

Hydridwanderungen bei der Friedel-Crafts-Reaktion von Allylalkohol mit Benzol

Wilhelm Ackermann und Albert Heesing*

Organisch-Chemisches Institut der Universität Münster,
Orléans-Ring 23, D-4400 Münster

Eingegangen am 7. Dezember 1976

Aus Allylalkohol und Benzol entstehen in Gegenwart von AlCl_3 unter milden Bedingungen Propylbenzol (3) und 1,1-Diphenyl-1-propen (4) als Redoxpartner. Versuche mit D- und ^{13}C -indizierten Ausgangsverbindungen zeigten, daß primär gebildetes 2-Phenyl-1-propanol (2) über ein phenylstabilisiertes Propyl-Kation (9) weiterreagiert: unter intermolekularer Hydridverschiebung und unter Methylgruppen-Wanderung entstehen daraus die Endprodukte 3 und 4.

Hydride Shifts in the Friedel-Crafts Reaction of Allyl Alcohol with Benzene

In the presence of AlCl_3 allyl alcohol reacts with benzene to give propylbenzene (3) and 1,1-diphenyl-1-propene (4) in a redox reaction, if mild conditions prevail. Experiments with D- and ^{13}C -indicated compounds prove 2-phenyl-1-propanol (2) to be the first, a phenyl-assisted propyl cation (9) to be the second intermediate in this reaction. By intermolecular hydride shift and by methyl migration the final products 3 and 4 are formed.

Die bei Friedel-Crafts-Reaktionen häufig anzutreffenden Hydridverschiebungen¹⁾ lassen sich nur schwer untersuchen, da sie Teil eines oft sehr komplexen Reaktionsablaufs sind.

Mit dem System Allylalkohol (1)/Benzol/ AlCl_3 hatten wir eine Modellreaktion gefunden, bei der sich bereits unter milden Bedingungen intermolekulare Wasserstoffwanderungen zeigen, die sich in der Bildung von n-Propylbenzol zu erkennen geben. Der erste Reaktionsschritt, die Bildung des 2-Phenyl-1-propanols (2), lief ohne Äquilibrieren der aliphatischen oder olefinischen Wasserstoffe des Allylalkohols ab²⁾.

Dies ermöglichte es uns jetzt, die zu Propylbenzol (3) führenden Schritte – besonders mit Hilfe indizierter Ausgangsverbindungen – aufzuklären.

1. Effekt des Katalysators

Es lag nahe anzunehmen, daß 3 durch Hydrierung von intermediär entstandenem Allylbenzol (7) gebildet wird. 7 ließ sich aber nicht nachweisen, obwohl die Bildung von Allylarenen bei ähnlichen Reaktionen wiederholt beschrieben wurde³⁾.

Wir haben eine größere Anzahl von Friedel-Crafts-Katalysatoren untersucht, um festzustellen, welchen Effekt sie auf die einzelnen Schritte der Reaktion von 1 mit Benzol haben.

¹⁾ C. D. Nenitzescu in G. A. Olah und P. v. R. Schleyer (Ed.), Carbonium Ions, Vol. II, S. 463, Wiley-Interscience, New York 1970.

²⁾ W. Ackermann und A. Heesing, Chem. Ber. 108, 1182 (1975).

³⁾ R. Koncos und B. S. Friedman in G. A. Olah (Ed.), Friedel-Crafts and Related Reactions, Bd. 2, S. 305f, Interscience Publ., New York 1964.

Sie ließen sich hinsichtlich der Bildung von Monoarylderivaten in drei Gruppen einteilen (Tab. 1):

