

finden könnte. Dieser Befund läßt sich mit der Planarität von **1** erklären. Die Annäherung zweier Triazen-Moleküle, die zur Bildung starker Wasserstoffbrückenbindungen erforderlich ist, wird durch die intermolekulare sterische Abstoßung der Phenylprotonen verhindert.

Aus diesen Ergebnissen läßt sich der Schluß ziehen, daß in einem aprotischen, aber nicht unbedingt apolaren Lösungsmittel Basen wie Trimethylamin mobile Protonen von Säuren an einem molekularen Ort aufgreifen und schnell zu einem anderen übertragen können. Dieser intramolekulare Transfer verläuft schneller als die Dissoziation des zwischenzeitlich gebildeten Kontaktionenpaars. Das System Diaryltriazen/Trimethylamin ist daher ein interessantes Modell für weitere experimentelle und theoretische Untersuchungen von Protonenübertragungsprozessen, die auch zum Verständnis der Mechanismen von enzymkatalysierten Reaktionen beitragen könnten.

Eingegangen am 17. November 1995 [Z 8561]

Stichworte: Basenkatalyse · NMR-Spektroskopie · Protonentransfer

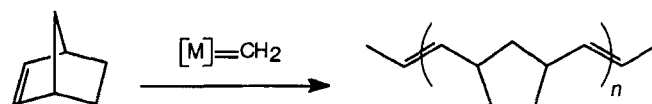
- [1] D. F. Cook, *Enzyme Mechanism from Isotope Effects*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1991.
- [2] R. D. Gandour, R. L. Schowen, *Transition States of Biochemical Processes*, Plenum Press, New York, 1978.
- [3] R. P. Bell, *The Proton in Chemistry*, Chapman and Hall, London, 1973.
- [4] E. F. Caldin, V. Gold, *Proton Transfer Reactions*, Chapman and Hall, London, 1973.
- [5] M. Eigen, L. de Mayer, *Techniques of Organic Chemistry. Investigation of Rates and Mechanisms*, Vol. 8, Pt. 2 (Hrsg.: E. S. Lewis, A. Weissberger), Wiley, New York, 1961.
- [6] J. G. Belasco, W. J. Alberty, J. R. Knowles, *Biochemistry* **1986**, 25, 2552.
- [7] J. R. Reimers, T. X. Lü, M. J. Crossley, N. S. Hush, *J. Am. Chem. Soc.* **1995**, 117, 2855.
- [8] P. M. Kiefer, V. B. P. Leite, R. M. Whitnell, *Chem. Phys.* **1995**, 194, 33.
- [9] A. Staib, D. Borgis, J. T. Hynes, *J. Chem. Phys.* **1995**, 102, 2487.
- [10] a) H.-H. Limbach, *Dynamic NMR Spectroscopy in the Presence of Kinetic Hydrogen/Deuterium Isotope Effects (NMR Basic Princ. Prog.* **1991**, 23, 66–167); b) H.-H. Limbach, G. Scherer, L. Meschede, F. Aguilar-Parrilla, B. Wehrle, J. Braun, C. Hoelger, H. Benedict, G. Buntkowsky, W. P. Fehlhammer, J. Elguero, J. A. S. Smith, B. Chaudret in *Ultrafast Reaction Dynamics and Solvent Effects* (Hrsg.: Y. Gauduel, P. J. Rossky), American Institute of Physics, Woodbury, NY, **1994**, S. 225.
- [11] M. Schlabach, H. Rumpel, H.-H. Limbach, *Angew. Chem.* **1989**, 101, 84; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1989**, 28, 76; H. Rumpel, H.-H. Limbach, *J. Am. Chem. Soc.* **1989**, 111, 5429; M. Schlabach, G. Scherer, H.-H. Limbach, *ibid.* **1991**, 113, 3550; F. Aguilar-Parrilla, G. Scherer, H.-H. Limbach, M. C. Foces-Foces, F. H. Cano, J. A. S. Smith, C. Toiron, J. Elguero, *ibid.* **1992**, 114, 9657; M. Schlabach, H.-H. Limbach, E. Bunnenberg, A. Shu, B. R. Tolf, C. Djerassi, *ibid.* **1993**, 115, 4554; C. G. Hoelger, B. Wehrle, H. Benedict, H.-H. Limbach, *J. Phys. Chem.* **1994**, 98, 843; J. Braun, M. Schlabach, B. Wehrle, M. Köcher, E. Vogel, H.-H. Limbach, *J. Am. Chem. Soc.* **1994**, 116, 6593; G. Scherer, H.-H. Limbach, *ibid.* **1994**, 116, 1230; C. G. Hoelger, H.-H. Limbach, *J. Phys. Chem.* **1994**, 98, 11803; G. Scherer, H.-H. Limbach, *Croat. Chem. Acta* **1994**, 67, 431.
- [12] P. Ahlberg, K. Jänné, S. Löfås, F. Nettelblad, L. Swahn, *J. Phys. Org. Chem.* **1989**, 2, 4290.
- [13] a) H.-H. Limbach, L. Meschede, G. Scherer, *Z. Naturforsch.* **1989**, 44a, 459; b) L. Meschede, D. Geritzen, H.-H. Limbach, *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* **1988**, 92, 469; c) L. Meschede, H.-H. Limbach, *J. Phys. Chem.* **1991**, 95, 10267.
- [14] J. Braun, C. Hasenfratz, R. Schwesinger, H.-H. Limbach, *Angew. Chem.* **1994**, 106, 2302; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1994**, 33, 2215.
- [15] N. S. Golubev, S. Smirnov, V. A. Gindin, G. S. Denisov, H. Benedict, H.-H. Limbach, *J. Am. Chem. Soc.* **1994**, 116, 12055.
- [16] D. N. Kravtsov, A. N. Nesmeyanov, L. A. Fedorov, E. I. Fedin, A. S. Peregudov, E. V. Borisov, P. O. Okulevich, S. A. Postovoi, *Dokl. Akad. Nauk. SSSR Ser. Khim.* **1978**, 242, 347.
- [17] A. N. Nesmeyanov, E. V. Borisov, D. N. Kravtsov, A. S. Peregudov, E. I. Fedin, *Izv. Akad. Nauk. SSSR Ser. Khim.* **1981**, 30, 110.
- [18] F. J. Weigert, W. A. Sheppard, *J. Org. Chem.* **1976**, 41, 4006.
- [19] L. Lunazzi, G. J. Panciera, *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2*, **1980**, 52.

