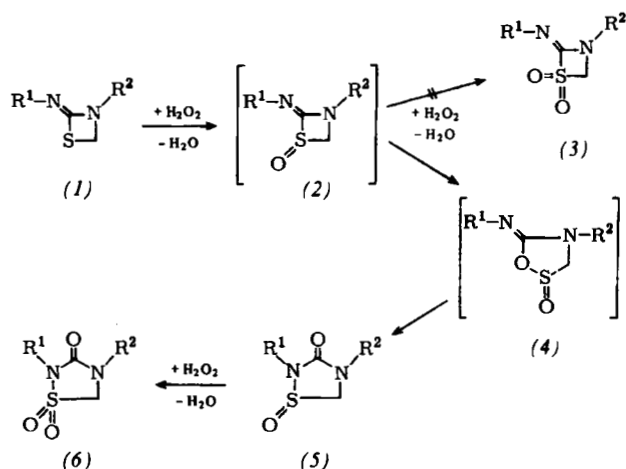
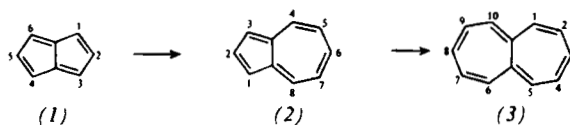


zol/Essigester 4:1) abgetrennt. Umkristallisation aus Ethanol ergibt weiße Kristalle.



nächst höhere vinyloge Annulen, d. h. Benzol bzw. Cyclooctatetraen^[1, 2], liefert. Eine ähnliche Transformation sollte in der homologen Reihe der nichtalternierenden bicyclischen Kohlenwasserstoffe Pentalen (1), Azulen (2) und Heptalen (3), die sich ebenfalls nur durch jeweils eine zusätzliche Vinylengruppe voneinander unterscheiden, möglich sein, so daß sich damit neue Zugänge zu diesen Ringsystemen erschließen lassen



könnten. Untersuchungen über Umwandlungen des Cyclopent[cd]azulens^[3], 1,3-Bis(dimethylamino)pentalens^[4] und Hexaphenylpentalens^[5] mit Acetylendicarbonsäure-dimethylester in Derivate des Aceheptylens und des Azulens regten zum Studium der Ringerweiterung von (1) zu (2) sowie vor allem von (2) zu (3) an. Dabei fanden wir u. a. eine

Tabelle 1. Daten der Verbindungen (5) und (6). Von allen Verbindungen liegen korrekte Elementaranalysen vor.

R ¹	R ²	Ausb. [%]	Fp [°C]	(5)		Ausb. [%]	Fp [°C]	(6)	
				IR [a] [cm ⁻¹]	¹ H-NMR [b, c] [δ, ppm] q			IR [d] [cm ⁻¹]	¹ H-NMR [b] [δ, ppm] s
(a) CH(CH ₃) ₂	C ₆ H ₅	72	86	1690, 1089	4.45	35	111.5	1707, 1161	4.70
(b) CH ₃	C ₆ H ₅	34	166	1694, 1080	4.48	31	137 (Zers.)	1715, 1159	4.79
(c) C ₆ H ₅ CH ₂	C ₆ H ₅	53	143	1692, 1098	4.44				
(d) o-CH ₃ C ₆ H ₄ CH ₂	C ₆ H ₅	60	107.5	1700, 1099	4.45	13	108.5	1725, 1152	4.80
(e) C ₆ H ₅	C ₆ H ₅	46	140	1700, 1105	4.62	11	120.5 (Zers.)	1725, 1159	4.95
(f) C ₆ H ₅	p-NO ₂ C ₆ H ₄	46	168	1725, 1092	4.73	10	254 (Zers.)	1740, 1148	5.00

[a] $\nu_{\text{C=O}}$ und $\nu_{\text{S=O}}$ in KBr.

[b] Methylengruppen im Heterocyclen relativ zu Hexamethyl-disiloxan als internem Standard, in CDCl₃.

[c] $J_{\text{AB}} = 11.0$ Hz.

[d] $\nu_{\text{C=O}}$ und ν_{SO_2} in KBr.

Eingegangen am 15. Dezember 1975 [Z 364]

[1] W. Ried, W. Merkel u. O. Möisinger, Justus Liebigs Ann. Chem. 1973, 1362.

