

Direkten Methoden (SHELXTLV5), Verfeinerung mit 6308 unabhängigen Reflexen ($R_{\text{int}} = 0.0445$) für 224 Parameter gegen $|F^2|$ mit SHELXTLV5, $R1 = 0.063$, $wR2 = 0.171$ (alle Daten). Max./min. Restelektronendichte $0.599/-0.424 \text{ e } \text{\AA}^{-3}$. Alle Nichtwasserstoffatome bis auf die C-Atome an P1 wurden anisotrop verfeinert. Diese C-Atome (C8–C10) wurden auf Split-Lagen mit jeweiliger Halbbesetzung und mit gemeinsamem Abstand $d(\text{PC})$ verfeinert. Die Wasserstoffatome wurden auf berechneten Positionen fixiert. b) Die kristallographischen Daten (ohne Strukturaktoren) der in dieser Veröffentlichung beschriebenen Strukturen wurden als „supplementary publications no. CCDC-101260 and -101267“ für **1** bzw. **2** beim Cambridge Crystallographic Data Centre hinterlegt. Kopien der Daten können kostenlos bei folgender Adresse in Großbritannien angefordert werden: CCDC, 12 Union Road, Cambridge CB21EZ (Fax: (+44) 1223-336-033; E-mail: deposit@ccdc.cam.ac.uk).

- [8] D. Seyferth, G. B. Womack, M. Cowle, B. W. Hames *Organometallics* **1983**, 2, 1696–1698.
 [9] H. Umland, F. Edelmann, D. Wormsbächer, U. Behrens *Angew. Chem.* **1983**, 95, 148–149; *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.* **1983**, 22, 152–153; *Angew. Chem. Suppl.* **1983**, 156–168.
 [10] W. Ziegler, H. Umland, U. Behrens, *J. Organomet. Chem.* **1988**, 344, 235–247.

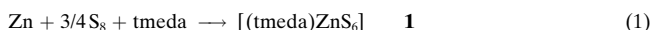
Eine neue Schwefelmodifikation: einfache Synthese von *cyclo*-S₁₄ aus S₈**

Ralf Steudel,* Oliver Schumann, Jürgen Buschmann und Peter Luger

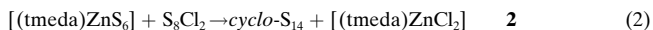
Schwefel bildet mit Abstand mehr allotrope Modifikationen als irgendein anderes Element. Gegenwärtig sind mindestens 21 Normaldruckmodifikationen in reiner Form bekannt, von denen 17 kristallographisch charakterisiert wurden.^[1] In allen liegen Schwefelatome mit der Koordinationszahl (KZ) 2 vor. Die Dichten dieser Modifikationen liegen zwischen 1.9 und 2.2 g cm⁻³ und die Kernabstände zwischen 200 und 218 pm.^[2] Alle Normaldruckmodifikationen sind, soweit untersucht, ausgezeichnete elektrische Isolatoren (Bandlücke ca. 2.9 eV). Durch Anwendung sehr hoher Drücke können jedoch mindestens vier weitere Modifikationen erhalten werden, von denen drei röntgenographisch untersucht wurden. Bei 33 GPa wird Schwefel ein Halbleiter (unbekannter Struktur) und bei 83 GPa ein Metall, das in orthorhombischer Schichtstruktur mit KZ = 4 kristallisiert

und das bei 162 GPa in die rhomboedrische Struktur des β -Poloniums (KZ = 6) übergeht. Bei 206 GPa beträgt die Dichte dieses Metalls bereits 6.6 g cm⁻³; der Kernabstand ist mit 207.9 pm jedoch „normal“^[3] (α -S₈: 205 pm^[4]). Die beiden metallischen Schwefelmodifikationen werden bei 10 bzw. 17 K supraleitend!^[5]

Wir berichten hier über eine neue monotrope Normaldruckmodifikation des Schwefels, die sich in einer dreistufigen Synthese aus der thermodynamisch stabilen Form des Elements (α -S₈) herstellen läßt. Die Ausgangsverbindung ist der Hexasulfidokomplex **1**, der von Rauchfuss et al.^[6] beschrieben wurde und der aus Zinkstaub und α -S₈ in reinem *N,N,N',N'*-Tetramethylethyldiamin (tmeda) bei 90 °C in 75 % Ausbeute hergestellt wird [Gl. (1)].