Synthese hochsubstituierter Cyclopentan- und Tetrahydrofuranerivate durch gekreuzte Olefinmetathese**

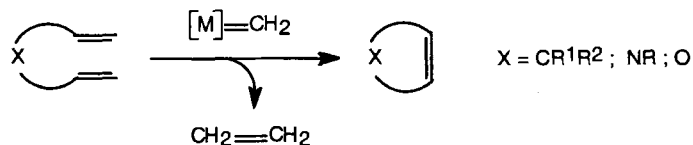
Matthias F. Schneider und Siegfried Blechert*

Die Olefinmetathese ist eine seit längerem bekannte Reaktion, bei der metallkatalysiert die Alkylidengruppen zweier Olefine ausgetauscht werden^[1]. Diese synthetisch hochinteressante Methode wurde in der Vergangenheit häufig zur ringöffnenden Metathesepolymerisation (ROMP) eingesetzt^[2]. In neuerer Zeit wurde vielfach über ringschließende Metathese (RCM) zur Synthese von Carbo- und Heterocyclen berichtet^[3] (Schema 1). Der Mechanismus derartiger C-C-Verknüpfungen verläuft über

ROMP :



RCM:



Schema 1. Ringöffnende Metathesepolymerisation (ROMP) und ringschließende Metathese (RCM) mit Metallkomplekxkatalysatoren. [M] = Metallkomplexfragment.

[2+2]-Cycloadditionen und -reversionen von Metall-Alkylidenkomplexen^[4]. Durch neue Katalysatoren^[5], die offenbar viele funktionelle Gruppen tolerieren, erlangt die Olefinmetathese zunehmende Bedeutung.