[2] W. Ried u. O. Möisinger, noch unveröffentlicht.

[3] W. Schuckmann, O. Möisinger u. W. Ried, noch unveröffentlicht.

[4] T. Kinoshita, S. Sato, Y. Furukawa u. C. Tamura, Heterocycles 3, 1, 83 (1975).

[5] B. A. Arbusov, N. N. Zobova u. N. R. Rubinova, Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Khim. 1975, 1438.

CAS-Registry-Nummern:

(1a): 58151-15-8 / (1b): 58151-16-9 / (1c): 50500-04-4 /

(1d): 58151-17-0 / (1e): 50500-03-3 / (1f): 58151-18-1 /

(5a): 58151-04-5 / (5b): 58151-05-6 / (5c): 58151-06-7 /

(5d): 58151-07-8 / (5e): 58151-08-9 / (5f): 58151-09-0 /

(6a): 58151-10-3 / (6b): 58151-11-4 / (6d): 58151-12-5 /

(6e): 58151-13-6 / (6f): 58151-14-7.

Cycloadditionsreaktionen des Pentalens und Azulens – Eine einfache Heptalen-Synthese^[**]

Von Klaus Hafner, Herbert Diehl und Hans Ulrich Süß^[*]

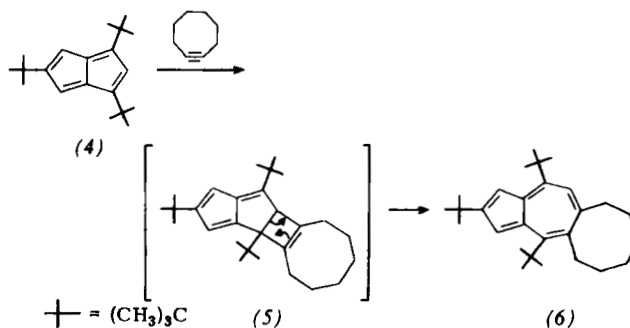
Von den Anfangsgliedern der homologen Reihe der Annulene – Cyclobutadien und Benzol – ist bekannt, daß sie sich durch thermisch bzw. photochemisch induzierte [2+4]- bzw. [2+2]-Cycloadditionen mit reaktiven Alkinen in Cyclobuten-Derivate überführen lassen, deren Valenzisomerisierung das

[*] Prof. Dr. K. Hafner, Dipl.-Ing. H. Diehl und Dipl.-Chem. H. U. Süß Institut für Organische Chemie der Technischen Hochschule Petersenstraße 15, 6100 Darmstadt

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

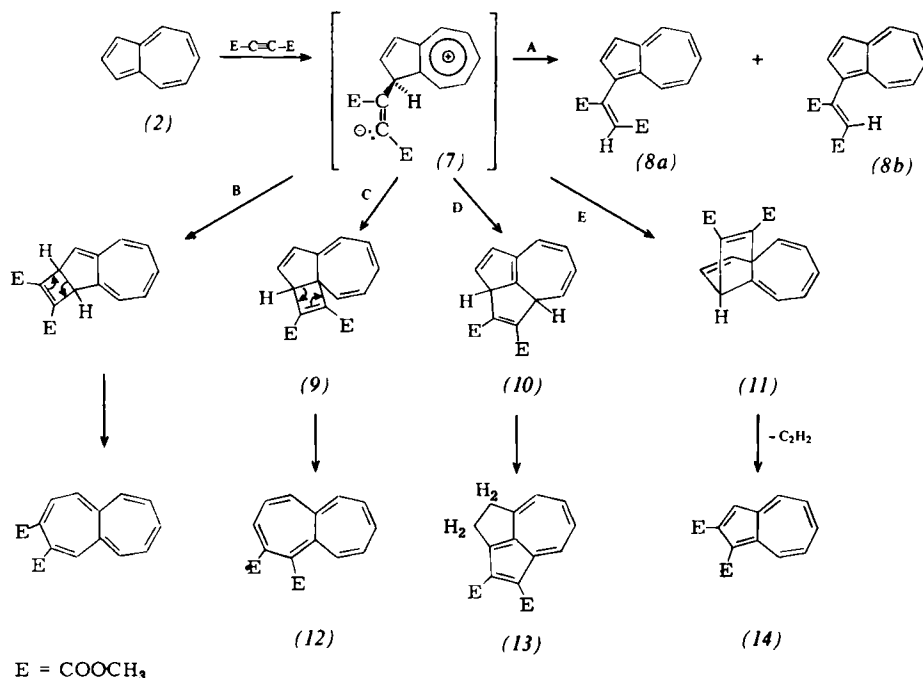
überraschend einfache und universelle Synthese stabiler Heptalen-Derivate.

