

2,3-Dihydrothiazol-2-yliden

Günther Maier,* Jörg Endres und
Hans Peter Reisenauer

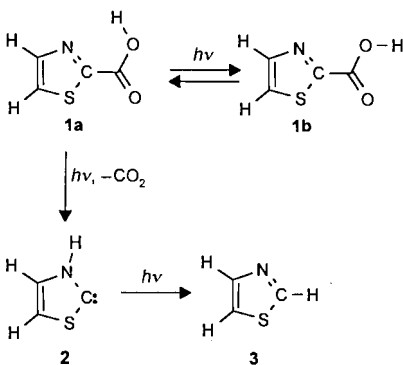
Professor Peter Welzel zum 60. Geburtstag gewidmet

Will man unter Normalbedingungen nicht faßbare Substanzen untersuchen, gibt es dazu vor allem zwei Wege: Entweder erhöht man durch sterisch anspruchsvolle Substituenten ihre kinetische Stabilität, oder man greift auf die Matrixisolation zurück. Die erstgenannte Methode ist bei nucleophilen Carbenen von Arduengo et al.^[1a, c] bereits mit großem Erfolg angewandt worden, wobei sich aber nachträglich ergeben hat, daß zumindest bei den „Imidazolyliiden“ die sterische Hinderung von untergeordneter Bedeutung ist.^[1b] Das zweite Verfahren, welches sogar geeignet sein sollte, die unsubstituierten Stammverbindungen zu fassen und die experimentellen Ergebnisse mit quantenchemischen Rechnungen zu vergleichen, war bei dieser Verbindungsklasse bisher nicht eingesetzt worden.

Als Zielmolekül haben wir das 2,3-Dihydrothiazol-2-yliden **2** ausgesucht. Zum einen ist dieses Ringsystem exemplarisch für die nucleophilen Carbene, ist es doch – wie Breslow^[2] schon vor fast vierzig Jahren gezeigt hat – das für die Wirkung von Vitamin B₁ verantwortliche Strukturelement.^[3] Hinzu kommt, daß die katalytische Aktivität des Systems Thiazoliumsals/2,3-Dihydrothiazol-2-yliden auch von technischem Interesse ist.^[4] Zum anderen haben bei der derzeitigen Renaissance der nucleophilen Carbene^[5] 2,3-Dihydrothiazol-2-ylidene nur eine untergeordnete Rolle gespielt. So sind die neuen stabilen Carbene vom Wanzlick/Arduengo-Typ Derivate des Imidazols^[1a, b], Imidazolins^[1c] oder 1,2,4-Triazols.^[6] Erst in diesem Jahr haben Arduengo et al.^[7] auch über die Synthese eines stabilen Dihydrothiazol-2-yliden-Derivats berichtet.

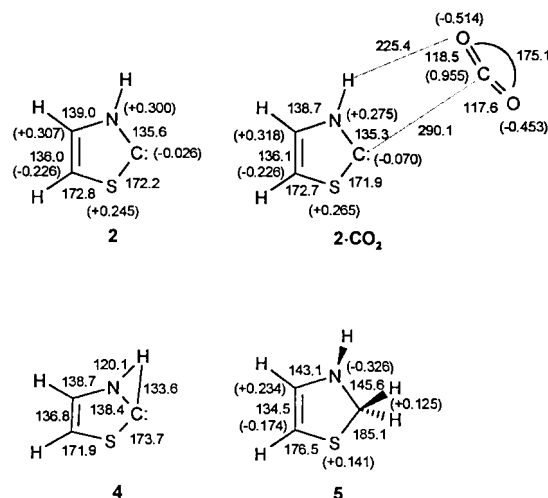
Für die Matrixisolation des unsubstituierten 2,3-Dihydrothiazol-2-ylidens **2** sind die gängigen Methoden zur Darstellung nucleophiler Carbene (Deprotonierung der entsprechenden H-Salze) nicht geeignet. Besonders günstig wäre eine Vorstufe, aus der sich **2** durch Bestrahlung direkt in der Matrix erzeugen ließe. Eine solche Substanz ist die Thiazol-2-carbonsäure **1**.^[8] Wie ein Vergleich des experimentellen IR-Spektrums von matrixisolierter Säure **1** mit berechneten [BLYP/6-31G(d)] IR-Spektren zeigt, liegt **1** als Gemisch der beiden Rotamere **1a** und **1b** vor. Gemäß den Rechnungen^[9] ist **1a** um 1.0 kcal mol⁻¹ gegenüber **1b** bevorzugt. Dementsprechend sind auch im experimentellen Spektrum die Banden von **1a** deutlich intensiver.

