

Symposium über Reaktionsmechanismen

Am 20. Februar fand in Bern die Winterversammlung 1965 der Schweizerischen Chemischen Gesellschaft statt. Dabei wurden u. a. die folgenden Vorträge gehalten.

Zum Mechanismus katalysierter Reaktionen des Formaldehyds mit Aminen und Amiden

B. Glutz und H. Zollinger (Vortr.), Zürich (Schweiz)

Die Reaktion von Formaldehyd mit Semicarbazid und Harnstoff ist in wässriger Lösung – wie die meisten Reaktionen von Ketonen und Aldehyden mit Aminogruppen enthaltenen Verbindungen – allgemein säure- und basen-katalysiert. Während die Reaktion mit Semicarbazid nach 1. Ordnung bezüglich der Formaldehydkonzentration und unabhängig von der Semicarbazidkonzentration abläuft, verhält sich die Reaktionsgeschwindigkeit des Harnstoffs direkt proportional zur Konzentration beider Edukte. Es ergibt sich, daß die Dehydratisierung des Methylenglykols $\text{CH}_2(\text{OH})_2$ bei der Reaktion mit Semicarbazid, bei der Harnstoff-Reaktion jedoch der Umsatz des freien Formaldehyds geschwindigkeitslimitierend sind. Aus der Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Harnstoff-Reaktion von der Konzentration einer größeren Zahl von Säuren und Basen (Carbonsäuren und ihre Anionen, Phosphorsäure und Phosphate, HCO_3^\ominus und $\text{CO}_3^{2\ominus}$, tertiäre Amine und konjugate Säuren, $\text{H}_3\text{O}^\oplus$, H_2O und OH^\ominus) wurden die Brönstedschen Parameter bestimmt (Säurekatalyse: $\alpha = 0,28$, Basenkatalyse: $\beta = 0,37$) und die Möglichkeit der Differenzierung zwischen einem Zweistufenmechanismus mit einem ersten ter- oder quasitermolekularen Vielzentren-Schritt und einem nur aus rein bimolekularen Stufen bestehenden Dreistufenmechanismus diskutiert. Die nicht-lineare Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit bei $\text{pH} > 11$ steht kinetisch mit dem Zweistufenmechanismus und vorgelagertem Methylenglykol \rightleftharpoons Methylenglykolat-Gleichgewicht in Übereinstimmung. Dabei ergibt sich für Methylenglykol eine den Erwartungen entsprechende Aciditätskonstante ($\text{pK}_a = 13,1$). Einige Basen zeigen eine wesentlich schwächere ($\text{NC}_2\text{H}_4\text{OH})_3$) oder stärkere (HCO_3^- , H_2PO_4^-) katalytische Wirkung als man nach Brönsted erwarten würde. Mögliche Ursachen sind Solvatationseffekte oder bifunktionelle Katalyse. Die Wahl der Katalysatoren hat Bedeutung für die Herstellung makromolekularer Verbindungen (Kunststoffe) und bei Vernetzungsreaktionen von Textilfasern (Baumwolle und andere Cellulosefasern).

Mechanismus und Stereochemie von Fragmentierungsreaktionen

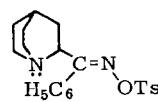
C. A. Grob, Basel (Schweiz)

Bei einer Fragmentierung zerfällt eine Molekel a-b-c-d-X in ein elektrofuges Fragment a-b⁺, ein nucleofuges Fragment X⁻ und ein ungesättigtes Fragment c=d. (Die Symbole a bis d bedeuten die Atome C, N, O und eventuell S in wechselnder Reihenfolge und mit verschiedener Bindungsordnung). Eine große Zahl scheinbar verschiedener Reaktionen kann damit auf einen einzigen Reaktionstyp zurückgeführt werden. Für Fragmentierungen ergeben sich drei Grundmechanismen: die drei Fragmente lösen sich gleichzeitig voneinander, es löst sich zuerst das nucleofuge Fragment X⁻ oder das elektrofuge Fragment a-b⁺ von der Molekel a-b-c-d-X. Bisher sind nur die beiden ersten Mechanismen eindeutig nachgewiesen worden.