Der Zinkkomplex **1** bildet luftstabile gelbe Kristalle, deren Moleküle einen siebengliedrigen Metallacyclus mit dem Chelatliganden S₆²⁻ enthalten. Er reagiert ähnlich wie [(C₅H₅)₂TiS₅] als Schwefeltransferreagens. Beispielsweise liefert die Umsetzung von **1**, suspensiert in CS₂, mit Se₂Cl₂ bei –60 °C den Heterocyclus 1,2-Se₂S₆.^[7] Wir haben CS₂-Lösungen von **1** bei 0 °C mit Dichloroctasulfan S₈Cl₂ umgesetzt [Gl. (2)], das durch vorsichtige Chlorierung von *cyclo*-S₈ mit Cl₂ zugänglich ist.^[8] Die HPLC-Analyse^[9] der Lösung wies auf die Bildung von *cyclo*-Tetradecaschwefel in hoher Konzentration hin.



Beim Versuch, S₁₄ aus der Mischung zu isolieren, zersetzte sich das Produkt anfangs regelmäßig zu S₈, was wir auf das starke Nucleophil tmeda ($\text{p}K_{\text{a}} = 5.85/8.97$)^[10] zurückführen, das mit dem unlöslichen Zinkchloridkomplex **2** nur unvollständig entfernt wird. Nucleophile sind dafür bekannt, daß sie die Zersetzung von thermodynamisch instabilen Schwefelhomocyclen katalysieren.^[11] Erst als das restliche Amin in der Lösung durch Zugabe von P₄O₁₀ gebunden wurde, konnte S₁₄ in 11 % Ausbeute bezogen auf **1** isoliert werden. Als Nebenprodukt entsteht S₁₂ offenbar aus S₆Cl₂, das im verwendeten S₈Cl₂ als weiteres Chlorierungsprodukt enthalten ist.

S₁₄ bildet tiefgelbe stabförmige Kristalle, die zu Büscheln verwachsen. Diese schmelzen bei 117 °C unter Zersetzung, wobei hauptsächlich S₈ und S₇ entstehen, so daß eine Reaktionsfolge S₁₄ → 2S₇ → S₈ wahrscheinlich ist. Die Verbindung ist sowohl im kristallinen Zustand als auch in CS₂ gelöst bei 20 °C tagelang unzersetzt haltbar. In CS₂ ist S₁₄ gut, in CHCl₃ mäßig löslich. Das EI-Massenspektrum (70 eV) enthält nur die Signale der Schwefelionen S_n⁺ ($n = 1-9$), es enthält keine Signale anderer Elemente und auch nicht das des Moleküls. Das bei –100 °C aufgenommene Raman-Spektrum^[12] (Tabelle 1) unterscheidet sich von den Spektren aller anderen cyclischen Schwefelmodifikationen, entspricht aber den Erwartungen. Neben acht Linien (davon zwei Schultern) im Bereich der S-S-Valenzschwingungen bei 440–485 cm⁻¹ sind viele Signale von Deformations-, Torsions- und Gitterschwingungen im Bereich unterhalb 290 cm⁻¹ vorhanden. Linien von S₈ oder S₁₂^[13] sind nicht nachweisbar.

[*] Prof. Dr. R. Steudel, Dipl.-Chem. O. Schumann
 Institut für Anorganische und Analytische Chemie
 der Technischen Universität
 Sekr. C2, Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin
 Fax: (+49) 30-314-26519
 E-mail: steudel@schwefel.chem.tu-berlin.de.

