

- [22] R. D. Shannon, *Acta Crystallogr. Sect. A* **1976**, *32*, 751.
[23] a) M. Brookhart, M. L. H. Green, *J. Organomet. Chem.* **1983**, *250*, 395;
b) M. Brookhart, M. L. H. Green, L. L. Wong, *Prog. Inorg. Chem.* **1988**, *36*, 1.
[24] a) A. J. Schultz, J. M. Williams, R. R. Schrock, G. A. Rupprecht, J. D. Fellmann, *J. Am. Chem. Soc.* **1979**, *101*, 1593; b) A. J. Schultz, R. K. Brown, J. M. Williams, R. R. Schrock, *ibid.* **1981**, *103*, 169; c) Z. Dawoodi, M. L. H. Green, V. S. B. Mtetwa, K. Prout, A. J. Schultz, J. M. Williams, T. F. Koetzle, *J. Chem. Soc. Dalton Trans.* **1986**, 1629.

$[C_5BR_6]^+$.^[16] Hier berichten wir über ein Carboran mit sechs Kohlenstoff- und sechs Borzentren im Gerüst.

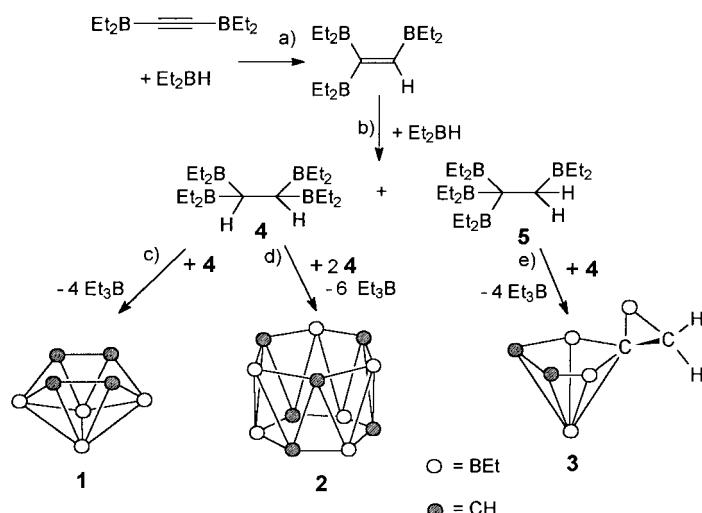
Die in Schema 1 gezeigten Reaktionen a–c führen auf einfache Weise erstmals zum stabilen *nido*-C₄B₄-Carboran **1**.^[12] Zwar schlugen all unsere Versuche, die Ausbeute von **1** auf über 20% zu verbessern, fehl, doch enthielten diese Experimente die Natur wichtiger Nebenprodukte. Neben **1** entsteht das Isomer **3**, das gewöhnlich beim Reinigen von **1** – z. B. durch Oxidation – zerstört wird. Wie in Schema 1 gezeigt ist (Reaktionen b und e), resultiert **3** aus der Et₂BH-katalysierten Kondensation von **4** und **5**.^[17] Das spiro-Carboran **3** ist eine neue Verbindung der noch kleinen Gruppe der 2,3,5-Tricarba-*nido*-hexaborane(7).^[18]

Ein neuer Carborankäfig: Hexacarba-*arachno*-dodecaboran(**12**)**

Bernd Wrackmeyer,* Hans-Jörg Schanz, Matthias Hofmann und Paul von Ragué Schleyer

