

Anorganische Chemie 2007

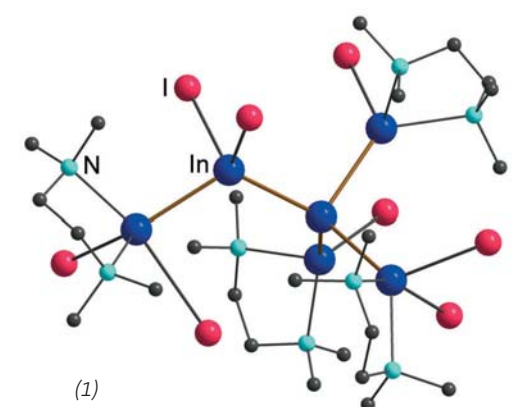
Hauptgruppenelementverbindungen mit Anwendungspotenzial stehen weiter im Fokus

– unter anderem stabile niedervalente Verbindungen und Mehrfachbindungssysteme.

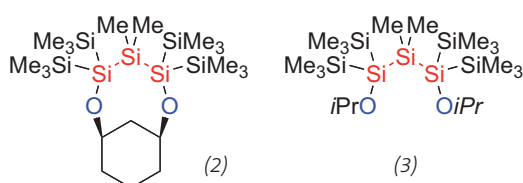
Bauarbeiten am Fundament und an der Spitze kennzeichnen die Entwicklung der

Koordinationschemie im letzten Jahr. Eisenzeit herrscht in der Bioanorganik: Die Zahl

der Publikationen zu biologisch relevanten Eisenverbindungen steigt rasant.

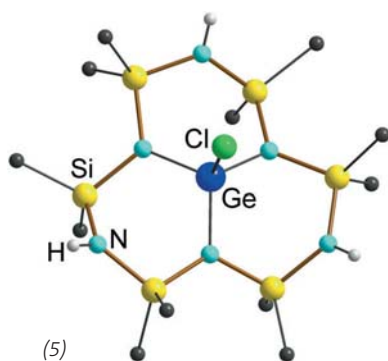


(1)



(2)

(3)



(5)

Hauptgruppenelemente

◆ Lewis-Säure/Base-Paare erlebten vor dem Hintergrund von Wasserstoffspeicherung und -aktivierung 2007 eine beeindruckende Renaissance, insbesondere frustrierte Derivate. Stabile niedervalente Verbindungen und Mehrfachbindungssysteme sowie gemischtvalente Cluster, Ringe und Ketten lassen wegen ihrer spezifischen opto-elektronischen Eigenschaften ein hohes Potenzial in der Anwendung erahnen; man wendet sich daher in jüngster Zeit verstärkt dem Einsatz in der Synthese und der Darstellung funktioneller und räumlich ausgedehnter Derivate wie Wirt-Gast-Strukturen zu. Ein überraschender Teilaspekt dieser Entwicklung: Im vergangenen Jahr spielten Reaktionen mit weißem Phosphor eine vielseitige Rolle.

Große Ringe und verzweigte Ketten

◆ Vorsichtiges Erwärmen einer mit Lithiumatomen dotierten Wasserstoffmatrix von 4 auf 6,8 K führt zu den cyclischen Verbindungen $(\text{LiH})_2$ und $(\text{LiH})_3$. Ihr Nachweis und ihre Charakterisierung erfolgten mit Infrarot-Spektroskopie, kombiniert mit quantenchemischen Rechnungen.¹⁾

Eine gewinkelte Ga-Ba-Ga-Anordnung zeigt die Verbindung $[\text{Cp}^*_2\text{Ba}(\text{GaCp}^*)_2]$. Sie lässt sich als Lewis-Säure-Base-Addukt von zwei GaCp^* -Liganden an den Sandwichkomplex Cp^*_2Ba auffassen.²⁾

Nachdem schon im Jahr 2006 über eine lineare In_6 -Kette berichtet wurde, brachte das vergangene Jahr eine verzweigte In_6 -Spezies. Das Indiumsubhalogenid $[\text{In}_6\text{I}_8(\text{TMEDA})_4]$ (1) ($\text{TMEDA} = N,N,N',N'$ -Tetramethylethyldiamin) kristallisiert in hohen Ausbeuten aus einem Toluol/TMEDA-Gemisch. Die In-Atome besitzen darin die Oxidationsstufen 0, +1 und +2. DFT-Rechnungen zu (1) belegen, dass die beobachtete Absorptionsbande bei 381 nm einem $\sigma\text{-}\sigma^*$ -Übergang zuzuordnen ist.³⁾ Einen ähnlichen Aufbau zeigt auch die Verbindung $[\text{Li}(\text{THF})][\text{Ga}_6\text{IO}(\text{N}(\text{SiMe}_3)_2)_6]$, die bei der Reaktion von $\text{LiN}(\text{SiMe}_3)_2$ mit GaI entsteht.⁴⁾

Während für eine reine σ -Konjugation in peralkylierten Oligosilanen eine All-anti-Konformation günstig ist, ist die bei OH- oder OR-funktionalisierten Oligosilanen auftretende $\sigma\text{-n}$ -Konjugation bei Diederwinkeln von 120 bis 130° besonders ausgeprägt. So liegt das erste Absorptionsmaximum der bicyclischen Verbindung (2) mit SiSiSiSi -Diederwinkeln von 107,8 bis 130° bei 299 nm. Verbindung (3) mit deutlich größeren Diederwinkeln zeigt hingegen ein

erstes Absorptionsmaximum bei 272 nm.⁵⁾

Das σ - π -konjugierte Polymer $(-p\text{-C}_6\text{H}_4\text{-SiMe}_2\text{SiMe}_2\text{-})_n$ (4) entsteht durch reduktive Si-Si-Bindungsknüpfung ausgehend von 1,4-Bis(dimethylchlorsilyl)benzol mit einem Sm/SmI₂-Gemisch als Reduktionsmittel. Das Polymer (4) fällt dabei in guten Ausbeuten und mit einer scharfen Größenverteilung an.⁶⁾

Die Reaktion von Hexamethylcyclotrisilazan mit MCl₄ (M = Ge, Sn) unter Verwendung von *n*BuLi bzw. NEt₃ als Basen führte zu den Germanium- bzw. Zinn-zentrierten Ringverbindungen [ClM{(SiMe₂)₆(NH)₃N₃}] (M = Ge, Sn) (5). In diesen Verbindungen fungiert ein dreifach deprotonierter Hexasilazan-Ring als dreizähliger Ligand.⁷⁾

Ein zwölfgliedriger Ring liegt auch dem Tellurasiloxanring [(*p*-MeOC₆H₄)₂TeOSi(*t*Bu)₂O]₃ zugrunde, der bei der Umsetzung von (*p*-MeOC₆H₄)₂TeO mit *t*Bu₂Si(OH)₂ entsteht.⁸⁾

Das zentrale Strukturelement der Verbindung [(R₄Si₂)O₄(Al₃Me₃)] (6) (mit R = SiMe₃) ist ein zehngliedriger, AlMe-zentrierter Si₄O₄Al₂-Ring. Verbindung (6) entsteht bei der Reaktion von AlMe₃ mit dem Silandiol (R₂SiOH)₂; das zentrale Aluminiumatom ist fünffach koordiniert.⁹⁾

Eine verzweigte Bi₁₀-Kette – eingebettet in ein Cu₁₀(SPh)₂₄-Gerüst – findet sich in dem Clusteranion [Bi₁₀Cu₁₀(SPh)₂₄]²⁻ (7). Es entsteht bei der Umsetzung von Bi(SPh)₃ mit CuSPh und PhSSiMe₃ in Anwesenheit von PPh₄Cl.¹⁰⁾

Sb₈⁸⁻-Ionen mit einer S₈ analogen Kronenstruktur liegen in der Verbindung [K₁₇(Sb₈)₂NH₂] · 17,5 NH₃ vor. Diese Verbindung entsteht bei der Reaktion von elementarem Antimon mit Kalium in flüssigem Ammoniak und kristallisiert direkt aus der Reaktionslösung.¹¹⁾