Dr. J. Buschmann, Prof. Dr. P. Luger
 Institut für Kristallographie der Freien Universität
 Takustraße 6, D-14195 Berlin

[**] Schwefelverbindungen, 206. Mitteilung. Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, vom Deutschen Akademischen Austauschdienst und vom Verband der Chemischen Industrie gefördert. – 205. Mitteilung: R. Steudel, O. Schumann, J. Buschmann, P. Luger, *Angew. Chem.* **1998**, 110, 515; *Angew. Chem. Int. Ed.* **1998**, 37, 492.

Tabelle 1. Wellenzahlen [cm^{-1}] der Raman-Banden von kristallinem S_{14} bei -100°C (674-nm-Krypton-Laser; rel. Intensitäten in Klammern).

Valenz-schwingungen	Deformations-schwingungen	Torsions- und Gitterschwingungen
483 (7)	270 (7)	122 (7)
474 (5)	252 (2)	90 (23)
468 (25)	243 (5)	79 (14)
462 sh	234 (23)	69 (59)
460 (59)	212 (2)	61 (41)
453 sh	198 (18)	57 (36)
447 (11)	189 (7)	47 (100)
444 (11)	177 (11)	34 (23)
	163 (25)	
	153 (16)	
	128 (48)	

Das Umkehrphasen-HPLC-Chromatogramm von reinem S_{14} enthält nur ein großes Signal, dessen Retentionszeit zwischen denen von S_{13} ^[8] und S_{15} ^[14] liegt. Mit dieser Analyse-methode waren Spuren von S_{14} bereits früher in abgeschreckten Schwefelschmelzen und in synthetischen Schwefelmischungen detektiert worden.^[9, 15]

Die cyclische Struktur von S_{14} wurde durch eine Einkristall-Röntgenstrukturanalyse nachgewiesen.^[16] Da sich Kristalle von S_{14} bei Raumtemperatur im Röntgenstrahl rasch zersetzen, wurde die Probe auf -100°C gekühlt. Bei dieser Temperatur waren die Reflexintensitäten konstant. Die triklinen Kristalle enthalten zwei Moleküle in der Elementarzelle; die Dichte beträgt bei -100°C 2.045 g cm^{-3} . Die S_{14} -Moleküle befinden sich auf allgemeinen Lagen, sind jedoch näherungsweise C_s -symmetrisch (Abb. 1). Die nichtkristallographische Spiegelebene geht durch die Atome 2 und 9. Die Kernabstände liegen zwischen 204.7 und 206.1 pm; der Mittelwert von 205.3 pm ist nur unwesentlich größer als der von orthorhombischem α - S_8 .

