

CHEMISCHE BERICHTE

GEGRÜNDET 1868

115. JAHRGANG

HERAUSGEGEBEN IM AUFTRAG DER
GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

VON

K. HAFNER · W. KIRMSE · H. MUSSO · H. NÖTH ·
J. SAUER · E. WINTERFELDT

UNTER MITWIRKUNG VON

H. A. BRUNE · W. LÜTTKE · G. SPITELLER

REDAKTION: H. ZAHN

mit H. SCHILL, J. STREHLOW und A. WIELAND



D-6940 WEINHEIM

1982
HEFT 10

CONTENTS OF No. 10

PHYSICAL CHEMISTRY

- Hellmann* Goetz, *Hellmann* Siegfried, *Beckhaus* Hans-Dieter, and *Rüchardt* Christoph: Thermolabile Hydrocarbons, XVI: Thermal Stability, Strain Enthalpy, and Structure of Sym. Tetrasubstituted Ethanes 3364

INORGANIC CHEMISTRY

- Richter* Felix and *Vahrenkamp* Heinrich: Chiral SFeCoM Clusters: Synthesis, Side Reactions, and Proof of Chirality 3224
- Richter* Felix and *Vahrenkamp* Heinrich: Chiral SFeCoM Clusters: Enantiomer Separation and Determination of the Absolute Configuration 3243
- Keçeci* Ahmet, *Rehder* Dieter, *Roose* Wolfgang, and *Talay* Ridvan: Phosphane-bridged Dinuclear Complexes Containing Carbonyl- η^5 -cyclopentadienyl Transition Metal Fragments 3257
- Maringgele* Walter: Reaction of Metal and Metalloid Compounds with Polyfunctional Molecules, XXXVI: New Syntheses of Open-Chain and Cyclic *N*-Borylureas and -thioureas 3271
- Schmidbaur* Hubert, *Deschler* Ulrich, and *Milewski-Mahrla* Beatrix: Ylide Complexes of Alkali and Alkaline Earth Metals, V: Pyridine-substituted Phosphonium-bis-methylidene Anions as Chelating Ligands for Sodium, Potassium, and Barium. Crystal Structure of a Binuclear Potassium Complex 3290
- Sohn* Dieter and *Sundermeyer* Wolfgang: Reaction of Pentafluoro-2-aza-1-propene with Perfluorinated Carbenes 3334
- Köster* Hajo and *Weiss* Erwin: Metal Alkyl and Aryl Compounds, XXVIII: Preparation and Crystal Structure of Allyllithium-*N,N,N',N'*-Tetramethylethylenediamine, $C_3H_5Li \cdot tmeda$ 3422
- Weidenbruch* Manfred, *Flott* Hermann, *Fleischhauer* Jörg, and *Schleker* Wolfgang: Silicon Compounds with Strong Intramolecular Steric Interactions, 13: Restricted Rotations in Tri-*tert*-butylsilanes 3444

ORGANIC CHEMISTRY

- Leininger* Hartmut, *Kemmer* Petra, *Beck* Karin, and *Christl* Manfred: 7-Thiatetracyclo-[4.1.0.0^{2,4}.0^{3,5}]heptane (Benzvalene Sulfide) – Synthesis and Reactions 3213
- Maringgele* Walter: Reaction of Metal and Metalloid Compounds with Polyfunctional Molecules, XXXVI: New Syntheses of Open-Chain and Cyclic *N*-Borylureas and -thioureas 3271
- Erker* Gerhard, *Wicher* Joachim, *Engel* Klaus, and *Krüger* Carl: (*s-trans*- η^4 -Diene)zirconocene Complexes 3300
- Erker* Gerhard, *Engel* Klaus, *Krüger* Carl, and *Chiang* An-Pei: Reactivity and Structure of (*s-cis*-1,3-Diene)zirconocene Complexes 3311
- Roedig* Alfred and *Ritschel* Werner: Reactions of 3,4,4-Trichloro-3-butenamides with Nucleophiles, I: Dimers and Alcohol Adducts of 1,1-Dichloroallenecarboxamides .. 3324

<i>Schaumann</i> Ernst, <i>Bäuch</i> Hans-Günther, <i>Sieveling</i> Stefan, and <i>Adiwidjaja</i> Gunadi: Cycloaddition Reactions of Heterocumulenes, XXV: Cycloadducts and Rearrange- ment Products from the Reaction of Isothiocyanates with Ketene Acetals	3340
<i>Neidlein</i> Richard and <i>Zeiner</i> Hartmut: Syntheses of Some Unsaturated Carboxylic Acids of 1,6-Methano[10]annulene and the Bridged Dicyanopseudophenalene-fulvene	3353
<i>Hellmann</i> Goetz, <i>Hellmann</i> Siegfried, <i>Beckhaus</i> Hans-Dieter, and <i>Rüchardt</i> Christoph: Thermolabile Hydrocarbons, XVI: Thermal Stability, Strain Enthalpy, and Structure of Sym. Tetrasubstituted Ethanes	3364
<i>Heuschmann</i> Manfred and <i>Quast</i> Helmut: Three-membered Ring Heterocycles, 14: α -Halogenation of Tertiary Phosphane Oxides	3384
<i>Auchter</i> Gerhard and <i>Hanack</i> Michael: Vinyl Cations, 38: Synthesis and Solvolysis of 3-Substituted 1-Cyclobutenyl Nonaflates	3402
<i>Cetinkaya</i> Bekir, <i>Binger</i> Paul, and <i>Krüger</i> Carl: Metallacycloalkanes, V: Preparation of a Rhodacycloheptane by Oxidative Coupling of 3,3-Dimethylcyclopropene to Rhodium(I) Complexes	3414
<i>Welt</i> Günther, <i>Wolf</i> Elisabeth, <i>Fischer</i> Peter, and <i>Föhlisch</i> Baldur: [4 + 2] Cycloadducts with Alternate Structure from 7,7-Difluoro- and 7,7-Dialkoxy-1,3,5-cyclohepta- trienes and 4-Phenyl-1,2,4-triazoline-3,5-dione	3427
<i>Rumiński</i> Jan K. and <i>Przewoska</i> Krystyna D.: Synthesis and Reactivity of 2-Aroylbenzoic Acids, II: 2-(4-Hydroxy-3-isopropylbenzoyl)benzoic Acid	3436
<i>Weidenbruch</i> Manfred, <i>Flott</i> Hermann, <i>Fleischhauer</i> Jörg, and <i>Schleker</i> Wolfgang: Sili- con Compounds with Strong Intramolecular Steric Interactions, 13: Restricted Rota- tions in Tri- <i>tert</i> -butylsilanes	3444
<i>Zander</i> Maximilian: Reaction of Carbazolyipotassium with 9-Bromoanthracene and Nitrobenzene	3449