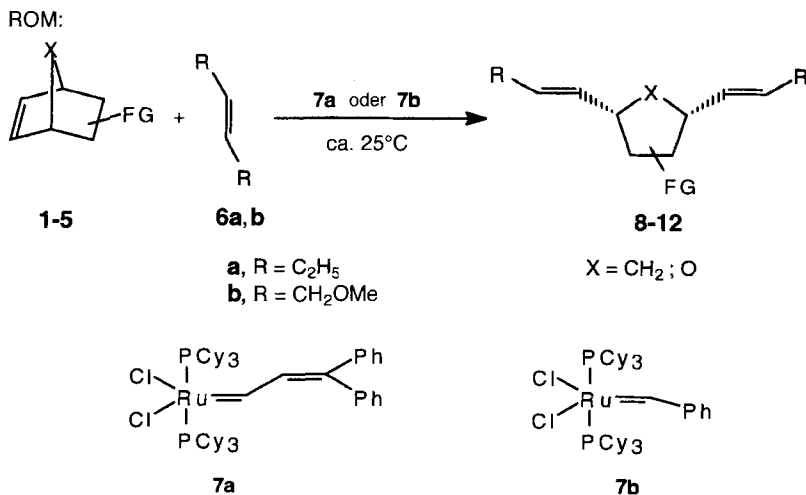
Gemischte Olefinmetathesen, bei denen zwei unterschiedliche Olefine in einer bimolekularen Reaktion zur C-C-Verknüpfung eingesetzt werden, erschienen uns besonders reizvoll. Wir wollten dabei eine Ringöffnung mit dem Abgang durch eine zweite Alkenkomponente kombinieren, um zu monomeren Produkten zu gelangen. Eine gekreuzte Metathese gelang kürzlich durch Reaktion von Cyclobutenderivaten mit monosubstituierten Alkenen^[6]. Umsetzungen mit symmetrischen Alkenen führten ausschließlich zu Polymeren. Wir berichten hier über andere erfolgreiche gekreuzte ringöffnende Metathesen (ROM) funktionalisierter Bicyclen mit symmetrischen Olefinen^[7] (Schema 2).

Als Triebkraft für die Ringöffnung nutzten wir zunächst die Ringspannung von Norbornenderivaten. Zur Vermeidung der Polymerisation arbeiteten wir in verdünnter Lösung (max. 0.1 molar) und mit einem zehnfachen Überschuß an *trans*-3-Hexen **6a**. Als Katalysator verwendeten wir den Rutheniumkomplex **7a**^[8]. Der Reaktionsverlauf wurde gaschromatographisch verfolgt. Die Resultate sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Die Ausbeuten sind außer bei **11** hoch. Wegen der relativ hohen Flüchtigkeit von **8a**, **9** und **10** erfolgte die Bestimmung

[*] Prof. Dr. S. Blechert, Dipl.-Chem. M. F. Schneider
Institut für Organische Chemie der Technischen Universität
Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin
Telefax: Int. + 30/31423619
E-mail: sibl@wap0105.chem.tu-berlin.de

[**] Diese Arbeit wurde vom Fonds der Chemischen Industrie gefördert.



Schema 2. Gekreuzte Olefinmetathese. Oben: Synthese von **8–12** aus **1–5** und **6a, b**. FG = funktionelle Gruppe. Bedingungen und Ergebnisse siehe Tabelle 1. Unten: die verwendeten Rutheniumkatalysatoren **7a** und **7b**. Cy = Cyclohexyl.

Tabelle 1. Ergebnisse der ringöffnenden Metathese der Norbornen- und 7-Oxanorbornenderivate **1–5** mit den Abfangreagentien **6a–c**.