Rechnungen geben auch Auskunft über die elektronischen und geometrischen Eigenschaften des Zielmoleküls **2** selbst, so-



[*] Prof. Dr. G. Maier, Dipl.-Chem. J. Endres, Dr. H. P. Reisenauer
Institut für Organische Chemie der Universität
Heinrich-Buff-Ring 58, D-35392 Gießen
Telefax: Int. + 641/99-34309

wie über die Chance, dieses in einer Matrix isolieren zu können. Zwar ist Carben **2** um 34.0 kcal mol⁻¹ [MP4SDTQ(fc)/6-31G(d)//MP2(fc)/6-31G(d)-Rechnung] instabiler als das isomere Thiazol **3**, beim Übergang **2** → **3** via Übergangszustand **4** sind aber immerhin 42.3 kcal mol⁻¹ zu überwinden. Wie das von Apeloig, Schwarz et al.^[10] theoretisch intensiv analysierte 2,3-Dihydroimidazol-2-yliden ist auch **2** planar. Im Gegensatz dazu ist im 2,3-Dihydrothiazol **5** das Stickstoffzentrum pyramidalisiert. Die für **2** berechneten Abstände und Ladungen (Schema 1) sprechen für einen partiellen „aromatischen“ Charakter



Schema 1. Berechnete [MP2(fc)/6-31G(d)] Abstände [pm] und Ladungen (nach Mulliken, Ladungen der H-Atome sind in die Ladungen der Schweratome einbezogen) von Carben **2** (C₁), Komplex **2** · CO₂ (C₁), Übergangszustand **4** (C₁) und Dihydrothiazol **5** (C₁).

(die C=C-Bindung in **2** ist länger als die in **5**, die anderen Ringbindungen sind in **2** kürzer als in **5**; das Carben-Kohlenstoffatom trägt mehr negative, das Stickstoff- wie das Schwefelatom mehr positive Ladung) und stimmen in ihrer Tendenz, zumindest was das Segment N-C-S angeht, mit den von Arduengo et al. bei hochsubstituierten Derivaten gefundenen Werten^[7] überein.

Wird das Gemisch **1a/1b** in einer Argon-Matrix bei 10 K kurz (5–20 min) mit Licht der Wellenlänge 254 nm bestrahlt, so nehmen die Bandenintensitäten von **1b** zu, während die von **1a** geringer werden. Bei längerer Bestrahlung (2 h) entsteht unter Abspaltung von CO₂ (starke Bande bei $\tilde{\nu}$ = 2332.6 cm⁻¹) eine neue Verbindung, die wegen einer intensiven Absorption bei 3410.9 cm⁻¹ eine N-H-Gruppierung enthalten muß (Tabelle 1). Bei Verwendung von deuteriertem **1** (CO₂D) wird die Bande wie erwartet nach 2521.9 cm⁻¹ verschoben (Tabelle 2). Allein diese Beobachtungen lassen wenig Zweifel daran, daß aus **1** durch CO₂-Eliminierung das gesuchte Dihydrothiazol-2-yliden **2** entstanden ist. Bei weiterer Bestrahlung mit Licht der Wellenlänge 250–420 nm (insgesamt 70 h) nehmen die Absorptionen von **2** wieder ab. Gleichzeitig entstehen die bekannten Banden von Thiazol **3**. Die Photoisomerisierung **2** → **3** erlaubt es, das in Abbildung 1a dargestellte Differenzspektrum anzugeben. Die Gegenüberstellung mit dem MP2(fc)/6-31G(d)-berechneten IR-Spektrum von **2** (Abb. 1c) zeigt oberhalb von 700 cm⁻¹ eine gute Übereinstimmung im Rahmen der für dieses Rechenverfahren üblichen Abweichung von ca. 5%. Im Bereich zwischen 700 und 500 cm⁻¹ beobachten wir im Gegensatz zum berechneten Spektrum, das hier keine intensiven Banden erwarten läßt, drei recht starke Absorptionen. Ihre Deutung hat ein Experiment mit dem ¹³COOH-markierten Edukt **1** erbracht. Nach der Photospaltung sollte die Markierung ausschließlich im CO₂-

