



Tabelle 1. Umsetzung von Seleniden (1) mit Singulett-Sauerstoff zu Selenoxiden (2). Reaktionsbedingungen siehe Arbeitsvorschrift.

| | R ¹ | R ² | Reaktionszeit [h] | Ausb. [%] |
|---|-------------------------------|--|-------------------|----------------|
| a | C ₆ H ₅ | CH ₃ | 7 | 95 |
| b | C ₆ H ₅ | CH ₂ C ₆ H ₅ | 2.5 | 70 (10) [a] |
| c | C ₆ H ₅ | C ₃ H ₇ -CHOH-CH(C ₃ H ₇) | 3.5 | 28 (45) [a, b] |
| d | CH ₃ | C ₉ H ₁₉ -CH(CH ₃) | 5 | 85 (10) [a] |
| e | CH ₃ | C ₃ H ₇ -CHOH-CH(C ₃ H ₇) | 4.5 | 70 (15) [a, c] |

[a] Werte in Klammern bedeuten am Ende der Reaktionszeit zurückgewonnenenes Ausgangsmaterial.

[b] Außerdem entstehen 27 % 5-Octen-4-ol.

[c] Außerdem entstehen 15 % 5-Octen-4-ol.

teilweise in Allylalkohole übergingen (Tabelle 1). Die Ausbeuten an Allylalkoholen nehmen mit steigender Reaktionstemperatur und Bestrahlungsdauer zu. So steigt die Ausbeute an 5-Octen-4-ol aus (1e) von 15 % (20°C, 4.5 h) auf 42 % (50°C, 4.5 h), und aus (1c) werden statt 27 % (20°C, 3.5 h) 46 % 5-Octen-4-ol erhalten (20°C, 17.5 h)^[4]. Dieser Allylalkohol wird bei der Bestrahlung nicht oxidiert.

Arbeitsvorschrift

In einem typischen Experiment werden 1 mmol (1) und 10 mg Bengalrosa in 120 ml wasserfreiem Methanol gelöst. Unter Rühren wird Sauerstoff durch die Lösung geleitet, die man mit einer bei 135 V (≅ 325 W) betriebenen Sylvania-Iodlampe (225 V, 650 W) bestrahlt. Die Reaktion wird dünn-schichtchromatographisch verfolgt. Nach Abdestillieren des Lösungsmittels wird die rohe Mischung chromatographisch gereinigt. – Die Produkte wurden durch Vergleich (IR, ¹H-NMR) mit authentischem Material identifiziert.

Eingegangen am 1. März 1976 [Z 433]

CAS-Registry-Nummern:

(1a): 4346-64-9 / (1b): 18255-05-5 / (1c): 56414-33-6 /
(1d): 58856-08-9 / (1e): 58873-23-7 / (2a): 25862-09-3 /
(2b): 13154-11-5 / (2c): 58856-09-0 / (2d): 58856-10-3 /
(2e): 58873-24-8 / 5-Octen-4-ol: 58856-11-4.

- [1] a) G. O. Schenck, *Angew. Chem.* 64, 12 (1952); b) R. W. Denny u. A. Nickon, *Org. React.* 20, 133 (1973).
- [2] Analoge Reaktion bei Sulfiden siehe a) G. O. Schenck u. C. H. Krauch, *Chem. Ber.* 96, 517 (1963); b) K. Gollnick, *EUCHEM Research Conference* Nr. 69, Sept. 1975 in Ghent (Belgien).
- [3] Siehe z. B. H. J. Reich, J. M. Ranga u. J. L. Reich, *J. Am. Chem. Soc.* 97, 5434 (1975); zit. Lit.
- [4] Bei längerer Bestrahlung zersetzt sich das Selenid (1) unter Abscheidung von rotem Selen.

Eine neue elektrochemische Methode zur Bildung von SiSi-Bindungen

Von Edwin Hengge und Georg Litscher[*]

Zur Knüpfung von SiSi-Bindungen stehen erst wenige Methoden zur Verfügung. Überwiegend wird für präparative Zwecke die der Wurtz-Reaktion analoge Umsetzung von Halogensilanen mit Alkalimetall benutzt. Abwandlungen dieses Verfahrens, z. B. Reaktion eines Halogensilans mit einem Me-

tallorganosiliciumderivat, können angewendet werden, wenn entsprechende Reagentien zugänglich sind. Unspezifischere Methoden sind die Pyrolyse und die Abbaureaktionen polymerer Strukturen (z. B. von Siliciden). Auch die Photolyse von Quecksilberverbindungen sowie die Dehydrierung von Si—H-Bindungen mit Di-*tert*-butylperoxid führten in Einzelfällen zum Erfolg^[1].

