehmen. Isometrische chirale Strukturen bedingen die Punktsymmetrie  $T$ ,  $O$  oder  $I$ , und entsprechende Polyeder erfordern mindestens 12, 24 bzw. 60 Ecken.<sup>[6]</sup> Die beiden letzten Möglichkeiten kommen für ein Koordinationspolyeder aufgrund der hohen Zahl von Ligandatomen nicht in Frage, Metallkomplexe mit einer Koordinationszahl von 12 und Ikosaedergeometrie sind jedoch bekannt.<sup>[7, 8]</sup> Da die chirale Punktgruppe  $T$  eine Untergruppe der Ikosaedergruppe  $I_h$  ist, müsste es möglich sein, ausgehend von der Ikosaedersymmetrie durch eine geeignete Symmetrierniedrigung die chirale  $T$ -Symmetrie zu erhalten. Wir haben mögliche Lösungen ausgiebig untersucht<sup>[9]</sup> und konnten zeigen, dass für eine „ikosaedrische“  $[\text{M}(\text{L-L})_6]$ -Struktur insgesamt fünf Isomere mit  $T_h$ -,  $D_{3d}$ -,  $D_3$ -,  $D_2$ - bzw.  $C_2$ -Symmetrie möglich sind.<sup>[10]</sup> Zwei, das  $T_h$ - und das  $D_3$ -Isomer, wurden in einer Reihe von Komplexen beobachtet, in denen Liganden mit genügend kleinem Bisswinkel (z. B.  $\text{NO}_3^-$ ) verwendet wurden.<sup>[7, 8]</sup> Es kann somit nicht gelingen, durch Verwendung zweizähliger Liganden (d. h. durch das Einfärben von Kanten) eine chirale und zugleich isometrische Struktur zu erhalten. Dies ist jedoch möglich, wenn man vier ausgewählte Dreiecksseiten des Ikosaeders einfärbt. Unter der Bedingung, dass diese Dreiecke sich in keiner Ecke berühren dürfen, gibt es genau eine Lösung, die chiral ist und dennoch die volle Drehsymmetrie des Tetraeders beibehält (Abbildung 1).

Um solche Komplexe präparativ zugänglich zu machen, haben wir eine Reihe substituierter Cyclohexan-1,3,5-triole als mögliche Tripodliganden für  $\text{Ba}^{2+}$  untersucht. Bei Verwendung des unsubstituierten Liganden 1,3,5-Triamino-1,3,5-tridesoxy-*cis*-inositol (*taci*) wird jedoch  $\text{H}_2\text{O}$  in die Koordinations-sphäre eingebaut, und es entsteht  $[\text{Ba}(\text{taci})_2(\text{H}_2\text{O})_3]^{2+}$ .<sup>[11]</sup> Wir haben deshalb lipophile Derivate wie die Tris(benzylamino)- und die Tris[benzyl(methyl)amino]-Verbindung *tbc*i bzw. *tbmci* getestet, welche auch in einem nichtwässrigen Medium eingesetzt werden können (Abbildung 1d). *tbmci* erwies sich mit seinen insgesamt sechs Alkylgruppen jedoch als zu sperrig. Das Massenspektrum zeigte nur die Bildung des 1:2-Komplexes  $[\text{Ba}(\text{tbmci})_2]^{2+}$ . Hingegen konnte bei Verwendung des Trialkylderivats *tbc*i massenspektrometrisch die Bildung des 1:4-Komplexes  $[\text{Ba}(\text{tbc}i)_4]^{2+}$  nachgewiesen werden. Die  $^1\text{H}$ - und  $^{13}\text{C}$ -NMR-Daten belegen, dass die vier Ligandeneinheiten untereinander symmetrieäquivalent sind und zudem innerhalb jedes Liganden die lokale  $C_3$ -Symmetrie erhalten bleibt. Unter Annahme eines vernünftigen Potentials

[\*] Prof. Dr. K. Hegetschweiler, Dr. J. Sander,  
Dipl.-Chem. B. Morgenstern  
Universität des Saarlandes, Anorganische Chemie  
Postfach 15 11 50, 66041 Saarbrücken (Deutschland)  
Fax: (+49) 681-302-2663  
E-mail: hegetschweiler@mx.uni-saarland.de

Dipl.-Math. A. Keller  
Universität des Saarlandes, Mathematik  
Postfach 15 11 50, 66041 Saarbrücken (Deutschland)

