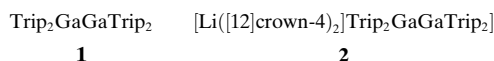


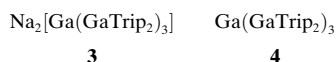
Ga-Ga-Mehrfachbindungscharakter in $\text{Na}_2[\text{Ga}(\text{GaTrip}_2)_3]$ und ein Vergleich mit dem neutralen $\text{Ga}(\text{GaTrip}_2)_3$ ($\text{Trip} = 2,4,6\text{-iPr}_3\text{C}_6\text{H}_2$)**

Rudolf J. Wehmschulte und Philip P. Power*

Die Synthesen und Strukturen des neutralen Digallans(4) **1** ($d(\text{Ga-Ga}) = 2.515(3) \text{ \AA}$; $\text{Trip} = 2,4,6\text{-iPr}_3\text{C}_6\text{H}_2$) und des Salzes **2** ($d(\text{Ga-Ga}) = 2.343(2) \text{ \AA}$) mit dem entsprechenden einfach reduzierten Anion wurden 1993 beschrieben.^[1] Die strukturellen und spektroskopischen Daten der reduzierten Verbindung waren im Einklang mit der Bildung einer Ga-Ga- π -Bindung mit einer formalen Bindungsordnung von 0.5.



Das zusätzliche Elektron besetzt ein π -MO, das durch die Überlappung je eines p-Orbitals beider Galliumatome entsteht. Versuche, **2** in Diethylether zum zweifach negativ geladenen Anion $[\text{Trip}_2\text{GaGaTrip}_2]^{2-}$ zu reduzieren, das eine Ga-Ga- π -Bindung mit einer formalen Bindungsordnung von 1 haben sollte, waren nicht erfolgreich, wahrscheinlich wegen der Zersetzung des Dianions.^[1a] Untersuchungen von Uhl und Mitarbeitern^[2] nach führt die weitere Reduktion des verwandten Radikalanions $[\text{R}_2\text{AlAlR}_2]^-$ ($\text{R} = \text{CH}(\text{SiMe}_3)_2$) in 1,2-Dimethoxyethan zur Bildung von Etherspaltprodukten ohne Al-Al-Bindungen. In Anbetracht der Reaktivität der Aluminium- und Galliumdianionen gegenüber Ethern versuchten wir, **1** in weniger reaktionsfähigen Lösungsmitteln wie Triethylamin zu reduzieren, um die zweifach reduzierte Verbindung mit einer Mehrfachbindung zu erhalten. Wir beschreiben hier Ergebnisse dieser Untersuchungen, die zur Isolierung des neuartigen Dianions **3** und seines neutralen Analogons **4** führten.



Das dunkelrote Dianion **3** wurde durch die Umsetzung von **1** in Triethylamin mit einem zehnfachen Überschuß an Natrium bei Raumtemperatur in ca. drei Tagen hergestellt. Große, schwarze Kristalle der Zusammensetzung **3** $\cdot 3\text{C}_6\text{H}_6$, die für eine Röntgenstrukturanalyse geeignet waren, konnten in Benzol gezüchtet werden. Der Röntgenstrukturanalyse^[3] zufolge enthalten die Moleküle von **3** ein zentrales Galliumatom ($\text{Ga}(1)$), das an drei GaTrip_2 -Einheiten gebunden ist. Die Struktur (Abb. 1) wird vervollständigt durch zwei Natriumionen, die zwischen Trip-Gruppen eingeklemmt sind. Beide Trip-Gruppen an $\text{Ga}(2)$ und je eine an $\text{Ga}(3)$ und $\text{Ga}(4)$ nehmen an der Komplexierung der Natriumionen teil. Die Koordinationsumgebung an allen vier Galliumatomen ist planar, aber die Winkel weichen deutlich von 120° ab. Der $\text{Ga}(3)\text{-Ga}(1)\text{-Ga}(4)$ -Winkel ist z. B. mit $107.66(4)^\circ$ mindestens