AUTORENREGISTER

<i>Adiwidjaja, G. s. Schaumann, E.</i>	3340	<i>Maringgele, W.</i>	3271
<i>Auchter, G. und Hanack, M.</i>	3402	<i>Milewski-Mahrla, B. s. Schmidbaur, H.</i>	3290
<i>Bäuch, H.-G. s. Schaumann, E.</i>	3340	<i>Neidlein, R. und Zeiner, H.</i>	3353
<i>Beck, K. s. Leininger, H.</i>	3213	<i>Przewoska, K. D. s. Rumiński, J. K.</i> . . .	3436
<i>Beckhaus, H.-D. s. Hellmann, G.</i>	3364	<i>Quast, H. s. Heuschmann, M.</i>	3384
<i>Binger, P. s. Cetinkaya, B.</i>	3414	<i>Rehder, D. s. Keçeci, A.</i>	3257
<i>Cetinkaya, B., Binger, P. und</i>		<i>Richter, F. und Vahrenkamp, H.</i>	3224, 3243
<i>Krüger, C.</i>	3414	<i>Ritschel, W. s. Roedig, A.</i>	3324
<i>Chiang, A.-P. s. Erker, G.</i>	3311	<i>Roedig, A. und Ritschel, W.</i>	3324
<i>Christl, M. s. Leininger, H.</i>	3213	<i>Roose, W. s. Keçeci, A.</i>	3257
<i>Deschler, U. s. Schmidbaur, H.</i>	3290	<i>Rüchardt, C. s. Hellmann, G.</i>	3364
<i>Engel, K. s. Erker, G.</i>	3300, 3311	<i>Rumiński, J. K. und Przewoska, K. D.</i>	3436
<i>Erker, G., Engel, K., Krüger, C. und</i>		<i>Schaumann, E., Bäuch, H.-G.,</i>	
<i>Chiang, A.-P.</i>	3311	<i>Sievecking, S. und Adiwidjaja, G.</i> . .	3340
–, <i>Wicher, J., Engel, K. und</i>		<i>Schleker, W. s. Weidenbruch, M.</i>	3444
<i>Krüger, C.</i>	3300	<i>Schmidbaur, H., Deschler, U. und</i>	
<i>Fischer, P. s. Welt, G.</i>	3427	<i>Milewski-Mahrla, B.</i>	3290
<i>Fleischhauer, J. s. Weidenbruch, M.</i> . . .	3444	<i>Sievecking, S. s. Schaumann, E.</i>	3340
<i>Flott, H. s. Weidenbruch, M.</i>	3444	<i>Sohn, D. und Sundermeyer, W.</i>	3334
<i>Föhlisch, B. s. Welt, G.</i>	3427	<i>Sundermeyer, W. s. Sohn, D.</i>	3334
<i>Hanack, M. s. Auchter, G.</i>	3402	<i>Talay, R. s. Keçeci, A.</i>	3257
<i>Hellmann, G., Hellmann, S.,</i>		<i>Vahrenkamp, H. s. Richter, F.</i>	3224, 3243
<i>Beckhaus, H.-D. und Rüchardt, C.</i>	3364	<i>Weidenbruch, M., Flott, H.,</i>	
<i>Hellmann, S. s. Hellmann, G.</i>	3364	<i>Fleischhauer, J. und Schleker, W.</i> . .	3444
<i>Heuschmann, M. und Quast, H.</i>	3384	<i>Weiss, E. s. Köster, H.</i>	3422
<i>Keçeci, A., Rehder, D., Roose, W.</i>		<i>Welt, G., Wolf, E., Fischer, P. und</i>	
<i>und Talay, R.</i>	3257	<i>Föhlisch, B.</i>	3427
<i>Kemmer, P. s. Leininger, H.</i>	3213	<i>Wicher, J. s. Erker, G.</i>	3300
<i>Köster, H. und Weiss, E.</i>	3422	<i>Wolf, E. s. Welt, G.</i>	3427
<i>Krüger, C. s. Cetinkaya, B.</i>	3414	<i>Zander, M.</i>	3449
– s. <i>Erker, G.</i>	3300, 3311	<i>Zeiner, H. s. Neidlein, R.</i>	3353
<i>Leininger, H., Kemmer, P., Beck, K.</i>			
<i>und Christl, M.</i>	3213		

Additions- und Cycloadditionsreaktionen von Allenyl-Kationen mit cyclischen 1,3-Dienen

Herbert Mayr*, Franz Schütz und Inge K. Halberstadt-Kausch

Institut für Organische Chemie der Universität Erlangen-Nürnberg,
Henkestr. 42, D-8520 Erlangen

Eingegangen am 1. März 1982

Die Zinkchlorid-katalysierte Umsetzung von 1,3-Cyclohexadien oder 1,3-Cycloheptadien mit den Propargylchloriden **3** liefert Bicyclo[2.2.2]octene **1** bzw. Bicyclo[3.2.2]nonene **2**, deren Bildung durch stufenweise [2 + 4]-Cycloadditionen intermediärer Allenyl-Kationen **12** gedeutet wird. Mit 1,3-Cyclooctadien entstehen unter diesen Bedingungen die 3-Chlor-8-propargylcyclooctene **4**. Anthracen reagiert mit **3a** im Sinne einer [2 + 4]-Cycloaddition unter Bildung des Dibenzobicyclo[2.2.2]octadiens **22**, während **3a** mit Furan eine elektrophile aromatische Substitution eingeht. Diese Unterschiede der 1,3-Cycloalkadiene werden durch die verschiedene Stabilität der intermediären Carbenium-Ionen erklärt.

Addition and Cycloaddition Reactions of Allenyl Cations with Cyclic 1,3-Dienes

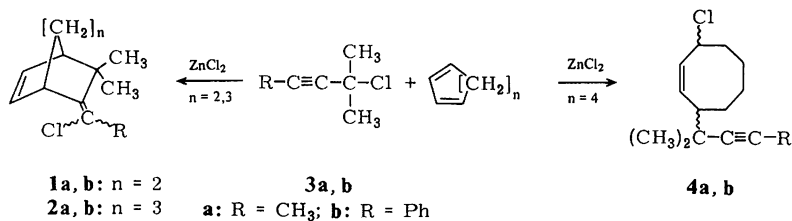
The zinc chloride catalysed reactions of 1,3-cyclohexadiene or 1,3-cycloheptadiene with propargyl chlorides **3** yield bicyclo[2.2.2]octenes **1** and bicyclo[3.2.2]nonenes **2**, respectively. These reactions are suggested to proceed via stepwise [2 + 4]-cycloadditions of intermediate allenyl cations **12**. 1,3-Cyclooctadiene gives 3-chloro-8-propargylcyclooctenes **4** under these conditions. Anthracene reacts with **3a** to give dibenzobicyclo[2.2.2]octadiene **22** via [2 + 4]-cycloaddition, and furan undergoes an electrophilic aromatic substitution reaction with **3a**. The individual behaviour of the various 1,3-cycloalkadienes is rationalised by different stabilities of the intermediate carbenium ions.

In der voranstehenden Mitteilung berichteten wir über die Bildung [3.2.1]- und [2.2.1]-bicyclischer Vinylhalogenide durch Zinkhalogenid-katalysierte Umsetzungen von Propargylhalogeniden mit Cyclopentadien und erklärten diese Befunde durch stufenweise [3 + 4]- bzw. [2 + 4]-Cycloadditionen intermediärer Allenyl-Kationen¹⁾. In dieser Arbeit beschreiben wir entsprechende Reaktionen mit anderen cyclischen 1,3-Dienen²⁾.

I. 1,3-Cycloalkadiene

1. Reaktionsprodukte und Strukturaufklärung

Tropft man bei – 50 bis – 30°C ein Gemisch aus Propargylchlorid **3** und 1,3-Cyclohexadien bzw. 1,3-Cycloheptadien zu einer Lösung von Zinkchlorid in Ether/Dichlormethan, erhält man die Vinylchloride **1** bzw. **2** als einzige 1 : 1-Additionsprodukte (Tab. 1). Das Trimethylpropargylchlorid **3a** liefert dabei **1a** und **2a** als (*E*),(*Z*)-Isomerenmische ($\approx 1:1$), während aus dem Dimethylphenylpropargylchlorid **3b** selektiv die Vinylchloride **1b** und **2b** mit (*E*)-konfigurierter *exo*-Doppelbindung entstehen.