Isolierung und Charakterisierung der gemischtvalenten Aryltellurenylhalogenide PhTe–TeBr₂Ph (8) und RTe–TeX₂R (R = 2,6-Mes-C₆H₃, X = Cl, Br) (9) gelingen durch Halogenierung von Ph₂Te₂ bzw. R₂Te₂ mit Br₂ bzw. SO₂Cl₂. Im Festkörper sind die Moleküle von (8) durch intermo-

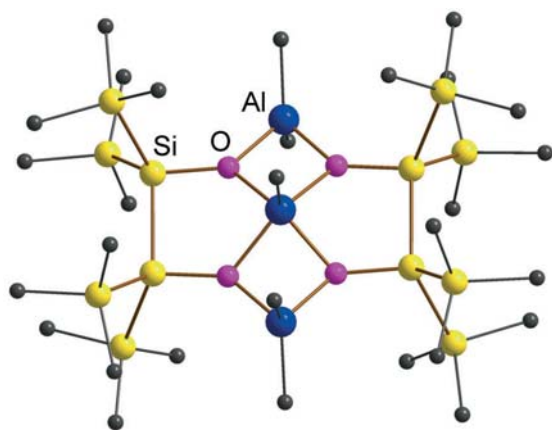
lekulare Te···Br-Wechselwirkungen assoziiert. Dies erklärt die dunkle Farbe und geringe Löslichkeit dieser Verbindung im Vergleich zu (9), in dem solche Kontakte nicht auftreten.¹²⁾

Ein Xe₄⁺-Kation entsteht, wenn XeF⁺ Sb₂F₁₁⁻ in SbF₅ gelöst wird und anschließend soviel Xenon zur Lösung kondensiert wird, dass sich im geschlossenen Röhrchen bei Raumtemperatur ein Druck von über 30 bar aufbaut. Die Charakterisie-

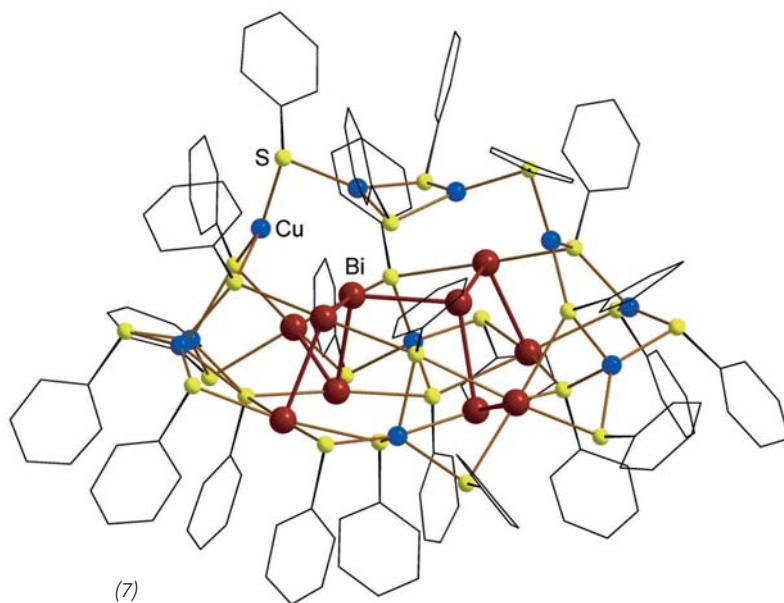
rung des vermutlich D_{∞h}-symmetrischen Ions erfolgte mit UV-Vis- und IR-Spektroskopie in Kombination mit quantenchemischen Rechnungen.¹³⁾

Wirt-Gast-Verbindungen und leere Käfige

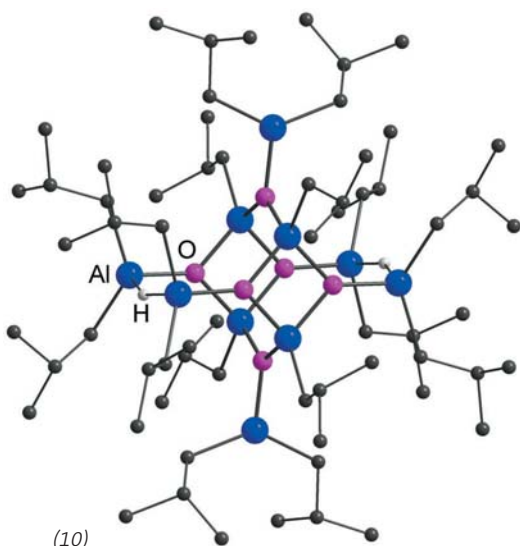
◆ Der Vergleich von experimentell bestimmten Stoßquerschnitten von B_n⁺-Kationen mit auf der Basis von



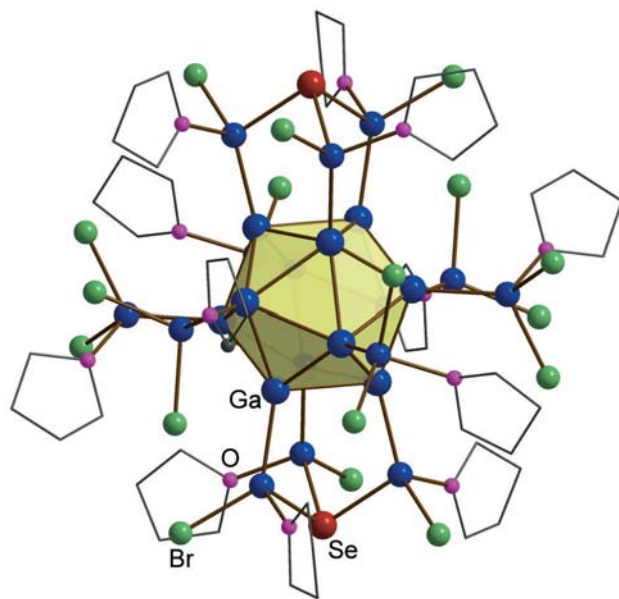
(6)



(7)



(10)



(11)

DFT berechneten Querschnitten zeigt, dass B_n^+ -Clusterkationen bis zu einer Größe von $n = 15$ eine quasi planare Struktur bevorzugen. Ab 16 Boratomen sind dagegen zunehmend zylindrische Strukturen mit gestaffelt übereinander liegenden Ringen energetisch begünstigt.¹⁴⁾

Aufgeklärt sind nun durch Kristallstrukturanalyse die Positionen der Wasserstoffatome im $B_6H_7^-$ -Ion: Neben den sechs terminalen Wasserstoffsubstituenten befindet sich das siebte H-Atom oberhalb einer B_3 -Fläche eines verzerrten B_6 -Oktaeders. Dieses ist durch Zweielektronen-Vierzentrenbindungen innerhalb der rhombischen B_3H -Ringe an den Cluster gebunden.¹⁵⁾

Das erste einfach geladene *closo*-Borat-Ion $[B_{21}H_{18}]^-$ ist aus zwei flächenverknüpften Ikosaedereinheiten aufgebaut und über eine einfache Synthese als Kaliumsalz erhältlich. Die Synthese eines Perfluorderivats als neues potenziell schwach koordinierendes Anion ist eine Herausforderung für die präparative Chemie.¹⁶⁾