Edukt	Produkt	Ausbeute [%]	Bedingungen	E,E:E,Z-Isomeren-Verhältnis
		8a : 91 [b]	2 Mol-% 7a ; 19 h	4.5
		94 [b, c]	2 Mol-% 7a ; 5 h	3.5
	8a : R = C ₂ H ₅ 8b : R = CH ₂ OCH ₃	75 [b, d]	6 Mol-% 7b ; 13 h	5
		9b : 68 [a]	2 Mol-% 7a ; 9 h	1.5
		94 [a]	6 Mol-% 7a ; 4 d	2
		85 [a]	2 Mol-% 7a ; 14 h	2
		34 [b]	4 Mol-% 7a ; 20 h	1.5
		73 [b]	8 Mol-% 7b ; 3 h	1.5
		12a : 98 [b]	2 Mol-% 7a ; 2 h	3.5
		12b : 89 [b, c]	2 Mol-% 7a ; 15 h	
	12a : R = C ₂ H ₅ 12b : R = CH ₂ OCH ₃			

[a] Benzol. [b] CH₂Cl₂. [c] 10 Äquiv. *cis*-3-Hexen **6c**. [d] 1.5 Äquiv. *cis*-3-Hexen **6c**. [e] Isomerenverhältnis nicht eindeutig ersichtlich. BOC = *tert*-butoxycarbonyl. TBDMS = *tert*-butyldimethylsilyl.

der Ausbeute gaschromatographisch und mit Octadecan als internem Standard. Die Umwandlung der Rohprodukte in weniger flüchtige Substanzen (z.B. Überführung von **9** mit LiAlH₄ in das Diol und anschließende Aufarbeitung; 94 % über zwei Stufen) liefert ähnliche Ausbeuten. Die geringere Ausbeute bei der Ringöffnung des β -Lactams **4** ist offenbar auf die konkurrierende Bildung von Oligomeren, die sich mittels ¹H-NMR-Spektroskopie und Massenspektrometrie nachweisen lassen, zurückzuführen und ist auch bei höherer Verdünnung nicht vermeidbar. Erwartungsgemäß ist die Konfiguration der Doppelbindungen in den neu gebildeten Olefinen nicht einheitlich. Es entstehen Gemische von *all-trans*- und *cis-trans*-Produkten. Hauptprodukt sind jedoch in allen Fällen die *all-trans*-Verbindungen. Im Fall von **11** wurden außerdem auch geringe Mengen des *all-cis*-Olefins gefunden.

Nach dem erfolgreichen Einsatz von *trans*-3-Hexen **6a** haben wir Reaktionen mit dem Diacetat des *cis*-2-Buten-1,4-diols untersucht. Dabei findet die gewünschte Reaktion nicht statt. Wie wir auch bei anderen Versuchen festgestellt haben, toleriert der Katalysator **7a** offenbar keine Allylacetate oder -carbonate. Erfolgreich waren hingegen Reaktionen mit *trans*-1,4-Dimethoxy-2-buten **6b**, wie die Beispiele mit **8b** und **12b** belegen.

Die Ringöffnungen sind nicht nur auf Norbornenderivate beschränkt. Auch das aus Furan leicht erhältliche Diels-Alder-Produkt **5** kann mit hohen Ausbeuten in gekreuzten Ringöffnungsmetathesen zu **12a, b** umgesetzt werden (siehe Tabelle 1).

Die vorgestellten Reaktionen verlaufen über Cycloadditionen und -reversionen. Die Konfiguration des Olefins sollte deshalb den Verlauf beeinflussen. Durch Einsatz von *cis*-3-Hexen **6c** fanden wir diese Vermutung bestätigt. Bei seiner Umsetzung mit **1** lief die Reaktion – unter gleichen Bedingungen wie für **6a** beschrieben – deutlich schneller ab. Nach 3 h war **1** weitgehend umgesetzt. Die maximale Ausbeute war nach 5 h erreicht. Im Gegensatz dazu betrug die Reaktionszeit mit **6a** 19 h. Das Isomerenverhältnis wurde durch die Verwendung von *cis*-3-Hexen **6c** nur unwesentlich verändert.