Dr. W. Amrein  
Laboratorium für Organische Chemie, ETH-Zentrum  
8092 Zürich (Schweiz)

Dr. T. Weyhermüller  
Max-Planck-Institut für Strahlenchemie  
Postfach 101365, 45413 Mülheim an der Ruhr (Deutschland)

Dr. I. Müller  
Institut für Analytische Chemie  
Postfach 102148, 44721 Bochum (Deutschland)

[\*\*] Metallkomplexe von Polyalkoholen, 7. Mitteilung. Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und vom Fonds der Chemischen Industrie gefördert. Herrn Prof. Dr. Ernst-Ulrich Gekeler (Saarbrücken), Herrn Prof. Dr. William S. Sheldrick (Bochum), Herrn Dr. Peter Osvald (Melbourne) und Herrn George W. Hart (Northport, NY; <http://www.georgehart.com>) danken wir für wertvolle Hinweise und Diskussionen. – 6. Mitteilung: B. Morgenstern, J. Sander, V. Huch, K. Hegetschweiler, *Inorg. Chem.* **2001**, *40*, 5307–5310.

Hintergrundinformationen zu diesem Beitrag sind im WWW unter <http://www.angewandte.de> zu finden oder können beim Autor angefordert werden.

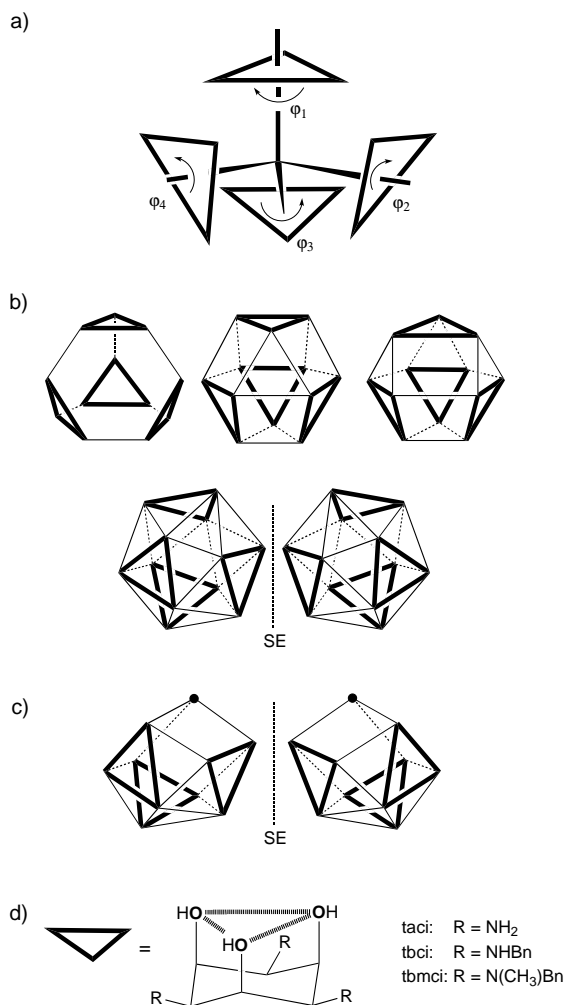


Abbildung 1. Die Koordinationszahlen 10 und 12: Vier dreizählige Tripodliganden werden so um ein Metallzentrum angeordnet, dass ihre Schwerpunkte auf den Spitzen eines regulären Tetraeders zu liegen kommen (a). In Abhängigkeit der Drehwinkel  $\varphi_1$ – $\varphi_4$  erhält man unterschiedliche Koordinationspolyeder. Dabei gibt es für jedes Polyeder nur eine Zweifarbenerlösung, und nur das eingefärbte Ikosaeder ist chiral (b; SE = Spiegelebene). Wenn das oberste gleichseitige Dreieck zu einem Punkt (H<sub>2</sub>O-Ligand) kollabiert, erhält man das chirale, C<sub>3</sub>-symmetrische Koordinationspolyeder des Sr-Komplexes (c). Unter (d) sind die Formeln der verwendeten Liganden aufgeführt.