Professor Heinrich Nöth zum 70. Geburtstag gewidmet

Die vielfältige Struktur- und Synthesechemie von Carboranen entwickelt sich seit mehr als dreißig Jahren in unterschiedliche Richtungen.^[1, 2] Reaktionen von Polyboranen mit Alkinen ermöglichen den Zugang zu vielen Carboranen,^[1, 3, 4] wobei allerdings von wenigen Ausnahmen abgesehen komplexe Produktgemische erhalten werden, deren Trennung schwierig sein kann. Umwandlungen einfacher Organoborane,^[5, 6] vornehmlich boralkylierter Derivate, versprechen einen spezifischeren Einstieg in die Carboranchemie. So können 1-Alkinyl-diethylborane unter „Hydridbad“-Bedingungen (d. h. mit Diethylboran Et₂BH^[7] in großem Überschuss) zu den neuartigen Carboranen 1-Carba-*arachno*-pentaboran(10),^[8, 9] 2-Carba-*nido*-pentaboran(8) und 2,4-Dicarba-*nido*-hexaboran(8)^[10, 11] hydroboriert werden, und ebenso lassen sich so Tetracarba-*nido*-octaboran(8)^[12] **1** und ähnliche Carborane synthetisieren, die zuvor nicht leicht erhältlich oder nicht gut charakterisiert waren. Das Carboran **1** gehört zu den kohlenstofffreien Carboranen, deren Strukturen im Grenzbereich zwischen klassischen und nichtklassischen Strukturen liegen. Die bekannten neutralen kohlenstofffreien Carborankäfige sind sämtlich *nido*-Systeme mit maximal vier Gerüstkohlenstoffzentren, wie C₄B₂R₆,^[13] C₄B₄R₈,^[12] C₄B₆R₁₀,^[4c, 14] und C₄B₈R₁₂.^[15] Es gibt auch kationische *nido*-Carborane mit fünf Gerüstkohlenstoffzentren, etwa



Schema 1. Synthese von **1**–**5**.

Darüber hinaus sind auch andere Et₂BH-katalysierte Kondensationen möglich. So liefert die Kondensation dreier Moleküle 1,1,2,2-Tetraborylethan **4** das Carboran **2** (Schema 1, Reaktion d), das als farbloser, kristalliner Feststoff isoliert wurde. Die einfachen NMR-Spektren von **2**, deren Aussehen sich zwischen -80°C und Raumtemperatur nicht nennenswert verändert, weisen entweder auf eine hohe Symmetrie oder eine stark fluktuierende Struktur hin. Die ¹H-NMR-spektroskopisch nachgewiesene 1D-¹H/¹³C-heteronukleare Verschiebungskorrelation belegt das Vorhandensein isolierter H-C-C-H-Einheiten anhand der Aufspaltung der ¹³C-Satelliten (${}^1J({}^{13}\text{C}^1\text{H}) = 152 \text{ Hz}$) in zwei Dubletts (${}^3J({}^1\text{H}^1\text{H}) = 8.0 \text{ Hz}$), was auf eine starre Struktur schließen lässt. Besonders das ¹¹B-NMR-Signal bei $\delta = +15.5$ stützt eine nichtklassische Struktur für **2**, da von Kohlenstoffzentren trigonal-planar koordinierte ¹¹B-Kerne deutlich andere ¹¹B-NMR-Verschiebungen ($\delta = +75 \pm 10$)^[19] aufweisen sollten.

Mit Ab-initio-Verfahren sehr verlässlich berechnete ¹¹B- und ¹³C-chemische Verschiebungen^[20] haben sich als äußerst nützlich für die Bestimmung der Strukturen von Carboranclustern erwiesen.^[11, 21] Wir haben die Ab-initio/GIAO/NMR-Methode^[20a] angewendet, um die für **2** vorgeschlagene Struktur zu bestätigen. In Tabelle 1 sind die experimentellen ¹¹B- und ¹³C-NMR-Daten für C₆H₆B₆Et₆ **2** und die berechneten chemischen Verschiebungen (GIAO-SCF/6-31G*//MP2(fc)-

[*] Prof. Dr. B. Wrackmeyer, Dr. H.-J. Schanz
Laboratorium für Anorganische Chemie der Universität
D-95440 Bayreuth
Fax: (+49) 921-552-157
E-mail: b.wrack@uni-bayreuth.de
Dr. M. Hofmann, Prof. Dr. P. von R. Schleyer
Computer-Chemie-Centrum des Instituts für Organische Chemie der
Universität Erlangen-Nürnberg
Henkestraße 42, D-91054 Erlangen
Fax: (+49) 9131-859-132
E-mail: pvsr@organik.uni-erlangen.de
[**] Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Fonds der Chemischen Industrie gefördert.