Tabelle 1. Beobachtete IR-Absorptionen (Argon-Matrix, 10 K; relative Intensitäten in Klammern) von 2,3-Dihydrothiazol-2-yliden ($2 \cdot \text{CO}_2$) und berechnetes [MP2(fc)/6-31G(d)] Schwingungsspektrum von $2 \cdot \text{CO}_2$. Die fünf Schwingungen bei Wellenzahlen unter 200 cm^{-1} sind nicht aufgeführt.

			$\tilde{\nu}_{\text{exp}}/\text{cm}^{-1}$ (I_{exp}) [a]	$\tilde{\nu}_{\text{ber}}/\text{cm}^{-1}$ (I_{ber}) [b]
ν_1	A'	NH str.	3410.9 (81)	3594 (100)
			^{13}C : 3410.9	^{13}C : 3594
ν_2	A'	CH str.	—	3327 (1)
			—	^{13}C : 3327
ν_3	A'	CH str.	—	3296 (2)
			—	^{13}C : 3296
ν_4	A'	CO_2 str.	2332.6	2442
			^{13}C : 2275.2	^{13}C : 2372
ν_5	A'	NCC str.	1572.8 (9)	1583 (14)
			—	^{13}C : 1583
ν_6	A'	NH (ip) bend.	1389.7 (58)	1449 (40)
			^{13}C : 1389.2	^{13}C : 1449
ν_7	A'	NC str. +	1301.1 (7)	1359 (7)
		NH (ip) bend.	^{13}C : 1300.7	^{13}C : 1359
ν_8	A'	CO_2 str.	—	1332 (3)
			—	^{13}C : 1332
ν_9	A'	NC str. +	1208.3 (20)	1289 (37)
		NH (ip) bend.	^{13}C : 1208.4	^{13}C : 1289
ν_{10}	A'	CH (ip) bend.	1118.8 (7)	1136 (3)
			—	^{13}C : 1136
ν_{11}	A'	ring (ip) bend.	1029.6 (8)	1092 (7)
			^{13}C : 1030.6	^{13}C : 1092
ν_{12}	A'	ring (ip) bend.	876.5 (3)	908 (4)
			^{13}C : 876.3	^{13}C : 907
ν_{13}	A'	ring (ip) bend.	833.8 (9)	875 (18)
			^{13}C : 834.1	^{13}C : 875
ν_{20}	A''	NH (oop) bend.	751.5 (100)	831 (90)
			^{13}C : 750.9	^{13}C : 831
ν_{21}	A''	CH (oop) bend.	—	810 (4)
			—	^{13}C : 810
ν_{14}	A'	CS str.	—	756 (3)
			—	^{13}C : 756
ν_{22}	A''	CH (oop) bend.	716.8 (95)	723 (57)
			^{13}C : 716.1	^{13}C : 723
ν_{23}	A''	CO_2 (oop) bend.	666.1 (28)	642 (23)
			^{13}C : 646.8	^{13}C : 623
ν_{15}	A'	ring (ip) bend. +	626.4 (47)	639 (10)
		CO_2 (ip) bend.	^{13}C : 622.5	^{13}C : 639
ν_{16}	A'	CO_2 (ip) bend.	614.8 (42)	599 (98)
			^{13}C : 601.4	^{13}C : 584
ν_{24}	A''	ring (oop) bend.	—	589 (3)
			—	^{13}C : 589
ν_{25}	A''	ring (oop) bend.	473.4 (3)	483 (9)
			—	^{13}C : 483

[a] Normiert auf die Bande bei 751.5 cm^{-1} . [b] Normiert auf die Bande bei 3594 cm^{-1} .