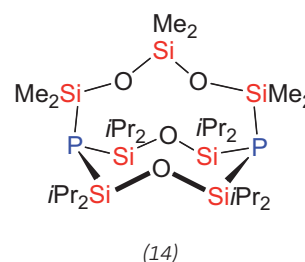
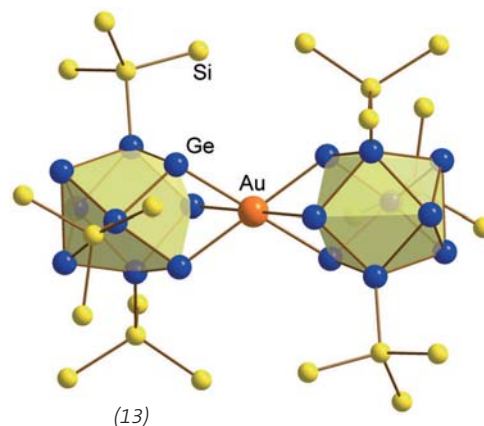
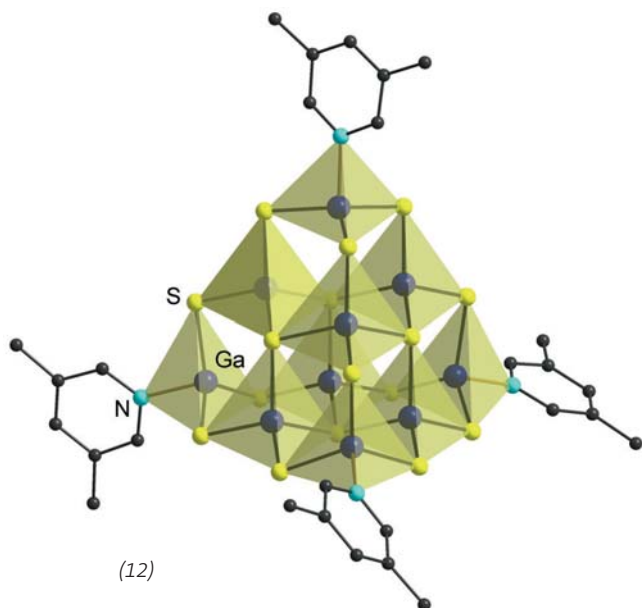
Massenspektroskopische Untersuchungen an $Al_nH_m^-$ -Anionen sowie Anionen-Photoelektronenspektroskopie und DFT-Rechnungen lassen auf die Existenz der neutralen Aluminiumhydride Al_4H_4 und Al_nH_{n+2} ($n = 4-8$) schließen, deren Strukturen mit den Wade-Regeln in Einklang sind.¹⁷⁾

Das Aluminoxan $[Al_{10}O_6(\mu-H)_2 iBu_{16}]$ (10) enthält Lewis-saure Aluminiumatome (Koordinationszahl drei) und Al-verbrückende Hydridliganden. Es ist damit eine interessante Modellverbindung für Methylaluminiumoxid, dessen Struktur bislang nicht bekannt ist. (10) entsteht bei der thermischen Zersetzung des Tetraaluminoxans $[Al_4O_2iBu_8]$ bei 80 °C.¹⁸⁾

Die ternäre Clusterverbindung $[Ga_{24}Br_{18}Se_2] \cdot 12 THF$ (11) entsteht bei der Reaktion von Gallium(I)-Bromid mit $Se(SiMe_3)_2$. Darin ist ein zentraler Ga_{12} -Ikosaeder über zwei einander gegenüberliegende Dreiecksflächen mit zwei Ga_6Se -Käfigen verknüpft, deren selengebundene Galliumatome noch je einen Br- und THF-Liganden tragen. Die übrigen sechs Ga-Atome des zentralen Käfigs sind an je eine $GaBr_2(THF)$ -Einheit gebunden.¹⁹⁾

Ein chalkogenreicherer Galliumcluster entsteht bei der Reaktion von Galliummetall mit Schwefel in 3,5-Dimethylpyridin bei 170 °C im Autoklaven. Der dabei gebildete anionische Cluster $[Ga_{10}S_{16}(NC_7H_9)_4]^{2-}$ (12) zeigt T3-Struktur und trägt an den Ecken je einen 3,5-Dimethylpyridin-Liganden.²⁰⁾

Dass sich Metallatome in Käfige der Elemente der 14. Gruppe einbauen lassen, stellt sich zunehmend als universelles Prinzip heraus. So



zeigen experimentelle wie theoretische Untersuchungen, dass Moleküle bzw. Ionen des Typs $[M@E_{12}]^{n-}$ ($E = \text{Sn, Pb}$; $n = 0, 1, 2$) mit praktisch allen Übergangsmetallen und einigen Lanthaniden und Actiniden stabil sind.²¹⁾ Darüber hinaus lassen sich die durch zwei Übergangsmetallatome zentrierten Ionen $[\text{Pd}_2@\text{Sn}_{18}]^{4-}$ und $[\text{Pt}_2@\text{Sn}_{17}]^{4-}$ synthetisieren und ihre Strukturen im Festkörper bestimmen.²²⁾

Anders als die Edelmetalle Palladium und Platin scheinen Goldatome bevorzugt verbrückende Positionen zwischen Zintl-Anionen einzunehmen. (siehe dazu Trendbericht Festkörperchemie, S. 258) Das siliciumorganisch substituierte Anion $[\text{Ge}_9\{\text{Si}(\text{SiMe}_3)_3\}_3]^-$ reagiert mit $[\text{AuCl}(\text{PPh}_3)]$ zu der ionischen Spezies $[\text{AuGe}_{18}\{\text{Si}(\text{SiMe}_3)_3\}_3]^-$ (13), in der zwei $[\text{Ge}_9\{\text{Si}(\text{SiMe}_3)_3\}_3]^-$ -Käfige über ein Au^+ -Ion derart verknüpft sind, dass sechs Germaniumatome das Goldatom koordinieren.²³⁾

Ebenfalls aus zwei Ge_9 -Käfigen – jedoch verbunden durch eine Zweielektronen-Zweizentrenbindung – besteht das organisch substituierte Zintl-Anion $[\text{tBu}_2\text{Ge}_{18}]^{4-}$. Es entsteht bei der Reaktion einer Lösung von K_4Ge_9 in Ethylendiamin mit tBuCl .²⁴⁾ Die Reaktion einer „GeBr“-Lösung mit $\text{NaMn}(\text{CO})_5$ führt in geringen Ausbeuten zu $[\{\text{GeMn}(\text{CO})_5\}_4\{\text{GeBrMn}(\text{CO})_5\}_2]$,

das aus einem $\{\text{GeMn}(\text{CO})_5\}_4$ -Ring und zwei verbrückenden $\text{GeBrMn}(\text{CO})_5$ -Gruppen aufgebaut ist.²⁵⁾

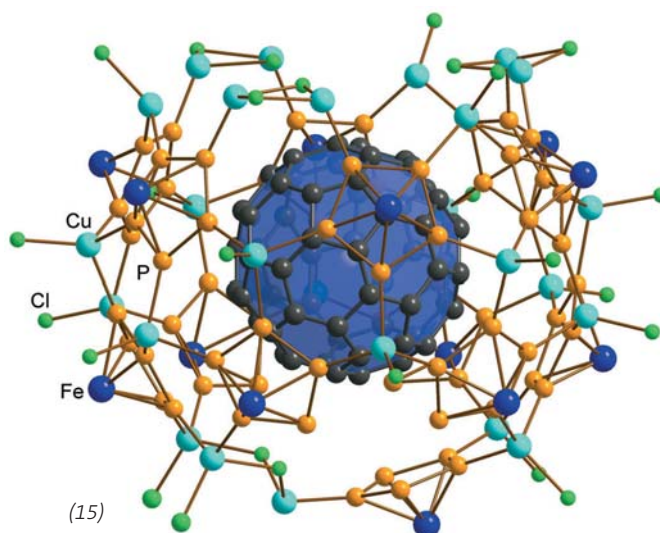
Licht ins Dunkel wässriger Silikatlösungen bringen ^{29}Si -Cosy-NMR-Untersuchungen von ^{29}Si -Isotopen angereicherten basischen Lösungen. Dabei lassen sich insgesamt 48 verschiedene, im dynamischen Gleichgewicht vorliegende Anionen mit bis zu neun Siliciumatomen beobachten und ihre Strukturen bestimmen.²⁶⁾

