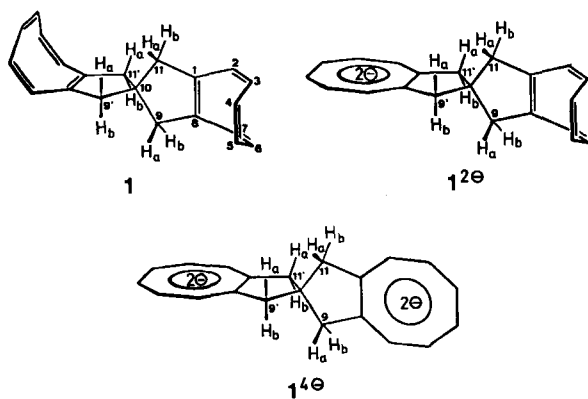


Tabelle 2.  $^1\text{H}$  [ $\delta_{\text{H}}$ ] und  $^{13}\text{C}$  [ $\delta_{\text{C}}$ ]-NMR-chemische Verschiebungen von 1, Li<sub>2</sub>-1 und Li<sub>4</sub>-1 [a].

$T$ [°C]		H2–H7, H2'–H7'		H9a, H9b, H11a, H11b	H9a', H9b', H11a', H11b'			
$\delta_{\text{H}}$ (1)	10	5.68–5.55		2.42 (s)	2.36 (s)			
	–60	5.75–5.53			2.42 (AB), 2.25 (AB)			
$\delta_{\text{H}}$ (1 <sup>2o</sup> )	10	5.72–5.40		2.38 (AB)	3.48 (s)			
	–60	5.66–5.20			3.53 (s), 3.33 (s)			
$\delta_{\text{H}}$ (1 <sup>4o</sup> )	–50	5.67–5.45			3.52 (s)			
		C1, C8	C1', C8'	C2–C7	C2'–C7'	C9, C11	C9', C11'	C10
$\delta_{\text{C}}$ (1)	10		140.5		133.2, 132.7, 132.1		52.2	48.3
$\delta_{\text{C}}$ (1 <sup>2o</sup> )	10	141.3	98.7	133.6, 133.2, 131.1	87.0, 86.7, 85.0	60.7	52.0	47.4
$\delta_{\text{C}}$ (1 <sup>4o</sup> )	–50	99.3			86.7, 85.7, 85.0		59.9	45.9

[a] [D<sub>8</sub>]THF; 200 MHz ( $^1\text{H}$ ), 50 MHz ( $^{13}\text{C}$ ).

für eine Struktur mit  $D_{2d}$ -Symmetrie, die zwei planare COT<sup>2⊖</sup>-Einheiten enthält. Verfolgt man die Reduktion von 1 NMR-spektroskopisch, so gelingt es, als Zwischenprodukt das Dianion 1<sup>2⊖</sup> zu fassen. Die Zahl der  $^1\text{H}$ - und  $^{13}\text{C}$ -NMR-Signale (Tabelle 2) läßt keinen Zweifel daran, daß die Überschußladung in einem Achtring lokalisiert bleibt und demzufolge eine geladene und eine neutrale  $\pi$ -Einheit nebeneinander vorliegen. Die bei -60°C zu beobachtende Äquivalenz von H9a und H11a und Nichtäquivalenz von H9a' und H11a' weisen auf die Planarität des geladenen und die Wannenkonformation des ungeladenen Achtrings hin (Schema 2). Oberhalb von 10°C läuft, erkennbar an der Koaleszenz der Signale von H9a' und H11a', eine rasche Inversion des ungeladenen Rings ab. Erwärmen auf 40°C bewirkt keine Veränderung der  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektren, so daß ein intramolekularer Elektronentransfer auf der durch das Experiment zugänglichen Zeitskala ausgeschlossen werden kann.

Schema 2. NMR-spektroskopisch abgeleitete Strukturen von 1, 1<sup>2⊖</sup> und 1<sup>4⊖</sup>.