Durch Ausnutzung der höheren Reaktionsgeschwindigkeit von **6c** und durch Verwendung des neuen Rutheniumkatalysators **7b**^[5] gelang es uns nun auch, bei der Ringöffnung des β -Lactams **4** die konkurrierende Oligomerenbildung weitestgehend zu unterdrücken. Dabei konnte die Ausbeute um mehr als das Doppelte auf 73 % gesteigert werden.

Für den sinnvollen präparativen Einsatz der ringöffnenden Metathese ist ein geringerer Überschuß an Abfangolefin wünschenswert. Dies gelang uns durch eine modifizierte Reaktionsführung. Der Katalysator **7b** und lediglich 1.5 Äquivalente **6c** wurden in CH₂Cl₂ vorgelegt. Dann wurde **1**, gelöst in CH₂Cl₂, innerhalb von 4 h langsam zutropft. Die dabei erreichte Ausbeute von 75 % ist akzeptabel.

Als Mechanismus der vorgestellten gekreuzten Metathese erscheint uns die Ringöffnung des Bicyclus durch einen aus dem acyclischen Olefin gebildeten Carbenkomplex plausibel. Eine nachfolgende Reaktion des cyclopentylsubstituierten Carbenkomplexes mit dem Abfangolefin sollte zum Produkt und zur erneuten Bildung des katalytisch wirksamen Carbenkomplexes führen.

Bicyclen wie 1–5 sind mit diversen Substituenten, oft auch enantiomerenrein, gut zugänglich. Das vorgestellte Verfahren sollte deshalb attraktive Möglichkeiten zur Herstellung hochsubstituierter Fünfringe bieten.

Experimentelles

Typische Arbeitsvorschrift für die ringöffnenden Metathese-Reaktionen am Beispiel von **8a**: Alle Metathesen werden unter Argon durchgeführt. Als Lösungsmittel wird Benzol oder CH_2Cl_2 verwendet. 5.2 mg (5.6 μmol , 2 Mol-%) Rutheniumkatalysator **7a** werden in 2 mL CH_2Cl_2 gelöst. Dann werden 240 mg (2.8 mmol) *trans*-3-Hexen **6a**, in 1 mL CH_2Cl_2 , und 60 mg (0.28 mmol) **1**, in 3 mL CH_2Cl_2 , zugegeben. Man läßt 19 h bei Raumtemperatur rühren. Der Fortschritt der Reaktion wird gaschromatographisch kontrolliert. Nach vollständiger Umsetzung wird das Lösungsmittel unter vermindertem Druck abdestilliert. Das Rohprodukt wird säulenchromatographisch gereinigt (Kieselgel, Et₂O:Isopentan = 1:9). Man erhält 70 mg (0.238 mmol, 85%) **8a** als farbloses Öl.

Variante für die Metathese-Reaktion mit 1.5 Äquivalenten Abfangreagens: Zu einer Lösung von 14 mg (16.6 μmol , 6 Mol-%) Rutheniumkatalysator **7b** und 34 mg (0.42 mmol) *cis*-3-Hexen **6c** in 6 mL CH_2Cl_2 wird mittels Spritzenpumpe eine Lösung von 58 mg (0.276 mmol) **1** in 12 mL CH_2Cl_2 innerhalb von 4 h zugetropft. Man läßt 13 h bei Raumtemperatur rühren. Ausbeute: 75%.