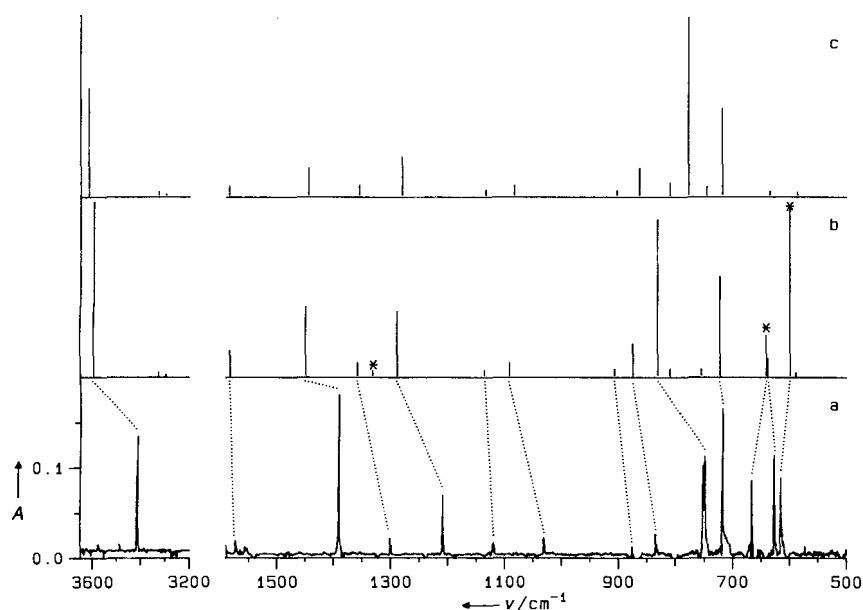


Abb. 1. Berechnete [MP2(fc)/6-31G(d)] Spektren und experimentelles IR-Spektrum von 2,3-Dihydrothiazol-2-yliden **2**. a) Differenzspektrum (Argon-Matrix, 10 K) der photochemischen Umwandlung von **2** \rightarrow **3**; b) berechnetes Spektrum von Komplex $2 \cdot \text{CO}_2$ (CO_2 -Banden sind mit einem Stern markiert); c) berechnetes Spektrum von unkomplexiertem Carben **2**.

Tabelle 2. Beobachtete IR-Absorptionen (Argon-Matrix, 10 K; relative Intensitäten in Klammern) von deuteriertem 2,3-Dihydrothiazol-2-yliden ($[\text{D}_1]\text{2} \cdot \text{CO}_2$) und berechnetes [MP2(fc)/6-31G(d)] Schwingungsspektrum von $[\text{D}_1]\text{2} \cdot \text{CO}_2$. Die fünf Schwingungen bei Wellenzahlen unter 200 cm^{-1} sind nicht aufgeführt.

			$\tilde{\nu}_{\text{exp}}/\text{cm}^{-1}$	$\tilde{\nu}_{\text{ber}}/\text{cm}^{-1}$
ν_1	A'	CH str.	—	3327
ν_2	A'	CH str.	—	3296
ν_3	A'	ND str.	2521.9	2638
ν_4	A'	CO_2 str.	2341.7	2441
ν_5	A'	NCC str.	—	1564
ν_6	A'	CNC str.	1293.9	1378
ν_7	A'	CH (ip) bend.	1284.1	1353
ν_8	A'	CO_2 str.	—	1332
ν_9	A'	CH (ip) bend.	1093.1	1141
ν_{10}	A'	CH (ip) bend.	1069.3	1122
ν_{11}	A'	ND (ip) bend.	933.2	980
ν_{12}	A'	ring (ip) bend.	868.4	900
ν_{13}	A'	ring (ip) bend.	816.7	858
ν_{20}	A''	CH (oop) bend.	—	811
ν_{14}	A'	CS (ip) bend.	—	747
ν_{21}	A''	CH (oop) bend.	716.9	723
ν_{22}	A''	CO_2 (oop) bend. +	666.1	642
		ND (oop) bend.	—	—
ν_{15}	A'	ring (ip) bend. +	625.6	637
		CO_2 (ip) bend.	—	—
ν_{23}	A''	ND (oop) bend.	586.9	625
ν_{16}	A'	CO_2 (ip) bend.	613.5	600
ν_{24}	A''	ring (oop) bend.	542.6	574
ν_{25}	A''	ring (oop) bend.	473.2	482