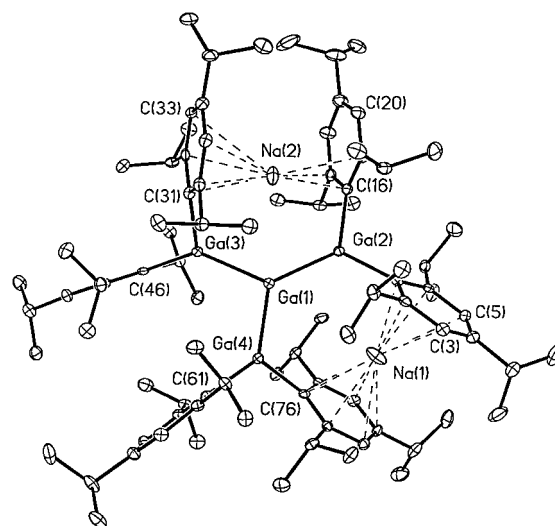


Abb. 1. Struktur von **3** im Kristall (ohne H-Atome). Ausgewählte Bindungslängen [\AA] und -winkel $^\circ$: $\text{Ga}(1)\text{-Ga}(2)$ 2.3641(10), $\text{Ga}(1)\text{-Ga}(3)$ 2.4062(10), $\text{Ga}(1)\text{-Ga}(4)$ 2.3981(10), $\text{Ga}(2)\text{-C}(1)$ 2.044(5), $\text{Ga}(2)\text{-C}(16)$ 2.051(5), $\text{Ga}(3)\text{-C}(31)$ 2.060(5), $\text{Ga}(3)\text{-C}(46)$ 2.023(5), $\text{Ga}(4)\text{-C}(61)$ 2.019(5), $\text{Ga}(4)\text{-C}(76)$ 2.058(5); $\text{Ga}(2)\text{-Ga}(1)\text{-Ga}(3)$ 128.96(3), $\text{Ga}(2)\text{-Ga}(1)\text{-Ga}(4)$ 123.18(4), $\text{Ga}(3)\text{-Ga}(1)\text{-Ga}(4)$ 107.66(4).

15° enger als die anderen beiden. Die kleinsten C-Ga-C-Winkel sind die an den äußeren Galliumatomen; an $\text{Ga}(3)$ und $\text{Ga}(4)$ ist der $\text{Ga}(1)\text{-Ga}(3/4)\text{-C}(ipso)$ -Winkel bei den Ringen, die an der Komplexierung der Na^+ -Ionen teilnehmen, 9 bis 13° kleiner als der $\text{Ga}(1)\text{-Ga}(3/4)\text{-C}(ipso)$ -Winkel bei den nichtkomplexierenden Ringen. Die $\text{Ga}(1)\text{-Ga}(2)$ -Bindung ($2.364(1) \text{ \AA}$) ist ca. 0.04 \AA kürzer als die $\text{Ga}(1)\text{-Ga}(3)$ - ($2.406(1) \text{ \AA}$) und die $\text{Ga}(1)\text{-Ga}(4)$ -Bindung ($2.398(1) \text{ \AA}$). Der kleinere $\text{Ga}(1)\text{-Ga}(2)$ -Abstand ist damit im Einklang, daß die Torsionswinkel (17.7°) zwischen den Koordinations Ebenen an $\text{Ga}(1)$ und $\text{Ga}(2)$ kleiner sind als die Winkel zwischen den Koordinationsebenen an $\text{Ga}(1)$ und $\text{Ga}(3)$ sowie an $\text{Ga}(1)$ und $\text{Ga}(4)$ (32.2° bzw. 28.5°).