Während der Reduktion von 1 beobachtet man nebeneinander die NMR-Signale von 1 und 1<sup>2⊖</sup> ohne signifikante Linienverbreiterung. Dies zeigt, daß kein rascher intermolekularer Elektronentransfer erfolgt und daß das intermediär auftretende Radikalanion 1<sup>⊖</sup> disproportioniert. Das offenbar nur in geringer Konzentration vorliegende Ion 1<sup>⊖</sup> kann ESR-spektroskopisch nicht nachgewiesen werden. Seine Charakterisierung gelingt erst, wenn man es durch Photooxidation aus dem Dianion erzeugt. Die ESR-Kopplungskonstanten  $a_{\text{H}}$  (0.40 (6 H, COT-Ring), 0.40 (2 H, CH<sub>2</sub>), 0.88 mT (2 H, CH<sub>2</sub>)) zeigen, daß das ungepaarte Elektron in einer COT-Einheit lokalisiert ist.

Die Aufnahme eines Elektrons durch 1 erzwingt, wie auch in COT 2, eine Einebnung des Achtrings, der das zusätzliche Elektron enthält. Eine solche Konformationsänderung müßte abwechselnd in beiden Achtringen eintreten, wenn es in 1<sup>⊖</sup> oder 1<sup>2⊖</sup> zu einer intramolekularen Ladungsfluktuation zwischen den Untereinheiten käme.

Als Folge der damit verbundenen erhöhten Reorganisationsenergie<sup>[8-10]</sup> bleibt deshalb die Überschußladung von 1<sup>⊖</sup> und 1<sup>2⊖</sup> in einer Untereinheit lokalisiert. Die Aktivierungsenergie für die Ringinversion des ungeladenen Rings von 1<sup>2⊖</sup>, die wir zu 12 kcal mol<sup>-1</sup> bestimmten, sollte in die Aktivierungsbarriere der Ladungsfluktuation eingehen. Dies ist auch in Einklang damit, daß die räumliche Trennung der COT-Untereinheiten *nicht* die alleinige Ursache für die Ladungslokalisation sein kann, da es in Ionenpaaren mit separaten *starren* Untereinheiten durchaus zu raschem intramolekularem Elektronentransfer kommen kann<sup>[13]</sup>.

Eingegangen am 30. Juni,  
veränderte Fassung am 9. September 1987 [Z 2320]

- [1] J. R. Miller, L. T. Calcaterra, G. L. Closs, *J. Am. Chem. Soc.* 106 (1984) 3047.
- [2] S. Mazur, V. M. Dixit, F. Gerson, *J. Am. Chem. Soc.* 102 (1980) 5343.
- [3] W. Huber, H. Unterberg, K. Müllen, *Angew. Chem.* 95 (1983) 239; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 22 (1983) 242.
- [4] W. Huber, K. Müllen, *Acc. Chem. Res.* 19 (1986) 300.
- [5] J. Fiedler, W. Huber, K. Müllen, *Angew. Chem.* 98 (1986) 444; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 25 (1986) 443.
- [6] W. Irmen, W. Huber, J. Lex, K. Müllen, *Angew. Chem.* 96 (1984) 800; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 23 (1984) 818.
- [7] L. Echegoyen, R. Maldonado, J. Nieves, A. Alegria, *J. Am. Chem. Soc.* 106 (1984) 7692.
- [8] S. W. Staley, C. K. Dustman, K. L. Facchine, G. E. Linkowsky, *J. Am. Chem. Soc.* 107 (1985) 4003.
- [9] B. Eliasson, U. Edlund, S. W. Staley, *EUCHEM Conf. Electron Transfer React. Org. Chem.*, Visby (Schweden), Juni 1987.
- [10] L. A. Paquette, S. V. Ley, R. H. Meisinger, R. K. Russell, M. Oku, *J. Am. Chem. Soc.* 96 (1974) 5806.
- [11] K. Müllen, *Angew. Chem.* 99 (1987) 192; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 26 (1987) 204.
- [12] Die Ausbeute an 1 von nur 6% bezogen auf 2 erklärt sich durch die auch unter diesen Reaktionsbedingungen auftretende Bildung von 5 und durch die verlustreiche HPLC-Trennung von 1 und 5.
- [13] F. Gerson, W. Huber, W. B. Martin, Jr., P. Caluwe, T. Pepper, M. Szwarc, *Helv. Chim. Acta* 67 (1984) 416.