31G^*)^[22] für die Modellverbindungen $\text{C}_6\text{H}_6\text{B}_6\text{H}_6$ und $\text{C}_6\text{H}_6\text{B}_6\text{Me}_6$, **2a** bzw. **2b**, aufgeführt. Das alternative klassische Valenzisomer **6** (der Grundkörper) mit einem 2,5,7,10,11,12-Hexabora-tetracyclo[4,4,0,1^{3,9},1^{4,8}]dodecan-Gerüst^[23] (siehe Abb. 1b) könnte ebenso bei der Kondensation entstanden sein. Allerdings hat **6** MP2(fc)/6-31G*-Rechnungen unter Verwendung von D_{3h} -Symmetrie zufolge nicht den geringsten Energiegehalt, sondern ist um 68.5 kcal mol⁻¹ (MP2(fc)/6-31G*-Optimierung) weniger stabil als das nichtklassische Isomer **2a**.

Die Übereinstimmung zwischen den berechneten und experimentellen NMR-Daten (Tabelle 1) ist für die Cluster

Tabelle 1. Experimentelle und berechnete ^{11}B -NMR- und ^{13}C -NMR-Verschiebungen von $\text{C}_6\text{H}_6\text{B}_6\text{Et}_6$ **2** und den Modellverbindungen **2a**, **2b** und **6**.

Verbindung	$\delta^{(11)\text{B}}$	$\delta^{(13)\text{C}}$
$\text{C}_6\text{H}_6\text{B}_6\text{Et}_6$ 2 ^[a]	15.5	33.7
$\text{C}_6\text{H}_6\text{B}_6\text{H}_6$ 2a ^[b]	7.6	26.0
$\text{C}_6\text{H}_6\text{B}_6\text{Me}_6$ 2b ^[b]	12.8	27.9
$\text{C}_6\text{H}_6\text{B}_6\text{H}_6$ (D_{3h}) 6 ^[b]	88.4	58.0

[a] Experimentelle Werte. [b] Berechnet auf dem GIAO-SCF/6-31G*/MP2(fc)/6-31G*-Niveau.

mit D_3 -Symmetrie (**2a** und **2b**) zufriedenstellend. Dagegen liegt bei **6** die berechnete ^{11}B -chemische Verschiebung bei viel niedrigerem Feld ($\delta = 88.4$, siehe unten). Aus diesen Ergebnissen folgern wir, daß die in Abbildung 1a gezeigte berechnete Geometrie nahezu der von **2** entspricht. Die

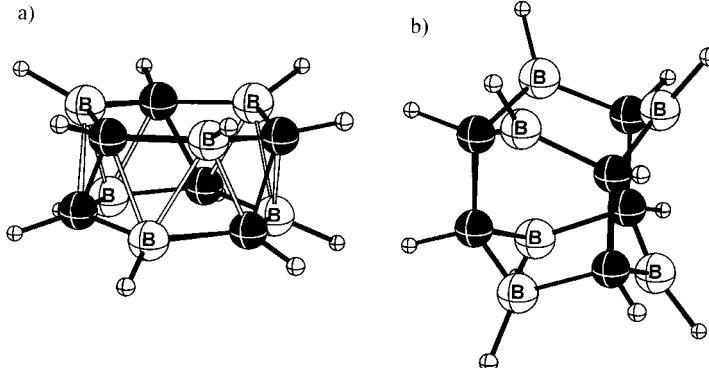


Abb. 1. Auf dem MP2(fc)/6-31G*-Niveau optimierte Geometrien von a) **2a** (D_3 ; ausgewählte Abstände [\AA]: C-C 1.619; C-B 1.590, 1.608 (offene Fläche), 1.736; B-B 1.863; für **2b**: C-C 1.617; C-B 1.591, 1.611 (offene Fläche), 1.744; B-B 1.891) und b) **6** (D_{3h} ; C-C 1.610; C-B: 1.57). Siehe auch Tabelle 1.