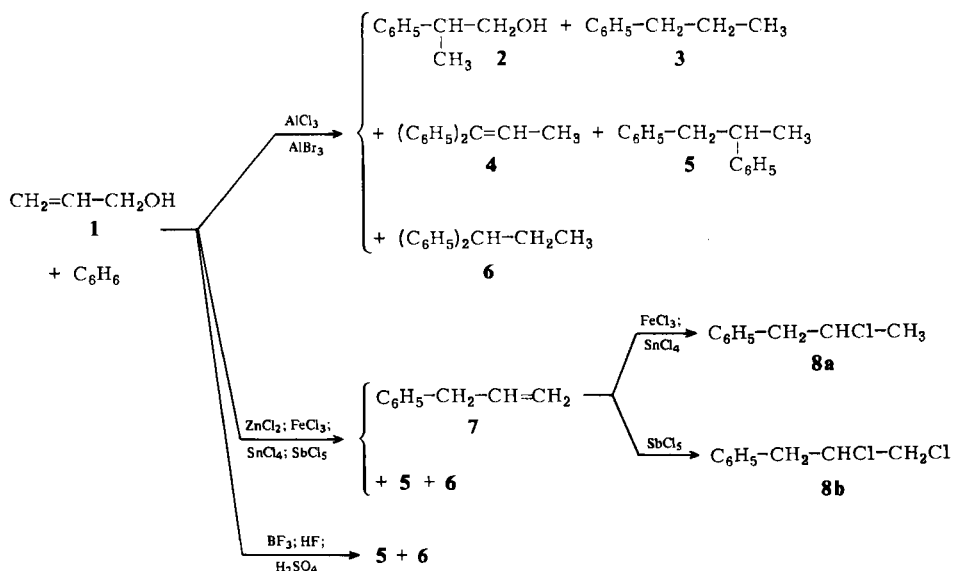
Tab. 1. Produkte 2–8 der Friedel-Crafts-Reaktion von 1 mit Benzol in Gegenwart verschiedener Katalysatoren (in %)

	AlCl ₃ ^{a)}	AlBr ₃	ZnCl ₂	FeCl ₃	SnCl ₄	TiCl ₄	SbCl ₅	BF ₃ ⁻ Etherat	HF ^{b)}	H ₂ SO ₄
Menge (g)	13.3	27	13	3.2	26	19	5	14	50	10
Temp. (°C)	4	4	80	60	60	20	4	80	4	4
Zeit (h)	4	2	18	2	3	2	3	3	2	4
2	19	46	–	–	–	–	–	–	–	–
3	6	8	–	–	–	–	–	–	–	–
4	10	9	–	–	–	–	–	–	–	–
5	7	4	–	27	11	5	–	30	45	30
6	–	–	–	41	4	5	–	10	20	8
7	–	–	15	7	9	–	–	–	–	–
8a	–	–	–	–	45	52	–	–	–	–
8b	–	–	–	–	–	–	20	–	–	–

a) Schon bei etwas erhöhter Temperatur entsteht kein 2 mehr; neben 5 tritt zunehmend 6 auf.

b) Die Komponenten wurden bei –78 °C in Polyethylengefäßen gemischt und langsam erwärmt.

a) AlCl₃, AlBr₃: wie bereits beschrieben, entstehen 2, 3 und 1,2-Diphenylpropan (5)²⁾. Als weiteres Produkt wurde 1,1-Diphenyl-1-propen (4) identifiziert. – Schon bei wenig erhöhter Temperatur findet man kein 2 mehr; neben 5 tritt dann auch das isomere 1,1-Diphenylpropan (6) auf. – 9,10-Diethylanthracen, das bei der analogen Reaktion des Allylchlorids auftritt³⁾, entsteht hier nicht.



b) ZnCl_2 , FeCl_3 , SnCl_4 , TiCl_4 ⁴⁾, SbCl_5 : Diese Katalysatoren lenken die Reaktion in eine andere Richtung: an die Stelle einer primären Addition an die C=C-Doppelbindung tritt die Substitution der Hydroxylgruppe, und es entsteht **7**. In Gegenwart von FeCl_3 und SnCl_4 erfolgt HCl-Addition an **7** zu 2-Chlor-1-phenylpropan (**8a**). SbCl_5 chloriert⁵⁾ **7** zu 2,3-Dichlor-1-phenylpropan (**8b**). Propylbenzol entsteht nicht. In wechselnden Mengen findet man **5** und **6**.

c) BF_3 -Etherat, Flußsäure, Schwefelsäure³⁾: Monoaryl-derivate entstehen nicht oder nur in geringen Mengen. Man findet vorwiegend **5** und **6**.

Diese Untersuchungen zeigen, daß entweder die Addition an die C=C-Doppelbindung von **1** oder die Substitution der Hydroxylgruppe recht selektiv katalysiert werden⁶⁾.