Wir haben nun eine Methode entwickelt, mit der sich aus Halogensilanen in sehr schonender Weise Produkte mit neuen SiSi-Bindungen erhalten lassen. Elektrolysiert man etwa Trimethylchlorsilan (Me₃SiCl) in 1,2-Dimethoxyethan in Gegenwart eines Leitsalzes, z. B. [(n-Bu)₄N]⁺ClO₄⁻, unter Verwendung von Quecksilberelektroden, so bildet sich Hexamethyldisilan (Me₃SiSiMe₃). Als Lösungsmittel eignen sich alle aprotischen Solventien, die unter den gegebenen Bedingungen stabil sind, z. B. auch Tetrahydrofuran. Als Leitsalz ist außer quartären Ammoniumsalzen auch Lithiumchlorid brauchbar. Günstig, jedoch nicht notwendig, ist die Verwendung eines Diaphragmas (Glasfritte).

Wesentlich ist die Wahl der Elektroden. Als Kathodenmaterial haben sich Blei und Quecksilber bewährt, wobei Blei als Festkörper aufgrund der günstigeren Zellgeometrie Vorteile bietet. Als Anodenmaterial eignen sich Blei und Quecksilber, aber auch Graphit. Bei Verwendung von Blei oder Quecksilber entsteht PbCl₂ bzw. Hg₂Cl₂. Um der Passivierung der Elektroden durch diese Chloride entgegenzuwirken, genügt es im Falle der Quecksilberanode, an der Hg-Oberfläche kräftig zu rühren. Passivierung wird auch bei Graphitanoden beobachtet. Platin erweist sich als Anodenmaterial wenig widerstandsfähig gegen Korrosion. Am geeignetsten erscheint uns bisher die Kombination aus Bleikathode und Quecksilberanode.

Eine typische Arbeitsvorschrift für die neue Methode zur SiSi-Verknüpfung sei am Beispiel der elektrochemischen Synthese von Hexamethyldisilan aus Trimethylchlorsilan angegeben. Die Hydrolyseempfindlichkeit der Halogensilane erfordert rigorosen Feuchtigkeitsausschluß; als Schutzgas wird getrockneter, sauerstofffreier Stickstoff verwendet. Elektrolysiert wird in einem Glasgefäß mit einem Quecksilbersee als Anode und einer Bleikathode (Stromzuleitung durch in Glas eingeschmolzene Platindrähte); der Elektrodenquerschnitt beträgt 40 cm², der Elektrodenabstand 1.5 cm. Gerührt wird durch einen auf dem Quecksilber schwimmenden Magneten. Aus 150 ml Elektrolytlösung – Zusammensetzung: 60% 1,2-Dimethoxyethan, 40% Trimethylchlorsilan, 1 g (0.02 mol/l) [(n-Bu)₄N]⁺ClO₄⁻ – bildet sich bei 75 V Klemmenspannung, Stromdichte 1 mA/cm², in ca. 95proz. Stromausbeute bei Raumtemperatur Hexamethyldisilan. Das durch Destillation isolierte und anhand von Siedepunkt und Raman-Spektrum identifizierte Produkt ist frei von Hexamethyldisiloxan. Die Mengenausbeute hängt natürlich von der Dauer der Elektrolyse ab, z. B. wurden nach 4 Tagen 10 g Me₃SiSiMe₃ erhalten.

Die Methode verspricht eine große Anwendungsbreite. Triphenylchlorsilan läßt sich in Hexaphenyldisilan umwandeln, aber auch difunktionelle Verbindungen wie Diphenyldichlorsilan reagieren zu noch nicht näher charakterisierten Oligomeren und Polymeren (nicht destillierbare Öle). Da im Falle getrennter Elektrodenräume das Substrat nur mit dem Elektrodenmaterial in Berührung kommt und im Gegensatz zur „Wurtz-Reaktion“ auch Umsetzungen bei tieferen Temperaturen möglich sind, erscheint die Methode auch für komplizierte und empfindliche Halogensilane geeignet.

Eingegangen am 13. Februar,
in veränderter Form am 11. März 1976 [Z 429]

CAS-Registry-Nummern:

Me₃SiSiMe₃: 1450-14-2 / Trimethylchlorsilan: 75-77-4.

[*] Prof. Dr. E. Hengge und Dipl.-Ing. G. Litscher
Institut für Anorganische Chemie der Technischen Universität
Stremayrgasse 16, A-8010 Graz (Österreich)

[1] Zusammenfassung: E. Hengge, *Fortschr. Chem. Forsch.* 51, 1 (1974).