trommelartige Struktur von **2**, einem 12-Eck-*arachno*-Cluster, ist bisher beispiellos in der Carboranchemie, kann aber durch die Elektronen-Abzähl-^[24] und durch die Struktur-Erkennungsmuster-Regeln^[25] abgeleitet werden. Der Käfig ist ein hexagonales Antiprisma, in dem die Kohlenstoffzentren so weit wie möglich getrennt sind. Zwei hochkoordinierte Ecken über den offenen Flächen würden ein geschlossenes Deltaeder mit 14 Ecken vervollständigen, welches für das noch unbekannte $\text{closo-}[\text{B}_{14}\text{H}_{14}]^{2-}$ vorhergesagt wurde, aber in der 12-Eck-*arachno*-Verbindung fehlen.^[26, 27]

Et_2BH -katalysierte Kondensationen mehrfach borylierter Alkane bergen ein großes Synthesepotential. Das neue Carboran **2** mit seinen zwei offenen hexagonalen Flächen und seinem zweifach entarteten HOMO und LUMO bietet sich zur Addition verschiedener Fragmente an, speziell solcher, die keine oder zwei Gerüst-Elektronen beisteuern.

Experimentelles

Eine Lösung von 3.57 g (21.7 mmol) Bis(diethylboryl)ethin in 5 mL Et_2BH (57.1 mmol Hydrid) wurde in 24 h auf 80 °C erwärmt. Danach wurde die Lösung mit Ethen gesättigt, um alle reaktiven B-H- in B-Et-Bindungen zu überführen. Die fraktionierte Destillation bei verminderter Druck lieferte 0.97 g eines Gemisches (65/35) aus **1** und **3** (Sdp. 75–85 °C/7 × 10⁻⁵ hPa). Der hochviskose Rückstand wurde auf 170–200 °C erwärmt, und 0.12 g einer farblosen Flüssigkeit (Sdp. 160–165 °C/7 × 10⁻⁴ hPa) wurden in der Vorlage gesammelt, die mehr als 60% **2** enthielt. Beim Kühlern der Flüssigkeit auf –20 °C kristallisierten 0.067 g der reinen Verbindung **2** als farblose Prismen (Schmp. 51–54 °C) aus. ^1H -NMR (250.1 MHz, 25 °C, CDCl_3): $\delta = 1.51$ (s, 6 H, CH), 0.95 (m, 30 H, BEt); ^{11}B -NMR (80.3 MHz, 25 °C, CDCl_3): $\delta = 15.5$; ^{13}C -NMR (62.9 MHz, –30 °C, CDCl_3): $\delta = 33.7$ (br., CH), 11.2 (br.), 9.5 (BEt); EI-MS (70 eV): m/z (%): 318 (60) [M^+], 289 (100) [$M^+ - \text{Et}$], 261 (30) [$M^+ - \text{Et} - \text{C}_2\text{H}_4$].

Eingegangen am 17. Oktober 1997 [Z 11042]

Stichwörter: Ab-initio-Rechnungen • Carborane • Hydroborierung • NMR-Spektroskopie