2. Zeitlicher Ablauf der Produktbildung

Die Produktbildung unter der Katalyse von AlCl_3 wurde in ihrem zeitlichen Ablauf verfolgt (Abb.): primär entstehen **2** und **5**. Im Laufe der Zeit geht ihre Konzentration zurück zugunsten einer Bildung von **3** und **4**. Diese erwiesen sich als Endprodukte der Reaktion; unter den gewählten (milden) Bedingungen sind sie stabil. Durch Nebenreaktionen (vgl. dazu Kapitel 3) wird die zeitliche Abfolge der Bildung von **2** und **5** beeinflusst.

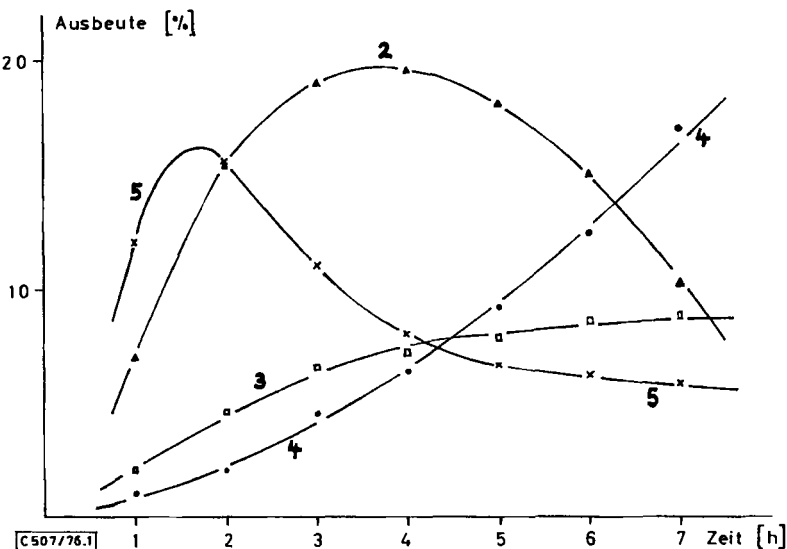


Abb.: Bildung der Produkte bei der Umsetzung von **1** mit Benzol in Gegenwart von AlCl_3

⁴⁾ N. A. Shuikin, N. A. Pozdnyak, T. P. Dobrynina und G. M. Shostakovskaya, *Neftekhimiya* **6**, 199 (1966) [*C. A.* **65**, 3772b (1966)].

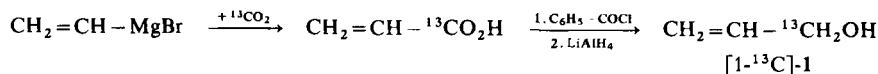
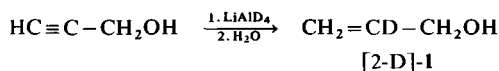
⁵⁾ S. Uemura, O. Sasaki und M. Okano, *J. Chem. Soc. D* **1971**, 1064.

⁶⁾ In allen Fällen wurde angestrebt, die Reaktionen unter möglichst milden Bedingungen durchzuführen. Einzelversuche zeigten, daß Art und Menge der Produkte sehr stark von den Reaktionsbedingungen abhängen.

Entsprechend findet man auch bei der Umsetzung von **2** oder **5** die Redoxprodukte **3** und **4**, falls dem AlCl_3 etwas Wasser als Co-Katalysator⁷⁾ zugesetzt wird, um die HCl-Bildung bei der Umsetzung von **1** zu simulieren.

3. Reaktionen mit D- und ¹³C-indizierten Ausgangsverbindungen

Bereits früher hatten wir, allerdings nur teilweise, die Reaktionen von $[\text{D}_6]$ Benzol, Allylalkohol[OD] und $[1,1\text{-D}_2]$ Allylalkohol ($[1,1\text{-D}_2\text{-}1]$) untersucht²⁾. Jetzt wurden zwei weitere deuterierte und ein ¹³C-indizierter Allylalkohol synthetisiert. Dabei wurde z. T. auf Synthesen der nicht- oder andersartig indizierten Isotopomeren zurückgegriffen: $[2\text{-D}]$ Allylalkohol ($[2\text{-D}\text{-}1]$)⁸⁾, $[3,3\text{-D}_2]$ Allylalkohol ($[3,3\text{-D}_2\text{-}1]$)⁸⁾ und $[1\text{-}^{13}\text{C}]$ Allylalkohol ($[1\text{-}^{13}\text{C}\text{-}1]$)^{9, 10, 11)}.