## Dibenzol[*fg,mn*]octalen und Cycloocta[*def*]phenanthren, neue Modelle für die Konformationsanalyse von Biphenylsystemen\*\*

Von Willi Heinz, Peter Langensee und Klaus Müllen\*

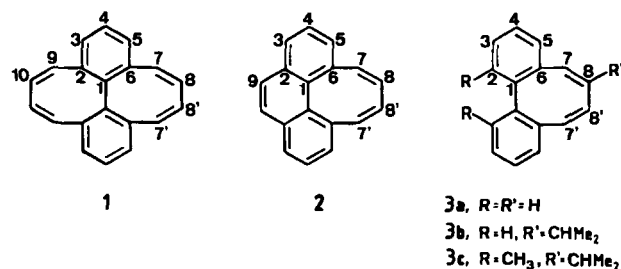
Professor Klaus Hafner zum 60. Geburtstag gewidmet

Ein wichtiger Schritt in der Konformationsanalyse von Biphenylsystemen ist die Verbrückung von *ortho*-Positionen<sup>[1,2]</sup>. Die Verbindungen 1, 2 und 3<sup>[3,4]</sup> sind besonders

\* Prof. Dr. K. Müllen, Dipl.-Chem. W. Heinz, Dr. P. Langensee  
Institut für Organische Chemie der Universität  
J.-J.-Becher-Weg 18-20, D-6500 Mainz 1

\*\* Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Fonds der Chemischen Industrie gefördert.

attraktiv, weil ein Wechsel in der Orientierung der Biphenylverdrillung mit einer Inversion der Octalen- bzw. Cyclooctatetraen-Einheiten einhergeht. Zusätzliche Bedeutung kommt 1–3 angesichts des kürzlich beschriebenen



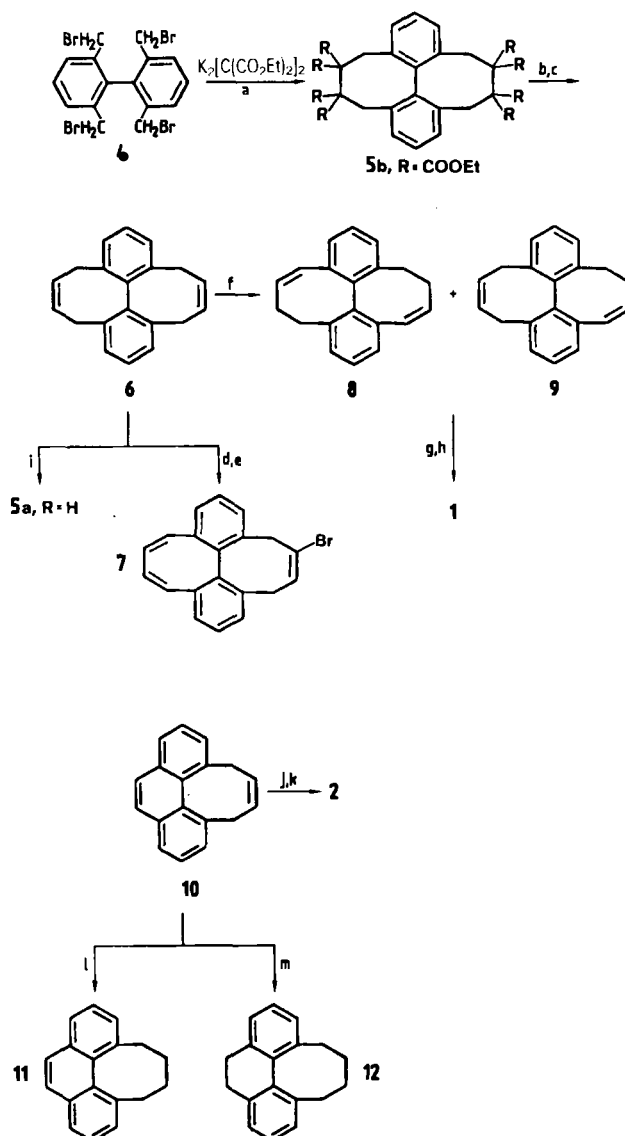
Befundes zu, daß die Energieprofile von Konformationsumwandlungen durch Elektronenübertragungsprozesse gezielt verändert werden können<sup>[5–7]</sup>. Wir beschreiben Synthese, Struktur und Redoxchemie der neuen Verbindungen Dibenzo[*fg,mn*]octalen 1 und Cycloocta[*def*]phenanthren 2 sowie der sich davon ableitenden (teil)gesättigten Analoga 5a, 6 und 8 bzw. 10–12. Es gelingt, für das Dianion von 1 eine Symmetriedeformation durch Ladungslokalisation nachzuweisen.