Alle neuen Verbindungen sind spektroskopisch eindeutig charakterisiert. Die Strukturbestimmung erfolgte durch zweidimensionale NMR-Spektroskopie sowie durch NOE-Experimente. Spektroskopische Daten für (*E,E*)-**8a**: ¹H-NMR (400 MHz, CDCl_3): δ = 5.51 (2H, dt, *J* = 15, 6 Hz), 5.40 (1H, ddt, *J* = 15, 7.5, 1 Hz), 5.22 (1H, ddt, *J* = 15, 8.5, 1 Hz), 3.65 (3H, s), 3.61 (3H, s), 3.25 (1H, dd, *J* = 10, 8.5 Hz), 3.04–2.91 (1H, m), 2.99 (1H, dd, *J* = 10.5, 8.5 Hz), 2.67 (1H, ddt, *J* = 10.5, 10.5, 7.5 Hz), 1.99 (4H, dq, *J* = 7.5, 6 Hz), 1.56–1.40 (1H, m), 0.95 (3H, t, *J* = 7.5 Hz), 0.92 (3H, t, *J* = 7.5 Hz); ¹³C-NMR (50.32 MHz, CDCl_3): δ = 174.7 (C), 173.4 (C), 133.9 (CH), 133.0 (CH), 129.9 (CH), 128.1 (CH), 52.3 (CH), 52.0 (CH), 51.7 (CH₃), 51.3 (CH₃), 47.1 (CH), 44.4 (CH), 39.2 (CH₂), 25.3 (CH₂), 13.7 (CH₃); IR (CCl_4): $\tilde{\nu}$ = 2964, 1736, 1436, 1199, 1169, 969 cm^{-1} ; MS: *m/z* (%): 294 (6) [*M*⁺], 262 (63), 234 (90), 205 (43), 192 (44), 175 (100), 153 (22), 145 (20), 133 (18), 119 (21), 109 (19), 91 (27), 79 (26), 67 (20), 55 (41); hochauflösendes MS: ber. für C₁₇H₂₆O₄ [*M*⁺]: 294.1831, gef.: 294.1831.

Eingegangen am 2. November 1995 [Z 8519]

Stichworte: Cyclopentane · Katalyse · Olefinmetathese · Tetrahydrofurane

- [1] a) R. H. Grubbs, S. H. Pine in *Comprehensive Organic Synthesis*, Vol. 5 (Hrsg.: B. M. Trost, I. Fleming, L. A. Paquette), Pergamon, New York, 1991, Kap. 9.3; b) R. R. Schrock, *The Stream Chemiker*, Vol. XIV, Strem Chemicals, Newburgport, 1992, Nr. 1, S. 1.
- [2] a) B. M. Novak, R. H. Grubbs, *J. Am. Chem. Soc.* **1988**, *110*, 960; b) R. H. Grubbs, W. Tumas, *Science* **1989**, *243*, 907; c) S. T. Nguyen, L. K. Johnson, R. H. Grubbs, *J. Am. Chem. Soc.* **1992**, *114*, 3974; d) D. J. Brunelle, *Ring-Opening Polymerization, Mechanism, Catalysis, Structure, Utility*, Hanser, München, 1993.
- [3] a) H.-G. Schmalz, *Angew. Chem.* **1995**, *107*, 1981; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1995**, *34*, 1833; b) U. Koert, *Nachr. Chem. Tech. Lab.* **1995**, *43*, 809.
- [4] a) J. L. Hérisson, Y. Chauvin, *Makromol. Chem.* **1970**, *141*, 161; b) J. P. Collman, L. S. Hegehus, J. R. Norton, R. G. Finke, *Principles and Applications of Organotransition Metal Chemistry*, University Science Books, Mill Valley, 1987, S. 475.
- [5] P. Schwab, M. B. France, J. W. Ziller, R. H. Grubbs, *Angew. Chem.* **1995**, *107*, 2179; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1995**, *34*, 2039.
- [6] M. L. Randell, J. A. Tallarico, M. L. Snapper, *J. Am. Chem. Soc.* **1995**, *117*, 9610.
- [7] M. F. Schneider, S. Blechert, Vortrag beim Workshop des Sonderforschungsbereichs 260 „Metallorganische Verbindungen“, Marburg, 1995.
- [8] G. C. Fu, S. T. Nguyen, R. H. Grubbs, *J. Am. Chem. Soc.* **1993**, *115*, 9856; b) S. T. Nguyen, R. H. Grubbs, *ibid.* **1993**, *115*, 9858.