Pentalen → Azulen: Erwartungsgemäß reagiert das einfachste bisher isolierte Pentalen-Derivat (4)^[6] mit aktivierten Alkinen, insbesondere mit dem hochgespannten Cyclooctin, bei 270°C – vermutlich unter intermediärer Bildung des Cyclobuten-Derivats (5) – rasch und mit 70proz. Ausbeute zum 2,4,12-



Tri-tert-butyl-5,6,7,8,9,10-hexahydrocycloocta[*f*]azulen (6) (blaue Schuppen, Fp = 70–72°C)^[7]. Die ausschließliche Bildung von (6), selbst bei der erforderlichen hohen Temperatur, beweist die im Gegensatz zum Pentalen und dessen Methyl-Derivaten^[8] mangelnde Neigung von (4) zur Dimerisierung sowie den ausgeprägten Substituenteneinfluß auf die Produktbildung. Wie bei der Dimerisierung von 2-Methylpentalen^[8] und 1,5-Dimethylpentalen^[9] wird bei (4) die Cycloaddition in dem durch eine Alkylgruppe in 2(≡5)-Stellung substituierten fünfgliedrigen Ring – offenbar vornehmlich aus sterischen Gründen – verhindert.

Azulen → Heptalen: Nach einer Beobachtung von *W. Treibs*^[10] reagiert Azulen (2) mit Acetylendicarbonsäure und deren Estern bei erhöhter Temperatur sowie besonders in Gegenwart von Lewis-Säuren unter addierender Substitution zur (1-Azulenyl)maleinsäure bzw. deren Estern vom Typ (8b). Dabei dürfte zunächst die resonanzstabilisierte dipolare Zwischenstufe (7) gebildet werden. Von dieser war anzunehmen, daß sie sich grundsätzlich nicht nur unter Rearomatisierung des Azulensystems zu (8), sondern zunächst auch unter Bildung eines oder mehrerer der Cycloaddukte (9)–(11) stabilisieren kann. Wir vermuteten, daß (8) bevorzugt in Gegenwart



von Protonendonoren oder Reagentien, die eine Protonenwanderung begünstigen, gewonnen wird, während in deren Abwesenheit auch die Reaktionswege B – E beschriftet werden können. Unsere Experimente bestätigen diese Erwartungen.

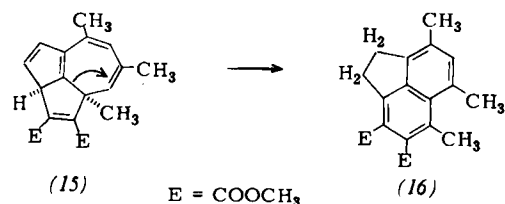
Wird (2) mit Acetylendicarbonsäure-dimethylester in siedendem Tetralin in Gegenwart von 5% Trifluoressigsäure umgesetzt (1 h), so lassen sich 35% eines 1:1-Gemisches von (1-Azulenyl)fumar- (8a) und -maleinsäure-dimethylester (8b) (olivgrünes Öl)^[11] isolieren (Weg A). Bei der gleichen Umsetzung von (2) ohne Trifluoressigsäure werden dagegen anstelle von (8) 15% des thermisch und an der Luft beständigen 1,2-Heptalendicarbonsäure-dimethylesters (12) [rote Blättchen, Fp = 114–115°C; UV (n-Hexan): λ_{max} = 204 (log ε = 4.36), 266 (4.29), 337 (3.63); 60MHz-¹H-NMR ([D₆]-Aceton): τ = 2.73 (d, J = 7 Hz, H-3); 3.30–4.30 (m, 7H), 6.29 und 6.36 (s, 2COOCH₃)] neben 1% 3,4-Dihydro-1,2-cyclopent[cd]azulendicarbonsäure-dimethylester (13) (violette Kristalle, Fp = 138–139°C) und 1% 1,2-Azulendicarbonsäure-dimethylester (14) (rotviolette Kristalle, Fp = 49–50°C)^[12] gewonnen. (12)–(14) lassen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen R_F-Werte und Farbigkeit leicht durch Säulenchromatographie [Al₂O₃; n-Hexan/Äther (5:1)] voneinander trennen.