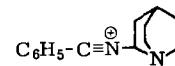
So solvolyseren 3-Amino-alkylhalogenide wie $(\text{CH}_3)_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{Cl}$ über Carbonium-Ionen wie $(\text{CH}_3)_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2^+$, was sich anhand der Substitutions-, Eliminierungs-, Ringschluß- und Fragmentierungs-Produkte und der praktisch gleichen Reaktionsgeschwindigkeit eines homomorphen Alkylhalogenids $[(\text{CH}_3)_2\text{CH}-$ statt $(\text{CH}_3)_2\text{N}]$ zeigen läßt. Im Gegensatz dazu reagieren 3-Amino-alkylhalogenide oder -arylsulfonate $\text{R}_2\text{N}_\gamma-\text{C}_\gamma-\text{C}_\beta-\text{C}_\alpha-\text{X}$ (X = Halogen bzw. ArSO_3), in welchen die $\text{C}_\alpha-\text{X}$ -Bindung und die Achse des freien N-Elektronenpaars der Aminogruppe anti-coplanar zur $\text{C}_\beta-\text{C}_\gamma$ -Bindung gerichtet sind, nach dem Einschrittmechanismus, d. h. unter gleichzeitiger Ablösung von $\text{R}_2\text{N}^\oplus=\text{C}$ und X^- . Dieser Mechanismus wird nur bei relativ starren mono- und bicyclischen 3-Aminoalkohol-Derivaten, welche die erwähnten stereoelektronischen Bedingungen erfüllen, beobachtet; etwa bei 1-Amino-4-bromadamantanen, 4-Bromchinuclidin, 3 β -Chlortropan sowie den 4 α - und 5 α -Tosyloxy-decahydrochinolinen (Tosyloxy-Gruppen äquatorial). Die Solvolyse dieser Verbindungen in Äthanol (80 Vol.-%) ist gegenüber den homomorphen Verbindungen um das 50- bis 50000-fache beschleunigt.

Wird infolge der Konfiguration die anti-coplanare Orientierung der $\text{C}_\alpha-\text{X}$ -Bindung oder des freien N-Elektronenpaars in Bezug auf die $\text{C}_\beta-\text{C}_\gamma$ -Bindung verhindert, so tritt entweder keine Fragmentierung ein, oder sie erfolgt nach dem unbeschleunigten Zweischritt-Mechanismus. Dies ist z. B. der Fall beim 3 α -Chlortropan, bei Decahydrochinolinen mit axialen 4 β - und 5 β -Tosyloxy-Gruppen sowie bei 7 α - und 7 β -Tosyl-decahydrochinolin.

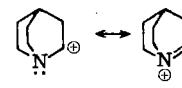
Sowohl die anti- als auch die syn-Form von α -Amino-ketoxim-estern $\text{R}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{R}')=\text{N}-\text{X}$ fragmentiert vollständig nach dem Synchronmechanismus unter Bildung von Carbimonium-Salzen $\text{R}_2\text{N}^\oplus=\text{CH}_2 \text{X}^\ominus$ und Nitrilen; die anti-Formen ca. 10³ mal rascher als die syn-Formen. Zudem verläuft die Fragmentierung 10³ bis 10⁸ mal rascher als die Beckmann-Umlagerung entsprechender Ketoxim-Derivate, in denen die Aminogruppe durch eine homomorphe Alkylgruppe ersetzt ist. Wird aber das freie N-Elektronenpaar aus der stereoelektronisch günstigsten anti-coplanaren Stellung herausgedreht, wie im (2-Chinuclidyl)-phenylketoxim-tosylat (1), so tritt anstelle der synchronen Fragmentierung eine Beckmann-Umlagerung zum N-(2-Chinuclidyl)-phenylnitrium-Ion (2) ein. Dieses geht in wässriger Medien zu 80% in N-(2-Chinuclidyl)-benzamid über, liefert aber außerdem durch Fragmentierung das 2-Chinuclidyl-Kation (3) oder dessen Folgeprodukte in 20-proz. Ausbeute.



(1)



(2)



(3)

(3a)



(4)

Da das homomorphe (2-Bicyclo[2.2.2]octyl)-phenylketoxim-tosylat [CH statt N in (1)] unter diesen Bedingungen mit etwas geringerer Geschwindigkeit reagiert und ausschließlich N-(2-Bicyclo[2.2.2]octyl)-benzamid liefert, muß das 2-Chinuclidyl-Kation eine Stabilisierung durch Mesomerie (3) \leftrightarrow (3a) erfahren, welche dem 2-Bicyclo[2.2.2]octyl-Kation (4)