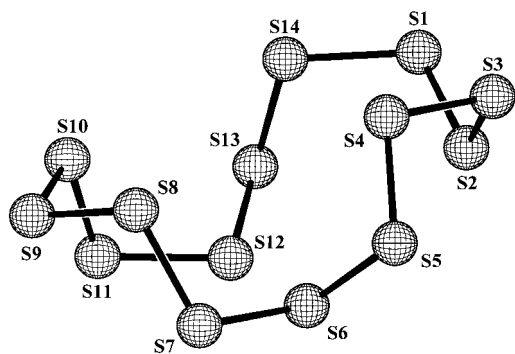


Abb. 1. Struktur von cyclo-S_{14} im Kristall. Abstände [pm], Bindungswinkel $^\circ$ und Torsionswinkel $^\circ$: S1-S2 205.5(4), S2-S3 205.1(3), S3-S4 205.4(3), S4-S5 206.1(4), S5-S6 205.0(4), S6-S7 204.7(4), S7-S8 205.6(4), S8-S9 204.7(3), S9-S10 204.9(3), S10-S11 206.0(3), S11-S12 205.5(4), S12-S13 205.2(4), S13-S14 205.9(3), S14-S1 205.1(4); S1-S2-S3 108.4(2), S2-S3-S4 107.8(2), S3-S4-S5 104.4(2), S4-S5-S6 104.0(2), S5-S6-S7 104.95(14), S6-S7-S8 108.3(2), S7-S8-S9 106.95(13), S8-S9-S10 109.32(14), S9-S10-S11 106.0(2), S10-S11-S12 107.1(2), S11-S12-S13 105.0(2), S12-S13-S14 104.5(2), S13-S14-S1 105.1(2); S1-S2-S3-S4 $+96.0(2)$, S2-S3-S4-S5 $+72.5(2)$, S3-S4-S5-S6 $-100.8(2)$, S4-S5-S6-S7 $-94.9(2)$, S5-S6-S7-S8 $+82.7(2)$, S6-S7-S8-S9 $+107.1(2)$, S7-S8-S9-S10 $-100.7(2)$, S8-S9-S10-S11 $+95.9(2)$, S9-S10-S11-S12 $-100.7(2)$, S10-S11-S12-S13 $-75.9(2)$, S11-S12-S13-S14 $+101.7(2)$, S12-S13-S14-S1 $+101.5(2)$, S13-S14-S1-S2 $-77.9(2)$, S14-S1-S2-S3 $-94.7(2)$.

Für das Verständnis der Konformation von Schwefelringen ist das „Motiv“ von entscheidender Bedeutung. Darunter versteht man die Vorzeichenfolge der Torsionswinkel, die in S_{14} $++--++--++--++--$ ist. Die ersten zwölf Vorzeichen stimmen mit denen des S_{12} -Moleküls^[17] überein. Die Struktur von S_{14} kann folglich aus der von cyclo-S_{12} abgeleitet werden, indem man eine beliebige Bindung öffnet und ein S_2 -Fragment einfügt (Atome 9 und 10). Die Absolutwerte der Torsionswinkel liegen zwischen 72.5 und 101.7° . Der Mittelwert von 93.1° ähnelt dem von S_{12} (89°). Das Molekül S_{12} ist mit einer mittleren Bindungsenergie, die nur ca. 1 kJ mol^{-1} unter der von S_8 liegt, thermodynamisch der zweitstabilste Schwefelhomocyclus; die Differenz zwischen der mittleren Bindungsenergie von S_{14} und der von S_8 beträgt 2 kJ mol^{-1} .^[18]

Experimentelles

cyclo-S_{14} : Die verwendeten Lösungsmittel wurden über P_4O_{10} getrocknet und destilliert. Unter Schutzgas wurde S_8Cl_2 (4.2 g, 12.8 mmol), gelöst in CS_2 (17.5 mL), in 1 h zu einer 0°C kalten Lösung aus **1** (4.8 g, 12.8 mmol) in CS_2 (70 mL) getropft und in einer weiteren Stunde auf 20°C erwärmt. Der farblose Bodenkörper von **2** wurde abfiltriert und mit 50 mL CS_2 gewaschen, Waschlösung und Filtrat wurden vereinigt. Zum Entfernen von freiem tmeda wurden ca. 0.4 g P_4O_{10} zu der klaren gelben Lösung gegeben (das hygroskopische P_4O_{10} enthält stark saure POH-Gruppen, die das Amin protonieren). Zur Fällung des schwerlöslichen S_{12} wurde CHCl_3 (10 mL) zugesetzt, die Lösung auf -35°C gekühlt und S_{12} zusammen mit dem P_4O_{10} abfiltriert. Nach Zugabe von weiteren 10 mL CHCl_3 zum Filtrat kristallisierte S_{14} bei mehrtägigem Kühlen auf -35°C in Form von gelben Kristallbüscheln aus (Ausbeute 650 mg).

