

Nach den zwischen  $+50^{\circ}\text{C}$  und  $-100^{\circ}\text{C}$  gemessenen  $^1\text{H-NMR}$ -Spektren liegt **1** als fixiertes Norcaradien-**1a** und **3** als Cycloheptatrien-Derivat **3c** vor. **2** besteht aus einem Gemisch von **2a**, **2b** und **2c** (Gleichgewichtsverhältnis bei  $-90^{\circ}\text{C}$  52:41:7); bei Raumtemperatur ist die Gleichgewichtseinstellung  $\mathbf{2a} \rightleftharpoons \mathbf{2c} \rightleftharpoons \mathbf{2b}$  bezüglich der NMR-Zeitskala schnell ( $\Delta G^+$ -Werte zwischen 10 und 14 kcal/mol). Die spektroskopische Zuordnung wird durch die Folgereaktionen von **1**, **2** und **3** bestätigt. Die Hydrolyse der Enoletherfunktionen von **1** führt nur zurück zu **8**. Aus **2** und **3** erhält man dagegen nur die aus **2c** und **3c** gebildeten, offenen Diketone **7** bzw. **10**. Im Norcaradien **1a** findet demnach weder unter den Bildungs- noch Hydrolysebedingungen die in den anderen Systemen **2a** und **3a** rasche Valenzisomerisierung statt. Dies beruht auf dem destabilisierenden Effekt des im Cycloheptatrien-Derivat **1c** anellierten Cyclobutadienrings.

Eingegangen am 5. Juni 1981 [Z 975a]

Das vollständige Manuskript dieser Zuschrift erscheint in:  
*Angew. Chem. Suppl.* 1982, 331–337

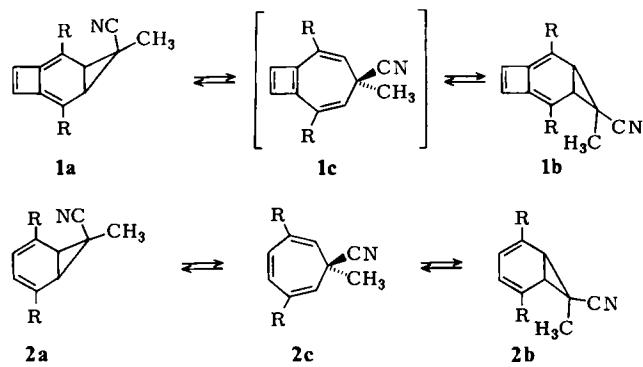
- [1] Übersicht: T. Bally, S. Masamune, *Tetrahedron* 36 (1980) 343.  
[3] F.-G. Klärner, S. Yaslak, M. Wette, *Chem. Ber.* 110 (1977) 107.  
[5] G. Simchen, W. Kober, *Synthesis* 1976, 259.

### Zum Problem der Antiaromatizität von 1,3-Cyclobutadien: Thermische Valenzisomerisierung des Tricyclo[5.2.0.0<sup>3,5</sup>]nona-1,6,8-trien-Systems\*\*

Von Frank-Gerrit Klärner\*, Eckhart K. G. Schmidt,  
Mahmoud A. Abdel Rahman und Herbert Kollmar

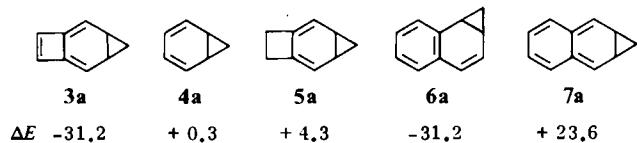
Ein Kriterium der Antiaromatizität ist die negative Resonanzenergie. Für Cyclobutadien wurden Werte zwischen 0 und  $-33$  kcal/mol berechnet<sup>[2a]</sup>; die aus Experimenten abgeleiteten Daten differieren zwischen  $-11$  und  $-16$  kcal/mol<sup>[2c]</sup>. Wir berichten über die negative Resonanzenergie des Cyclobutadiens, die sich aus einer Studie der Gleichgewichte  $\mathbf{1a} \rightleftharpoons \mathbf{1c} \rightleftharpoons \mathbf{1b}$  und  $\mathbf{2a} \rightleftharpoons \mathbf{2b} \rightleftharpoons \mathbf{2c}$  ergibt. Das Norcaradien-Derivat **1a** lagert sich – anders als **2a**<sup>[4]</sup> – erst beim Erhitzen ( $60^{\circ}\text{C}$ ) in das Diastereoisomer **1b** bis zum Gleichgewichtsverhältnis (70:30) um. Die für die Isomerisierung  $\mathbf{1a} \rightleftharpoons \mathbf{1b}$   $^1\text{H-NMR}$ -spektroskopisch ermittelten Aktivierungsparameter geben noch keine direkte Information über die Lage der Gleichgewichte  $\mathbf{1a} \rightleftharpoons \mathbf{1c}$  und  $\mathbf{1b} \rightleftharpoons \mathbf{1c}$ . Für die gleichartigen Valenzisomerisierungen  $\mathbf{1c} \rightarrow \mathbf{1a}$  und  $\mathbf{1c} \rightarrow \mathbf{1b}$  sowie  $\mathbf{2c} \rightarrow \mathbf{2a}$  und  $\mathbf{2c} \rightarrow \mathbf{2b}$  können in 1. Näherung ähnliche Aktivierungsbarrieren angenommen werden. Aus den in Schema 1 angegebenen kinetischen Daten kann man dann abschätzen, daß die Norcaradiene **1a** und **1b** um jeweils ca. 14 kcal/mol stabiler sind als das Cycloheptatrien-Derivat **1c**.