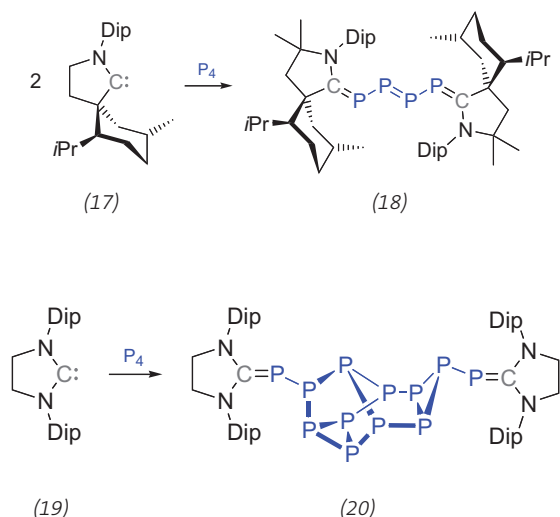
Nach dem Vorbild organischer Cryptanden lässt sich der Käfig (14) synthetisieren. Die Koordination eines Lithiumkations durch diesen Liganden gelingt in der Reaktion mit

$\text{Li}[\text{Al}\{\text{OC}(\text{CF}_3)_3\}_4]$ und belegt die Analogie zum organischen Vorbild.²⁷⁾

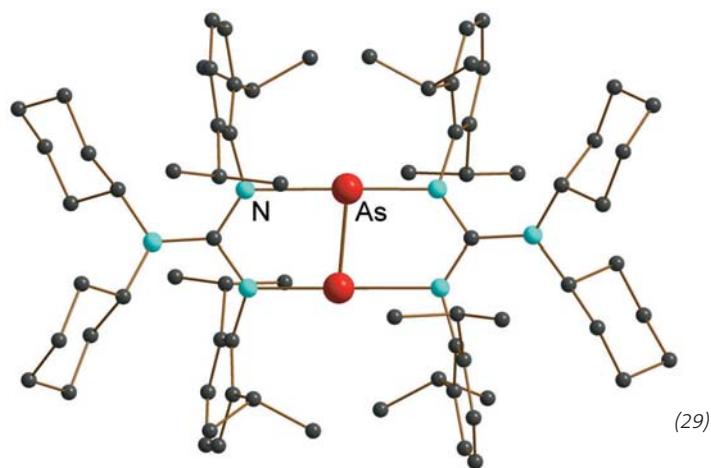
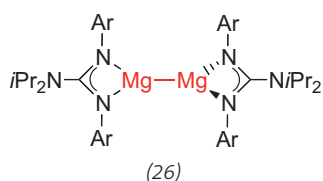
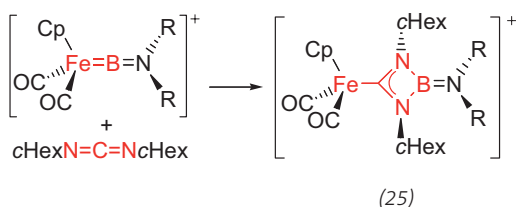
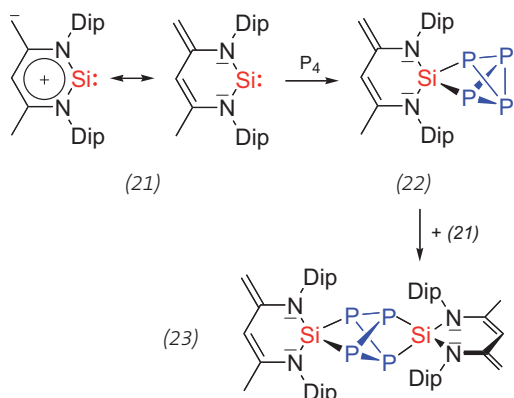
Ein Wirt-Gast-Komplex eines C_{60} -Moleküls in einem Polyeder aus 65 Phosphoratomen und 26 Kupferatomen (15) entsteht bei der Reaktion von Cp^*FeP_5 mit CuCl in Acetonitril bei Anwesenheit von C_{60} . Sowohl ^{13}C -NMR- als auch raman-spektroskopische Messungen an (15) deuten auf einen Ladungstransfer vom Wirtssystem auf das C_{60} -Molekül hin.²⁸⁾

Der ikosaedrische Nickel-Bismut-Cluster $[\text{Ni}_x@\text{Bi}_6\text{Ni}_6(\text{CO})_8]^{4-}$ ($x = 0,33$)





(16) entsteht neben weiteren kleineren Clustern bei der Reaktion einer Lösung von K_4Bi_5 in Ethylendiamin mit $[Ni(PPh_3)_2(CO)_2]$. Die Cluster-moleküle in (16) enthalten nur zum Teil Nickelatome und besitzen im mittleren Teil des Ikosaeders einen gewellten Bi_6 -Ring.²⁹⁾



Die gemischtvalenten Antimon-Sauerstoff-Cluster $[(RSb)_2(CISb)_4O_8]$ und $[(RSb)_4(CISb)_4(HOSb)_2O_{14}]$ bilden sich durch die basische Hydrolyse von $RSbCl_2$ unter aeroben Bedingungen. Ihre Strukturen werden durch Hypervalenz und sekundäre Wechselwirkungen dominiert.³⁰⁾

Neues vom P_4

◆ Gleich mehrere Arbeitsgruppen beschäftigten sich 2007 mit Umsetzungen des weißen Phosphors mit kleinen reaktiven Spezies wie Carbenen oder Silylanionen.

Bei der Reaktion von P_4 mit dem enantiomerenreinen cyclischen Aminocarbon (17) entsteht das erste Beispiel eines 2,3,4,5-Tetraphosphatriens (18). Eine Cycloadditionsreaktion von (18) mit 2,3-Dimethylbutadien zeigt, dass die zentrale P-P-Doppelbindung für Folge-reaktionen zugänglich ist (Dip = 2,6-*i*Pr₂C₆H₃).³¹⁾

Anders als die Reaktion von P_4 mit (17) bleibt die Reaktion von P_4 mit dem N-heterocyclischen Carben (19) nicht auf der Stufe des P_4 -Kettenmoleküls stehen, sondern reagiert über verschiedene Zwischenstufen weiter zu der Verbindung (20) mit einem P_{12} -Gerüst. Einige der Zwischenprodukte dieser Reaktion lassen sich mit ^{31}P -NMR und durch Abfangreaktionen identifizieren.³²⁾

Eine schrittweise Öffnung der Bindungen des P_4 -Tetraeders gelingt

mit dem zwitterionischen Silylen (21). Bei der Reaktion entsteht zunächst die SiP_4 -Käfigverbindung (22). Der Einschub eines weiteren Silylens in die gegenüberliegende P-P-Bindung führt zu der Verbindung (23) mit einem Si_2P_4 -Gerüst.³³⁾

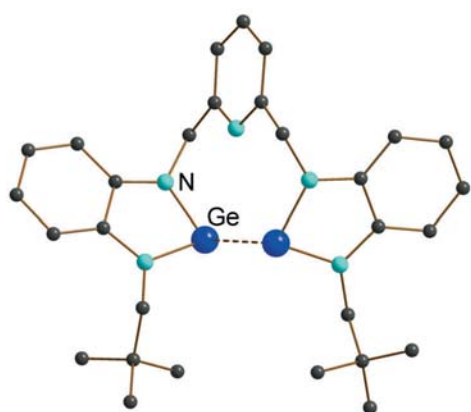
Mit dem Hypersilylkomplex $[(Me_3Si)_3SiK(18\text{-Krone-6})]$ reagiert weißer Phosphor zum anionischen Käfig $[P_8\{Si(SiMe_3)_3\}_2]^{2-}$ (24), der als $K(18\text{-Krone-6})$ -Salz auskristallisiert.³⁴⁾

Der Abbau des P_4 -Tetraeders zu P_2H_4 wird bei der Hydrolyse des zweikernigen Rutheniumkomplexes $[(CpRu(PPh_3)_2)_2(\mu, \eta^{1:1}-P_4)]$ in THF beobachtet. Dabei bildet sich der ebenfalls zweikernige Komplex $[(CpRu(PPh_3)_2)_2(\mu, \eta^{1:1}-P_2H_4)]$.³⁵⁾