In Einklang mit unserer Annahme dürfte das Heptalen-Derivat (12) aus einer Valenzisomerisierung von (9) (Weg C), der Tricyclus (13) aus einer Rearomatisierung des Primäradduktes (10) zum azulenoiden System (Weg D) und (14) aus einer Cycloreversion des Adduktes (11) unter Abspaltung von Acetylen (Weg E) resultieren. Formal entspricht die Bildung von (14) der bereits von *Doering* et al.^[12] beobachteten und zum gleichen Azulen-Derivat führenden [2+8]-Cycloadd-

dition von Heptafulven mit Acetylendicarbonsäure-dimethylester. Die überraschend einfache Bildung von (12) aus dem auch in größeren Mengen zur Verfügung stehenden (2) eröffnet einen präparativ bequemen Zugang zu zahlreichen Abkömmlingen des bisher nur in mehrstufigen Synthesen mit sehr geringen Gesamtausbeuten^[13] darstellbaren und kaum untersuchten Heptalen-Systems, dessen Stabilisierung durch zwei Estergruppen in 1- und 2-Stellung der des kürzlich von *Vogel* et al.^[13b] beschriebenen 3,8-Heptalendicarbonsäureesters entspricht. Die spektroskopischen Eigenschaften von (12) stehen mit der durch eine Röntgen-Strukturanalyse^[14]

ermittelten, nicht planaren Struktur des bicyclischen Systems in Einklang.

Wie (2) reagieren alkylierte Azulene mit Acetylendicarbonsäure-dimethylester unter Bildung entsprechender Alkyl-Derivate von (8), (12), (13) und (14). So liefert die analoge Umsetzung von 4,6,8-Trimethylazulen in Gegenwart von 5% Trifluoressigsäure je 25% (4,6,8-Trimethyl-1-azulenyl)fumar-säure-dimethylester (violette Kristalle, Fp = 106–107°C) und -maleinsäure-dimethylester (violette Kristalle, Fp = 109–110°C) (Weg A) sowie 5% 4,6,8-Trimethyl-1,2-azulendicarbonsäure-dimethylester (rotviolette Kristalle, Fp = 138–139°C) (Weg E). Dagegen führt die gleiche Reaktion in Abwesenheit von Protonensäuren zu 45% eines Gemisches der thermisch beständigen 6,8,10-Trimethyl-2,3- und -1,2-heptalendicarbonsäure-dimethylester^[11] im Verhältnis 1:2.5 (Weg B und C) neben 5% 4,6,8-Trimethyl-1,2-azulendicarbonsäure-



dimethylester (Weg E) und 4% 5,6,8-Trimethyl-3,4-acenaphthendicarbonsäure-dimethylester (16) (gelbliche Nadelchen, Fp = 179–181°C), der aus dem (10) analogen Addukt (15)

(Weg D) durch Gerüstumlagerung und Wasserstoffverschiebung hervorgeht.

Eingegangen am 11. Dezember 1975 [Z 363a]

CAS-Registry-Nummern:

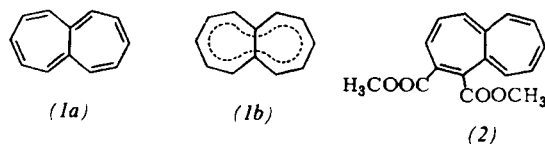
(1): 250-25-9 / (2): 275-51-4 / (3): 257-24-9 / (4): 50356-52-0 /
 (5): 58150-89-3 / (6): 58150-90-6 / (8a): 58150-91-7 /
 (8b): 58150-92-8 / (9): 58150-93-9 / (10): 58150-94-0 /
 (11): 58150-95-1 / (12): 58150-88-2 / (13): 58150-96-2 /
 (14): 39479-45-3 / (15): 58150-97-3 / (16): 58150-98-4 /
 Cyclooctin: 1781-78-8 / Acetylendicarbonsäure-dimethylester: 762-42-5 /
 4,6,8-Trimethylazulen: 941-81-1 / (4,6,8-Trimethyl-1-azulenyl)-fumar-
 säure-dimethylester: 58150-99-5 / (4,6,8-Trimethyl-1-azulenyl)malein-
 säure-dimethylester: 58151-00-1 / 4,6,8-Trimethyl-1,2-azulencarbon-
 säure-dimethylester: 58151-01-2 / 6,8,10-Trimethyl-2,3-heptalencarbon-
 säure-dimethylester: 58151-02-3 / 6,8,10-Trimethyl-1,2-heptalencarbon-
 säure-dimethylester: 58151-03-4.