Fragment enthalten sein und zu entsprechenden Verschiebungen der zugehörigen Banden führen. Der Versuch zeigte, daß alle Banden oberhalb von 700 cm^{-1} keine Isotopenverschiebung aufweisen. Zwei der fraglichen drei Banden unterhalb von 700 cm^{-1} zeigen eine deutliche Verschiebung um 19.3 bzw. 13.4 cm^{-1} zu kleineren Wellenzahlen. Es muß sich also um CO_2 -Beugeschwingungen handeln. Die dritte Bande bleibt aber fast lagekonstant (Verschiebung um 4 cm^{-1}). Sie rührt wahrscheinlich von einer Ringschwingung her, die geringfügig mit einer CO_2 -Beugeschwingung gekoppelt ist. Das CO_2 , das nach der Photolyse im gleichen Matrixkäfig mit **2** verbleibt, liegt demnach komplexiert mit **2** vor. Deshalb spaltet das im freien CO_2 doppelt entartete Energieniveau der Beugeschwingung auf, und wir beobachten anstelle einer Bande zwei: Eine In-plane- (666.1 cm^{-1}) und eine Out-of-plane-Schwingung (614.8 cm^{-1}).

Die Wechselwirkung von CO_2 mit **2** ist offensichtlich stärker, als die mit dem im weiteren Belichtungsverlauf entstehenden Thiazol **3**. Liegt vollständig Thiazol **3** vor, ist nur eine verbreiterte Bande für die CO_2 -Beugeschwingung (662.2 cm^{-1}) zu registrieren. Rechnerisch [MP2(fc)/6-31G(d)] läßt sich ein CO_2 -Komplex von **2** mit der in Schema 1 dargestellten Geometrie finden. Das für $2 \cdot \text{CO}_2$ berechnete IR-Spektrum (Abb. 1b) gibt das Bandenmuster oberhalb von 700 cm^{-1} , die Aufspaltung der CO_2 -Beugeschwingung und auch die ^{13}C -Ver-

schiebungen zufriedenstellend wieder. Die Orientierung des CO_2 -Liganden an **2** ist sowohl das Resultat einer H-Brücke als auch einer Wechselwirkung zwischen dem nucleophilen Carben-Kohlenstoffatom und dem positivierten Kohlenstoffatom des Kohlendioxids. Die Stabilisierungsenergie beträgt laut Rechnung $5.9 \text{ kcal mol}^{-1}$. Der Komplex **2** $\cdot \text{CO}_2$ kann als Modell für die bekannte katalytische Wirkungsweise von 2,3-Dihydrothiazol-2-ylidenen bei Benzoinkondensationen aliphatischer Aldehyde angesehen werden, offenbart er doch sowohl die nucleophilen als auch die elektrophilen Eigenschaften von **2**.

Die thermische Decarboxylierung von Thiazolcarbonsäure **1** unter Bildung von Thiazol **3** ist schon lange bekannt.^[11, 12] Angesichts der berechneten, relativ hohen Aktivierungsenergie für die Umwandlung von **2** in **3** könnte auch durch Blitzthermolyse von **1a** erzeugtes Carben **2** genügend langlebig sein, um nach sofortigem Abschrecken in einer Matrix isoliert werden zu können. Bei entsprechenden Versuchen haben wir aber nur das stabile Endprodukt **3** gefunden. Dennoch ist davon auszugehen, daß primär das Carben **2** entstanden ist. Wir prüfen zur Zeit, ob sich die für **2** gefundene Synthese auf andere heterocyclische Carbonsäuren übertragen läßt.^[13]

In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, daß photochemisch gewonnenes 2,3-Dihydrothiazol-2-yliden **2** schon beim Aufwärmen der Matrix auf 60 K, wobei das Argon vollständig verdampft, in Thiazol **3** übergeht. Es ist davon auszugehen, daß unter diesen Bedingungen die Isomerisierung **2** \rightarrow **3** nicht intramolekular über Übergangszustand **4** ($E_A = 42.3 \text{ kcal mol}^{-1}$), sondern durch eine intermolekulare Wasserstoff-Übertragung zwischen zwei Molekülen von **2** erfolgt.

