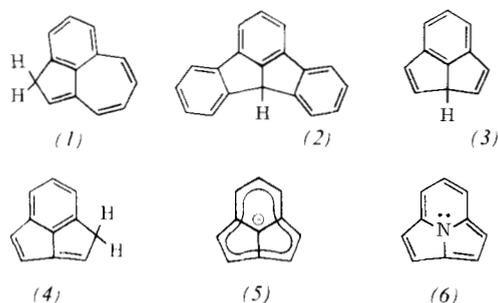


## Synthese des 1*H*-Cyclopent[*cd*]indens und seines Anions<sup>[\*]</sup>

Von Peter Eilbracht und Klaus Hafner<sup>[\*]</sup>

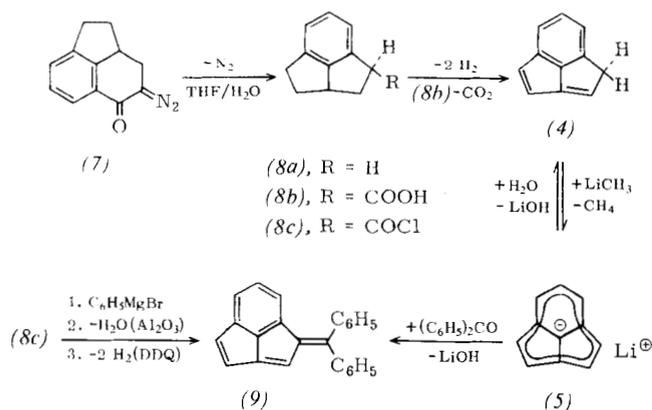
Herrn Professor Walter Franke zum 65. Geburtstag gewidmet

Im Zusammenhang mit Untersuchungen über das 2*H*-Benz[*cd*]azulen (1)<sup>[1]</sup> sowie das hochacide Fluoraden (2)<sup>[2]</sup> kommt dessen Grundkörper, dem 2*aH*-Cyclopent[*cd*]inden (3) und dessen 1*H*-Isomeren (4) sowie deren Anion (5), das dem Cycl[3.2.2]azin (6)<sup>[3]</sup> isoelektronisch ist, besonderes Interesse zu<sup>[2-6]</sup>.



Nach quantenchemischen Berechnungen Zahradniks<sup>[4]</sup> sollte sich das zwölf  $\pi$ -Elektronen enthaltende Anion (5) durch eine gegenüber dem entsprechenden Kation höhere elektronische Stabilität auszeichnen. Rapoport et al.<sup>[2]</sup> und Streitwieser jr.<sup>[6]</sup> postulierten für das 2*aH*-Cyclopent[*cd*]inden (3) eine den Phenolen vergleichbare Acidität. Das 1*H*-Tautomere (4) wurde bei diesen Betrachtungen nicht berücksichtigt.

Zur experimentellen Prüfung dieser Voraussagen synthetisierten wir das Lithium-Salz von (5). Bereits Rapoport et al.<sup>[7]</sup> stellten das gespannte 2,2*a*,3,4-Tetrahydro-cyclopent[*cd*]inden (8*a*) sowie mehrere seiner Derivate durch Pb-Salz-Destillation der 7-Carboxy-indan-1-essigsäure dar, doch gelang ihnen nicht die Einführung von Doppelbindungen in (8).



Durch Photolyse des 4-Diazo-5-oxo-2*a*,3,4,5-tetrahydro-acenaphthens (7)<sup>[8]</sup> in Tetrahydrofuran/Wasser (5:1) mit einer Hg-Hochdrucklampe (Q 81, Quarzlampe-Gesellschaft Hanau) bereiteten wir in 36-proz. Ausbeute

[\*] Dipl.-Chem. P. Eilbracht und Prof. Dr. K. Hafner  
Institut für Organische Chemie der Technischen Hochschule  
61 Darmstadt, Schloßgartenstraße 2

[\*\*] Diese Arbeit wurde vom Fonds der Chemischen Industrie und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt.

die 2,2*a*,3,4-Tetrahydro-cyclopent[*cd*]inden-1-carbonsäure (8*b*)<sup>[9]</sup> [farblose Nadeln vom Fp = 114°C; UV-Spektrum (in n-Hexan):  $\lambda_{\max}$  = 217 (3.97), 269 (2.92), 276 (2.90) nm (log  $\epsilon$ ); NMR-Spektrum (in CCl<sub>4</sub>):  $\tau$  = -2.42 (1 H/s), 2.30-2.80 (3 H/m), 5.50 (1 H/dd, J = 5 Hz u. J = 11 Hz), 6.30-8.50 (7 H/m)].