Eingegangen am 6. April 1998 [Z11685]

Stichwörter: Allotropie • Schwefel • Zink

- [1] Es handelt sich um die aus cyclischen Molekülen bestehenden Phasen S_6 , S_7 ($\alpha-\delta$), S_8 ($\alpha-\gamma$), S_9 (α, β), S_{10} , S_{11} , S_{12} , S_{13} , S_{15} , S_{18} (α, β), S_{20} , $\text{S}_6 \cdot \text{S}_{10}$ sowie um zwei polymere Formen S_∞ (auch als S_μ oder S_ω bezeichnet).
- [2] Übersichten: R. Steudel, *Chemie der Nichtmetalle*, 2. Aufl., de Gruyter, Berlin, **1998**; R. Steudel, K. Bergemann, J. Buschmann, P. Luger, *Inorg. Chem.* **1996**, *35*, 2184; R. Steudel in *Sulfur—Its Significance for Chemistry, for the Geo-, Bio- and Cosmospere and Technology* (Hrsg.: A. Müller, B. Krebs), Elsevier, Amsterdam **1984**, S. 3.
- [3] H. Luo, S. Desgreniers, Y. K. Vohra, A. L. Ruoff, *Phys. Rev. Lett.* **1991**, *67*, 2998; Y. Akahama, M. Kobayashi, H. Kawamura, *Phys. Rev. B* **1993**, *48*, 6862; H. Luo, R. G. Greene, A. L. Ruoff, *Phys. Rev. Lett.* **1993**, *71*, 2943.
- [4] P. Coppens, Y. W. Yang, R. H. Blessing, W. F. Cooper, F. K. Larsen, *J. Am. Chem. Soc.* **1977**, *99*, 760.
- [5] V. V. Struzhkin, R. J. Hemley, H. Mao, Y. A. Timofeev, *Nature* **1997**, *390*, 382.
- [6] A. K. Verma, T. B. Rauchfuss, S. R. Wilson, *Inorg. Chem.* **1995**, *34*, 3072.
- [7] A. K. Verma, T. B. Rauchfuss, *Inorg. Chem.* **1995**, *34*, 6199.
- [8] R. Steudel, J. Steidel, T. Sandow, *Z. Naturforsch. B* **1986**, *41*, 958.
- [9] R. Strauss, R. Steudel, *Fresenius Z. Anal. Chem.* **1987**, *326*, 543.
- [10] L. Spialter, R. W. Moshier, *J. Am. Chem. Soc.* **1957**, *79*, 5955.
- [11] R. E. Davis in *Inorganic Sulphur Chemistry* (Hrsg.: G. Nickless), Elsevier, Amsterdam, **1968**, S. 85.
- [12] Bei instabilen Schwefelmodifikationen ist es erforderlich, einen Laser mit energiearmer Strahlung (rot oder infrarot) zu verwenden, da sonst durch photochemische Umwandlungen S_8 entstehen kann. Zu experimentellen Einzelheiten siehe Lit. [8].
- [13] R. Steudel, H.-J. Mäusle, *Z. Naturforsch. A* **1978**, *33*, 951.
- [14] R. Strauss, R. Steudel, *Z. Naturforsch. B* **1988**, *43*, 1151.