Eingegangen am 27. Januar 1997 [Z 10035]

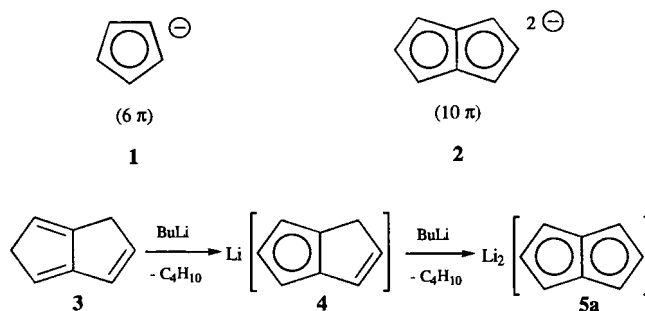
Stichworte: Carbene • Decarboxylierungen • Heterocyclen • Matrixisolation • Photochemie

- [1] a) A. J. Arduengo III, R. L. Harlow, M. Kline, *J. Am. Chem. Soc.* **1991**, *113*, 361–363; b) A. J. Arduengo III, H. V. R. Dias, R. L. Harlow, M. Kline, *ibid.* **1992**, *114*, 5530–5534; c) A. J. Arduengo III, J. R. Goerlich, W. J. Marshall, *ibid.* **1995**, *117*, 11027–11028.
- [2] R. Breslow, *J. Am. Chem. Soc.* **1958**, *80*, 3719–3726.
- [3] Zusammenfassung: R. Kluger, *Chem. Rev.* **1987**, *87*, 863–876.
- [4] J. H. Teles, J.-P. Melder, K. Ebel, R. Schneider, E. Gehr, W. Harder, S. Brode, D. Enders, K. Breuer, G. Raabe, *Helv. Chim. Acta* **1996**, *79*, 61–83. Wir danken Dr. Teles, Ludwigshafen, für Anregungen und Diskussionen.
- [5] Zusammenfassungen über nucleophile Carbene: a) H.-W. Wanzlick, *Angew. Chem.* **1962**, *74*, 129–134; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1962**, *1*, 75–80; b) M. Regitz, *ibid.* **1991**, *103*, 691–693 bzw. **1991**, *30*, 674–676; *ibid.* **1996**, *108*, 791–794 bzw. **1996**, *35*, 725–728; c) C. Köcher, W. A. Herrmann, *ibid.* **1997**, *109*, im Druck bzw. **1997**, *36*, im Druck; d) siehe auch Lit. [6, 7].
- [6] D. Enders, K. Breuer, G. Raabe, J. Runsik, J. H. Teles, J.-P. Melder, K. Ebel, S. Brode, *Angew. Chem.* **1995**, *107*, 1119–1121; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1995**, *34*, 1021–1023.
- [7] A. J. Arduengo III, J. R. Goerlich, W. J. Marshall, *Liebigs Ann./Reueil* **1997**, 365–374; dort auch Zusammenfassung über 2,3-Dihydrothiazol-2-ylidene. Wir danken Dr. Arduengo für die Zusendung des Manuskripts dieser Publikation.
- [8] Darstellung: P. E. Iversen, *Acta Chem. Scand.* **1968**, *22*, 694–695.
- [9] Gaussian 94, Revision B.1.: 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, USA **1995**.
- [10] C. Heinemann, T. Müller, Y. Apeloig, H. Schwarz, *J. Am. Chem. Soc.* **1996**, *118*, 2023–2038, zit. Lit.
- [11] H. Erlenmeyer, C. J. Morel, *Helv. Chim. Acta* **1942**, *25*, 1073–1077.
- [12] H. Schenkel, M. Schenkel-Rudin, *Helv. Chim. Acta* **1948**, *31*, 924–929.
- [13] Anmerkung bei der Korrektur (eingegangen am 16. April 1997): Inzwischen ist gezeigt worden, daß **2** auch in der Gasphase erzeugt und massenspektrometrisch identifiziert werden kann (G. A. McGibbon, J. Hruscaronak, D. J. Lavarato, H. Schwarz, J. K. Terlouw, *Chem. Eur. J.* **1997**, *3*, 232–236).