Die Säure (8*b*) läßt sich durch Gasphasendehydrierung mit Palladium-Kohle (10%) bei 480°C im Hochvakuum unter gleichzeitiger Decarboxylierung dehydrieren, wobei (4) bei -70°C gewonnen und durch anschließende Chromatographie an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Aktivitätsstufe 3, neutral) bei -10°C in 40-proz. Ausbeute als hellgelbes, sehr autoxidationsempfindliches, um 0°C erstarrendes Öl isoliert wird. Das UV-Spektrum von (4) in n-Hexan [ $\lambda_{\max}$  = 251 (4.11), 254 (4.11), 273 (3.65), 309 (3.54), 316 (3.64), 330 (3.60) nm (log  $\epsilon$ )] gleicht dem des 1-Isopropyliden-indens<sup>[10]</sup>. Das NMR-Spektrum von (4) (in CCl<sub>4</sub>) weist neben einem bei  $\tau$  = 6.07 zentrierten aufgespaltenen Dublett (J = 1.5 Hz) der beiden Methylenprotonen in 1-Stellung für die sechs weiteren Protonen zwei Multipletts zentriert bei  $\tau$  = 3.38 (2H) und  $\tau$  = 2.80 (4H) auf. Die ausschließliche Bildung von (4) bei der Dehydrierung von (8*b*) - das Tautomere (3) konnte dabei nicht beobachtet werden - weist auf einen geringeren Energieinhalt des fulvenoiden Kohlenwasserstoffs (4) gegenüber dem tautomeren 2*aH*-Cyclopent[*cd*]inden (3) hin. Versuche zur direkten Darstellung der 1-Carbonsäure von (4) durch Wolff-Umlagerung des 4-Diazo-5-oxo-4,5-dihydro-acenaphthylens<sup>[11]</sup> führten bisher nicht zum Erfolg.

Entgegen den Erwartungen läßt sich das 1*H*-Cyclopent[*cd*]inden (4) weder mit methanolischer NaOH noch mit Natrium-methanolat in Methanol in das Anion (5) überführen. Dagegen erhält man das Lithium-Salz von (5) durch Umsetzung von (4) mit Methylithium in Tetrahydrofuran/Äther (2:1) bei -30°C als autoxidations- und hydrolyseempfindliche, thermisch wenig beständige rot-orange Verbindung, die sich mit n-Hexan kristallin ausfällen läßt. Lage und Intensität der langwelligen Bande im UV-Spektrum des Li-Salzes von (5) [in THF/Äther (20/1) bei -30°C<sup>[12]</sup>:  $\lambda_{\max}$  = 338 (3.58), 346 (3.58), 354 (3.60), 458 (2.88) nm (log  $\epsilon$ )] stehen in guter Übereinstimmung mit SCF-CI-Berechnungen<sup>[14]</sup>. Das NMR-Spektrum (in THF bei -55°C) weist neben den beiden Dubletts der beiden AB-Systeme der Fünfring-Protonen bei  $\tau$  = 3.15 (H-2, H-3) und 3.65 (H-1, H-4) (J = 4.0 Hz) ein Multiplett zentriert bei  $\tau$  = 2.70 für die drei Sechsring-Protonen auf. Die unter Rückbildung von (4) verlaufende Hydrolyse von (5) bestätigt gleichfalls die theoretischen Voraussagen<sup>[4]</sup>, wonach die 1- oder 4-Stellung eine hohe Elektronendichte besitzen soll. In Einklang damit führt die Umsetzung von (5) mit Benzophenon zum thermisch beständigen 1-Benzhydryliden-cyclopent[*cd*]inden (9) [gelborange Prismen vom Fp = 125°C (Zers.); UV-Spektrum (in n-Hexan):  $\lambda_{\max}$  = 255 (4.34), 310 (4.35), 352 (4.28) nm (log  $\epsilon$ ); NMR-Spektrum (in CCl<sub>4</sub>):  $\tau$  = 2.62 (6H/s), 2.66 (3H/s), 2.70-3.70 (7 H/m)], das auch aus (8*c*)<sup>[13]</sup> und Phenylmagnesiumbromid und anschließende Dehydratisierung sowie Dehydrierung mit 2,3-Dichlor-5,6-dicyan-*p*-chinon (DDQ) in 30-proz. Ausbeute zugänglich ist.