mit Anziehung zwischen dem zentralen Kation und den Liganden sowie Abstoßung zwischen den Sauerstoffdonoren gilt ohne Einschränkung, dass die vier Schwerpunkte der Ligandmoleküle auf den Ecken eines Tetraeders zu liegen kommen. Durch Rotation der Liganden um die dreizähligen Achsen kann eine ganze Reihe wohl bekannter Polyeder erhalten werden: das abgestumpfte Tetraeder, das Kuboktaeder, das Antikuboktaeder und das Ikosaeder (Abbildung 1b). Dabei entspricht das Ikosaeder einem Energieminimum.<sup>[7]</sup> Eine Kristallstrukturanalyse ergab in der Tat ein leicht verzerrtes Ikosaeder für die BaO<sub>12</sub>-Sphäre von [Ba(tbci)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup> (Abbildung 2).<sup>[12]</sup>

[Ba(tbci)<sub>4</sub>][Br<sub>2</sub>·2.5MeOH] kristallisiert als Racemat, wobei die beiden Enantiomere über ein Inversionszentrum miteinander in Beziehung stehen. Die zwölf peripheren Benzylreste hüllen das zentrale BaO<sub>12</sub>-Ikosaeder völlig ein. Dadurch

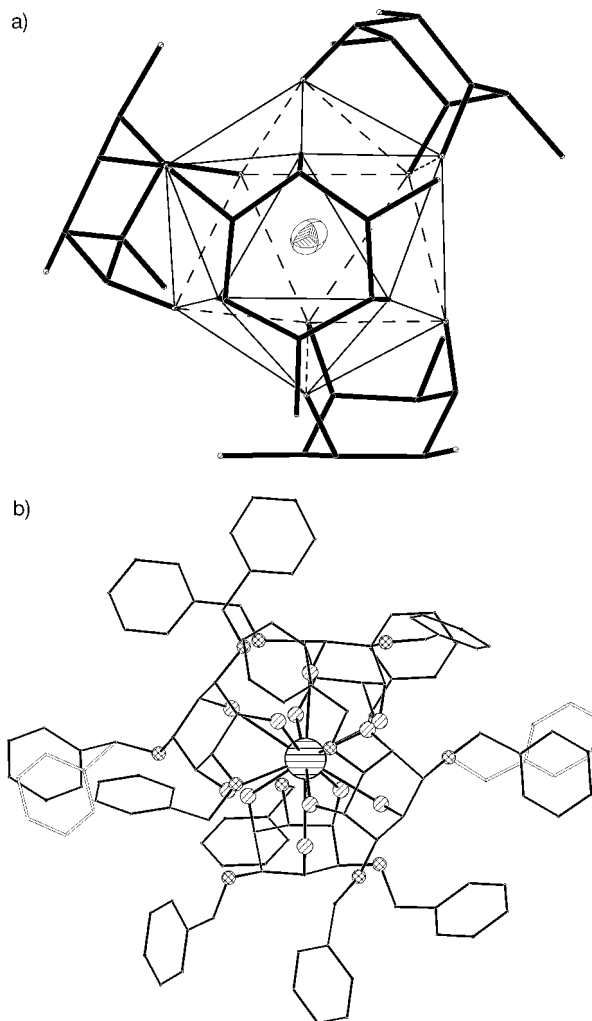


Abbildung 2. Die Struktur von [Ba(tbci)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup> im Kristall. a) Die BaO<sub>12</sub>-Sphäre. b) Kugel-Stab-Modell für das gesamte Kation, wobei die Fehlordnung der Phenylgruppen durch unterschiedliche Darstellung der Bindungen angedeutet ist. (Ba-O-Bindungslängen: 276(1)–291(1) pm, Mittelwert: 284 ± 5 pm; O-O-Abstände zwischen benachbarten Sauerstoffatomen: 285(2)–340(2) pm, Mittelwert: 300 ± 12 pm.)

erhält das Kation als Gesamtes eine lipophile Haut. Die Benzylgruppen sind unsymmetrisch angeordnet, und die Geometrie des BaO<sub>12</sub>-Ikosaeders weicht etwas von der Tetraedersymmetrie ab. Gemäß der NMR-Daten sind jedoch in Lösung sowohl die Ba-O-Bindungen als auch die vier Ligandeneinheiten symmetrieäquivalent, und wir erklären die Abweichung von der T-Symmetrie im Kristall als Packungseffekt.