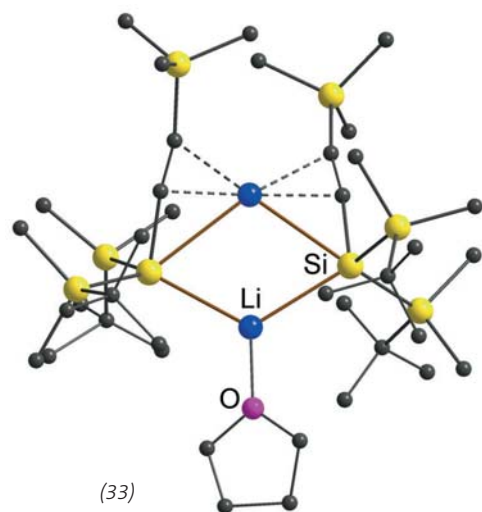
Niedervalente Reagenzien und Mehrfachbindungssysteme

◆ Die Darstellung funktioneller niedervalenter Reagenzien, sowie die Verknüpfung mehrerer niedervalenter Baueinheiten zu ausgedehnten, gegebenenfalls konjugierten Systemen gewinnt neben der Realisierung bislang unbekannter Struktur-motive immer mehr an Gewicht. Neuen, teilweise überraschenden Reaktionspfaden kommt in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung zu.

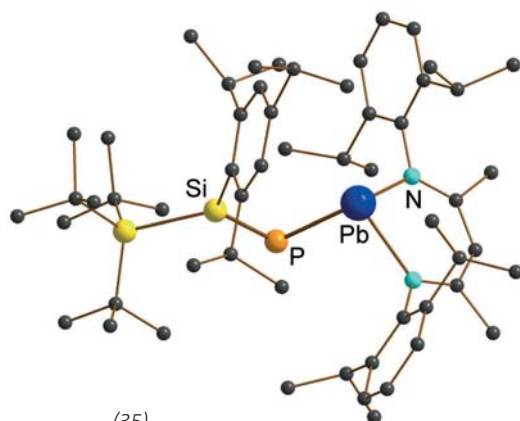
Die Analogie zwischen Carben- und Borylenkomplexen manifestiert sich zum einen in der Insertion in die M=B-Bindung durch Umsetzung



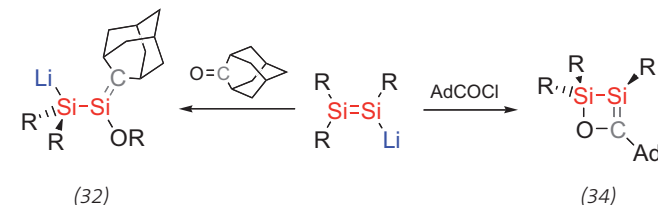
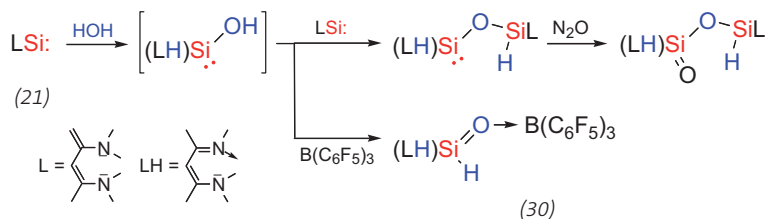
(31)



(33)



(35)



von $[\text{Cp}(\text{CO})_2\text{Fe}=\text{BNcHex}_2]^+$ mit $\text{cHexN}=\text{C}=\text{NcHex}$ unter Bildung von (25),³⁶⁾ zum anderen in der Metathese des ersten terminalen Alkylborylenkomplexes $\text{Cp}(\text{CO})_2\text{Mn}=\text{BtBu}$ mit Benzophenon, die über ein charakterisiertes Cycloaddukt zum Boroxin $(\text{tBuBO})_3$ und dem entsprechenden Diphenylcarbenkomplex führt.³⁷⁾

Erstmalig konnte mit (26) eine Mg^{I} -Verbindung dargestellt und strukturell charakterisiert werden. Das Magnesium-Guanidinat (26) enthält eine im Festkörper präzedenzlose $\text{Mg}-\text{Mg}$ -Bindung (2,851 Å).³⁸⁾ Ausgehend vom zu N-heterocyclischen Carbenen isoelektronischen Boryllithium lässt sich ein Boryl-Grignard-Reagenz darstellen, dessen Reaktion mit Benzaldehyd in der Art einer Oppenauer-Oxidation zum Acylboran (27) führt.^{39a)} Weiterhin sind durch Umsetzung des Boryllithiums mit Münzmetallhalogeniden erstmalig deren Borylkomplexe zugänglich. Die Cu-, Ag- und Au-B-Abstände betragen etwa 1,98 Å, 2,12 Å und 2,08 Å.^{39b)}

Durch Komplexierung mit N-heterocyclischen Carbenen (NHCs) kann Diboren ($\text{HB}=\text{BH}$) als bei Raumtemperatur stabiles Derivat (28) erhalten werden – eine Verbindung, die sich bislang der Synthese selbst bei Verwendung sterisch anspruchsvollster Substituenten entzog.⁴⁰⁾ Der B-B Abstand von 1,560 Å deutet im Einklang mit Rechnungen auf signifikante Doppelbindungsanteile hin. Ebenfalls durch Koor-

dination von NHCs wird ein niedervalentes Germanium-Dikation als $[\text{Ge}^{\text{II}}(\text{NHC})_3]^{2+}$ mit Iodid-Gegenionen stabilisiert.⁴¹⁾ Ein ungewöhnliches Strukturmotiv ist in dem basenstabilisierten Diarsen (29) realisiert: Beide Arsenatome sind mit ihrem typischem Doppelbindungsabstand von 2,256 Å jeweils T-förmig koordiniert.⁴²⁾

Das zwitterionische Silylen (21) (vgl. Abschnitt „Neues vom P_4 “) erweist sich als vielseitiges Ausgangsmaterial, das auch erstmalig Verbindungen mit formaler Si-O-Doppelbindung zugänglich macht. Die kontrollierte Hydrolyse von (21) liefert ein gemischtvalentes Disiloxan,^{43a)} das seinerseits durch Oxidation des Si^{II} -Zentrums mit N_2O in den Silanoyl-Silylester überführt wird.^{43b)} In Anwesenheit von $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_3$ führt die stöchiometrische Reaktion mit Wasser dagegen zum durch Koordination des Sauerstoffatoms an die Lewis-Säure stabilisierten Sila-Aldehyd (30).^{43a)}

Durch Reduktion des Disilens $(\text{tBu}_2\text{MeSi})_2\text{Si}=\text{Si}(\text{SiMe}_2\text{tBu})_2$ und anschließende Behandlung des als Zwischenprodukt isolierten 1,2-Disilandiids mit 12-Krone-4 lässt sich das Radikalanion des entsprechenden Silylens ESR-spektroskopisch in Lösung und durch Röntgenbeugung im Kristall charakterisieren.⁴⁴⁾

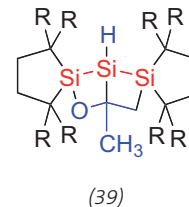
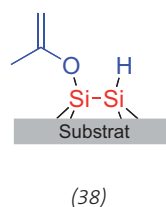
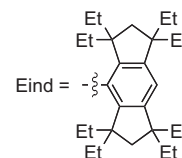
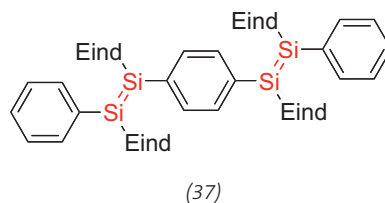
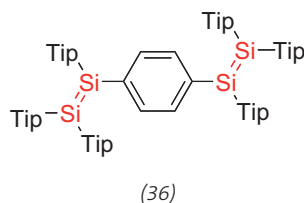
Erstmalig wurden bidentate N-heterocyclische Germolenliganden sowie erste Komplexe auf ihrer Basis dargestellt. Während die Mehrzahl der freien Liganden keine nennenswerten Wechselwirkungen zwi-

schen den zweiwertigen Ge-Atomen zeigen, ist in der ortho-Lutidin-verbrückten Spezies (31) der Ge-Ge-Abstand mit 3,041 Å relativ kurz.⁴⁵⁾