Ebenso wie die Bildung von (4) aus (8*b*) zeigt auch die zu (4) führende Hydrolyse des Li-Salzes von (5), daß (4) gegenüber (3) energetisch begünstigt ist. Entsprechend wurde durch SCF-CI-Berechnungen<sup>[14]</sup> für das 1*H*-Tautomere (4) eine höhere totale  $\pi$ -Elektronenenergie als für das 2*aH*-Tautomere (3) ermittelt<sup>[15]</sup>. Durch die unerwartet geringe und mit der des Indens vergleichbare Acidität dürfte sich das 1*H*-Cyclopent[*cd*]inden (4) erheblich von

seinem 2aH-Tautomerem (3), für das ein pK-Wert von 11 errechnet wurde<sup>[6]</sup>, unterscheiden. Dies kann auf einen beträchtlich verminderten Energiegewinn beim Übergang des fulvenoiden Tricyclus (4) in das Anion (5) im Vergleich zur entsprechenden Deprotonierung des indenartigen Kohlenwasserstoffs zurückgeführt werden. Auch nach der von Streitwieser<sup>[6]</sup> gefundenen Korrelation für den  $\pi$ -Elektronenenergieunterschied zwischen Anion und Kohlenwasserstoff in Abhängigkeit von der Acidität ergibt sich für (4) ein wesentlich geringerer pK-Wert als für (3). Versuche zur Überführung des Kohlenwasserstoffs (4) in Kation und Radikal sind im Gange.

Eingegangen am 12. Juli 1971 [Z 472]