Trotz dieser Verzerrungen, die auf sterische Ansprüche der Substituenten oder auf die Na^+ -Komplexierung zurückzuführen sind, sind die Strukturparameter mit der Bildung einer Zwei-Elektronen- π -Bindung im Einklang, die über das Ga_4 -Gerüst delokalisiert ist; somit hat die Ga-Ga-Bindung eine Bindungsordnung von 1.33.^[4] Der durchschnittliche Ga-Ga-Abstand in **3** ($2.389(17) \text{ \AA}$) ist länger als der im Radikalanion $[\text{Trip}_2\text{GaGaTrip}_2]^-$ ($2.343(2) \text{ \AA}$; formale Bindungsordnung 1.5),^[1a] aber kürzer als die in den cyclischen Verbindungen $\text{M}_2[\text{Ga}(2,6\text{-Mes}_2\text{C}_6\text{H}_3)]_3$ (ca. 2.44 \AA ; formale Ga-Ga-Bindungsordnung 1.33; $\text{M} = \text{Na}$ oder K ; $\text{Mes} = \text{Mesityl}$).^[5] Ein weiteres Merkmal der Struktur von **3** ist, daß alle Trip-Ringe, die Na^+ komplexieren, in Richtung der Ionen verbogen sind (Abb. 1). Die Verbiegung, die mit der Abweichung der Ga-C(*ipso*)-Bindungen von den Ebenen der aromatischen Ringe quantifiziert werden kann, beträgt zwischen 9.6 und 14.3° , für die nicht komplexierenden Ringe nur 2.4 und 3.4° . Die offensichtlich starke Komplexierung der Na^+ -Ionen ist im Einklang mit den zuvor beschriebenen Verzerrungen. Außerdem stimmt die Verkürzung der $\text{Ga}(1)\text{-Ga}(2)$ -Bindung mit neueren theoretischen Rechnungen an reduzierten Organogalliumkomplexen überein, denen zufolge eine Na^+ -Komple-

[*] Prof. P. P. Power, Dr. R. J. Wehmschulte
Department of Chemistry, University of California
Davis, CA 95616 (USA)
Fax: (+1) 530-752-8995
E-mail: pppower@ucdavis.edu

[**] Diese Arbeit wurde von der National Science Foundation gefördert.

xierung eine deutliche Verkürzung der Ga-Ga-Bindungslänge bewirken kann.^[6] Die Na⁺-Ionen sind allerdings nicht in gleichem Maße an alle Kohlenstoffatome der Trip-Ringe gebunden ($d(\text{Na-C}) = 2.548(5) - 2.824(6)$; $d(\text{Na-Ringmittelpunkt}) = 2.464 - 2.771$ Å), sondern am stärksten an die *ipso*-Kohlenstoffatome. Die Na⁺-Ionen befinden sich 0.25 und 0.55 Å (Na(1) bzw. Na(2)) ober- und unterhalb der Ga₄-Ebene.

Die neutrale Verbindung **4** wurde bei der Umsetzung von **3** mit einem Äquivalent O₂ in Form orangefarbener Kristalle erhalten. Der Röntgenstrukturanalyse von **4** zufolge (Abb. 2) liegen zwei unabhängige Molekülhälften in der asymmetrischen Einheit der Elementarzelle vor, wobei in beiden eine

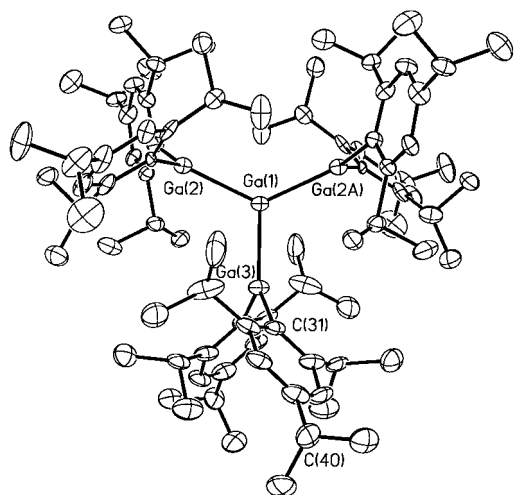
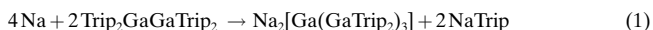