- [15] R. Steudel, H.-J. Mäusle, D. Rosenbauer, H. Möckel, T. Freyholdt, *Angew. Chem.* **1981**, 93, 402; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1981**, 20, 394.
- [16] Kristallstrukturanalyse von Si_{14} : $0.55 \times 0.16 \times 0.15 \text{ mm}^3$, triklin, Raumgruppe $P\bar{1}$ (Nr. 2), $Z=2$, $a=5.469(3)$, $b=9.662(5)$, $c=14.331(7) \text{ \AA}$, $\alpha=95.97(4)$, $\beta=98.96(4)$, $\gamma=100.43(4)^\circ$, $V=728.8(7) \text{ \AA}^3$, $\mu=2.044 \text{ mm}^{-1}$, $\text{MoK}\alpha$ -Strahlung: $\lambda=0.71068 \text{ \AA}$. 4440 gemessene Reflexe ($2.16 \leq \theta \leq 30.00^\circ$), davon 54% mit $I \leq 2\sigma(I)$, 4270 unabhängige Reflexe, $R_{\text{int}}=0.051$. Wegen größerer Breite (1.7° , ω -Scan) und irregulärer Form der Reflexprofile wurde im ω -Scan-Modus gemessen, der Untergrund beiderseits des Reflexes wurde durch Punktmessung bestimmt. Startkoordinaten der Schwefelatome aus Direkten Methoden mit SIR92. Verfeinerung gegen F^2 (SHELXL93), 127 verfeinerte Parameter, $R1=0.084$, $R1=\Sigma |F_o| - |F_c| / \Sigma |F_o|$, $wR2=0.25$ mit allen unabhängigen Reflexen, $wR2=\Sigma [w(F_o^2 - F_c^2)] / \Sigma [w(F_o^4)]^{1/2}$, $w=[\sigma^2(F_o^2) + (0.1542P)^2]^{-1}$ mit $P=[\max(F_o^2, 0) + 2F_c^2]/3$, max./min. Restelektronendichte $1.51/-1.13 \text{ e \AA}^{-3}$. Weitere Einzelheiten zur Kristallstrukturuntersuchung können beim Fachinformationszentrum Karlsruhe, D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen (Fax: (+49) 7247-808-666; E-mail: crysdata@fiz-karlsruhe.de), unter der Hinterlegungsnummer CSD-408504 angefordert werden.
- [17] J. Steidel, R. Steudel, A. Kutoglu, *Z. Anorg. Allg. Chem.* **1981**, 476, 171.
- [18] R. Steudel, R. Strauss, L. Koch, *Angew. Chem.* **1985**, 97, 58; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1985**, 24, 59.

Katalytische enantioselektive Allenylierung: Regulierung der Gleichgewichtseinstellung zwischen Propargyl- und Allenylstannanen während des katalytischen Prozesses**

Chan-Mo Yu,* Sook-Kyung Yoon, Kwangwoo Baek und Jae-Young Lee

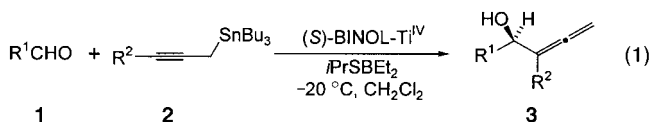
Professor Elias J. Corey zum 70. Geburtstag gewidmet

Effiziente, hochstereoselektive Synthesen enantiomerenreiner Verbindungen über katalytische Prozesse sind von großem Interesse, da die Produkte als Synthesebausteine bei der Herstellung wertvoller chiraler Substanzen verwendet werden können.^[1] So eröffnet der Allyltransfer auf Aldehyde einen ausgezeichneten Weg zur stereoselektiven Synthese von Allylalkoholen.^[2] Nach den frühen Untersuchungen von Hoffmann et al.^[3] zur Verwendung von chiralen Allylboranen für die asymmetrische Induktion haben viele Forschungsgruppen wichtige Beiträge zur Erweiterung dieser Methode geleistet und hohe Stereoselektivitäten erreicht.^[4] Die Leistungsfähigkeit des Allyltransfers auf Aldehyde, der zu enantiomerenangereicherten Alkoholen führt, wurde durch neue katalytische Varianten erweitert – besonders mit chiralen Lewis-Säuren, die die Addition von Allyltransferreagen-

tien an die Carbonylgruppe katalysieren.^[5] Zwar wurden einige elegante Beispiele für eine Erhöhung der katalytischen Wirkung für praktische Anwendungen beschrieben,^[6] doch stehen bei allylischen Systemen noch einige Anwendungsbeispiele für katalytische Allyltransferreaktionen aus.