- [1] L. Watts, J. D. Fitzpatrick u. R. Pettit, J. Am. Chem. Soc. 87, 3253 (1965); G. Maier, Angew. Chem. 86, 491 (1974); Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 13, 425 (1974).
 [2] D. Bryce-Smith, A. Gilbert u. J. Grzonka, Chem. Commun. 1970, 498.
 [3] K. Hafner u. R. Fleischer, Angew. Chem. 82, 217 (1970); Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 9, 247 (1970); H. Diehl u. K. Hafner, Angew. Chem. 88, 124 (1976); Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 15, Nr. 2 (1976).

Kristall- und Molekülstruktur des 1,2-Heptalencarbonsäure-dimethylesters^[**]

Von Hans Jörg Lindner und Brigitte Kitschke^[*]

Theoretische Arbeiten zeigen, daß die lokalisierte Heptalenstruktur (1a) gegenüber der delokalisierten Struktur (1b) energetisch bevorzugt ist^[1]. Bertelli schloß aus dem ¹H-NMR-Spektrum des Heptalens auf eine nicht ebene Struktur des Bicyclus^[2]. Vogel, Oth et al. synthetisierten Heptalen und stabilisierte Heptalene und fanden beim Heptalen eine schnelle π -Bindungsverschiebung mit einer Aktivierungsenergie von 14,7 kJ mol⁻¹^[3].



Wir haben eine Röntgen-Strukturanalyse des durch Estergruppen stabilisierten, von Hafner und Diehl dargestellten 1,2-Heptalencarbonsäure-dimethylesters (2)^[4] durchge-