Abb. 2. Struktur eines der beiden Moleküle von **4** im Kristall (ohne H-Atome). Ausgewählte Bindungslängen [Å] und -winkel [°] beider Moleküle: Ga(1)-Ga(2) 2.4813(17), Ga(1)-Ga(3) 2.465(3), Ga(2)-C(1) 1.961(13), Ga(2)-C(16) 1.992(11), Ga(3)-C(31) 1.987(12), Ga(4)-Ga(5) 2.4813(17), Ga(4)-Ga(6) 2.467(3), Ga(5)-C(46) 1.996(14), Ga(5)-C(61) 1.993(14), Ga(6)-C(76) 2.010(12); Ga(2)-Ga(1)-Ga(3) 116.17(5), Ga(2)-Ga(1)-Ga(2A) 127.65(10), Ga(5)-Ga(4)-Ga(6) 115.34(5), Ga(5)-Ga(4)-Ga(5A) 129.32(10).

zweizählige Drehachse durch eine der Ga-Ga-Bindungen geht. Die Struktur von **4** ähnelt weitgehend der von **3** (abgesehen von den Na⁺-Ionen). Der interessanteste Unterschied beider Strukturen ist, daß die Ga-Ga-Bindungen in **4** mit durchschnittlich 2.476(7) Å deutlich länger (um ca. 0.08 Å) sind. Dies ist im Einklang mit einer Bindungsordnung von 1 für die Ga-Ga-Bindungslänge. Die Ga-Ga-Bindungslänge liegt im erwarteten Bereich für Einfachbindungen zwischen dreifach koordinierten Galliumzentren;^[7] sie ist etwas kürzer als die in **1** (2.515(3) Å), im Einklang mit der Struktur von In(InTrip)₂, die auch kürzere In-In-Bindungen (2.696(2) Å) aufweist als Trip₂InInTrip₂ (2.775(2) Å).^[8] Ein weiteres Merkmal der Struktur von **4** ist, daß die Torsionswinkel zwischen den Ebenen an den äußeren Galliumatomen Ga(2) und Ga(3) auf 81.4 und 72.9° aufgeweitet sind. Demzufolge liegt in **4** keine Ga-Ga- π -Bindung vor. Die längeren Ga-Ga-Bindungen ermöglichen eine sterisch entspanntere Struktur; dies spiegelt sich auch darin wider, daß der durchschnittliche C-Ga-C-Winkel in **4** deutlich weiter als in **3** ist.

Die zweifache Reduktion von Trip₂GaGaTrip₂ führt also zu Na₂[Ga(GaTrip₂)₂]₃ über einen bislang unbekannten Reaktionsweg. Sicher ist, daß bei der Umlagerung Ga-C-Bindungen gespalten werden, und die Reaktion könnte durch Gleichung (1) beschrieben werden. Der erste Schritt dieser



Reaktion könnte die zweifache Reduktion zu Na₂[Trip₂GaGaTrip₂] sein, aus dem dann ein Äquivalent NaTrip eliminiert wird unter Bildung von Na[TripGaGaTrip₂]. Eine neutrale Verbindung ähnlicher Zusammensetzung, RGaGaR₂ (R = Si(*t*Bu)₃), wurde von Wiberg und Mitarbeitern beschrieben.^[9] Die weiteren Schritte der Reduktion, die zu **3** führen, sind aber noch unbekannt.

Versuche, die Stärke der Ga-Ga- π -Bindung in **3** durch ¹H-NMR-Spektroskopie bei unterschiedlichen Temperaturen zu bestimmen, haben noch nicht zu eindeutigen Ergebnissen geführt; bei den NMR-Spektren von **3** und **4** wurde dynamisches Verhalten festgestellt.^[10] Für **3** wurden zwei dynamische Prozesse mit Barrieren von 14 und 18 kcal mol⁻¹ ermittelt, für **4** ein Prozeß mit einer Barriere von ca. 18 kcal mol⁻¹. Dieser Wert könnte auf gehinderte Rotation der Trip-Ringe zurückzuführen sein, und es ist möglich, daß dies auch für den entsprechenden Prozeß in **3** gilt. Der andere Prozeß (14 kcal mol⁻¹) bei **3** könnte dann die Rotation um die Ga-Ga-Bindungen sein. Weil dabei auch die nichtkovalenten Na⁺-Trip-Wechselwirkungen aufgehoben werden, die recht stark sein können,^[11] ist die Stärke der Ga-Ga- π -Bindung sicherlich deutlich geringer als dieser Betrag.