Tabelle 1. Schmelzpunkte (außer für 15) und <sup>1</sup>H-NMR-spektroskopische Daten der Verbindungen 5a, 6, 10–13 und 15.

5a: 123°C; <sup>1</sup> H-NMR (C <sub>2</sub> D <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> , 300 MHz, 110°C): δ = 7.31 (t, 2H; <i>p</i> -H <sub>arom.</sub> ), 7.15 (d, 4H; <i>m</i> -H <sub>arom.</sub> ), 2.69 (m, 4H), 2.15–2.05 (m, 8H), 1.56 (m, 4H)
6: 204–205°C; <sup>1</sup> H-NMR (CDCl <sub>3</sub> , 400 MHz): δ = 7.29 (t, 2H; <i>p</i> -H <sub>arom.</sub> ), 7.05 (d, 4H; <i>m</i> -H <sub>arom.</sub> ), 5.81 (m, 4H; H <sub>olef.</sub> ), 3.09, 2.90 (AB-System, 8H)
10: 86.5°C; <sup>1</sup> H-NMR (CD <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , 300 MHz, 20°C): δ (H <sub>arom.</sub> ) = 7.68 (d, 2H), 7.55 (t, 2H), 7.51 (s, 2H), 7.38 (d, 2H), δ = 6.32 (t, 2H; H <sub>olef.</sub> ), 3.22 (d, 4H)
11: 88.5°C; <sup>1</sup> H-NMR (CD <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , 300 MHz, –30°C): δ (H <sub>arom.</sub> ) = 7.66 (d, 2H), 7.52 (s, 2H), 7.56–7.47 (m, 4H), δ (H <sub>aliph.</sub> ) = 2.91 (m, 2H), 2.33 (m, 2H), 2.21 (m, 2H), 1.99 (m, 2H)
12: 87°C; <sup>1</sup> H-NMR (CDCl <sub>3</sub> , 300 MHz, 20°C): δ = 7.30–7.16 (m, 6H; H <sub>arom.</sub> ), 2.89–2.66 (m, 6H), 2.23–2.15 (m, 4H), 1.80–1.73 (m, 2H)
13: 149–150°C; <sup>1</sup> H-NMR (C <sub>2</sub> D <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> , 300 MHz, 120°C): δ = 7.39–7.26 (m, 8H; H <sub>arom.</sub> ), 2.74 (m, 2H), 2.25–2.10 (m, 4H), 1.60 (m, 2H)
15: <sup>1</sup> H-NMR (CDCl <sub>3</sub> , 200 MHz, 20°C): δ = 7.27–6.90 (m, 6H; H <sub>arom.</sub> ), 6.73, 6.03 (AA'BB'-System, 4H; „Butadien“-H), 5.84 (m, 2H; H <sub>olef.</sub> ), 3.57 (m, 2H; 2CH–CH <sub>3</sub> ), 0.47 (d, 6H; 2CH <sub>3</sub> )

Kernschritt der Synthese von 1 ist die Umsetzung von 2,2',6,6'-Tetra(brommethyl)biphenyl 4 mit dem Dikaliumsalz des Ethantetracarbonsäureethylesters zum Octaester 5b, durch die in einem Schritt zwei kondensierte Achtringe entstehen (Schema 1). Das aus 5b durch Hydrolyse mit Decarboxylierung und nachfolgende oxidative Decarboxylierung<sup>[4]</sup> erhältliche Dien 6 wurde zur Umwandlung in 1 durch Bromaddition in ein Tetrabromid überführt. Dessen Dehydrobromierung ergab aus konformativen Gründen jedoch nicht 1, sondern nur 7. Deshalb wurde 6 zunächst baseninduziert isomerisiert. Aus dem dabei entstehenden 7:3-Gemisch aus 8 (*syn/anti*) und 9 wird nach Bromierung mit *N*-Bromsuccinimid (NBS) und Dehydrobromierung Verbindung 1 [Fp = 188°C (Hexan), farblose Nadeln] erhalten. Das Cycloocta[*def*]phenanthren 2 wird analog aus 4,5-Di(brommethyl)phenanthren über 10 synthetisiert (Schema 1). Die (teil)hydrierten Analoga 5a sowie 11 und 12 entstehen bei der Reduktion der Vorläufer 6 bzw. 10 mit H<sub>2</sub>. Charakteristische Daten der neuen Verbindungen sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefaßt.