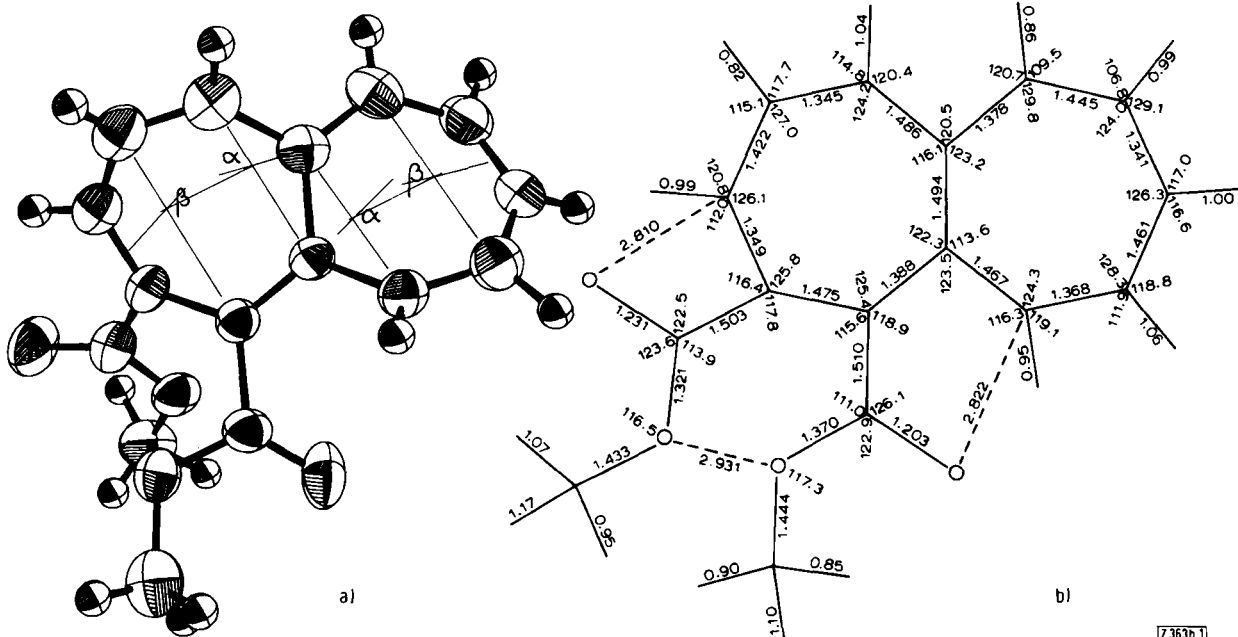


Abb. 1. a) Molekülstruktur von (2); b) Bindungslängen und -winkel (Bindungslängen in 10² pm). Standardabweichungen: $\sigma = 0,8 \text{ pm}$; $\sigma_{\text{XH}} = 7 \text{ pm}$; $\sigma_{\text{XXX}} = 0,5$; $\sigma_{\text{XXH}} = 3,0^\circ$ (X = C, O).

- [4] K. Hafner, Pure Appl. Chem. 28, 153 (1971).
 [5] E. LeGoff, J. Am. Chem. Soc. 84, 3975 (1962).
 [6] K. Hafner u. H. U. Süss, Angew. Chem. 85, 626 (1973); Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 12, 575 (1973).
 [7] Von allen nicht näher beschriebenen Substanzen wurden korrekte Elementaranalysen sowie UV-, NMR- und MS-Spektren erhalten.
 [8] R. Bloch, R. A. Marty u. P. de Mayo, Bull. Soc. Chim. Fr. 1972, 2031; K. Hafner, R. Dönges, E. Goedecke u. R. Kaiser, Angew. Chem. 85, 362 (1973); Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 12, 337 (1973).
 [9] R. Dönges, Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, voraussichtlich 1976.
 [10] W. Treibs, Naturwissenschaften 52, 452 (1965).
 [11] Das Isomerenmisch konnte analytisch und NMR-spektroskopisch identifiziert, jedoch chromatographisch noch nicht getrennt werden.
 [12] W. v. E. Doering u. D. W. Wiley, Tetrahedron 11, 183 (1960).
 [13] a) H. J. Dauben u. D. J. Bertelli, J. Am. Chem. Soc. 83, 4659 (1961); E. Vogel, H. Königshofen, J. Wassen, K. Müllen u. J. F. M. Oth, Angew. Chem. 86, 777 (1974); Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 13, 732 (1974); E. Vogel u. J. Ippen, Angew. Chem. 86, 778 (1974); Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 13, 734 (1974); b) E. Vogel u. F. Hogrefe, Angew. Chem. 86, 779 (1974); Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 13, 735 (1974).
 [14] H. J. Lindner u. B. Kitschke, Angew. Chem. 88, 123 (1976); Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 15, Nr. 2 (1976).

führt. (2) kristallisiert in monoklinen roten Plättchen vom $F_p = 114-115^\circ\text{C}$; $a = 1242 \pm 1$, $b = 818 \pm 1$, $c = 1396 \pm 1 \text{ pm}$, $\beta = 105,14 \pm 0,05^\circ$, $V_{\text{EZ}} = 1370 \cdot 10^6 \text{ pm}^3$, $Z = 4$, $d_{\text{rönt}} = 1,310 \text{ g cm}^{-3}$, $d_{\text{exp}} = 1,315 \text{ g cm}^{-3}$, Raumgruppe $P2_1/a$.

2160 Reflexe hkl ($0 \leq k \leq 6$) wurden mit $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) auf einem Zweikreisdiffraktometer vermessen. Die Struktur wurde mit dem Programmsystem von Sheldrick^[5] aufgeklärt und verfeinert ($R = 0,098$).

Das Heptalensystem in (2) (Abb. 1a) besteht aus zwei bootförmigen, siebengliedrigen Ringen mit Strukturwinkeln von $\alpha = 36,8^\circ$, $\beta = 22,0^\circ$ (substituierter Ring) und $\alpha = 37,3^\circ$, $\beta = 22,7^\circ$. Diese Strukturwinkel sind zwar kleiner als in anderen siebengliedrigen Ringen mit drei lokalisierten Doppelbindun-

[*] Prof. Dr. H. J. Lindner und B. Kitschke
 Institut für Organische Chemie der Technischen Hochschule
 Petersenstraße 15, 6100 Darmstadt

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