In der T-symmetrischen Koordinationssphäre treten drei Sorten von Dreiecken auf: a) vier gleichseitige Dreiecke, die durch die Donoratome der einzelnen tbci-Liganden beschrieben werden, b) zwölf schiefwinklige Dreiecke, bei denen eine Seite durch zwei Sauerstoffatome eines Liganden und die zusätzliche Spitze durch ein Sauerstoffatom eines weiteren Liganden definiert werden, und c) vier weitere gleichseitige Dreiecke, bei denen jede Ecke einem anderen Liganden angehört. Dreiecke vom Typ a und c liegen einander jeweils gegenüber. Beide sind vollständig durch Dreiecke vom Typ b umgeben. Die vier dreizähligen Drehachsen gehen durch die

Mittelpunkte der Typ-a- und Typ-c-Dreiecke, die drei zweizähligen durch die Kantenmitten der benachbarten Typ-b-Dreiecke.

Die hohe Koordinationszahl von 12 in  $[\text{Ba}(\text{tbc})_4]^{2+}$  ist eine Folge des großen Ionenradius von  $\text{Ba}^{2+}$ . Mit  $\text{Sr}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  entstehen  $[\text{Sr}(\text{tbc})_3(\text{H}_2\text{O})]^{2+}$  und  $[\text{Mg}(\text{tbc})_2]^{2+}$  mit entsprechenden Koordinationszahlen von 10 und 6.<sup>[13]</sup> Die Koordinationssphäre des Sr-Komplexes kann dabei leicht von derjenigen des Ba-Komplexes abgeleitet werden, indem man eines der vier gleichseitigen Dreiecke des  $\text{MO}_{12}$ -Ikosaeders zu einem Punkt kollabieren lässt. Dieser Punkt wird im Sr-Komplex durch das Sauerstoffatom eines Wasserliganden eingenommen. Das idealisierte  $\text{SrO}_{10}$ -Polyeder ist chiral und  $C_3$ -symmetrisch (Abbildung 1c). Dabei ergeben zehn Dreiecke eine offene *arachno*-Struktur. Diese wird durch drei Viereckseiten (Rhomben) abgeschlossen, wobei das Sauerstoffatom des Wasserliganden die gemeinsame Spitze bildet. Soweit wir wissen, war eine solche  $C_3$ -Geometrie für die Koordinationszahl 10 bislang unbekannt. Der Mg-Komplex weist die übliche trigonal-antiprismatisch verzerrte Oktaedergeometrie auf.

Moleküle mit chiraler *T*-Symmetrie sind vergleichsweise selten, und bislang wurden nur wenige Metallkomplexe mit dieser Symmetrie beschrieben. Bei den bekannten Beispielen handelt es sich jeweils um mehrkernige Aggregate.<sup>[14]</sup> Ein einkerniger Komplex mit *T*-Geometrie war unseres Wissens bislang unbekannt. Die Struktur von  $[\text{Ba}(\text{tbc})_4]^{2+}$  ist zudem eine Besonderheit, da hier ein Komplex mit der Koordinationszahl 12 realisiert wird, wobei ausschließlich sechsgliedrige Chelatringe gebildet werden. Die leichte Bildung dieses Komplexes in nichtwässrigem Medium könnte darauf hindeuten, dass symmetrisch substituierte, lipophile Derivate von *cis*-Cyclohexan-1,3,5-triol bei Verwendung genügend großer Kationen interessante Bausteine für solche Komplexe sind.

## Experimentelles

$\text{tbc}^{[15]}$  wurde durch Umsetzung von  $\text{taci}^{[11]}$  mit Benzaldehyd im Überschuss in MeOH und anschließende  $\text{NaBH}_4$ -Reduktion erhalten.  $\text{tbc}^{[15]}$  stellte man aus  $\text{tbc}$  durch Eschweiler-Clarke-Methylierung mit Formaldehyd und Ameisensäure her. Beide Liganden wurden  $^1\text{H}$ - und  $^{13}\text{C}$ -NMR-spektroskopisch sowie durch Positiv-Ionen-Fast-Atom-Bombardment ( $\text{FAB}^+$ )-MS charakterisiert und gaben korrekte C,H,N-Analysen (siehe Hintergrundinformationen).