Die durch die Wannenkonformation der ungesättigten Achtringe von 1 und 2 bedingte Verdrillung bezüglich der



Schema 1. a) Dimethoxyethan/Toluol (1/1), 110°C; 25%. b) KOH, Ethylenglycol, 200°C; 84%. c) Pb(OAc)<sub>4</sub>, Pyridin, 65°C; 23%. d) Br<sub>2</sub>, CCl<sub>4</sub>, 0°C. e) 1,5-Diazabicyclo[4.3.0]non-5-en, Toluol, 110°C; 27% bezogen auf 6. f) *t*BuOK, THF, 65°C. g) NBS, CCl<sub>4</sub>, 80°C. h) *t*BuOK, THF, 20°C; 40% bezogen auf 6. i) H<sub>2</sub> (2 Äquiv.), Pd/C (5%), Essigester, 25°C; 81%. j) Br<sub>2</sub>, CCl<sub>4</sub>/Hexan, –80°C; 90%. k) 1,8-Diazabicyclo[5.4.0]undec-7-en, Benzol, 80°C; 43%. l) Analog (i) (1 Äquiv. H<sub>2</sub>); 80%. m) Analog (i); 91%.

C8–C8'-Bindung sowie die Bindungsalternanz werden durch den kleinen Wert für die vicinale Kopplung <sup>3</sup>J(H<sub>8</sub>,H<sub>8'</sub>) belegt (siehe Tabelle 2). Die Achtring-Untereinheit von 2 ist der Röntgenstrukturanalyse<sup>[8]</sup> zufolge stärker abgeflacht als die von 3a<sup>[9]</sup> (Verdrillungswinkel der Biphenyleinheit: 33.0 bzw. 68.5°; der Butadieneinheit: 51.2 bzw. 58.0°).

Nimmt man die Lage der Konjugationsbande der jeweiligen Biphenyleinheit im UV-Spektrum<sup>[1]</sup> als Maß für die Verdrillung [jeweils λ [nm] (ε): 1, 217 (32000); 3a, 230 (24000); 5a, 220 (13000); 12, 260 (12300); 13, 235 (11800)], so sollte der Interplanarwinkel des Biphenylsystems erstens in 1 größer als in 3a sein, zweitens beim

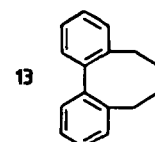


Tabelle 2.  $^1\text{H}$  [ $\delta_{\text{H}}$ ] und  $^{13}\text{C}$  [ $\delta_{\text{C}}$ ]-NMR-chemische Verschiebungen sowie Größe der vicinalen Kopplungen  $^3J$  [Hz] von **1**, **2**, **3a** und  $\text{K}_2$ -**1**,  $\text{Li}_2$ -**2**,  $\text{K}_2$ -**3a** [a].

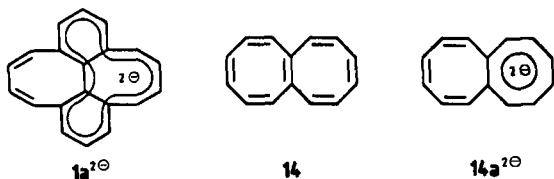
H/C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$^3J(\text{H7}, \text{H8})$	$^3J(\text{H8}, \text{H8}')$
$\delta_{\text{H}}$ ( <b>1</b> )	—	—	6.96	7.25	6.96	—	6.65	6.00	6.65	6.00	11.6	2.5
$\delta_{\text{H}}$ ( <b>1</b> $^{2\ominus}$ )	—	—	5.03	6.36	7.66	—	6.04	5.90	5.60	6.17	10.8	12.9
$\delta_{\text{C}}$ ( <b>1</b> )	140.9	139.7	127.2	126.1	127.2	139.7	133.8	130.7	133.8	130.7	—	—
$\delta_{\text{C}}$ ( <b>1</b> $^{2\ominus}$ )	111.3	144.3	100.0	115.3	133.5	114.8	90.2	96.2	135.2	130.4	—	—
$\delta_{\text{H}}$ ( <b>2</b> )	—	—	7.72	7.57	7.25	—	6.25	6.47	7.53	—	10.9	3.3
$\delta_{\text{H}}$ ( <b>2</b> $^{2\ominus}$ )	—	—	6.34	6.43	7.58	—	5.40	6.19	7.14	—	9.6	10.1
$\delta_{\text{C}}$ ( <b>2</b> )	137.9	131.0 [b]	—	126.8–128.2	—	134.2 [b]	133.1	131.8	[c]	—	—	—
$\delta_{\text{C}}$ ( <b>2</b> $^{2\ominus}$ )	109.5	139.5	106.2	111.1	129.4 [b]	118.0	88.4 [b]	88.7 [b]	129.6 [b]	—	—	—
$\delta_{\text{H}}$ ( <b>3a</b> $^{2\ominus}$ )	—	8.02	5.93	6.37	7.78	—	6.12	6.43	—	—	10.2	10.6
$\delta_{\text{C}}$ ( <b>3a</b> $^{2\ominus}$ )	108.1	134.9	104.9	113.2	135.9	115.3	91.1	95.3	—	—	—	—