- [1] R. N. Grimes, *Carboranes*, Academic Press, London **1970**.
- [2] a) R. E. Williams in *Electron Deficient Boron and Carbon Clusters* (Hrsg.: G. A. Olah, K. Wade, R. E. Williams), Wiley, New York **1991**, Kap. 2; b) in *Advances in Boron Chemistry* (Hrsg.: W. Siebert), The Royal Society of Chemistry, Cambridge **1997**, S. 15–29.
- [3] a) N. S. Hosmane, R. N. Grimes, *Inorg. Chem.* **1979**, *18*, 3294–3297; b) R. B. Maynard, L. Borodinsky, R. N. Grimes, *Inorg. Synth.* **1983**, *22*, 211–214.
- [4] a) M. A. Fox, R. Greatrex, A. Nikrahi, *Chem. Commun.* **1996**, 175; b) P. T. Brain, M. Bühl, M. A. Fox, R. Greatrex, E. Leuschner, M. J. Picton, D. W. H. Rankin, H. E. Robertson, *Inorg. Chem.* **1995**, *34*, 2841; c) M. A. Fox, R. Greatrex, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1995**, 667–668; d) M. A. Fox, R. Greatrex, M. Hofmann, P. von R. Schleyer, *Angew. Chem.* **1994**, *106*, 2384–2385; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1994**, *33*, 2298–2300; e) D. Hnyk, P. T. Brain, D. W. H. Rankin, H. E. Robertson, R. Greatrex, N. N. Greenwood, M. Kirk, M. Bühl, P. von R. Schleyer, *Inorg. Chem.* **1994**, *33*, 2572; f) B. Stibr, T. Jelinek, E. Drdakova, S. Hermanek, J. Plesek, *Polyhedron* **1988**, *7*, 669–671.
- [5] R. Köster, M. A. Grassberger, *Angew. Chem.* **1967**, *79*, 197–219; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1967**, *6*, 218–240.
- [6] R. Köster, H.-J. Horstsäfer, P. Binger, K. Matschei, *Justus Liebigs Ann. Chem.* **1975**, 1339–1356.
- [7] Die Formel Et_2BH wird der Einfachheit wegen verwendet. Tetraethylboration(6) wird erhalten und im Gemisch mit Triethylboran und geringen Mengen anderer Ethyldiborane(6) eingesetzt: R. Köster, G. Bruno, P. Binger, *Justus Liebigs Ann. Chem.* **1961**, 644, 1–22.
- [8] a) R. Köster, G. Seidel, B. Wrackmeyer, *Angew. Chem.* **1994**, *106*, 2380–2382; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1994**, *33*, 2294–2296; b) R. Köster, R. Boese, H.-J. Schanz, B. Wrackmeyer, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1995**, 1691–1692.
- [9] B. Wrackmeyer, H.-J. Schanz, *Collect. Czech. Chem. Commun.* **1997**, *62*, 1254–1262.
- [10] B. Wrackmeyer, H.-J. Schanz, W. Milius, *Angew. Chem.* **1997**, *109*, 98–99; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1997**, *36*, 75–77.
- [11] M. Hofmann, M. A. Fox, R. Greatrex, R. E. Williams, P. von R. Schleyer, *J. Organomet. Chem.* **1998**, im Druck.
- [12] B. Wrackmeyer, H.-J. Schanz, W. Milius, *Angew. Chem.* **1997**, *109*, 1145–1147; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1997**, *36*, 1117–1119.