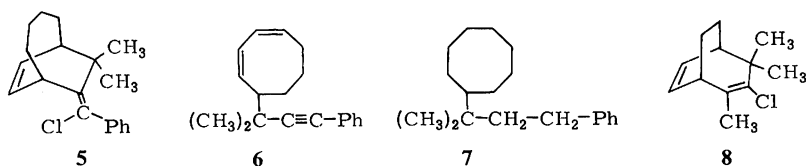


Tab. 1. Produkte der ZnCl_2 -katalysierten Umsetzungen von Propargylhalogeniden **3** mit 1,3-Cycloalkadienen

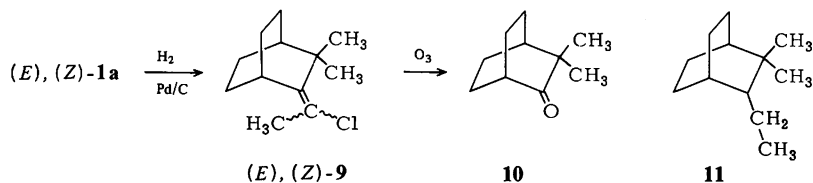
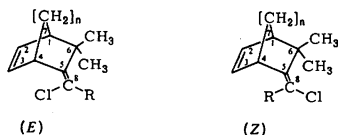
1,3-Dien	R	t (h)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Produkt	Ausb. ^{a)} (%)
Cyclohexadien	CH_3	4	-30	(<i>E</i>),(<i>Z</i>)- 1a	22
Cyclohexadien	Ph	0.5	-50	(<i>E</i>)- 1b	54
Cycloheptadien	CH_3	7	-30	(<i>E</i>),(<i>Z</i>)- 2a	22
Cycloheptadien	Ph	2	-40	(<i>E</i>)- 2b	50
Cyclooctadien	CH_3	290	-78 ^{b)}	4a	10
Cyclooctadien	Ph	340	-78	4b	29

a) Differenz zu 100% = höhermolekulare Produkte. – b) Anschließend 12 h -45°C .

1,3-Cyclooctadien und die Propargylchloride **3a,b** ergeben unter denselben Reaktionsbedingungen die Cycloocten-Derivate **4a,b** als *cis,trans*-Isomerengemische in mäßigen Ausbeuten. Daneben erhält man aus Cyclooctadien und **3b** noch eine Spur eines zweiten Produkts, dem vermutlich Struktur **5** zukommt. Beim Versuch, **4b** durch Behandlung mit Lewis-Säuren in **5** umzulagern, bildete sich unter Chlorwasserstoff-Eliminierung das Cyclooctadien **6**, dessen Hydrierung **7** ergab.

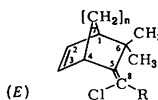


Für die Additionsprodukte aus **3a** und 1,3-Cyclohexadien kommt außer (*E*),(*Z*)-**1a** noch Struktur **8** in Frage. Dagegen spricht jedoch die chemische Verschiebung der an der Doppelbindung befindlichen Methylgruppe ($\delta = 2.17$), die in **8** bei etwa $\delta = 1.8$ absorbieren sollte³⁾. Mit Palladium/Aktivkohle als Katalysator läßt sich die endocyclische Doppelbindung von **1a** hydrieren, und man erhält ein Gemisch aus (*E*)- und (*Z*)-**9**, dessen Ozonolyse das bekannte Dimethylbicyclo[2.2.2]octanon **10**⁴⁾ liefert. Verwendet man zur Hydrierung von **1a** einen Platin-Katalysator, wird (*E*)-**9** zu **11** reduziert, während (*Z*)-**9** bei Raumtemperatur unter Atmosphärendruck nicht weiter hydriert wird. Das Reaktionsprodukt aus **3a** und 1,3-Cycloheptadien besitzt ein ähnliches ¹H-NMR-Spektrum wie das (*E*),(*Z*)-Isomerengemisch **1a** (Tab. 2), und wird deshalb (*E*)- und (*Z*)-**2a** zugeordnet.

Tab. 2. $^1\text{H-NMR}$ -Spektren einiger Bicyclo[2.2.n]alkene (δ , CCl_4)

n	R	Konfiguration	Formel	1-H/[CH ₂] _n	2-H/3-H	4-H	6-CH ₃	8-R
2	CH ₃	<i>E</i>	1a	1–2.2 m	6.3 mc	3.87 mc	1.08 s, 1.30 s	2.17 s
2	CH ₃	<i>Z</i>	1a	1–2.2 m	6.3 mc	3.33 mc	1.16 s, 1.39 s	2.17 s
3	CH ₃	<i>E</i>	2a	1–2.3 m	6.05 mc	3.60 mc	1.16 ^{a)} s, 1.42 ^{a)} s	2.10 ^{b)} s
3	CH ₃	<i>Z</i>	2a	1–2.3 m	6.05 mc	3.20 mc	1.20 ^{a)} s, 1.53 ^{a)} s	2.26 ^{b)} s
1	Ph	<i>E</i>	c, d)	2.41, 1.85, 1.55	6.27	3.89	0.68 s, 1.09 s	7.3 s
2	Ph	<i>E</i>	1b^{c)}	1.0–2.2 m	6.26 mc	4.04 mc	0.80 s, 0.90 s	7.23 s
3	Ph	<i>E</i>	2b^{c)}	1.3–2.1 m	6.13 mc	3.77 mc	0.77 s, 1.07 s	7.28 s
4	Ph	<i>E</i>	5^{e)}	1–2.5 m	5.75 mc	3.67 mc	0.62 s, 1.13 s	7.23 s

a, b) Zuordnung zu (*E*) bzw. (*Z*) nicht eindeutig. – c) In CDCl_3 . – d) Aus Lit.¹⁾. – e) Numerierung nach obigen Formeln.

Tab. 3. $^{13}\text{C-NMR}$ chemische-Verschiebungen von 5-(α -Chlorbenzyliden)bicyclo[2.2.n]alk-2-enen in CDCl_3 

n	1 ^{a)}	2 (<i>E</i>)-1b	3 (<i>E</i>)-2b ^{c)}
C-1	56.4	46.8	47.5
C-2	133.4 ^{b)}	129.5 ^{b)}	130.9 ^{b)}
C-3	138.4 ^{b)}	136.8 ^{b)}	135.4 ^{b)}
C-4	52.1	39.0	40.3
C-5	148.4	146.7	146.6
C-6	45.5	41.3	42.1
C-7	47.1	20.6, 23.3	23.0, 24.4, 27.7
C-8	122.2	123.2	126.4
C _{ipso}	139.5	140.6	141.4
C _{o,m}	127.8, 129.9	127.7, 130.0	127.9, 129.8
C _p	128.0	127.8	127.9
CH ₃	28.3, 28.6	28.3, 30.0	27.5, 32.0

a) Daten aus Lit.¹⁾. – b) Zuordnung unsicher. – c) Numerierung nach obiger Formel.