[a] Meßbedingungen: **1**: [ $\text{D}_8$ ]THF, 200 MHz ( $^1\text{H}$ ), 50 MHz ( $^{13}\text{C}$ ), 25°C; **1** $^{2\ominus}$ : [ $\text{D}_8$ ]THF, 200 MHz, –80°C ( $^1\text{H}$ ), 50 MHz, 50°C ( $^{13}\text{C}$ ); **2**:  $\text{CD}_2\text{Cl}_2$ ; 300 MHz ( $^1\text{H}$ ), 75 MHz ( $^{13}\text{C}$ ), 25°C; **2** $^{2\ominus}$ : [ $\text{D}_8$ ]THF, 300 MHz, –60°C ( $^1\text{H}$ ), 75 MHz, –20°C ( $^{13}\text{C}$ ); **3** $^{2\ominus}$ : [ $\text{D}_8$ ]THF, 200 MHz, –80°C ( $^1\text{H}$ ), 50 MHz, –40°C ( $^{13}\text{C}$ ). [b] Zuordnung experimentell nicht gesichert. [c] Eines der Signale zwischen  $\delta = 126.8$  und 128.2.

Übergang von **1** und **3a** zu **5a** bzw. **13** weitgehend unverändert bleiben und drittens im Dihydrophenanthrensystem **12** am kleinsten sein.

Die Synthese der Salze  $\text{M}_2$ -**1** und  $\text{M}_2$ -**2** gelingt durch Behandeln von **1** bzw. **2** mit Alkalimetall ( $\text{M} = \text{Li}, \text{K}$ ) in [ $\text{D}_8$ ]THF. Bei der NMR-spektroskopischen Charakterisierung der Ionen (siehe Tabelle 2) fällt die Verwandtschaft von **2** $^{2\ominus}$  und **3a** $^{2\ominus}$  [10, 11] auf. Bezeichnend für beide Spezies sind die sich aus den chemischen Verschiebungen ergebende Verteilung der Ladung über das gesamte  $\pi$ -Elektronensystem, die Diatropie der Ionen sowie die Ausbildung eingeebneter Achtringe mit  $\pi$ -Bindungsdelokalisation [siehe die Angleichung der vicinalen H,H-Kopplungen  $^3J(\text{H7}, \text{H8})$  und  $^3J(\text{H8}, \text{H8}')$ ].

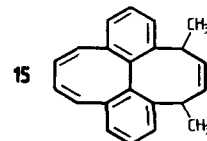
Während die Zahl der NMR-Signale für eine  $D_2$ -Symmetrie der Neutralverbindung **1** spricht, kommt es in **1** $^{2\ominus}$  zu einer Symmetrierniedrigung. Zahl und Lage der Signale von **1** $^{2\ominus}$  sind nur so zu verstehen, daß die Überschußladung des Dianions in einer Dibenzocycloocten-Einheit (siehe **1a** $^{2\ominus}$ ) lokalisiert bleibt. Während sich die geladene Substruktur einebnet, bleibt die ungeladene Butadienbrücke abgebeugt. Die mit einer Einebnung des gesamten Moleküls verbundene Spannung ist offenbar so groß, daß sie eine symmetrische Struktur mit elektrostatisch bevorzugter Ladungsdelokalisation nicht zuläßt. Selbst bei Raumtemperatur kommt es in **1** $^{2\ominus}$  nicht zu einer Ladungsfluktuation zwischen geladener und ungeladener Untereinheit.