- [13] a) T. P. Onak, G. T. F. Wong, *J. Am. Chem. Soc.* **1970**, *92*, 5226; b) V. R. Miller, R. N. Grimes, *Inorg. Chem.* **1972**, *11*, 862–865; c) P. Binger, *Tetrahedron Lett.* **1966**, *24*, 2675–2680; d) *Angew. Chem.* **1968**, *80*, 288–289; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1968**, *7*, 286; e) M. Herberhold, U. Bertholdt, A. Glöckle, W. Milius, B. Wrackmeyer, *Chem. Commun.* **1996**, 1219–1220.
- [14] R. Köster, G. Seidel, B. Wrackmeyer, D. Bläser, R. Boese, M. Bühl, P. von R. Schleyer, *Chem. Ber.* **1991**, *124*, 2715–2724.
- [15] R. N. Grimes, *Adv. Inorg. Chem. Radiochem.* **1983**, *26*, 55–117.
- [16] a) P. Jutzi, A. Seufert, *Angew. Chem.* **1977**, *89*, 339–340; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1977**, *16*, 330; b) C. Dobmeier, R. Körpe, C. Robl, H. Schnöckel, *J. Organomet. Chem.* **1995**, *487*, 127–130.
- [17] Die experimentellen und berechneten NMR-Daten von **3** und dessen Derivaten werden an anderer Stelle ausführlich diskutiert werden: B. Wrackmeyer, H.-J. Schanz, M. Hofmann, P. von R. Schleyer, unveröffentlichte Ergebnisse.
- [18] a) A. Feßnenbecker, A. Hergel, R. Hettrich, V. Schäfer, W. Siebert, *Chem. Ber.* **1993**, *126*, 2205–2210; b) T. Kuhlmann, H. Pritzkow, U. Zenneck, W. Siebert, *Angew. Chem.* **1984**, *96*, 994–995, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1984**, *23*, 965–966; c) J. Zwecker, T. Kuhlmann, H. Pritzkow, W. Siebert, U. Zenneck, *Organometallics* **1988**, *7*, 2316–2324.
- [19] H. Nöth, B. Wrackmeyer, *NMR Spectroscopy of Boron Compounds*, in *NMR—Principles and Progress*, Vol. 14 (Hrsg.: P. Diehl, E. Fluck, R. Kosfeld), Springer, Berlin, **1978**.
- [20] a) M. Bühl, P. von R. Schleyer *J. Am. Chem. Soc.* **1992**, *114*, 477–491; b) ausführliche Bibliographie: M. Diaz, J. Jaballas, J. Arias, H. Lee, T. Onak, *J. Am. Chem. Soc.* **1996**, *118*, 4405–4410.
- [21] a) M. A. Fox, R. Greatrex, M. Hofmann, P. von R. Schleyer, R. E. Williams, *Angew. Chem.* **1997**, *109*, 1542–1544; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1997**, *36*, 1498–1501; b) M. Diaz, J. Jaballas, D. Tran, H. Lee, J. Arias, T. Onak, *Inorg. Chem.* **1996**, *35*, 4536–4540, zit. Lit.
- [22] Die chemischen Verschiebungen wurden auf der Grundlage der GIAO-Annäherung berechnet: K. Wolinski, J. F. Hinton, P. Pulay, *J. Am. Chem. Soc.* **1990**, *112*, 8251; b) M. Häser, R. Ahlrichs, H. P. Baron, P. Weis, H. Horn, *Theor. Chim. Acta* **1992**, *83*, 455. Die Geometrien wurden auf dem MP2(fc)6-31G*-Niveau optimiert. Für alle Rechnungen wurde das Gaussian-94-Programmpaket verwendet: Gaussian-94, Revision D.3, M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel, P. M. W. Gill, B. G. Johnson, M. A. Robb, J. R. Cheeseman, T. Keith, G. A. Petersson, J. A. Montgomery, K. Raghavachari, M. A. Al-Laham, V. G. Zakrzewski, J. V. Ortiz, J. B. Foresman, J. Cioslowski, B. B. Stefanov, A. Nanayakkara, M. Challacombe, C. Y. Peng, P. Y. Ayala, W. Chen, M. W. Wong, J. L. Andres, E. S. Replogle, R. Gomperts, R. L. Martin, D. J. Fox, J. S. Binkley, D. J. Defrees, J. Baker, J. P. Stewart, M. Head-Gordon, C. Gonzalez, J. A. Pople, Gaussian, Inc., Pittsburgh, PA, **1995**.
- [23] C. A. Cupas, L. Hodakowski *J. Am. Chem. Soc.* **1974**, *96*, 4668–4669.
- [24] a) K. Wade, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1971**, 792–793; b) *Adv. Inorg. Chem. Radiochem.* **1976**, *18*, 1–67.
- [25] R. E. Williams, *Adv. Inorg. Chem. Radiochem.* **1976**, *18*, 67–118.
- [26] a) J. Bicerano, D. S. Marynick, W. N. Lipscomb, *Inorg. Chem.* **1978**, *17*, 3443–3453; b) M. Gielen, *Polyhedron* **1988**, *7*, 363–368.
- [27] Vierzehneck-Metallocarborane sind bekannt: W. J. Evans, M. F. Hawthorne, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1974**, 38–39; J. R. Pipal, R. N. Grimes, *Inorg. Chem.* **1978**, *17*, 6–10.