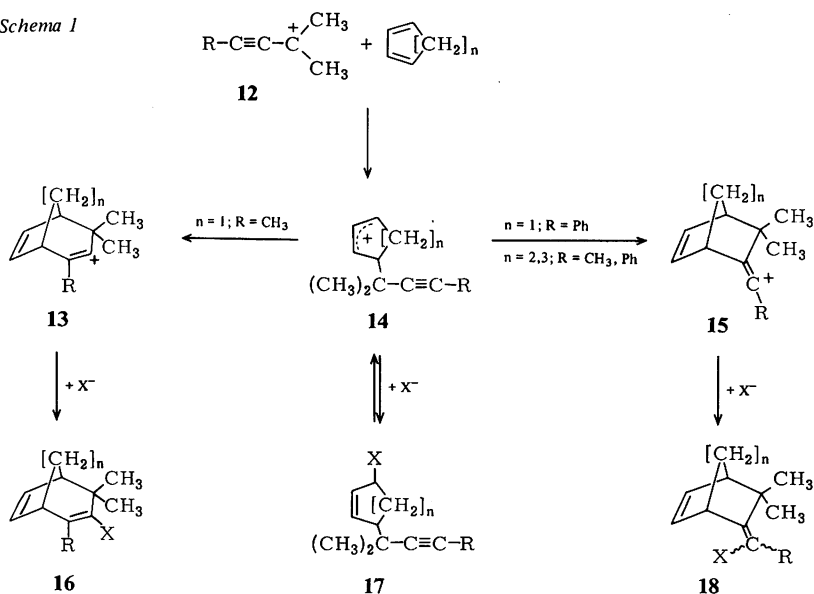
Die (*E*),(*Z*)-Isomeren der Vinylchloride **1a**, **2a** und **9** unterscheiden sich spektroskopisch vor allem in der chemischen Verschiebung des Brückenkopfprotons 4-H, das in den (*E*)-Isomeren durch das benachbarte Chloratom um etwa 0.5 ppm stärker entschirmt ist als in den (*Z*)-Isomeren (Tab. 2). Die ähnliche chemische Verschiebung dieses Protons in **1b** und (*E*)-**1a** sowie in **2b** und (*E*)-**2a** zeigt die (*E*)-Konfiguration in **1b** und **2b** an, da in den (*E*)-Isomeren bei Variation von R die Umgebung von 4-H kaum verändert wird. Weiterhin ist die Hochfeldverschiebung der Methylgruppensignale von **1b** und **2b** gegenüber **1a** und **2a** einfach durch den Abschirmeffekt der Phenylgruppen erklärbar, der nur in den (*E*)-Isomeren möglich ist. Das nicht in Reinsubstanz isolierte **5** zeigt ein ähnliches ¹H-NMR-Spektrum wie **1b** und **2b**, so daß die vorgeschlagene [4.2.2]-bicyclische Struktur wahrscheinlich ist.

Einen weiteren Konstitutionsbeweis für die Bicyclen **1b** und **2b** erhält man durch Vergleich ihrer ¹³C-NMR-Daten mit denen der entsprechenden Norbornen-Verbindung (Tab. 3). Während die Signale der Brückenkopfkohlenstoffe in **1b** und **2b** gegenüber dem analog substituierten Norbornen um etwa 10 ppm Hochfeld-verschoben sind, erfahren die übrigen Kohlenstoffe eine geringere Abschirmung von 1.5–4 ppm. Entsprechende Verschiebungen wurden für den Übergang vom Norbornan zu Bicyclo[2.2.2]octan beschrieben⁵⁾.

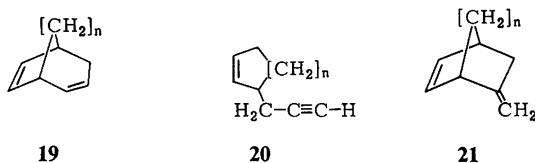
2. Diskussion

Die Reaktionen der verschiedenen 1,3-Cycloalkadiene mit den Allenyl-Kationen **12**, die intermediär aus **3** entstehen, sind in Schema 1 zusammengefaßt. Während bei der Umsetzung mit Cyclopentadien, je nach Art von R, Folgeprodukte von **13** oder **15** entstehen¹⁾, erhält man mit Cyclohexadien und Cycloheptadien ausschließlich Folgeprodukte von **15**. Cyclooctadien führt, läßt man die geringe Menge an **5** unberücksichtigt, nur zu monocyclischen Produkten, die sich von **14** ableiten.

Schema 1



Diese Befunde lassen sich anhand von Abb. 1 erklären. Zur Konstruktion dieser Energieprofile gehen wir davon aus, daß der Energieunterschied der Produkte **16**–**18** durch die relative Stabilität der Kohlenwasserstoffe **19**–**21** wiedergegeben wird, deren Bildungswärmen wir aus Kraftfeldrechnungen⁶⁾ erhalten (Tab. 4).



Tab. 4. Abschätzung der relativen Energie der Carbenium-Ionen **13**–**15** (kcal/mol)

	n	R	ΔH_f° (Modell-Kohlenwasserstoff) ^{a)}	ΔG^\ddagger ^{b)}	$\Delta H_f^\circ + \Delta G^\ddagger$
14	1	CH ₃ , Ph	60.7	16.1 ^{c)}	76.8
	2	CH ₃ , Ph	51.8	20.0 ^{c)}	71.8
	3	CH ₃ , Ph	51.7	19.7 ^{c)}	71.4
	4	CH ₃ , Ph	48.0	22.6 ^{c)}	70.6
15	1	CH ₃	41.5	41.1 ^{d,e)}	82.6
	1	Ph	41.5	35.8 ^{f)}	77.3
	2	CH ₃	28.3	41.1 ^{d,e)}	69.4
	2	Ph	28.3	35.8 ^{f)}	64.1
	3	CH ₃	21.8	41.1 ^{d,e)}	62.9
	3	Ph	21.8	35.8 ^{f)}	57.6
	4	CH ₃	16.9	41.1 ^{d,e)}	58.0
	4	Ph	16.9	35.8 ^{f)}	52.7
13	1	CH ₃ , Ph	32.5	47.4 ^{g)}	79.9
	2	CH ₃ , Ph	29.3	42.3 ^{h)}	71.6
	3	CH ₃ , Ph	25.4	42.3 ^{h)}	67.7
	4	CH ₃ , Ph	24.5	42.3 ^{h)}	66.8

a) Berechnet mit Allingers Kraftfeld-Programm MM 1⁷⁾. – b) Solvolysesgeschwindigkeiten von Allyl- oder Vinylbromiden in 80proz. Ethanol bei 25°C. – c) ΔG^\ddagger (25°C) von 3-Brom-1-cyclopenten, -cyclohexen, -cyclohepten und -cycloocten⁸⁾. – d) Korrekturfaktor $k_{OTf}/k_{Br} = 6 \cdot 10^7$ aus Daten in Lit.^{9,10)}. – e) Aus Solvolysesgeschwindigkeit von $(CH_3)_2C=C(Br)Ph$ bei 120°C¹²⁾. – f) Aus relativer Solvolysesgeschwindigkeit von 1-Cyclohexen-1-yltriflat und $(CH_3)_2C=C(OTf)CH_3$ in 50proz. Ethanol¹³⁾. – g) Aus relativer Solvolysesgeschwindigkeit von 1-Cyclohexen-1-yltriflat und $(CH_3)_2C=C(OTf)CH_3$ in 50proz. Ethanol¹³⁾.

Den relativen Energieunterschied zwischen **16**–**18** und den entsprechenden Carbenium-Ionen **13**–**15** bestimmen wir näherungsweise aus den Solvolysesgeschwindigkeiten von Modellsubstanzen (Tab. 4). Dieses Verfahren ist zwar nicht ganz befriedigend, da in den Übergangszuständen der Solvolyse-Reaktionen der Carbenium-Ionen-Charakter erst zum Teil entwickelt ist¹⁴⁾, dürfte jedoch in Ermangelung passender thermodynamischer Daten die bestmögliche Methode zur Abschätzung der relativen Energie von **13**–**15** sein. In analoger Weise erhält man aus den Bildungswärmen der Cycloalkadiene

und Acetylene sowie den Solvolysesgeschwindigkeiten von Propargylderivaten¹⁵⁾ den ersten Abschnitt der Energieprofile. Unter Berücksichtigung des Leffler-Hammond-Postulats¹⁶⁾ ergibt sich schließlich die in Abb. 1 gezeigte Abstufung der verschiedenen Übergangszustände.