Die indizierten Verbindungen wurden unter identischen Bedingungen in Gegenwart von AlCl_3 mit Benzol umgesetzt. Nach der üblichen Aufarbeitung trennte man die Produkte durch präparative Gaschromatographie und ermittelte mit Hilfe der ¹H- bzw. ¹³C-NMR-Spektroskopie die D- bzw. ¹³C-Indizierung¹²⁾ der einzelnen Gruppen.

Die Ergebnisse sind in Tab. 2 aufgelistet. Es zeigt sich:

Tab. 2. Deuteriumgehalt^{a)} der Produkte **2**–**5** von Friedel-Crafts-Reaktionen zwischen Benzol und verschieden deuterierten Allylalkoholen **1** sowie von C_6D_6 mit undeutertem **1**

Gemessene Substanz	$[\text{D}_6]$ Benzol	Ausgangsverbindung		
		$[1,1\text{-D}_2\text{-}1]$	$[2\text{-D}\text{-}1]$	$[3,3\text{-D}_2\text{-}1]$
2 C-1	0.0 (0.0)	2.0 (2.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	1.0 (1.0)	0.0 (0.0)
	1.0 (1.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	2.0 (2.0)
3 C-1	0.1 (0.0)	1.4 (1.4)	0.7 (0.7)	0.4 (0.0)
	0.1 (0.0)	1.4 (1.4)	0.7 (0.7)	0.4 (0.0)
	0.9 (1.0)	0.4 (0.0)	0.3 (0.0)	1.4 (2.0)
5 C-1 + C-2	0.4 (0.0)	1.5 (2.0)	0.9 (1.0)	0.5 (0.0)
	1.0 (1.0)	0.5 (0.0)	0.1 (0.0)	1.7 (2.0)
4 C-2	0.1 (0.0)	0.4 (0.7)	0.6 (0.3)	0.4 (0.0)
	0.6 (1.0)	0.2 (0.0)	0.1 (0.0)	2.0 (2.0)

^{a)} Angegeben ist die Zahl der Deuteriumatome in den einzelnen Stellungen. – Die in Klammern angeführten Werte wären zu erwarten, wenn neben den in Kap. 4 geschilderten Reaktionen keine weiteren abliefen, die zu einem H/D-Austausch führen.

⁷⁾ A. L. Glasebrook, N. E. Phillips und W. G. Lowell, J. Am. Chem. Soc. **58**, 1944 (1936); C. D. Nenitzescu, I. Necsiou, A. Glatz und M. Zalman, Chem. Ber. **92**, 10 (1959).

⁸⁾ K. D. McMichael, J. Am. Chem. Soc. **89**, 2943 (1967).

⁹⁾ W. J. Gensler und W. R. Koehler, J. Org. Chem. **27**, 2758 (1962).

¹⁰⁾ G. H. Stempel jr., R. P. Cross und R. P. Mariella, J. Am. Chem. Soc. **72**, 2299 (1950).

¹¹⁾ R. D. Schuetz und F. W. Millard, J. Org. Chem. **24**, 299 (1959).

¹²⁾ Als Indizierung wird der Teil des Isotopengehalts bezeichnet, der den natürlichen Gehalt übersteigt.

a) Die früheren Ergebnisse²⁾ zur Bildung von **2** wurden bestätigt. Es entsteht als Primärprodukt ohne erkennbares Äquilibrieren; das durch in 1-, 2- oder 3-Stellung deuterierte Allylalkohole eingebrachte Deuterium behält seine Position. An C-3 findet man einen Wasserstoff aus dem Benzol, der formal als Proton an die Doppelbindung addiert wurde.

b) Bei **3** stammen – wie bei **2** – zwei der Wasserstoffe der Methylgruppe aus der 3-Stellung von **1**, das dritte aus dem Benzol. C-1 und C-2 zeigen sowohl bei allen Experimenten mit deuterierten Allylalkoholen als auch bei Einsatz von $[1-^{13}\text{C}]\text{-1}$ die gleiche Indizierung: sie müssen mitsamt ihren Wasserstoffen während der Reaktion vollständig äquilibrieren. Der durch intermolekulare Hydridwanderung in die α/β -Stellung eingetretene Wasserstoff entstammt der α/β -Stellung von **1**.