- [1] K. Hafner u. H. Schaum, *Angew. Chem.* 75, 90 (1963); *Angew. Chem. internat. Edit.* 2, 95 (1963); V. Boekelheide u. C. D. Smith, *J. Amer. Chem. Soc.* 88, 3950 (1966); K. Hafner u. W. Rieper, *Angew. Chem.* 82, 218 (1970); *Angew. Chem. internat. Edit.* 9, 248 (1970).
- [2] H. Rapoport u. G. Smolinsky, *J. Amer. Chem. Soc.* 82, 934 (1960); R. Kuhn u. D. Rewicki, *Liebigs Ann. Chem.* 706, 250 (1967).
- [3] R. J. Windgassen, W. H. Saunders u. V. Boekelheide, *J. Amer. Chem. Soc.* 81, 1459 (1959).
- [4] R. Zahradnik, J. Michl u. J. Koutecký, *Collect. Czechoslov. Chem. Commun.* 29, 1932 (1964); R. Zahradnik u. J. Michl, *ibid.* 30, 3529 (1965); P. Hochmann, R. Zahradnik u. V. Krasnička, *ibid.* 33, 3478 (1968); R. Zahradnik, *Angew. Chem.* 77, 1097 (1965); *Angew. Chem. internat. Edit.* 4, 1039 (1965).
- [5] F. Gerson, E. Heilbronner, N. Loop u. H. Zimmermann, *Helv. Chim. Acta* 46, 1940 (1963).
- [6] A. Streitwieser jr., *Tetrahedron Lett.* 1960, 23.
- [7] H. Rapoport u. J. Z. Pasky, *J. Amer. Chem. Soc.* 78, 3788 (1956); H. Rapoport u. G. Smolinsky, *ibid.* 82, 1171 (1960); B. L. McDowell, G. Smolinsky u. H. Rapoport, *ibid.* 84, 3531 (1962).
- [8] (7) wird aus 4-Hydroxyimino-5-oxo-2a,3,4,5-tetrahydro-acenaphthen [7] und Chloramin nach der Methode von M. O. Forster (*J. Chem. Soc.* 107, 260 (1915)) in 75-proz. Ausbeute als hellgelbe, lichtempfindliche Stäbchen vom Fp = 61 °C gewonnen.
- [9] Alle beschriebenen Substanzen lieferten korrekte Analysendaten.
- [10] A. Pullmann, B. Pullmann, E. D. Bergmann, G. Berthier, Y. Hirshberg u. Y. Sprinzak, *Bull. Soc. Chim. France* 18, 702 (1951).
- [11] Dargestellt aus 4-Amino-5-hydroxy-acenaphthen-hydrochlorid (H. Rapoport, T. P. King u. J. B. Lavigne, *J. Amer. Chem. Soc.* 73, 2718 (1951)) und n-Butyl-nitrit; bei der Umkristallisation des dabei zunächst erhaltenen 4-Diazo-5-oxo-4,5-dihydro-acenaphthens aus Petroläther in Gegenwart von Aktivkohle wird dieses zum Acenaphthylen-Derivat dehydriert: hellgelbe Nadeln vom Fp = 134 °C; Ausb. 56%.
- [12] Der mittlere Fehler der auf 20 °C bezogenen Extinktionen des UV-Spektrums des Li-Salzes von (5) beträgt ca. 5–10%. Zur Messung wurde eine Methylithium enthaltende Lösung von (5) verwendet, deren geringe Durchlässigkeit unterhalb 330 nm eine Aufnahme der Absorptionskurve bei niedrigen Wellenlängen nicht erlaubte.
- [13] Dargestellt aus (8b) und Thionylchlorid.
- [14] R. Zahradnik, persönliche Mitteilung.
- [15] Zum gleichen Ergebnis führt bereits die einfachere HMO-Berechnung von (3) und (4) (A. Streitwieser, J. I. Brauman u. C. A. Coulson: *Supplement Tables of Molecular Orbital Calculations*. Pergamon Press, Oxford 1965; E. Heilbronner u. P. A. Straub: *HMO – Hückel Molecular Orbitals*. Springer-Verlag, New York 1966).

## Direkte Umwandlung von Benzol im zweiten angeregten Singulett-Zustand in Dewar-Benzol

Von D. Bryce-Smith, A. Gilbert und D. A. Robinson<sup>[\*]</sup>

Wir fanden, daß Benzol im zweiten, aber nicht im ersten angeregten Singulett-Zustand direkt zu Dewar-Benzol (Bicyclo[2.2.0]hexa-2,5-dien) isomerisieren kann. Es handelt sich bei diesem symmetrie-erlaubten Prozeß offenbar um das erste Beispiel einer nicht-dissoziativen photoche-

mischen Reaktion eines der oberen angeregten Singulett-Zustände.

Durch Bestrahlung von flüssigem Benzol unter Stickstoff mit Licht der Wellenlänge 254 nm werden der  $S_1$ -Zustand ( $^1B_{2u}$ ) und der  $T_1$ -Zustand ( $^3B_{1u}$ ) angeregt; man erhält die Benzol-Isomeren Fulven<sup>[1]</sup> und Benzvalen<sup>[2]</sup>, aber kein Dewar-Benzol. Dieses Isomere entsteht aber neben anderen durch Bestrahlung von flüssigem Benzol mit Licht der Wellenlänge 160–210 nm; dabei werden direkt der  $S_2$ - ( $^1B_{1u}$ ) und der  $S_3$ -Zustand ( $^1E_{1u}$ ) angeregt<sup>[3]</sup>. Es interessierte uns nun, ob Dewar-Benzol durch eine bislang unbekannt *direkte* Isomerisierung aus dem  $S_2$ - und/oder  $S_3$ -Zustand entsteht: Derartige Umwandlungen wären symmetrie-erlaubt – wie beim  $T_1$ -Zustand – aber nicht beim  $S_1$ - oder  $S_0$ -Zustand<sup>[4]</sup>. Wir versuchten daher, den Zustand des Benzols zu identifizieren, aus dem es sich in Dewar-Benzol umwandelt.