$[\text{Ba}(\text{tbc})_4]\text{Br}_2 \cdot 2\text{CH}_3\text{OH}$ : Eine Lösung von  $\text{BaBr}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (41 mg) in MeOH (5 mL) wurde zu einer Suspension von  $\text{tbc}$  (220 mg) in MeOH (5 mL) getropft. Man erhielt eine zunächst klare Lösung, aus der sich innerhalb einiger Minuten farblose Kristalle abschieden. Ausbeute: 61 % (luftgetrocknetes Produkt). Elementaranalyse (%): ber. für  $\text{C}_{110}\text{H}_{140}\text{BaBr}_2 \cdot \text{N}_{12}\text{O}_{14}$  (2151.57): C 61.41, H 6.56, N 7.81; gef.: C 61.48, H 6.66, N 7.65;  $^1\text{H}$ -NMR ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta = 2.15$  (3H), 3.70 (6H), 3.80 (3H), 7.23–7.36 (15H);  $^{13}\text{C}$ -NMR:  $\delta = 50.7, 58.4, 66.7, 125.9, 127.1, 128.5, 140.0$ ; MS ( $\text{FAB}^+$ , 3-Nitrobenzylalkohol-Matrix):  $m/z$  (%): 2007.8 (55)  $[\text{Ba}(\text{tbc})_4\text{Br}]^+$ , 2005.8 (45)  $[\text{Ba}(\text{tbc})_4\text{Br} - \text{H}_2]^+$ , 1926.3 (7)  $[\text{Ba}(\text{tbc})_4 - \text{H}^+]^+$ .

Eingegangen am 15. Juni 2001 [Z17289]

- [1] A. Werner, *Z. Anorg. Chem.* **1899**, 21, 145–158; A. Werner, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* **1911**, 44, 1887–1898.
- [2] a) A. Togni, L. M. Venanzi, *Angew. Chem.* **1994**, 106, 517–547; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1994**, 33, 497–526; b) C. Piguët, G. Bernardinelli, G. Hopfgartner, *Chem. Rev.* **1997**, 97, 2005–2062.