c) Das Äquilibrieren tritt nicht erst im Endprodukt ein: 1-Phenyl-[2,2-D₂]propan, das wir in Analogie zu bekannten Verfahren darstellten, erwies sich unter den hier gewählten, besonders milden Reaktionsbedingungen als völlig stabil. Die in der Literatur beschriebenen Verschiebungen des Wasserstoffs¹³⁾ und Kohlenstoffs¹⁴⁾ der α - und β -Stellungen in Propylbenzol treten erst unter energischeren Bedingungen auf. Sie sind von einer Isomerisierung zu Cumol begleitet, die wir ebenfalls nicht fanden.

d) Durch Nebenreaktionen (vgl. ¹⁴⁾) erfolgt in geringem Umfang auch ein Äquilibrieren mit den Wasserstoffen der Methylgruppe, das besonders beim Einsatz von $[3,3\text{-D}_2]\text{-1}$ erkennbar wird.

In Tab. 2 sind zum Vergleich in Klammern die Werte angeführt, die sich für eine Reaktionsfolge ohne Beteiligung der Methylgruppe an der D-Äquilibrierung errechnen. Der Unterschied zwischen diesen und den gefundenen Werten ist ein Maß für die Nebenreaktionen.

e) Die Ergebnisse bei **5** entsprechen denen bei **3**. Sie leiden darunter, daß die Wasserstoffe an C-1 und C-2 ¹H-NMR-spektroskopisch nur als Summe erfaßbar sind und daß zudem das im vorigen Absatz geschilderte Äquilibrieren mit der Methylgruppe verstärkt auftritt. – Durch die Befunde beim Einsatz von $[1-^{13}\text{C}]\text{-1}$ konnte aber auch hier das Äquilibrieren von C-1 und C-2 nachgewiesen werden.

f) Ähnlich wie bei **3** und **5** sind auch die Ergebnisse bei **4** hinsichtlich der Positionen 2 und 3 zu interpretieren.

4. Ablauf

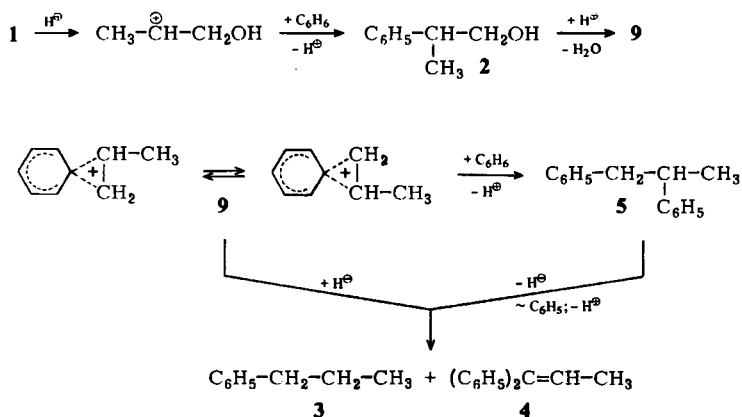
Folgender Mechanismus deutet alle Befunde:

Durch Addition von Benzol an die durch Protonierung aktivierte Doppelbindung entsteht zuerst **2** in einer unter diesen Bedingungen irreversiblen Reaktion²⁾. Unter Säurekatalyse spaltet **2** Wasser ab zum phenylstabilisierten Propyl-Kation **9**¹⁵⁾. Über verschiedene Zwischenstufen, die im Schema nicht gezeigt sind (vgl. dazu Lit.¹⁴⁾), erfolgt dann das Äquilibrieren der Kohlenstoffe und Wasserstoffe in α - und β -Stellung. **9** reagiert – evtl. über ein offenkettiges Kation¹⁴⁾ – mit Benzol bevorzugt zu **5**, wie sich aus dem zeitlichen Ablauf der Produktbildung ergibt (siehe Abb.).

¹³⁾ C. C. Lee und D. J. Woodcock, *Can. J. Chem.* **48**, 858 (1970).

¹⁴⁾ R. M. Roberts und J. E. Douglas, *J. Org. Chem.* **28**, 1225 (1963); J. E. Douglas und R. M. Roberts, *ebenda* **28**, 1229 (1963).

¹⁵⁾ D. L. Ransley, *J. Org. Chem.* **31**, 3595 (1966).