Strukturelle Charakterisierung einer trisagostischen Lanthanoid-Si-H-Wechselwirkung**

William S. Rees, Jr.*, Oliver Just, Herbert Schumann* und Roman Weimann

Professor Herbert W. Roesky zum 60. Geburtstag gewidmet

Seit Geschwindigkeits- und Effektivitätsanforderungen an elektronische Schaltungen auf Silicium-Basis den Bereich des theoretisch Möglichen erreichen, richtet sich das Interesse auf deren Potential in optischer Kommunikation, Computeranwendung und Vernetzung. Eine Möglichkeit, die dabei nachteilige, intrinsische direkte Bandlücke des Siliciums zu überwinden, bietet die Dotierung mit den elektronisch vielseitigen Seltenerdmetallen (Ln)^[1], was kurz nach den ersten Erfolgen auf diesem Gebiet^[2] auch an Gittern gezeigt werden konnte, die mit Hilfe der Gasphasenabscheidung („Chemical Vapor Deposition“, CVD) mit Seltenerdmetallen dotiert worden waren^[3]. Kürzlich wurden Metallamide zur Stickstoffdotierung von ZnSe eingesetzt^[4, 5], und daher sollten sich auch Verbindungen des Typs [Ln(NR₂)₃] als Dotierstoffe für epitaktisch abgeschiedene Halbleiterschichten eignen. Im Rahmen unserer Untersuchungen auf diesem Gebiet^[6], speziell bei der Entwicklung von Ln-Amid-Quellen mit höherem Dampfdruck^[7], fanden wir in [Er{N(*t*Bu)[Si(CH₃)₂(H)]₃} eine unserem Wissen nach bislang einzigartige Verbindung, deren tris-agostische Si-H-Er-Wechselwirkung die erste dieses Typs für ein Lanthanoid ist.

Bei den ersten Arbeiten über Tris(amido)lanthanoid-Verbindungen^[8] wurde der seit Jahrzehnten durch die Arbeiten von Bradley et al. bekannte Bis(trimethylsilyl)amido-Ligand eingesetzt^[9]. Von den später strukturell charakterisierten Verbindungen seien die erst kürzlich veröffentlichten Dysprosium- und Erbium-tris[bis(trimethylsilyl)amide] erwähnt^[10]. Dabei überrascht es nicht, daß die Metallzentren dieser Verbindungen, bedingt durch den relativ großen effektiven „cone angle“ des Liganden N[Si(CH₃)₃]₂[−] in Verbindung mit seinem Elektronendonorcharakter dem elektropositiven Ln³⁺-Ion gegenüber, dreifach koordiniert vorliegen. Angesichts der in der Lanthanoidchemie seltenen Koordinationszahl drei war es von Interesse, die Grenzen derartiger Liganden hinsichtlich sterischen Anspruchs und gleichzeitiger geringerer Elektronendonorfähigkeit der Substituenten am Stickstoffatom auszuloten.

Der erste Schritt in diese Richtung war die Herstellung der zu [Er{N[Si(CH₃)₃]₂}₃] pseudo-isosteren, bezüglich der elektronischen Eigenschaften des Er³⁺-Ions jedoch unterschiedlichen Verbindung [Er{N(*t*Bu)[Si(CH₃)₃]₃} sowie ein Vergleich der Dampfdrücke der beiden Verbindungen: [Er{N(*t*Bu)[Si(CH₃)₃]₃]: Dampfdruck *p* = 10^{−3} Torr/120 °C und [Er{N[Si(CH₃)₃]₂}₃]: *p* = 10^{−4} Torr/140 °C. Parallel zu unseren Untersu-

[*] Prof. Dr. W. S. Rees, Jr., Dr. O. Just

Georgia Institute of Technology

School of Chemistry and Biochemistry and School of Materials Science and Engineering and Molecular Design Institute

Atlanta, GA 30332-0400 (USA)

Telefax: Int. + 404/894-1144

E-mail: will.rees@chemistry.gatech.edu

Prof. Dr. H. Schumann, Dr. R. Weimann

Institut für Anorganische und Analytische Chemie

der Technischen Universität

Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin

Telefax: Int. + 30/314-22168

E-mail: schumann@mailszrz.zrz.TU-Berlin.d400.de

[**] Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und vom U.S. Air Force Office of Scientific Research (Small Business Innovation Research contract from the Ballistic Missile Defense Organization to Spire Cooperation subcontract to Georgia Institute of Technology) gefördert.