Experimentelles

Alle Arbeiten wurden unter Ausschluß von Sauerstoff und Feuchtigkeit durchgeführt.

3·3C₆H₆: Natrium (0.21 g, 9.1 mmol) wurde in Form kleiner Stücke zu einer Lösung von **1** (0.92 g, 0.96 mmol) in NEt₃ (40 mL) bei Raumtemperatur gegeben. Nach 3 d Rühren wurde das Lösungsmittel der tief rotgrünen Lösung entfernt und der fast schwarze Rückstand mit 80 mL *n*-Hexan extrahiert. Die rotgrüne Lösung wurde filtriert, auf ca. 10 mL eingeeengt und auf -20 °C gekühlt, woraufhin sich kleine, schwarze Kristalle bildeten. Umkristallisieren aus Benzol (3–4 mL) bei 6 °C lieferte 0.21 g größere (bis zu 6 mm), schwarze Kristalle von **3**·3C₆H₆. Ausbeute: 25% [gemäß Gl. (1)]. Schmp. 190–200 °C. Ein Teil des kokristallisierten Benzols geht bei der Isolierung verloren. UV/Vis (*n*-Hexan): λ (ϵ) = 850 (9000), 422 nm (sh, 9000); ¹H-NMR (C₆H₆, 60 °C): δ = 7.08 (br.s; *m*-H), 6.68 (br.s; *m*-H), 4.63 (br.s; *o*-CH), 3.19 (br.s; *o*-CH), 2.65 (sept, ³*J* = 6.6 Hz; *p*-CH), 1.63, 1.42, 1.27, 0.98, 0.79 (br.s; *o*-CH₃), 1.14 (d, ³*J* = 6.6 Hz; *p*-CH₃).

4: Eine Lösung von 0.15 g (0.1 mmol) **3** in ca. 10 mL Toluol wurde bei 0 °C über mehrere Stunden mit 11 mL trockener Luft in Portionen von 2 mL behandelt (ca. 0.1 mmol O₂). Die dann rote Lösung wurde auf ca. 1–2 mL eingeeengt und 3 d auf -20 °C gekühlt, wobei sich kleine, hellorangefarbene Kristalle bildeten, die mit *n*-Hexan (2 mL) gewaschen und im Vakuum getrocknet wurden. Ausbeute: 50 mg (33%). Kristalle, die für eine Röntgenstrukturanalyse geeignet waren, wurden aus einer konzentrierten Benzollösung bei 6 °C gezüchtet; Schmp. 210–212 °C (Zers.). ¹H-NMR (C₇D₈): δ = 7.04 (s; *m*-H), 6.95 (s; *m*-H), 3.03 (sept, ³*J* = 6.6 Hz; *o*-CH), 2.77 (sept, ³*J* = 6.6 Hz; *o*/*p*-CH), 1.48 (d, ³*J* = 6.6 Hz; *o*-CH₃), 1.25 (d, ³*J* = 6.6 Hz; *o*-CH₃), 1.23 (d, ³*J* = 6.6 Hz; *p*-CH₃), 0.97 (d, ³*J* = 6.6 Hz; *o*-CH₃), 0.60 (d, ³*J* = 6.6 Hz; *o*-CH₃); UV/Vis (*n*-Hexan): λ (ϵ) = 348 nm (1200).