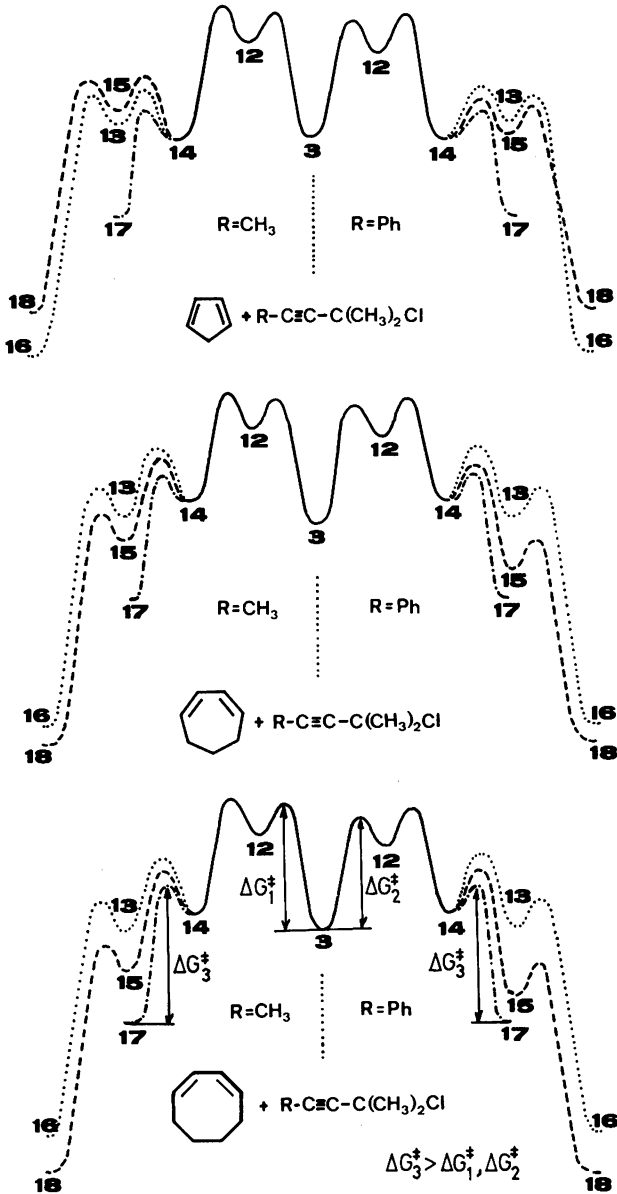


Abb. 1. Schematische Energieprofile der Lewis-Säure-katalysierten Additionen von Propargylhalogeniden 3 an einige 1,3-Cycloalkadiene

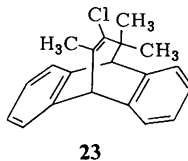
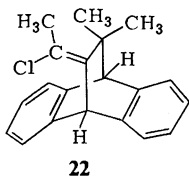
Im oberen Teil von Abb. 1 wird das unterschiedliche Verhalten von Cyclopentadien gegenüber den Allenyl-Kationen **12** mit $R = \text{CH}_3$ und $R = \text{Ph}$ richtig vorhergesagt. Hier sind die [3 + 4]-Additionsprodukte **16** um 9 kcal/mol weniger gespannt als die [2 + 4]-Additionsprodukte **18**. Dieser Term dominiert für $R = \text{CH}_3$, so daß **13** trotz des gewinkelten Vinyl-Kation-Systems etwas stabiler ist als **15** (Abb. 1, oben links). Ein Substituent $R = \text{Ph}$ stabilisiert **15** so stark, daß die höhere Ringspannung des [2.2.1]-Bicyclus überkompensiert und **15** unter das Energieniveau von **13** abgesenkt wird (Abb. 1, oben rechts). Ähnliche Energieunterschiede zwischen **13** und **15** berechneten wir auch aus Gasphasenstabilitäten von Modell-Carbenium-Ionen¹⁾.

Die aus Cyclohexadien und Cycloheptadien entstehenden Bicyclen **16** und **18** besitzen ungefähr gleiche Energie (**18** geringfügig stabiler als **16**). Nun ist im Fall $R = \text{CH}_3$ wie auch $R = \text{Ph}$ das lineare Vinyl-Kation **15** stabiler als **13**, im Einklang mit der abschließlichen Beobachtung von [2 + 4]-Cycloadditionen (Abb. 1, Mitte).

Warum liefert Cyclooctadien fast keine bicyclischen Produkte? Abb. 1 (unten) zeigt, daß es nicht an der Ringspannung des dabei entstehenden [4.2.2]-Bicyclus liegen kann, denn die Cyclisierung $\mathbf{14} \rightarrow \mathbf{15}$ hat hier sogar eine höhere Triebkraft als in den obigen Fällen. Wir nehmen daher an, daß der große Energieunterschied zwischen **14** und **17** für diesen Befund verantwortlich ist. Werden die Cycloalkenyl-Kationen **14** ($n = 1 - 3$) von Chlorid unter Bildung von **17** abgefangen, ist dies ein reversibler Prozeß, und man erhält schließlich die thermodynamisch stabileren Vinylchloride **16** oder **18**. 3-Halogencyclooctene solvolysieren jedoch 130mal langsamer als z. B. 3-Halogencycloheptene⁸⁾, so daß das Abfangen von **14** durch Chlorid im Fall des achttgliedrigen Rings ein irreversibler Prozeß ist. Sollte die Cyclisierung gelingen, wäre für $R = \text{CH}_3$ und Ph die Bildung der [4.2.2]-Bicyclen **18** zu erwarten.

II. Aromatische Diene

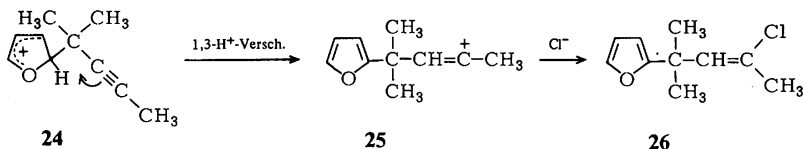
Die Umsetzungen mit Anthracen machten wegen der geringen Löslichkeit dieses Kohlenwasserstoffs große Probleme. Mit **3a** reagiert Anthracen unter Zinkchlorid-Katalyse in siedendem Chloroform unter Bildung eines komplexen Produktgemisches, aus dem 8% **22** isoliert wurden.



Der alternative Strukturvorschlag **23** kann aufgrund der chemischen Verschiebung einer Methylgruppe ($\delta = 2.08$) und der großen Differenz der chemischen Verschiebungen der Brückenkopfprotonen ($\Delta\delta = 1.8$) ausgeschlossen werden³⁾. Da die Ringgrößenverhältnisse denen des Cyclohexadiens entsprechen, ist die Bildung von **22** aufgrund der obigen Ausführungen zu erwarten.

Bei der Zinkchlorid-katalysierten Reaktion von **3a** mit Furan konnten keine Produkte isoliert werden, die sich durch Cycloadditionen intermediärer Allenyl-Kationen er-

klären lassen. Mit 30% Ausbeute isolierte man das Vinylchlorid **26**, dessen Konstitution aus der 1-Hz-Allyl-Kopplung zwischen der Methylgruppe und dem Vinylproton hervorgeht.



Da die HCl-Anlagerung an die CC-Dreifachbindung eine Regioselektivität aufweist, die für einen intermolekularen Prozeß nicht zu erwarten wäre, schlagen wir vor, daß der σ -Komplex **24** durch eine intramolekulare Protonenverschiebung das Vinyl-Kation **25** liefert, das mit Chlorid zu **26** reagiert. Ein Beweis für den intramolekularen Prozeß **24** \rightarrow **25** steht jedoch aus.

III. Schlußfolgerungen

Alle Reaktionsprodukte lassen sich durch einen Additions- bzw. stufenweisen Cycloadditionsmechanismus erklären, bei dem intermediäre Allenyl-Kationen **12** primär am sp^2 -Kohlenstoff angegriffen werden. Die Richtung der nachfolgenden Cyclisierung wird durch die relative Stabilität der dabei entstehenden Vinyl-Kationen determiniert. Eine konzertierte Bildung von **15** kann allerdings nicht ausgeschlossen werden. Im Einklang mit früheren Voraussagen¹⁷⁾ sind die Vinylchloride **1**, **2** und **22** wie auch die Allylchloride **4** als 1:1-Produkte isolierbar, weil sie geringere Solvolysesgeschwindigkeiten besitzen als die Propargylchloride **3**, aus denen sie entstehen.