Niedervalente anionische Reagenzien ermöglichen die Übertragung von Si-P- und Si-Si-Doppelbindungen auf unterschiedlichste Substrate. So lässt sich durch Umsetzung eines Disilenids mit Adamanton unter Ausnutzung einer Sila-Peterson-Reaktion das Silylanion-substituierte Silen (32) darstellen, dessen doppelte Funktionalität eine reiche Folgechemie erwarten lässt ($R = \text{SiMe}_2\text{Bu}$).⁴⁶⁾ Ähnliches gilt für die Ethinylsilyllithium-Derivate $R^1\text{C}\equiv\text{CSiR}^2\text{R}^3\text{Li}$, die im Festkörper und in schwachkoordinierenden Lösemitteln wie Toluol als Dimere vorliegen. Die Struktur des Dimers (33) ($R^1, R^2 = \text{SiMe}_2\text{tBu}$, $R^3 = \text{SiMe}_3$) zeigt die Koordination eines Li-Kations durch zwei C-C-Dreifachbindungen.⁴⁷⁾

Cyclische Silene wie (34) mit einer Si-C-Doppelbindung mit stark pyramidalisiertem Si-Atom bilden sich aus Disileniden mit Carbonsäurechloriden ($R = \text{Tip} = 2,4,6\text{-iPr}_3\text{C}_6\text{H}_2$, $\text{Ad} = 1\text{-Adamantyl}$).⁴⁸⁾ Die Reaktion eines P-Zincphosphasilens mit einem Aminoplumbylen führt unter Eliminierung von Zinkamid zu (35), das eine P-Si-Doppelbindung und ein zweiwertiges Bleiatom im selben Molekül vereint.⁴⁹⁾

Durch Umsetzung des erwähnten Disilenids $\text{Tip}_2\text{Si}=\text{Si}(\text{Tip})\text{Li}$ ($\text{Tip} = 2,4,6\text{-iPr}_3\text{C}_6\text{H}_2$) mit para-Diodobenzol entsteht zudem mit dem tiefroten Tetrasiladien (36) erstmalig eine Verbindung mit zwei phenylenverbrückten Si-Si-Doppelbindungen, deren langwelligste UV-Vis-Absorption bei 508 nm gegenüber der des entsprechenden Disilens deutlich rotverschoben ist. Das weist auf eine signifikante Konjugation hin – trotz der starken *trans*-Abwinkelung beider Si=Si-Einheiten.^{50a)} Die Verwendung eines sterisch stark diskriminierenden indacenylbasierten Liganden erzwingt in (37) eine coplanare Anordnung der beiden Si=Si-Bindungen und der Phenylenbrücke und induziert eine orangefarbene Fluoreszenz mit zehn Prozent Quantenausbeute.^{50b)}



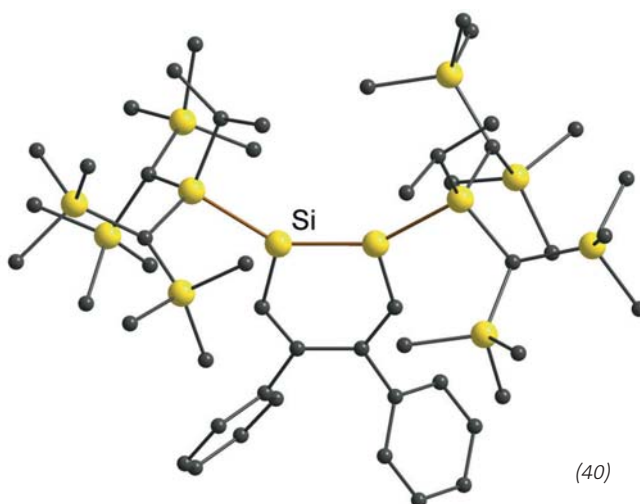
Durch Analyse von rastertunnelmikroskopischen Aufnahmen von an die Si(001)-Fläche chemisorbierten Acetonmolekülen wurde mit quantenchemischen Rechnungen die α -H-Eliminierung zu (38) als begünstigter Mechanismus identifiziert.⁵¹⁾ Erneut zeigt sich die Eignung ungesättigter Siliciumverbindungen als Modellsysteme für diese Oberfläche, die mit den buckled dimers polarisierte Si-Si-Doppelbindungen aufweist: Ein analoger α -H-Eliminierungsmechanismus erscheint für die Reaktion eines molekularen Trisilaallens mit Aceton zu (39) plausibel.⁵²⁾

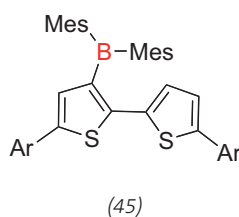
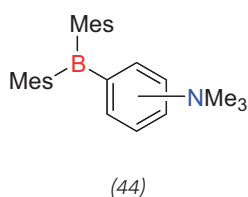
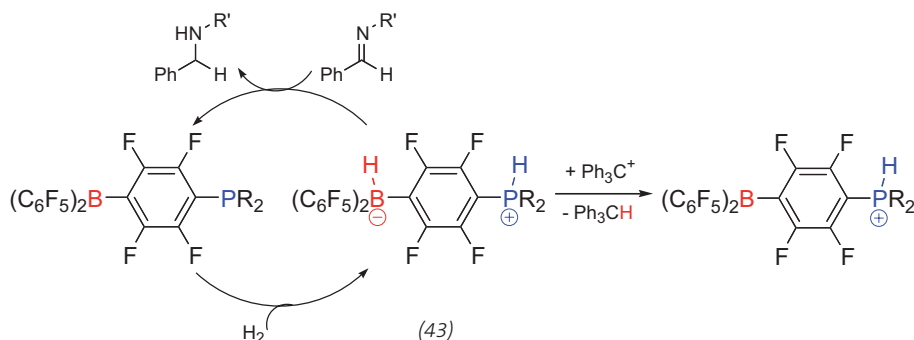
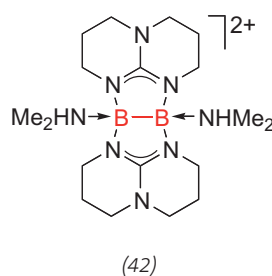
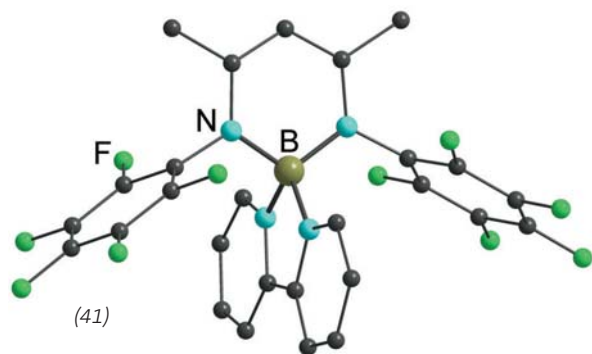
Die Si-Si-Dreifachbindung zeigt eine vielseitige Reaktivität gegenüber Alkenen und Alkinen. Das stabile Disilin $\text{Dsi}_2(\text{iPr})\text{SiSi}(\text{iPr})\text{Dsi}_2$ ($\text{Dsi} = \text{CH}(\text{SiMe}_3)_2$) reagiert mit *cis*- oder *trans*-2-Buten unter stereospezifischer [2+2]-Cycloaddition; mit Phenylacetylen entsteht das planare (40) – das erste stabile Derivat eines 1,2-Disilabenzols. Sämtliche endocyclischen Bindungsabstände von (40) liegen zwischen denen von Einfach- und Doppelbindungen (mit einem Si-Si-Abstand von 2,2018 Å).^{53a)} Während Reduktion

mit Kalium-Graphit die Isolierung des stabilen Radikalanions des Disilins ermöglicht, fungiert *t*Butyllithium als Quelle für Lithiumhydrid, das sich an die Si-Si-Dreifachbindung addiert und ein H-substituiertes Disilenid bildet.^{53b)}