Eingegangen am 30. Juni 1998 [Z12073]

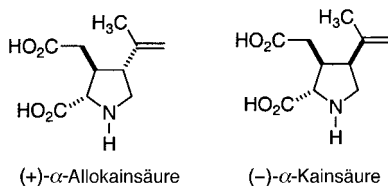
Stichwörter: Gallium · Mehrfachbindungen · π -Wechselwirkungen

- [1] a) X. He, R. A. Bartlett, M. M. Olmstead, K. Ruhlandt-Senge, B. E. Sturgeon, P. P. Power, *Angew. Chem.* **1993**, 105, 761; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1993**, 32, 717; b) ähnliche Reduktionen zu den Anionen $[R_2MMR_2]^-$ ($R = CH(SiMe_3)_2$; $M = Al$ oder Ga) und $[TripAlATrip]^-$: C. Pluta, K.-R. Pörschke, C. Krüger, K. Hildenbrand, *Angew. Chem.* **1993**, 105, 451; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1993**, 32, 388; c) W. Uhl, A. Vester, W. Kaim, J. Poppe, *J. Organomet. Chem.* **1993**, 454, 9; d) W. Uhl, U. Schutz, W. Kaim, E. Waldhör, *J. Organomet. Chem.* **1995**, 501, 79; e) R. J. Wehmschulte, K. Ruhlandt-Senge, M. M. Olmstead, H. Hope, B. E. Sturgeon, P. P. Power, *Inorg. Chem.* **1993**, 32, 2983.
- [2] a) W. Uhl, A. Vester, D. Fenske, G. Baum, *J. Organomet. Chem.* **1994**, 464, 23; b) W. Uhl, R. Gerding, A. Vester, *J. Organomet. Chem.* **1996**, 513, 163; c) W. Uhl, *Coord. Chem. Rev.* **1997**, 163, 132.
- [3] Kristallstrukturanalysen: Datensammlung auf einem Syntex-P2₁- ($3 \cdot 3 C_6H_6$) oder Siemens-P4-RA-Diffraktometer (**4**) bei 130 K; $Cu_{K\alpha}$ ($\lambda = 1.54178 \text{ \AA}$). **3**: $3 C_6H_6$; $C_{108}H_{156}Ga_4Na_2$, $M_r = 1779.2$, $a = 13.203(3)$, $b = 30.381(6)$, $c = 25.928(5) \text{ \AA}$, $\beta = 103.26(3)^\circ$, $V = 10.123(3) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$, Raumgruppe $P2_1/n$, $R_1 = 0.057$ für 9826 ($I > 2\sigma(I)$); **4**: $C_{90}H_{138}Ga_4$, $M_r = 1498.9$, $a = 23.577(5)$, $b = 14.672(3)$, $c = 24.513(4) \text{ \AA}$, $\beta = 91.09(2)^\circ$, $V = 8478(3) \text{ \AA}^3$, $Z = 4$, Raumgruppe $P2/c$, $R_1 = 0.121$ für 7384 ($I > 2\sigma(I)$). Die kristallographischen Daten (ohne Strukturaktoren) der in dieser Veröffentlichung beschriebenen Strukturen wurden als „supplementary publication no. CCDC-102712, CCDC-102713“ 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).
- [4] Eine vereinfachte Analyse der π -Orbitale, unter der Annahme von ungefährender D_3 -Symmetrie für das Ga_4 -Gerüst, ergibt zwei MOs (ein bindendes und ein antibindendes) mit A_2 -Symmetrie und zwei entartete, nichtbindende Orbitale mit E -Symmetrie. In **3** ist das bindende A_2 -Orbital mit einem Elektronenpaar besetzt, in **4** ist es unbesetzt.
- [5] X.-W. Li, W. T. Pennington, G. H. Robinson, *J. Am. Chem. Soc.* **1995**, 117, 7578; X.-W. Li, Y. Xie, K. D. Gripper, R. C. Crittendon, C. F. Campana, H. F. Schaefer III, G. H. Robinson, *Organometallics* **1996**, 15, 3798.
- [6] F. A. Cotton, A. H. Cowley, X. Feng, *J. Am. Chem. Soc.* **1998**, 120, 1795.
- [7] P. J. Brothers, P. P. Power, *Adv. Organomet. Chem.* **1996**, 39, 1.
- [8] P. J. Brothers, K. Hübler, U. Hübler, B. C. Noll, M. M. Olmstead, P. P. Power, *Angew. Chem.* **1996**, 108, 2528; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1996**, 35, 2355.
- [9] N. Wiberg, K. Amelunxen, H. Nöth, H. Schwenk, W. Kaim, A. Klein, T. Scheiring, *Angew. Chem.* **1997**, 109, 1258; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1997**, 36, 1213.
- [10] D. Kost, E. H. Carlson, M. Raban, *Chem. Commun.* **1971**, 656.
- [11] Rechnungen zu verwandten Li-Aryl- π -Wechselwirkungen ergaben, daß diese bis zu 21 kcal mol^{-1} betragen können: M. Tacke, *Eur. J. Inorg. Chem.* **1998**, 537.