Unter Verwendung einer Mikrowellen-Entladung in Argon/Jod<sup>[5]</sup> ( $\lambda = 206$  nm) konnte flüssiges Benzol spezifisch im Bereich der  $S_0 \rightarrow S_2$ -Bande ( $\lambda_{\max} = 203$  nm) ohne direkte Anregung des  $S_1$ -Zustandes bestrahlt werden. Derartige Versuche unter stets gleichen Bedingungen (20 °C, 90 min, 2-ml-Proben) führten zu Dewar-Benzol, Fulven und Benzvalen in Konzentrationen von z. B.  $30 \pm 3$ ,  $50 \pm 5$  bzw.  $150 \pm 10$  ppm (nachgewiesen durch Retentionszeiten bei der Gas-Flüssigkeits-Chromatographie, UV-Spektrum von Fulven sowie Halbwertszeiten von Dewar-Benzol und Benzvalen). Die Mengen der drei Isomeren hingen nicht davon ab, ob das Benzol mit Luft oder mit Argon gesättigt war<sup>[\*\*]</sup>. Daraus geht zwar hervor, daß der  $S_2$ -Zustand an der Bildung des Dewar-Benzols beteiligt ist, doch ist nur aufgrund dieser Befunde das intermediäre Auftreten von  $S_0$ -,  $S_1$ - oder Triplett-Zuständen, die aus dem  $S_2$ -Zustand durch interne Konversion entstehen könnten, nicht auszuschließen. Intermediäre  $S_0$ - oder  $S_1$ -Zustände bei der Bildung des Dewar-Benzols sind jedoch unwahrscheinlich, weil dieses Isomere aus flüssigem Benzol nicht durch längeres Einstrahlen (z. B. 48 Std.) in die  $S_0 \rightarrow S_1$ -Bande erzeugt werden kann, weder durch Bestrahlung bei  $\lambda = 254$  nm noch über den ganzen Bereich. Ein intermediäres Auftreten des  $S_0$ - oder  $S_1$ -Zustandes ließe sich mit diesen Ergebnissen nur unter der etwas gezwungenen Annahme vereinbaren, daß einige Schwingungsniveaus oberhalb einer kritischen Höhe nicht durch direkte Einstrahlung in die  $S_0 \rightarrow S_1$ -Bande zugänglich sind – und, wie oben bemerkt, wären die Umwandlungen symmetrie-verboden. Der Idee schwingungsangeregter intermediärer Zustände scheint auch die Tatsache zu widersprechen, daß die Isomerisierung in flüssiger Phase und nicht in der Gasphase stattfindet<sup>[3]</sup>.

Die Möglichkeit eines intermediären Auftretens von Triplett-Zuständen wurde durch Vergleich der Bildungsgeschwindigkeiten von Dewar-Benzol aus reinem Benzol und aus Lösungen von Benzol in *cis*-Cycloocten und Cyclooctan überprüft. *cis*-Cycloocten übernimmt Energie von  $T_1$ -Benzol und isomerisiert dabei zur *trans*-Form<sup>[6]</sup>; andere Olefine verhalten sich ähnlich<sup>[7]</sup>. Bei Bestrahlung 10-proz. Lösungen von Benzol in *cis*-Cycloocten mit Licht der Wellenlänge 206 nm unter den obengenannten Bedingungen erhöhte sich erstaunlicherweise die Bildungsgeschwindigkeit von Dewar-Benzol, Fulven und Benzvalen ungefähr um das 20-fache, verglichen mit der Geschwindigkeit in reinem flüssigem Benzol, und in beiden Fällen wurde

[\*] Prof. Dr. D. Bryce-Smith, Dr. A. Gilbert und Dr. D. A. Robinson  
Department of Chemistry, University of Reading  
Whiteknights Park, Reading RG6 2AD (England)

[\*\*] Der Einfluß der Atmosphäre wurde durch nur 10 min langes Bestrahlen überprüft, da sich in den argon-gesättigten Lösungen nach längerer als etwa halbstündiger Bestrahlung ein opakes Polymeres an den Wänden der Küvette absetzte.