An ein einzelnes Metallatom η^8 -koordiniertes Pentalen am Beispiel einkerniger Vanadiumkomplexe – ein neuer Koordinationstyp in der Organometallchemie

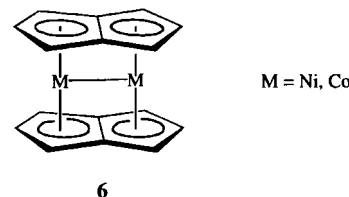
Klaus Jonas,* Barbara Gabor, Richard Mynott, Klaus Angermund, Oliver Heinemann und Carl Krüger

Zwischen der Entdeckung des Cyclopentadienid-Anions **1** durch Thiele^[1] und der Entdeckung des sich aus zwei fünfgliedrigen Kohlenstoffringen aufbauenden, bicyclischen Pentalen-Dianions **2** liegt eine Zeitspanne von sechs Jahrzehnten. 1962 stellten Katz et al. das Dianion **2** in Form seines Dilithiumsalzes **5a** durch doppelte Deprotonierung des 1,5-Dihydropentalens **3**^[2, 3, 4a] mit Butyllithium her (Schema 1).^[4] In diese Zeit fällt



Schema 1. Bildung des Pentalen-Dianions durch doppelte Deprotonierung von 1,5-Dihydropentalen.

auch die Synthese der ersten Pentalen-Übergangsmetall-Komplexe. Das aus FeCl_2 und $\text{Li}[\text{C}_8\text{H}_7]$ **4** synthetisierte Ferrocenderivat Bis(dihydropentalenyl)eisen kann nach Katz et al. durch Metallierung mit *tert*-Butyllithium in das anionische Ferrocenderivat $\text{Li}[(\text{C}_8\text{H}_6)\text{Fe}(\text{C}_8\text{H}_7)]$ sowie in $\text{Li}_2[(\text{C}_8\text{H}_6)_2\text{Fe}]$ überführt werden.^[5] Die Reaktion von $[\text{NiCl}_2(\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_4\text{OCH}_3)_2]$ sowie von CoCl_2 mit **5a** liefert hingegen zweikernige Übergangsmetallkomplexe der Zusammensetzung $[(\text{C}_8\text{H}_6)_2\text{M}_2]$ ($\text{M} = \text{Ni}, \text{Co}$; Ausbeuten 4–10%), für die eine Zweikern-Sandwichstruktur gemäß **6** vorgeschlagen wurde (Schema 2).^[6]



Schema 2. Vorgeschlagene Struktur für $[(\text{C}_8\text{H}_6)_2\text{Ni}_2]$ und $[(\text{C}_8\text{H}_6)_2\text{Co}_2]$.

In ihrer Struktur durch Einkristall-Röntgenstrukturanalyse abgesichert sind der aus **5a** und Allylnickelchlorid erhältliche Dinickelkomplex $[(\mu\text{-C}_8\text{H}_6)\{\text{Ni}(\text{C}_3\text{H}_5)\}_2]$ ^[7] sowie die aus **5a** und $[\text{Cp}^*\text{M}(\text{acac})]$ ($\text{M} = \text{Fe}, \text{Co}$; $\text{acac} = \text{Acetylacetonat}$) hergestellten Zweikernkomplexe $[(\mu\text{-C}_8\text{H}_6)(\text{CoCp}^*)_2]$ und $[(\mu\text{-C}_8\text{H}_6)$

[*] Prof. Dr. K. Jonas, B. Gabor, Dr. R. Mynott, Dr. K. Angermund, Dr. O. Heinemann, Prof. Dr. C. Krüger
Max-Planck-Institut für Kohlenforschung
Kaiser-Wilhelm-Platz 1, D-45470 Mülheim an der Ruhr
Telefax: Int. + 208/306-2980
E-mail: jonas@mpi-muelheim.mpg.de