Nickel- und Palladiumkatalyse bei der stereoselektiven Synthese funktionalisierter Pyrrolidine: enantioselektive formale Synthese von (+)- α -Allokainsäure**

Maxim V. Chevliakov und John Montgomery*

(+)- α -Allokainsäure und (–)- α -Kainsäure sind Verbindungen aus der kainoiden Familie neuroexzitatorischer Aminosäuren, die als konformativ eingeschränkte Glutamatanaloga biologisch wirksam sind (Schema 1).^[1] Nach ausgedehnten Struktur-Aktivitäts-Untersuchungen ist die C4-Isopropylgruppe die entscheidende Substruktur, an der Abwandlungen



Schema 1. Kainoide Naturstoffe.

ohne Verlust der neuroexzitatorischen Aktivität möglich sind.^[2] Angesichts der pharmakologischen Bedeutung dieser Naturstoffe begannen wir damit, einen synthetischen Einstieg zu ihnen zu entwickeln, der auch auf einer späteren Synthesestufe noch leicht Änderungen des C4-Substituenten gestattet und der den Zugang sowohl zur Kainsäure- als auch zur Allokainsäure-Konfiguration ermöglicht.^[3] Wir berichten hier über unsere ersten Untersuchungen auf diesem Gebiet mit der direkten und hochstereoselektiven formalen Totalsynthese der (+)- α -Allokainsäure. Unsere Strategie verwendet zwei Metallkatalysen als Schlüsselschritte: die nickelkatalysierte Cyclisierung eines Alkinylenon-Derivats von D-Serin mit Trimethylaluminium und eine palladiumkatalysierte reduktive Allyl-Carbonat-Verschiebung (Schema 2).

D-Serin-Methylester (D-Ser-OMe) wurde in rationeller und einfacher Weise zum Cyclisierungssubstrat **4** umgesetzt (Schema 2): Die Kondensation von D-Ser-OMe mit Triphosgen^[4] und die nachfolgende N-Propargylierung mit dem Iodid **1** und KHMDS lieferten **2** in 49 % Ausbeute über beide Stufen. Die chemoselektive Reduktion der Estergruppe mit $NaBH_4$,^[5] Swern-Oxidation und Wittig-Olefinierung mit dem Tetrahydrooxazolone **3** lieferten **4** (74 % aus **2**).

Die Cyclisierung von **4** mit $MeLi/ZnCl_2$ und 10 Mol-% $[Ni(cod)_2]$ unter bewährten Bedingungen^[7,8] verlief zwar mit hohen Ausbeuten, jedoch mit nur mäßigen Diastereoselektivitäten (ca. 3:1). Käufliches Trimethylaluminium oder

[*] Prof. J. Montgomery, M. V. Chevliakov
Department of Chemistry, Wayne State University
Detroit, MI 48202-3489 (USA)
Fax: (+1) 313-577-1377
E-Mail: jwm@chem.wayne.edu

[**] Diese Arbeit wurde von den National Institutes of Health gefördert. J.M. dankt für ein National Science Foundation CAREER Award, einen Camille Dreyfus Teacher-Scholar Award und einen 3M Pharmaceuticals New Faculty Award. M.V.C. dankt für einen Graduate Research Assistantship Award der Wayne State University. Die Autoren danken Hélène Fain für hilfreiche Diskussionen.