Wir demonstrierten bereits die Anwendbarkeit von Hilfsreagentien, die für katalytische asymmetrische Allylierungen und Propargylierungen nach mechanistischen Überlegungen entworfen wurden.^[7] Mit den Hilfsreagentien wurde nicht nur eine Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit erreicht, sondern es konnte auch die Menge des chiralen Katalysators reduziert werden.^[7] Diese Strategie sollte auch bei der katalytischen Allenylierung achiraler Aldehyde effektiv nutzbar sein – eine wertvolle Methode, weil mit Allenylalkoholen nützliche Umwandlungen der funktionellen Gruppen möglich sind.^[8]

Methoden für die Synthese von Allenylalkoholen sind häufig dadurch eingeschränkt, daß die Kupplung von Propargyltransferreagentien mit Carbonylgruppen wenig regioselektiv verläuft.^[9] Über eine effiziente Methode für die enantioselektive Synthese von Allenylalkoholen, die über „selbstopfernden“ Chiralitätstransfer verläuft, wurde bereits berichtet.^[10] Dabei wurden nichtracemische Propargylstannane in äquimolaren Mengen mit Aldehyden umgesetzt. Während die Kupplung von Propargylboranen mit hohen Enantio- und Regioselektivitäten unter Verwendung äquimolarer Mengen eines chiralen Auxiliars bereits entwickelt wurde,^[11] konnte eine katalytische Variante der Allenylierung von Aldehyden bisher nicht verwirklicht werden. Wir stellten bei der enantioselektiven Synthese von Allenylalkoholen **3** [Gl. (1); BINOL = 2,2'-Dihydroxy-1,1'-binaphthyl] folgendes fest: 1. Bifunktionelle Hilfsreagentien beschleunigen den



katalytischen Prozeß der asymmetrischen Allenylierung von achiralen Aldehyden und führen zu hohen Enantioselektivitäten. 2. Die Reaktion verläuft hochregioselektiv, was auf das Gleichgewicht zwischen den Zinnreagentien zurückzuführen ist.

Der Ausgangspunkt dieser Untersuchung war die Zugänglichkeit des Zinnreagens (2-Butinyl)-tributylstannan **2a** in regiochemisch reiner Form; es wurde in quantitativer Ausbeute hergestellt und destillativ gereinigt: Versetzen von 1-Brom-2-buten (1.2 Äquiv.) mit Magnesium (2.0 Äquiv.) und Tributylzinnchlorid (1.0 Äquiv.) in Anwesenheit von PbBr_2 (5 Mol-%) in THF lieferte nach destillativer Aufarbeitung **2a** in einer Gesamtausbeute von 81% und mit >98% Regioselektivität.^[12] Unsere ersten Untersuchungen konzentrierten sich auf die Verwendung von **2a** für die katalytische enantioselektive Allenylierung von achiralen Aldehyden, unterstützt durch chirale Lewis-Säuren. Dabei wurden **1** ($\text{R}^1 = \text{PhCH}_2\text{CH}_2$) und **2a** in Gegenwart von (S)-BINOL/ Ti^{IV} mit bifunktionellen Hilfsreagentien R_nMSR^1 ($\text{M} = \text{B, Al, Si}$) umgesetzt [Gl. (1)]. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: 1. Kontrollexperimenten zufolge läuft die

[*] Prof. Dr. C.-M. Yu, S.-K. Yoon, K. Baek, J.-Y. Lee
Department of Chemistry and Institute of Basic Science
Sungkyunkwan University, Suwon 440–746 (Südkorea)
Fax: (+82) 331-290-7075
E-mail: cmyu@chem.skku.ac.kr

[**] Diese Arbeit wurde vom koreanischen Ministerium für Erziehung (BSRI 97-3420) und der koreanischen Wissenschafts- und Ingenieurgesellschaft (KOSEF 97-0501-02-01-3) unterstützt.