Wir danken der *Deutschen Forschungsgemeinschaft* und dem *Fonds der Chemischen Industrie* für die Unterstützung dieser Arbeit.

Experimenteller Teil

IR-Spektren: Beckman Acculab 1 und 3; innerhalb einer Gruppe sind die IR-Banden nach fallender Intensität geordnet. – ^1H -NMR-Spektren: JEOL JNM-C-60-HL und JEOL PMX-60. – ^{13}C -NMR-Spektren: JEOL JNM-PS-100. – UV-Spektren: Leitz-Unicam SP 800. – Massenspektren: Varian MAT CH 4 und Varian MAT 311 A. – Die Schmelzpunkte sind nicht korrigiert.

1. *4-Chlor-4-methyl-2-pentin (3a) und 1,3-Cyclohexadien*: Eine Lösung von 3.40 g (42.4 mmol) 1,3-Cyclohexadien und 3.50 g (30.0 mmol) **3a** in 20 ml CH_2Cl_2 wurde bei -30°C zu einer Lösung von 1.5 g ZnCl_2 in 1.8 ml Ether und 35 ml CH_2Cl_2 getropft. Nach 4 h bei -30°C wurde das ZnCl_2 mit konz. wäßr. Ammoniak ausgewaschen, die organische Phase über CaCl_2 getrocknet und das Lösungsmittel abgezogen. Kurzwegdestillation bei 0.1 Torr lieferte 1.28 g (22%) bei $50-105^\circ\text{C}$ (Bad) und 986 mg bei $105-150^\circ\text{C}$ (Bad). Während die höhersiedende Fraktion ein komplexes Gemisch an höhermolekularen Verbindungen darstellt, besteht die tiefersiedende Fraktion nach ^1H -NMR ausschließlich aus einem Gemisch von (*E*)- und (*Z*)-**1a**, das durch SC (Kieselgel, Petrolether) für die Analytik gereinigt wurde.

5-[(*E*)- und (*Z*)-(1-Chlorethyliden)-6,6-dimethylbicyclo[2.2.2]oct-2-en (**1a**): Farblose Flüssigkeit mit Sdp. 65–70°C (Bad)/0.03 Torr. – IR (Film): 2920, 2940, 2860, 3040 (CH), 1640, 1620 (C=C), 715, 680, 725 cm⁻¹ (CH-wagging). – ¹H-NMR: Tab. 2. – MS (70 eV): *m/e* = 198, 196 (29%, 100%, M⁺), 183 (7), 181 (21), 161 (40), 155 (24), 153 (65), 133 (30).

C₁₂H₁₇Cl (196.7) Ber. C 73.26 H 8.71 Gef. C 73.32 H 8.83

2-[(*E*)- und (*Z*)-(1-Chlorethyliden)-3,3-dimethylbicyclo[2.2.2]octan (**9**): 298 mg eines 1:1-Gemisches aus (*E*)- und (*Z*)-**1a** lieferten bei Hydrierung mit Palladium/Aktivkohle-Katalysator in Ethanol 236 mg (78%) einer farblosen Flüssigkeit, ein Gemisch aus (*E*)-**9** und (*Z*)-**9**. – ¹H-NMR (CCl₄): δ = 1.30 (s; 6H, C(CH₃)₂, (*E*)-**9**), 1.36 (s; 6H, C(CH₃)₂, (*Z*)-**9**), 1–2 (m; 4-, 5-, 6-, 7-, 8-H), 2.11 (s; 3H, CH₃C=, (*Z*)-**9**), 2.21 (s; 3H, CH₃C=, (*E*)-**9**), 2.51 (mc; 1H, 1-H, (*Z*)-**9**), 3.00 (mc; 1H, 1-H, (*E*)-**9**). – MS (70 eV): *m/e* = 200, 198 (14%, 47%, M⁺), 185 (12), 183 (45), 163 (100).

Verwendet man Platin auf Aktivkohle als Hydrierkatalysator, wird (*E*)-**9** zu 2-Ethyl-3,3-dimethylbicyclo[2.2.2]octan (**11**) weiter reduziert, während die Hydrierung von (*Z*)-**1a** selektiv zu (*Z*)-**9** führt. Das Gemisch dieser beiden Verbindungen wurde nicht getrennt.

3,3-Dimethylbicyclo[2.2.2]octan-2-on (**10**): Durch die Lösung von 0.70 g (3.5 mmol) eines Gemisches aus (*E*)- und (*Z*)-**9** in 300 ml Methanol (Solvensmenge bedingt durch die Größe der Apparatur) wurde bei –30°C 1 h Ozon geleitet. Nachdem das nicht verbrauchte Ozon durch einen Stickstoffstrom entfernt wurde, setzte man eine Lösung von 1.5 g (5.7 mmol) Triphenylphosphan in CH₂Cl₂ zu und rührte 15 h unter N₂-Schutz. Das Methanol wurde über eine Vigreux-Kolonne abdestilliert, der Rückstand mit Hexan versetzt und 3 d im Tiefkühlfach aufbewahrt, wobei sich Triphenylphosphanoxid kristallin abschied. Nach Filtrieren wurde die Lösung eingengt und der Rückstand mit Hilfe einer Mikroapparatur destilliert: 113 mg (21%) **10** mit Sdp. 115–125°C (Bad)/15 Torr. **10** zeigte das beschriebene ¹³C-NMR-Spektrum⁴). – IR (Film): 2940 (br, CH), 1715 cm⁻¹ (C=O). – ¹H-NMR (CDCl₃): δ = 1.13 (s; 6H, CH₃), 1.77 (mc; 9H), 2.20 (mc; 1H, 1-H). – MS (96 eV): *m/e* = 152 (54%, M⁺), 124 (20), 109 (42), 95 (16), 82 (72), 81 (100), 80 (59), 69 (41), 67 (53).

2. 3-Chlor-3-methyl-1-phenyl-1-butin (**3b**) und 1,3-Cyclohexadien: Eine Lösung von 3.22 g (18.0 mmol) **3b** und 2.40 g (30.0 mmol) Cyclohexadien in 10 ml Methylenchlorid wurde innerhalb von 30 min zu einer auf –50°C gekühlten Lösung von 2.0 g (15 mmol) ZnCl₂ in 2.4 ml Ether und 25 ml Methylenchlorid getropft. Nach 30 min Rühren bei –50°C wurde in wäbr. Ammoniak eingegossen, durchgeschüttelt, die organische Phase abgetrennt und getrocknet. Destillation bei 0.05 Torr bis zu einer Badtemp. von 150°C lieferte 2.52 g (54%) eines farblosen Öls, NMR-spektroskopisch reines (*E*)-**1b**.

5-[(*E*)-α-Chlorbenzyliden]-6,6-dimethylbicyclo[2.2.2]oct-2-en (**1b**): Gut ausgebildete farblose Prismen mit Schmp. 67–68.5°C (Ethanol). – IR (KBr): 2950, 2920, 2980, 2860, 3040 (CH), 720, 695, 760, 725, 685, 870, 840 cm⁻¹ (CH-wagging). – UV (Cyclohexan): λ_{max} (log ε) = 225 (3.69), 250 nm (3.31). – ¹H-NMR: Tab. 2. – ¹³C-NMR: Tab. 3. – MS (70 eV): *m/e* = 260, 258 (34%, 100%, M⁺), 243 (11), 223 (38), 217 (14), 215 (40), 195 (19), 181 (17), 180 (22), 179 (48), 178 (35), 167 (36), 165 (24), 143 (58).