Die konformativ bedingte Ladungslokalisation in **1** $^{2\ominus}$  fordert den Vergleich mit **3b**, **3c** und **14** heraus:

- Ionenbildung in **3b** bewirkt eine Einebnung oder setzt die Aktivierungsbarriere der Achtring-Inversion drastisch herab<sup>[6, 7]</sup>; erst starke sterische Wechselwirkungen wie in **3c** führen zu nicht-planaren Dianionen<sup>[7]</sup>;
- das Dianion von Octalen **14** weist auch bei –145°C  $D_{2h}$ -Symmetrie auf; d.h. sollten Strukturen mit Ladungslokalisation (**14a** $^{2\ominus}$ ) auftreten, so wandeln sie sich rasch ineinander um<sup>[12]</sup>.

Die Ladungslokalisation in **1** $^{2\ominus}$  hat charakteristische chemische Konsequenzen. Kinetisch kontrolliert greifen Elektrophile Dianion-Zwischenprodukte<sup>[13]</sup> bevorzugt an den Orten höchster Ladungsdichte an; für den Fall einer Ladungsdelokalisation in **1** $^{2\ominus}$  ( $D_{2h}$ ) wären dies, einer einfachen MO-Betrachtung zufolge, C1 und C1'. Diese Brückenkopfzentren sind auch in **14** $^{2\ominus}$  die Zentren höchster Ladungsdichte, wie präparativ nutzbare reduktive Umwandlungen über  $\text{Li}_2$ -**14** zeigten<sup>[14]</sup>. Daß die Ladungsverteilung in **1** $^{2\ominus}$  derjenigen in **3a** $^{2\ominus}$ , nicht aber derjenigen in **14** $^{2\ominus}$  entspricht, folgt aus der Umsetzung von  $\text{K}_2$ -**1** mit Dimethylsulfat: Es entsteht ausschließlich das Dimethyladdukt **15**.



Eingegangen am 30. Juni,  
veränderte Fassung am 9. September 1987 [Z 2321]

#### CAS-Registry-Nummern

**1**: 111409-90-6 /  $\text{K}_2$ -**1**: 111410-04-9 / **2**: 111409-91-7 /  $\text{Li}_2$ -**2**: 111410-08-3 /  $\text{K}_2$ -**3a**: 111410-06-1 / **4**: 257-55-6 / **5a**: 111409-92-8 / **5b**: 111410-02-7 / **6**: 111409-93-9 / **7**: 111409-94-0 / **8**: 111409-95-0 / **9**: 111409-96-2 / **10**: 111409-97-3 / **11**: 111409-98-4 / **12**: 111409-99-5 / **13**: 1082-12-8 / **15**: 111410-01-6.

- [1] K. Mislow, M. A. W. Glass, H. B. Hopps, E. Simon, G. H. Wahl, Jr., *J. Am. Chem. Soc.* **86** (1964) 1710.
- [2] P. Rashidi-Ranjbar, J. Sandström, *Tetrahedron Lett.* **28** (1987) 1537.
- [3] E. Vogel, W. Frass, J. Wolpers, *Angew. Chem.* **75** (1963) 979; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **2** (1963) 625.
- [4] F. Sondheimer, H. N. C. Wong, *J. Org. Chem.* **45** (1980) 2438.
- [5] R. H. Baughman, I. L. Bredas, R. R. Chance, R. L. Eisenbaumer, L. W. Shacklette, *Chem. Rev.* **82** (1982) 209.
- [6] W. Huber, K. Müllen, *Acc. Chem. Res.* **19** (1986) 300.
- [7] W. Heinz, P. Langensee, K. Müllen, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1986**, 947.
- [8] W. Heinz, P. Langensee, J. Lex, K. Müllen, unveröffentlicht.
- [9] N. Z. Huang, T. C. W. Mak, *J. Mol. Struct.* **101** (1983) 135.
- [10] K. Müllen, *Helv. Chim. Acta* **61** (1978) 1296.
- [11] H. Günther, A. Shyouk, D. Cremer, K.-H. Frisch, *Justus Liebigs Ann. Chem.* **1978**, 165.
- [12] K. Müllen, J. F. M. Oth, H.-W. Engels, E. Vogel, *Angew. Chem.* **91** (1979) 251; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **18** (1979) 229.
- [13] K. Müllen, *Angew. Chem.* **99** (1987) 192; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **26** (1987) 204.
- [14] E. Vogel, H.-W. Engels, W. Huber, J. Lex, K. Müllen, *J. Am. Chem. Soc.* **104** (1982) 3729.