Um daraus die Antiaromatizität des unsubstituierten Cyclobutadiens zu ermitteln, müssen noch die Effekte der in **1a** bzw. **1b** und in **1c** auftretenden konjugierten Systeme (3,4-Dimethylcyclobuten und 1,2-Divinylcyclobutadien) berücksichtigt werden. Nach einer ab-initio-SCF-Berechnung (5.2/2, minimale Basis)<sup>[2a,b]</sup> hat das 3,4-Dimethylcyclobuten eine geringe negative Resonanzenergie ( $-2.7$  kcal/mol), während das 1,2-Divinylcyclobutadien durch Resonanz um ca. 4 kcal/mol im Vergleich zu den Komponenten Cyclobutadien und 1,3,5-Hexatrien begünstigt ist.



Schema 1. Thermische Valenzisomerisierungen der Norcaradien-Derivate **1a** und **2a**.  $k_{1a,1b}$  ( $60^{\circ}\text{C}$ ) =  $(3.6 \pm 0.1) \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,  $\Delta G^+ = 26.3$  kcal/mol;  $k_{1b,1a}$  ( $60^{\circ}\text{C}$ ) =  $(8.3 \pm 0.5) \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,  $\Delta G^+ = 25.8$  kcal/mol;  $2a \rightarrow 2c$  ( $-54^{\circ}\text{C}$ ):  $\Delta G^+ = 11.5$ ;  $2c \rightarrow 2a$  ( $-54^{\circ}\text{C}$ ):  $\Delta G^+ = 10.7$ ;  $2b \rightarrow 2c$  ( $-15^{\circ}\text{C}$ ):  $\Delta G^+ = 13.3$ ;  $2c \rightarrow 2b$  ( $-15^{\circ}\text{C}$ ):  $\Delta G^+ = 12.4$ .

Mit diesen Korrekturfaktoren ergibt sich eine negative Resonanzenergie des Cyclobutadiens von ca.  $-21$  kcal/mol, ein Wert, der etwa so groß ist wie die positive Resonanzenergie des Benzols.



Schema 2. ab-initio-SCF-Energiewerte ( $\Delta E$  in kcal/mol) der Norcaradiene **3a** bis **7a** (relativ zu den entsprechenden, nicht abgebildeten Cycloheptatrienen **3c** bis **7c**) [2a, b].

Der Vergleich der experimentellen und berechneten Energiewerte von **1a** und **3a** sowie von **6a**<sup>[7b]</sup> zeigt, daß der Einfluß der Antiaromatizität ähnlich wie der der Aromatizität von der Rechnung überschätzt wird.

Eingegangen am 5. Juni 1981 [Z 975b]  
Das vollständige Manuskript dieser Zuschrift erscheint in:  
*Angew. Chem. Suppl.* 1982, 338–344

- [2] a) H. Kollmar, *J. Am. Chem. Soc.* 101 (1979) 4832; b) *ibid.* 102 (1980) 2617; c) Übersicht: T. Bally, S. Masamune, *Tetrahedron* 36 (1980) 343.  
[4] F.-G. Klärner, E. K. G. Schmidt, M. A. Abdel Rahman, *Angew. Chem.* 94 (1982) 136; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 21 (1982) Nr. 2.  
[7] b) E. Vogel, D. Wendisch, W. R. Roth, *Angew. Chem.* 76 (1964) 432; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 3 (1964) 443.

### Neuartige Chlorooxoaluminatate\*\*

Von Ulf Thewalt\* und Friederike Stollmaier

Bei der reduzierenden Friedel-Crafts-Synthese von Aren-Übergangsmetall-Komplexen entstehen im allgemeinen salzartige Verbindungen mit Aren-Metall-Kationen und Chlorooxalatin-Anionen<sup>[1]</sup>. Durch Röntgen-Strukturanalysen haben wir nun auch Produkte mit Chlorooxoaluminat-Ionen charakterisiert. Die stark hydrolyseempfindlichen Komplexverbindungen  $[(\text{C}_6\text{H}_6)(\text{C}_6(\text{CH}_3)_6)\text{Cr}]^+[\text{Al}_4\text{Cl}_{10}\text{O}]^- \cdot 1/2\text{C}_6\text{H}_6$ <sup>[2a]</sup> und  $[(\text{C}_6(\text{CH}_3)_6)_2\text{Nb}_2\text{Cl}_4]^{2+}[\text{Al}_4\text{Cl}_{10}\text{O}_2]^{2-} \cdot 2\text{CH}_2\text{Cl}_2$ <sup>[4a]</sup> enthalten die neuartigen Anionen **1** und **2**, in denen die O-Atome

[\*] Prof. Dr. U. Thewalt, F. Stollmaier  
Sektion für Röntgen- und Elektronenbeugung der Universität  
Oberer Eselsberg, D-7900 Ulm

[\*\*] Diese Arbeit wurde vom Fonds der Chemischen Industrie unterstützt.

[+] Prof. Dr. F.-G. Klärner, Priv.-Doz. Dr. E. K. G. Schmidt,  
M. A. Abdel Rahman, Priv.-Doz. Dr. H. Kollmar  
Abteilung für Chemie der Universität  
Postfach 102148, D-4630 Bochum 1

[\*\*] Diese Arbeit wurde vom Fonds der Chemischen Industrie unterstützt.