C₁₇H₁₉Cl (258.8) Ber. C 78.90 H 7.40 Gef. C 78.68 H 7.15

3. **3a** und 1,3-Cycloheptadien: Die Lösung von 5.0 g Zinkchlorid in 6.0 ml Ether wurde mit 100 ml CH₂Cl₂ verdünnt und auf –78°C gekühlt. Innerhalb 1 h wurden 10.0 g (106 mmol) Cycloheptadien und 11.0 g (94.3 mmol) **3a** zugetropft, wobei die Temp. auf –50°C anstieg. Es wurde noch 7 h bei –30°C gerührt und mit wäbr. Ammoniak aufgearbeitet, wie beschrieben. Kurzwegdestillation lieferte 4.30 g (22%) **2a** (*E*):(*Z*) ≈ 1:1) als farbloses Öl mit Sdp. 80–85°C (Bad)/0.05 Torr.

8-[(E),(Z)-1-Chlorethyliden]-9,9-dimethylbicyclo[3.2.2]non-6-en (**2a**): IR (Film): 2920 (br.), 2860, 3040 (CH), 1630 (C=C), 710, 780 cm^{-1} (CH-wagging, C-Cl). $^{-1}\text{H-NMR}$: Tab. 2. – MS (70 eV): $m/e = 212, 210$ (8%, 23%, M^+), 197 (11), 195 (26), 175 (78), 159 (32), 133 (100).

$\text{C}_{13}\text{H}_{19}\text{Cl}$ (210.7) Ber. C 74.09 H 9.09 Gef. C 74.15 H 9.11

4. **3b** und 1,3-Cycloheptadien: Zu 0.50 g Zinkchlorid in 0.6 ml Ether und 10 ml Methylenchlorid wurde bei -50°C eine Lösung aus 1.71 g (9.57 mmol) **3b** und 1.00 g (10.6 mmol) Cycloheptadien in 10 ml Methylenchlorid getropft und 2 h nachgerührt, wobei man das Bad auf -35°C aufwärmen ließ. Nach Auswaschen mit konz. wäßr. Ammoniak wurde über CaCl_2 getrocknet und das Lösungsmittel abgezogen. Bei der anschließenden Destillation erhielt man neben 249 mg Vorlauf (unumgesetztes **3b**) 1.39 g einer Fraktion bei $110-150^\circ\text{C}$ (Bad)/0.05 Torr, woraus 1.11 g (50%, bezogen auf umgesetztes **3b**) kristallines Material gewonnen wurden.

8-[(E)- α -Chlorbenzyliden]-9,9-dimethylbicyclo[3.2.2]non-6-en (**2b**): Farblose Prismen mit Schmp. $43-44^\circ\text{C}$ (Ether/Ethanol). – IR (KBr): 2910, 2940, 2850, 2970, 3030 (CH), 1630 (C=C), 695, 750, 705, 835 cm^{-1} (CH-wagging). – UV (Cyclohexan): λ_{max} (log ϵ) = 224 (3.63), 246 nm (3.35). $^{-1}\text{H-NMR}$: Tab. 2. $^{-13}\text{C-NMR}$: Tab. 3. – MS (70 eV): $m/e = 274, 272$ (32%, 100%, M^+), 259 (5), 257 (18), 237 (58), 195 (44), 179 (36), 178 (39), 143 (43).

$\text{C}_{18}\text{H}_{21}\text{Cl}$ (272.8) Ber. C 79.24 H 7.76 Gef. C 79.25 H 7.63

5. **3a** und 1,3-Cyclooctadien: Zu einer Lösung von 2.5 g ZnCl_2 in 3 ml Ether und 26 ml CH_2Cl_2 wurden bei -78°C 10.0 g (92.4 mmol) Cyclooctadien und 8.30 g (71.2 mmol) **3a** in 25 ml CH_2Cl_2 getropft. Nach 12 d bei -78°C ließ man die nun schwarze Reaktionsmischung innerhalb von 12 h auf -45°C aufwärmen. Es wurde 4mal mit je 50 ml 5proz. Natriumcarbonatlösung gewaschen und die dabei erhaltene gelbe organische Phase über CaCl_2 getrocknet. Nach Abziehen des Lösungsmittels wurde destilliert: 1.55 g (10%) **4a** (Isomergemisch) mit Sdp. $90-95^\circ\text{C}$ (Bad)/0.1 Torr.

cis,trans-3-Chlor-8-(1,1-dimethyl-2-butinyl)-1-cycloocten (**4a**): IR (Film): 2920, 2860, 3020 (CH), 1645 (C=C), 770, 800, 785, 745, 720 cm^{-1} (CH-wagging, C-Cl). $^{-1}\text{H-NMR}$ (CCl_4): $\delta = 1.10, 1.15$ (2s, Verhältnis ca. 1:3; 6H, $\text{C}(\text{CH}_3)_2$), 1.76 (s; 3H, $\equiv\text{CCH}_3$), 1.4–1.9 (m; $\approx 8\text{H}$, $[\text{CH}_2]_4$), 1.9–2.2 (m; $\approx 1\text{H}$, 8-H), 4.6 (mc; 1H, 3-H), 5.6 (mc; 2H, 1-, 2-H). – MS (70 eV): $m/e = 226, 224$ (2%, 6%, M^+), 211 (5), 209 (16), 189 (48), 173 (41), 147 (31), 145 (36), 108 (100), 107 (66), 105 (68), 93 (75), 91 (80), 81 (82).

$\text{C}_{14}\text{H}_{21}\text{Cl}$ (224.8) Ber. C 74.81 H 9.42 Gef. C 74.81 H 9.44

6. **3b** und 1,3-Cyclooctadien: Die Lösung von 1.0 g ZnCl_2 in 1.2 ml Ether und 12 ml CH_2Cl_2 wurde bei -78°C mit 3.57 g (20.0 mmol) **3b** und 4.32 g (39.9 mmol) Cyclooctadien in 10 ml CH_2Cl_2 versetzt. Nach 14 d bei -78°C wurde mehrmals mit wäßr. Na_2CO_3 -Lösung gewaschen, getrocknet und im Rotationsverdampfer eingeengt, wobei man rohes **4b** erhielt.

cis,trans-3-Chlor-8-(1,1-dimethyl-3-phenyl-2-propinyl)-1-cycloocten (**4b**): $^{-1}\text{H-NMR}$ (CCl_4): $\delta = 1.26, 1.29, 1.32$ (s; $\text{C}(\text{CH}_3)_2$), 1.2–2.3 (m; aliphatische Ringprotonen), 4.6 (mc; 3-H), 5.7 (mc; 1-, 2-H), 7.23 (mc; Aromaten-H).

Da die Reindarstellung von **4b** nicht gelang, wurden die Umsetzungen mit erhöhter ZnCl_2 -Konzentration wiederholt: 8.80 g (49.3 mmol) **3b** und 12.1 g (112 mmol) 1,3-Cyclooctadien lieferten in Gegenwart von 20 g ZnCl_2 in 25 ml Ether und 60 ml CH_2Cl_2 in 4 d bei -78°C neben einem großen Anteil höhermolekularer Produkte 4.88 g einer Fraktion bei $160-185^\circ\text{C}$ (Bad)/0.05 Torr, die durch SC (Kieselgel/Petrolether) getrennt wurde.

Fraktion 1: 183 mg (1.3%) 9-(α -Chlorbenzyliden)-10,10-dimethylbicyclo[4.2.2]dec-7-en (**5**), das nicht ganz rein war. $^{-1}\text{H-NMR}$: Tab. 2.