Zweidimensionale, molekulare magnetische Materialien auf Nitroxidbasis**

Karine Fegy, Dominique Lueneau,* Thorsten Ohm, Carley Paulsen und Paul Rey*

Welche Temperaturen nötig sind, damit in molekularen Feststoffen makroskopisch nachweisbare magnetische Eigenschaften auftreten, hängt stark von der Dimensionalität der Struktur des Feststoffs und der Größenordnung der Wechselwirkungen zwischen den Bausteinen ab, an denen die ungepaarten Elektronen lokalisiert sind.^[1] Bei Raumtemperatur erfüllen nur wenige Verbindungen, die sich ferro- und ferrimagnetisch ordnen, diese Kriterien. Dies sind Hexacyanometallate^[2,3] und ein Addukt aus Vanadium und Tetracyanethylen.^[4] Bei diesen Verbindungen liegen magnetisch geordnete Zustände bei hohen Temperaturen wahrscheinlich wegen der dreidimensionalen Struktur und recht starker Austauschwechselwirkungen vor.

Meistens sieht das Design molekularer magnetischer Materialien alternierend angeordnete antiferromagnetisch gekoppelte Metallionen mit verschiedenen Spins vor, die einander nicht kompensieren. Diese ferrimagnetischen Strukturen werden durch mehrzählige Brückenliganden wie Oxalat-, Oxamat-, Oxamid-, Oximat- und Dithiooxalatgruppen zusammengehalten.^[5] Diese Liganden haben sich als erfolgreich erwiesen, und über viele hochdimensionale Strukturen ist berichtet worden. Darunter sind dreidimensionale, bei denen sich die Chiralität der Metallzentren kontrolliert einstellen ließ.^[6–8] Diese Materialien weisen allerdings niedrige Curie-Temperaturen auf, da die Verbindungen entweder diamagnetische Brückenliganden enthalten, die magnetische Wechselwirkungen nur schwach weitergeben können, oder diamagnetische Metallionen.

Beim Metall-Radikal-Ansatz^[9,10] wird dagegen die direkte Koordination eines Ligandatoms mit hoher Spindichte an das Metallzentrum genutzt, was große Austauschwechselwirkungen garantiert. Weiterhin ermöglicht die leichte Modifizierbarkeit der Radikalliganden Vielseitigkeit beim Design mehrdimensionaler Strukturen. Die meisten der bisher beschriebenen Metall-Radikal-Komplexe mit unendlich ausgedehnter Struktur weisen allerdings nur eindimensionale Strukturen auf,^[11–13] da die Nitroxylgruppen so schwach basisch sind, daß sie nur an sterisch überladene Metallzentren mit elektronenziehenden Gruppen binden. Dieses Hindernis ließ sich durch Verwendung von Trinitroxidliganden überwinden, die einen

[*] Dr. D. Luneau, Dr. P. Rey, K. Fegy

Département de Recherche Fondamentale sur la Matière Condensée, Service de Chimie Inorganique et Biologique
Laboratoire de Chimie de Coordination
(Unité de Recherche Associée au CNRS No. 1194)
CEA-Grenoble, F-38054 Grenoble (Frankreich)
Fax: (+ 33) 4-768 850 90
E-mail: rey@drfmc.ceng.cea.fr

T. Ohm, Dr. C. Paulsen

Centre de Recherche sur les Très Basses Températures, CNRS
25 avenue des Martyrs, F-38054 Grenoble (Frankreich)

[**] Diese Arbeit wurde von der Europäischen Union [HCM-Programm, CHRX-CT910080- und INTAS-Programm (94-3508)] unterstützt. Wir danken Dr. P. Jones für kritisches Durchsehen des Manuskripts. T. O. dankt für Unterstützung durch die Daimler-Benz-AG.