Frustrierte und ausgeglichene Lewis-Säuren und -Basen

◆ Wegen seiner potenziell hohen Speicherkapazität für elementaren Wasserstoff erfuhr das Ammoniak-Boran-Addukt $\text{H}_3\text{N} \cdot \text{BH}_3$ im vergangenen Jahr besondere Beachtung, wie zwei perspektivische Übersichtsartikel⁵⁴⁾ sowie eine Datenbanksuche nach „ammonia borane“ zeigen: Obwohl bereits in den 1950er Jahren erstmalig verwendet, sind 28 Prozent der 235 gefundenen Artikel im Jahr 2007 erschienen.⁵⁵⁾

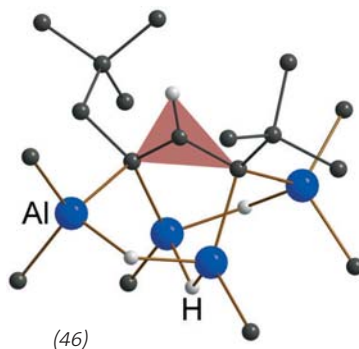




Eine unkomplizierte Synthese von $\text{H}_3\text{N} \cdot \text{BH}_3$ im 100-Gramm-Maßstab aus NaBH_4 und Ammoniumformiat NH_4HCO_2 in hohen Ausbeuten und Reinheiten ist geeignet, diesem Trend weitere Impulse zu verleihen.⁵⁶⁾ Mit einem in situ aus $\text{Ni}(\text{cyclooctadien})_2$ und zwei Äquivalenten eines N-heterocyclischen Carbens hergestellten Katalysator gelingt die fast vollständige katalytische Dehydrierung von $\text{H}_3\text{N} \cdot \text{BH}_3$ zu löslichen quervernetzten BN-Einheiten erstmals mit einem leichten Übergangsmetall.⁵⁷⁾ Auch in nicht wässriger Lösung katalysieren Lewis- oder Brønsted-Säuren die Freisetzung von bis zu 1,2 Äquivalenten H_2 effizient, wobei sich intermediär ein Boreniumkation bildet, das ^{11}B -NMR-spektroskopisch nachgewiesen wurde.⁵⁸⁾

Während die Koordination des bidentaten 2,2'-Bipyridins die Isolierung einer dikationischen Borver-

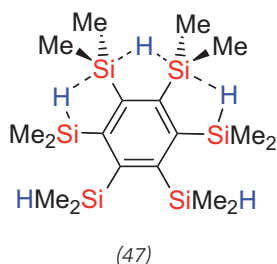
bindung (41) erlaubt,^{59a)} deren ^{11}B -NMR-Verschiebung aufgrund der tetraedrischen Koordinationssphäre des Boratoms denjenigen der lange bekannten Boronium-Monokationen ähnelt, bedarf es im Fall der entsprechenden Aluminiumverbindung des tridentaten Tris(2-aminoethyl)amins um beide Triflat-Gegenionen aus der Koordinationssphäre des Dikations zu verdrängen.^{59b)} Umsetzung von $\text{Me}_2\text{N}(\text{Cl})\text{BB}(\text{Cl})\text{NMe}_2$ mit zwei Äquivalenten eines biden-



taten Guanidinderivats führt zum dikationischen Diboran (42) mit einem für eine Einfachbindung typischen B-B-Abstand von 1,746 Å.⁶⁰⁾

1-Borata-4-phosphoniobenzole (43) sind nicht nur in der Lage, reversibel Wasserstoff abzuspalten ($\text{R} = \text{Mes}, t\text{Bu}$; $\text{Mes} = 2,4,6\text{-Me}_3\text{C}_6\text{H}_2$), sondern katalysieren darüber hinaus als erste übergangsmetallfreie Spezies die Hydrierung mit H_2 -Gas. Dies gelingt bei Substraten mit C-N-Mehrfachbindungen wie Imininen, Nitrilen und Aziridinen unter relativ milden Bedingungen bei 80 bis 140 °C und 1 bis 5 bar H_2 -Druck, nicht aber mit Aldehyden, die irreversibel an den Katalysator binden.^{61a)} Weiterhin lassen sich Verbindungen des Typs (43) mit dem Tritylborat $\text{Ph}_3\text{C}^+\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_4^-$ in kationische Derivate mit trikoordiniertem Boratom überführen, deren relativ hohe Lewis-Acidität durch die Substituenten am Phosphor eingestellt werden kann.^{61b)} Darüber hinaus bleiben auch ohne Verknüpfung der Lewis-Säure und -Base über Tetrafluorphenylen-Brücken wesentliche Bestandteile der Reaktivität der frustrierten Lewis-Paare erhalten. So addieren $\text{PR}_3/\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_3$ -Paare elementares H_2 zu den salzartigen Phosphoniumboraten $\text{PHR}_3^+\text{BH}(\text{C}_6\text{F}_5)_3^-$. Allerdings ist die Reaktion im Gegensatz zu der von (43) irreversibel.^{62a)} Darüber hinaus reagiert $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_3$ in einer Drei-Komponenten-Reaktion mit PtBu_3 und Alkenen zu zwitterionischen alkan-diyilverknüpften Phosphoniumboraten – mit Ethen etwa zu $(\text{C}_6\text{F}_5)_3\text{B}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{PtBu}_3$.^{62b)}

Neben der hohen Lewis-Acidität bedingt die Quaternisierung des Phosphor- bzw. Stickstoffatoms von Phosphino- oder Aminoboranen eine relativ hohe Löslichkeit in Wasser. Dieser Umstand lässt sich ausnutzen zur Detektion von Fluorid in wässriger Lösung durch kationisches Phosphonioborane mit fluorfreier Phenylbrücke.⁶³⁾ Die Stellung der Ammoniumgruppe in (44) zum Borylrest ($\text{Mes} = 2,4,6\text{-Me}_3\text{C}_6\text{H}_2$) ermöglicht wiederum die selektive Komplexbildung von Fluorid (ortho-Derivat) oder Cyanid (para-Derivat)



in wässriger Lösung unter Ausnutzung der unterschiedlichen Größen, Basizitäten und Hydratationsenthalpien der Anionen.⁶⁴⁾ Die von Boranen schon länger bekannte Fluoreszenzlöschung durch Anionen eignet sich zur Detektion.

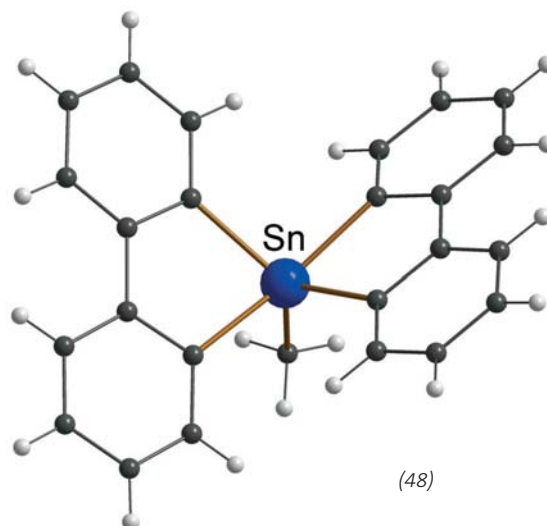
Den ersten Berichten über fluoreszente Verbindungen mit B=N-Bindungen zufolge binden diese überraschenderweise – ebenfalls unter Fluoreszenzlöschung – Fluorid.⁶⁵⁾ Sterisch anspruchsvolle Borylreste sind zudem für die Erzeugung hoher Quantenausbeuten im festen Aggregatzustand gut geeignet, wie die Verwendung von Borylbithiophenen (45) als Grundkörper für fluoreszierende Feststoffe, die das ganze sichtbare Spektrum abdecken, eindrucksvoll zeigt (Mes = 2,4,6-Me₃C₆H₂, Ar = Mes, Ph, *p*-Ph₂NC₆H₄, usw.).⁶⁶⁾