Fraktion 2: 3.59 g (29%) 5-(1,1-Dimethyl-3-phenyl-2-propinyl)-1,3-cyclooctadien (**6**) als farbloses Öl mit Sdp. 135–140°C (Bad)/0.05 Torr. – IR (Film): 2920, 2960, 3000, 2860, 3050, 3080 (CH), 2225 (C≡C), 1630, 1640 (C=C, sehr schwach), 1485, 1595, 1570 (Aromaten-Gerüst), 755, 690, 665, 800 cm⁻¹ (CH-wagging). – ¹H-NMR (CCl₄): δ = 1.21 (s; 3H, CH₃), 1.27 (s; 3H, CH₃), 1.1–2.6 (m; 7H, 5-, 6-, 7-, 8-H), 5.3–6.1 (m; 4H, 1-, 2-, 3-, 4-H), 7.16 (mc; 5H, Aromaten-H). – MS (70 eV): *m/e* = 250 (8%, M⁺), 235 (7), 207 (5), 144 (20), 143 (100), 128 (13).
C₁₉H₂₂ (250.4) Ber. C 91.14 H 8.86 Gef. C 90.95 H 8.93

(1,1-Dimethyl-3-phenylpropyl)cyclooctan (**7**): 540 mg (2.16 mmol) **6** wurden in ethanolischer Lösung (20 ml) mit Palladium auf Aktivkohle als Katalysator hydriert. Ausb. 495 mg (89%) farblose Flüssigkeit mit Sdp. 141–145°C (Bad)/0.1 Torr. – IR (Film): 2910, 2850, 3020, 3060 (CH), 1500, 1605 (Aromaten-Gerüst), 700, 750 (CH-wagging). – ¹H-NMR (CCl₄): δ = 0.86 (s; 6H, CH₃), 1.53 (mc; 16H), 2.1–2.7 (m; 3H, PhCH₂, 1-H des Cyclooctans), 7.04 (s; 5H, Aromaten-H). – MS (70 eV): *m/e* = 258 (12%, M⁺), 152 (29), 148 (14), 147 (51), 146 (100), 131 (16).
C₁₉H₃₀ (258.4) Ber. C 88.30 H 11.70 Gef. C 88.59 H 11.80

7. **3a** und Anthracen: Eine Suspension von 17.8 g (100 mmol) Anthracen und 0.68 g Zinkchlorid in 30 ml Chloroform wurde zum Sieden erhitzt und tropfenweise innerhalb von 2.5 h mit 3.30 g (28.3 mmol) **3a** in 40 ml Chloroform versetzt. Es wurde noch 30 min unter Rückfluß gekocht, nach Abkühlen überschüssiges Anthracen abfiltriert, auf die Hälfte eingengt und nochmals das auskristallisierte Anthracen abgesaugt. Schließlich blieben 7.29 g eines Produktgemisches zurück, das nach ¹H-NMR noch eine beträchtliche Menge an Anthracen enthielt. Durch SC (Kieselgel, Petrolether) wurden aus dem Gemisch 665 mg (8%) **22** abgetrennt. Andere im ¹H-NMR des Rohprodukts erkennbare Produkte konnten nicht rein erhalten werden.

12-[(E)-1-Chlorethyliden]-9,10-dihydro-11,11-dimethyl-9,10-ethanoanthracen (**22**): Schwach gelbliche Nadelchen mit Schmp. 155–156.5°C (Ethanol). – IR (KBr): 2930, 2960, 3000, 2980, 3070 (CH), 1650 (C=C), 1470 (Aromat), 765, 755, 740, 700, 680, 800 cm⁻¹ (CH-wagging). – ¹H-NMR (CCl₄): δ = 0.97 (s; 6H, C(CH₃)₂), 2.08 (s; 3H, CH₃C=), 3.71 (s; 1H, 10-H), 5.53 (s; 1H, 9-H), 6.95–7.35 (m; 8H, Aromaten-H). – MS (70 eV): *m/e* = 296, 294 (1.5%, 5%, M⁺), 178 (100).
C₂₀H₁₉Cl (294.8) Ber. C 81.48 H 6.50 Gef. C 81.46 H 6.41

8. **3a** und Furan: Zu 13.6 g (0.200 mol) Furan und 0.68 g Zinkchlorid in 20 ml Chloroform wurden bei Raumtemp. innerhalb von 10 min 3.30 g (28.3 mmol) **3a** in 40 ml Chloroform getropft. 20 h wurde bei Raumtemp. nachgerührt. Anschließend wurde mit 50 ml 10proz. Natronlauge gewaschen (Phasentrennung problematisch), über CaCl₂ getrocknet und destilliert: 2.10 g bei 40–130°C (Bad)/0.1 Torr geringfügig verunreinigtes **26** neben einer großen Menge an Destillationsrückstand. Durch PSC (Kieselgel/Petrolether) erhielt man daraus 1.56 g (30%) reines **26**.

2-(3-Chlor-1,1-dimethyl-2-butenyl)furan (**26**). Farblose Flüssigkeit mit Sdp. 85–95°C (Bad)/11 Torr. – IR (Film): 2960, 2910, 2860 (CH), 1655 (C=C), 740 (CH-wagging), 1165 cm⁻¹. – ¹H-NMR (CCl₄): δ = 1.46 (s; 6H, C(CH₃)₂), 2.03 (d, *J* = 1 Hz; 3H, CH₃C=), 5.58 (q, *J* = 1 Hz; 1H, olef. H), 5.90 (mc; 1H, 3-H), 6.12 (mc; 1H, 4-H), 7.15 (mc; 1H, 5-H). – MS (70 eV): *m/e* = 186, 184 (15%, 55%, M⁺), 171 (40), 169 (100), 149 (59), 105 (55).
C₁₀H₁₃ClO (184.7) Ber. C 65.04 H 7.09 Gef. C 64.26 H 6.92

- 1) *H. Mayr* und *I. K. Halberstadt-Kausch*, Chem. Ber. **115**, 3479 (1982), vorstehend.
- 2) Vorläufige Mitteilung: *H. Mayr* und *F. Schütz*, Tetrahedron Lett. **1981**, 925.
- 3) Vgl. **13c** in Lit. 1).
- 4) *J. B. Stothers* und *C. T. Tan*, Can. J. Chem. **54**, 917 (1976).
- 5) *G. C. Levy* und *G. L. Nelson*, Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance for Organic Chemists, S. 48, 50, Wiley-Interscience, New York 1972.
- 6) *N. L. Allinger*, Adv. Phys. Org. Chem. **13**, 1 (1976).
- 7) *N. L. Allinger*, MM 1 Molecular Mechanics, QCPE Programm Nr. 318, Indiana University, Bloomington, Indiana.
- 8) *P. v. R. Schleyer* und *W. F. Sliwinski*, unveröffentlichte Ergebnisse.
- 9) *C. A. Grob* und *G. Cseh*, Helv. Chim. Acta **47**, 194 (1964).
- 10) *P. J. Stang*, *R. J. Hargrove* und *T. E. Dueber*, J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2 **1977**, 1486.
- 11) *R. H. Summerville*, *C. A. Senkler*, *P. v. R. Schleyer*, *T. E. Dueber* und *P. Stang*, J. Am. Chem. Soc. **96**, 1100 (1974).
- 12) *J.-L. Deroque*, *F.-B. Sundermann*, *N. Youssif* und *M. Hanack*, Liebigs Ann. Chem. **1973**, 419.
- 13) *W. D. Pfeifer*, *C. A. Bahn*, *P. v. R. Schleyer*, *S. Bocher*, *C. E. Harding*, *K. Hummel*, *M. Hanack* und *P. J. Stang*, J. Am. Chem. Soc. **93**, 1513 (1971).
- 14) *H. Mayr*, *R. Schneider*, *D. Wilhelm* und *P. v. R. Schleyer*, J. Org. Chem. **46**, 5336 (1981).
- 15) *M. D. Schiavelli*, *T. C. Germroth* und *J. W. Stubbs*, J. Org. Chem. **41**, 681 (1976).
- 16) *J. E. Leffler* und *E. Grunwald*, Rates and Equilibria of Organic Reactions, S. 156, 163, Wiley, New York 1963.
- 17) *H. Mayr*, Angew. Chem. **93**, 202 (1981); Angew. Chem., Int. Ed. Engl. **20**, 184 (1981).

[54/82]