Im Gegensatz zur analogen Reaktion des Allylchlorids (und des Vinylchlorids), wo 9,10-Dihydroanthracene als Wasserstoffdonatoren angenommen werden³⁾, überträgt hier das schon zu Beginn der Reaktion vorliegende Diphenylpropan **5** benzylständigen Wasserstoff auf das Carbenium-Ion **9**. Durch Wanderung eines Phenylrestes und Deprotonierung stabilisiert sich **5** unter Bildung des Olefins **4**. **3** und **4** entstehen somit als Produkte derselben Redoxreaktion.

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

Experimenteller Teil

1. Allgemeine Methoden

Analytische Gaschromatographie: Gerät Perkin Elmer F 20 H (2,5% Silicongummi SE 52 auf Chromosorb G). Die Säulentemperatur wurde nach dem Einspritzen von 100 auf 280°C mit 5°C/min erhöht. — Präparative Gaschromatographie: Gerät Perkin Elmer F 21. 5 hintereinandergeschaltete Säulen, je 90 cm lang, 8 mm Innendurchmesser; 5% Silicongummi SE 52 auf Chromosorb G. — ¹H-NMR-Spektroskopie: Gerät Varian HA 100, in Deuteriochloroform mit Tetramethylsilan als inneren Standard. Der Fehler der Integration lag bei 5–10% rel. — ¹³C-NMR-Spektroskopie: Gerät Bruker WH 90, in [D₆]Benzol mit Tetramethylsilan als inneren Standard.

2. Synthese der indizierten Ausgangsverbindungen

Vorschriften zur Synthese nicht- oder andersartig indizierter Verbindungen wurden übernommen.

[2-D]Allylalkohol ([2-D]-1)⁸⁾: 2-Propin-1-ol wird mit Lithiumaluminiumdeuterid reduziert⁸⁾. Aus der Intensität des Signals bei $\delta = 6.0$ ppm ergab sich eine Indizierung von über 95%.

[3,3-D₂]Allylalkohol ([3,3-D₂]-1)⁸⁾: Aus der Intensität des Signals bei $\delta = 5.3$ ppm ergab sich ein Indizierungsgrad von über 95%.

1-Phenyl-[2,2-D₂]propan: Reduktion von Benzylmethylketon mit Lithiumaluminiumdeuterid gibt 1-Phenyl-[2-D]propan-2-ol, das tosyliert wird¹⁶⁾. Der Ester wird mit Lithiumaluminiumdeuterid (analog Lit.¹⁷⁾) reduziert. Aus dem Fehlen des Signals bei $\delta = 1.6$ ppm ergibt sich eine Indizierung von über 95%.

¹⁶⁾ Autorenkollektiv, *Organikum*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1970.

¹⁷⁾ E. R. Alexander, *J. Am. Chem. Soc.* **72**, 3797 (1950).

[1-¹³C]Allylalkohol ([1-¹³C]-1): Aus der Umsetzung von ¹³CO₂ (aus Ba¹³CO₃) mit Vinylmagnesiumbromid gewonnene [1-¹³C]Acrylsäure⁹⁾ wird über das Säurechlorid¹⁰⁾ in den Alkohol übergeführt¹¹⁾. — ¹³C-NMR: Die relative Intensität des Signals bei δ = 63 ppm (Zuordnung nach Lit.¹⁸⁾) war — verglichen mit der unter gleichen Bedingungen gemessenen nichtindizierten Substanz — um 40% erhöht.

3. Friedel-Crafts-Reaktionen

3.1. *Allgemeine Arbeitsvorschrift*: 20 ml absol. Benzol (p. a., Merck) und der Katalysator werden auf die Reaktionstemp. gebracht. Dann tropft man unter starkem Rühren 3.0 g absol.¹¹⁾ Allylalkohol gemischt mit 3 ml absol. Benzol zu. Nach Ende der Reaktionszeit gießt man auf ein Gemisch von 100 g Eis und 30 ml konz. Salzsäure. Die organische Phase wird mit Wasser, gesättigter NaHCO₃-Lösung, dann erneut mit Wasser ausgeschüttelt und über Natriumsulfat getrocknet. Zur analytischen Gaschromatographie wird die Lösung direkt eingesetzt. Vor der präparativen Trennung wird im rotierenden Kugelrohr (Gerät der Firma Büchi) bei 1 Torr und ca. 180°C Ofentemp. fraktioniert. Zur präparativen gaschromatographischen Trennung wird die niedrigsiedende Fraktion (insbesondere Benzol, Propylbenzol) direkt, die höhersiedende nach Zusatz des vierfachen Volumens Cyclohexan eingesetzt. Die einzelnen Stoffe werden in CDCl₃ aufgenommen und NMR-spektroskopisch analysiert.