- [3] a) U. Knof, A. von Zelewsky, *Angew. Chem.* **1999**, 111, 312–333, *Angew. Chem. Int. Ed.* **1999**, 38, 302–322; b) A. von Zelewsky, *Stereochemistry of Coordination Compounds*, Wiley, Chichester, **1996**; c) R. E. Ernst, M. J. O'Connor, R. H. Holm, *J. Am. Chem. Soc.* **1967**, 89, 6104–6113; d) E. L. Muetterties, *J. Am. Chem. Soc.* **1968**, 90, 5097–5102; e) E. L. Muetterties, *J. Am. Chem. Soc.* **1969**, 91, 1636–1643.
- [4] Eine Analyse für ein Zweifarben-Ikosaeder  $[\text{MA}_x\text{B}_{12-x}]$  mit zwei Sorten einzähliger Liganden wurde beschrieben: B. K. Teo, H. Zhang, Y. Kean, H. Dang, X. Shi, *J. Chem. Phys.* **1993**, 99, 2929–2941.
- [5] S. V. Jablan, *Z. Kristallogr.* **1995**, 210, 173–176.
- [6] D. Steinborn, *Symmetrie und Struktur in der Chemie*, Wiley-VCH, Weinheim, **1998**.
- [7] M. C. Favas, D. L. Kepert, *Prog. Inorg. Chem.* **1981**, 28, 309–367.
- [8] Eine Suche in der Cambridge Structural Database ergab 31 verschiedene Hexanitratokomplexe mit zweizähligen koordinierenden  $\text{NO}_3^-$ -Liganden. Eine Zusammenstellung findet man in der Hintergrundinformation.
- [9] Eine Herleitung, basierend auf geometrischen und gruppentheoretischen Überlegungen, sowie eine Abbildung der fünf Isomere finden sich in den Hintergrundinformationen.
- [10] Drei der möglichen fünf Isomere ( $T_h$ ,  $D_3$ ,  $D_{3d}$ ) werden in Lit. [7] diskutiert. In Lit. [5] wird die Gesamtzahl fälschlicherweise mit sechs angegeben, allerdings ohne die Geometrie der einzelnen Isomere zu diskutieren.
- [11] K. Hegetschweiler, R. D. Hancock, M. Ghisletta, T. Kradolfer, V. Gramlich, H. W. Schmalte, *Inorg. Chem.* **1993**, 32, 5273.
- [12] Kristalle der Zusammensetzung  $[\text{Ba}(\text{tbc})_4]\text{Br}_2 \cdot 2.5\text{MeOH}$  verwittrern rasch an der Luft. Ein Kristall mit den ungefähren Abmessungen  $0.30 \times 0.18 \times 0.12$  mm wurde deshalb unmittelbar nach der Entnahme aus der Mutterlauge in Perfluoropolyether gegeben und abgekühlt. Die Datensammlung erfolgte bei 100(2) K auf einem Siemens-SMART-CCD-Diffraktometer,  $\text{MoK}_\alpha$ -Strahlung ( $\lambda = 71.073$  pm): Raumgruppe  $P2_1/n$ ,  $a = 1910.1(5)$ ,  $b = 2650.1(6)$ ,  $c = 2050.1(5)$  pm,  $\beta = 95.39(3)^\circ$ ,  $Z = 4$ ,  $V = 10332(4) \times 10^6$  pm<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{ber.}} = 1.393$  Mg m<sup>-3</sup>,  $\mu = 1.228$  mm<sup>-1</sup>, Graphitmonochromator, numerische Absorptionskorrektur ( $T_{\text{min}} = 0.644$ ,  $T_{\text{max}} = 0.862$ ),  $2\theta_{\text{max}} = 42.0^\circ$ . 32396 gemessene Reflexe, davon 11083 unabhängige zur Verfeinerung von 576 Parametern verwendet, Strukturlösung durch Direkte Methoden (SHELXS-97). Ba-, O- und N-Atome wurden anisotrop gegen  $F^2$  verfeinert (SHELXL-97, Volle-Matrix-kleinste-Fehlerquadrat-Methode). Alle übrigen Nichtwasserstoffatome wurden isotrop verfeinert. Für die Beschreibung der Phenylgruppen wurde ein starres Modell mit einer festen C-C-Bindungslänge von 1.39 Å und festen C-C-C-Winkeln von  $120^\circ$  verwendet. Dabei wurde eine Fehlordnung beobachtet, die teilweise durch ein Splitmodell beschrieben werden konnte. Die H(C)-Wasserstofflagen wurden berechnet (riding model).  $R = 0.112$  ( $F_o^2 > 2\sigma(F_o^2)$ ),  $wR_2 = 0.267$  (alle Daten). Max./min. Restelektronendichte  $+1.11/-1.18$  e Å<sup>-3</sup>.<sup>[16]</sup>
- [13]  $[\text{Sr}(\text{tbc})_3(\text{OH}_2)]\text{Br}_2 \cdot 4\text{MeOH}$  und  $[\text{Mg}(\text{tbc})_2]\text{Cl}_2 \cdot 10\text{MeOH}$  wurden entsprechend der Vorschrift zur Synthese des Ba-Komplexes hergestellt. Analytische Daten, Angaben zur Kristallstrukturanalyse<sup>[16]</sup> sowie Abbildungen der Molekülstruktur der beiden Komplexe sind in den Hintergrundinformationen zu finden.
- [14] a) A. Zimmer, D. Kuppert, T. Weyhermüller, I. Müller, K. Hegetschweiler, *Chem. Eur. J.* **2001**, 7, 917–931; b) A. J. Terpin, M. Ziegler, D. W. Johnson, K. N. Raymond, *Angew. Chem.* **2001**, 113, 161–164; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2001**, 40, 157–160; c) R. W. Saalfrank, A. Stark, M. Bremer, H.-U. Hummel, *Angew. Chem.* **1990**, 102, 292–295; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1990**, 29, 311–315; d) R. G. Raptis, I. P. Georgakaki, D. C. R. Hockless, *Angew. Chem.* **1999**, 111, 1751–1753; *Angew. Chem. Int. Ed.* **1999**, 38, 1632–1634.
- [15] J. Sander, V. Huch, M. Veith, K. Hegetschweiler, *Z. Kristallogr. New Cryst. Struct.* **2001**, 216, 105–107.
- [16] Die kristallographischen Daten (ohne Strukturaktoren) der in dieser Veröffentlichung beschriebenen Strukturen wurden als „supplementary publication no.“ CCDC-164898–164900 beim Cambridge Crystallographic Data Centre hinterlegt. Kopien der Daten können kostenlos bei folgender Adresse in Großbritannien angefordert werden: CCDC, 12 Union Road, Cambridge CB21EZ (Fax: (+44) 1223-336-033; E-mail: deposit@ccdc.cam.ac.uk).