3.2. *Verwendung von AlCl₃ als Katalysator (Standardbedingungen)*: Die Umsetzung wird nach 3.1. mit 13.3 g AlCl₃ (sublimiert und gepulvert; Merck) bei 4°C in 4 h durchgeführt.

3.3. *Zeitliche Abfolge der Produktbildung*: Die Reaktion wurde nach 3.2. durchgeführt. Es wurden laufend Proben entnommen und nach Aufarbeitung analog 3.1. gaschromatographisch analysiert. Ergebnis siehe Abb.

3.4. *Untersuchung verschiedener Katalysatoren*: Die Umsetzungen wurden nach 3.1. durchgeführt. Variable sowie Ergebnisse siehe Tab. 1. Daneben entstehen höhersiedende Produkte.

3.5. *Umsetzungen mit deuterierten Verbindungen*: Die Umsetzungen wurden nach 3.2. durchgeführt. — In Tab. 2 ist der aus den ¹H-NMR-Spektren bestimmte Deuteriumgehalt der einzelnen Gruppen angegeben. Die Fehlergrenze der Methode liegt relativ hoch bei Substanzen, die nur in geringer Menge isoliert werden können, vor allem aber bei Gruppen, die neben viel Wasserstoff wenig Deuterium enthalten oder die breite Multipletts geben. Ergebnisse siehe Tab. 2.

Weitere Versuche: Bei der Umsetzung von Allylalkohol [OD] wurde kein Einbau von Deuterium in die Reaktionsprodukte gefunden.

Setzte man anstelle von Allylalkohol 1 g 1-Phenyl-[2,2-D₂]propan in Gegenwart von 13.3 g Aluminiumchlorid um, so trat, auch wenn man das AlCl₃ mit 0.5 ml Wasser aktivierte, keinerlei

Tab. 3. Relative Intensitäten der ¹³C-NMR-Signale der Produkte bei der Umsetzung von [1-¹³C]-1

	C-1	C-2	C-3
Propylbenzol	δ ppm (38.4)	(24.8)	(13.8)
unmarkiert	92	95	100
markiert	112	117	100
Zunahme (%)	21	23	—
1,2-Diphenylpropan (5)	δ ppm (41.8)	(45.1)	(21.1)
unmarkiert	91	98	100
markiert	106	111	100
Zunahme (%)	16	13	—

¹⁸⁾ T. Yonemoto, J. Magn. Reson. 13, 153 (1974).

Reaktion ein. Die Indizierung des zurückgewonnenen Propylbenzols war unverändert; Cumol war nicht nachweisbar.

3.6. *Umsetzung mit [$1\text{-}^{13}\text{C}$]Allylalkohol*: Man setzt 16 ml Benzol, 10.6 g Aluminiumchlorid und 2.4 g [$1\text{-}^{13}\text{C}$]-1 nach 3.2. um. Die breitbandenkoppelten ^{13}C -NMR-Spektren wurden mit 80000 Scans aufgenommen. In Tab. 3 sind die relativen Intensitäten der Signale von markierten und unmarkierten Verbindungen, jeweils bezogen auf die Signale von C-3 = 100, angegeben.

4. Weitere Umsetzungen

4.1. Bei Einsatz von 6 g Allylbenzol anstelle des Allylalkohols nach 3.2. erhält man Propylbenzol sowie 1,1- und 1,2-Diphenylpropan (Ausb. 19 bzw. 56%).

4.2. Setzt man analog zu 3.2. 1,1-Diphenyl-1-propen um, so findet keine Reaktion statt.

4.3. Bei der Umsetzung von 4.0 g 2-Phenyl-1-propanol anstelle des Allylbenzols nach 3.2. tritt keine Reaktion ein. Bei Aktivierung des Katalysators mit 0.5 ml Wasser findet man 12% Propylbenzol, 10% 1,2-Diphenylpropan (5) und 27% 1,1-Diphenyl-1-propen.

4.4. 1,2-Diphenylpropan (5) (3.0 g) erwies sich unter den Bedingungen von 3.2. als stabil. Bei Aktivierung mit 0.5 ml Wasser entstanden 20% Propylbenzol; 4% 1,1-Diphenylpropan und 30% 1,1-Diphenyl-1-propen.

[507/76]