Das Konzept der C-H-Aktivierung durch intramolekulare chelatisierende Koordination von Hydridionen wurde auf ein breiteres Fundament gestellt. Der stabilisierende Effekt der durch Hydroaluminierung eingeführten AlR₂-Gruppen ist so

groß, dass auch zwitterionische Systeme mit vinylischen und aliphatischen Kationen zugänglich sind. Die ¹³C-NMR-Verschiebung des Kohlenstoffatoms mit positiver Formalladung (rot unterlegt) im gesättigten (46) wird bei $\delta = 217,5$ ppm beobachtet, die signifikante Abschirmung gegenüber den Signalen freier Carbeniumionen bei etwa 300 ppm auf Al-C-Hyperkonjugation zurückgeführt.⁶⁷⁾

Agostische Wechselwirkungen stabilisieren auch das persistente Silylium-Ion (47), dessen NMR-Spektren bei 25°C D_{6h}-Symmetrie vor-tauschen, bei –80°C jedoch mit der gezeigten Struktur in Einklang stehen.⁶⁸⁾ Der zugrundeliegende, auf der NMR-Zeitskala schnelle Austausch der hydridischen Wasserstoffe über den gesamten Ring lässt sich durch Ersatz einer Silyl- durch eine Methylgruppe unterbrechen, wodurch nur noch statische agostische Wechselwirkungen zur Stabilität beitragen.

Das Tetranitrat Si(CH₂ONO₂)₄ zeigt eine im Vergleich zum entsprechenden Kohlenstoffderivat unerwartet hohe Kontaktexplosivität. Zurückzuführen ist dies auf die relativ leichte Zugänglichkeit der antibindenden σ^* -Orbitale des Siliciumatoms (und damit dessen Lewis-Acidität), die eine Erweiterung der Koordinationssphäre im Festkörper durch Si...ONO₂-Kontakte ermöglichen.⁶⁹⁾ Auf dem gleichen Prinzip beruht die Synthese des ersten pentakoordinier-



ten Stannatanions mit fünf kohlenstoffbasierten Substituenten (48) durch Reaktion von spiro-Bistannafluoren mit Methyllithium.⁷⁰⁾

Carsten von Hänisch

Forschungszentrum Karlsruhe
carsten.vonhaenisch@int.fzk.de

David Scheschkewitz

Universität Würzburg
scheschkewitz@mail.uni-wuerzburg.de



Carsten von Hänisch,

Jahrgang 1968, studierte Chemie in Karlsruhe und in Manchester/UK. 1996 promovierte er bei Dieter Fenske in Karlsruhe. Es folgte ein Postdoc-Aufenthalt bei Matthias Driess in Bochum. Seit 1998 ist er Nachwuchswissenschaftler am Institut für Nanotechnologie des Forschungszentrums Karlsruhe. 2004 erfolgte die Habilitation an der Universität Karlsruhe. Seine Forschungsinteressen umfassen die Chemie der schwereren Hauptgruppenelemente, insbesondere Ring- und Käfigverbindungen der Elemente der 13., 14. und 15. Gruppe.



David Scheschkewitz,

Jahrgang 1971, studierte Chemie in Oldenburg und promovierte 1999 bei Armin Berndt in Marburg. Es folgten Postdoktorate bei Guy Bertrand in Toulouse und Riverside/USA sowie bei Hansjörg Grützmacher an der ETH Zürich. Seit Anfang 2004 ist er als Nachwuchsgruppenleiter an der Univ. Würzburg bei Holger Braunschweig tätig. Im Mai wechselt er als Senior Lecturer an das Imperial College, London. Sein Hauptinteresse gilt anionischen, niedervalenten Verbindungen des Siliciums sowie deren Einsatz in der organischen und anorganischen Synthese.

- 1) X. Wang, L. Andrews, *Angew. Chem.* 2007, 119, 2656.
- 2) M. Wiecko, P. W. Roesky, P. Nava, R. Ahlrichs, S. N. Knocheno, *Chem. Commun.* 2007, 927.
- 3) S. P. Green, C. Jones, A. Stasch, *Angew. Chem.* 2007, 119, 8772.
- 4) A. Seifert, G. Linti, *Eur. J. Inorg. Chem.* 2007, 5080.
- 5) C. Krempner, R. Ludwig, A. Flemming, R. Miethchen, M. Köckerling, *Chem. Commun.* 2007, 1810.
- 6) Z. Li, K. Iida, Y. Tomisaka, A. Yoshimura, T. Hirao, A. Nomato, A. Ogawa, *Organometallics* 2007, 26, 1212.
- 7) C. Lehnert, J. Wagler, E. Kroke, G. Roewer, *Eur. J. Inorg. Chem.* 2007, 1086.
- 8) J. Beckmann, J. Bolsinger, *Organometallics* 2007, 26, 3601.
- 9) C. Krempner, H. Reinke, K. Weichert, *Organometallics* 2007, 26, 1386.
- 10) R. Ahlrichs, A. Eichhöfer, D. Fenske, K. May, H. Sommer, *Angew. Chem.* 2007, 119, 8402.
- 11) M. Reil, N. Korber, *Z. Anorg. Allg. Chem.* 2007, 633, 1599.
- 12) J. Beckmann, M. Hesse, H. Poleschner, K. Seppelt, *Angew. Chem.* 2007, 119, 8425.
- 13) S. Seidel, K. Seppelt, C. van Wüllen, X. Y. Sun, *Angew. Chem.* 2007, 119, 6838.



- 14) E. Oger, N. R. M. Crawford, R. Kelting, P. Weis, M. M. Kappes, R. Ahlrichs, *Angew. Chem.* 2007, 119, 8656.
- 15) K. Hofmann, M. H. Prosenc, B. R. Albert, *Chem. Commun.* 2007, 3097.
- 16) E. Bernhardt, D. J. Brauer, M. Finze, H. Willner, *Angew. Chem.* 2007, 119, 2985.
- 17) a) X. Li, A. Grubisic, S. T. Stokes, J. Cordes, *et al.*, *Science* 2007, 315, 356;
b) A. Grubisic, X. Li, S. T. Stokes, J. Cordes, *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 5969.
- 18) F.-J. Wu, L. S. Simeral, A. A. Mrse, *et al.*, *Inorg. Chem.* 2007, 46, 44.
- 19) J. Hartig, F. Klöwer, J. Rinck, A.-N. Unterreiner, H. Schnöckel, *Angew. Chem.* 2007, 119, 6669.
- 20) P. Vaquero, R. Romero, *Chem. Commun.* 2007, 3282.
- 21) a) L.-F. Cui, X. Huang, L.-M. Wang, J. Li, L.-S. Wang, *Angew. Chem.* 2007, 119, 756;
b) J.-P. Dognon, C. Clavaguéra, P. Pykkö, *Angew. Chem.* 2007, 119, 1449.
- 22) a) Z.-M. Sun, H. Xiao, J. Li, L.-S. Wang, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 9560;
b) B. Kesanli, J. E. Halsig, P. Zavalij, J. C. Fetting, Y.-F. Lam, B. W. Eichhorn, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 4567.
- 23) C. Schenk, A. Schnepf, *Angew. Chem.* 2007, 119, 5408.
- 24) M. W. Hull, A. Ugrinov, I. Petrov, S. C. Sevov, *Inorg. Chem.* 2007, 46, 2704.
- 25) C. Schenk, A. Schnepf, *Dalton Trans.* 2007, 5400.
- 26) C. T. G. Knight, R. J. Balec, S. D. Kinrade, *Angew. Chem.* 2007, 119, 8296.
- 27) C. von Hänisch, O. Hampe, F. Weigend, S. Stahl, *Angew. Chem.* 2007, 119, 4859.
- 28) M. Scheer, A. Schindler, R. Merkle, *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 13386.
- 29) J. M. Goicoechea, M. W. Hull, S. C. Sevov, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 7885.
- 30) J. Beckmann, T. Heek, M. Takahashi, *Organometallics* 2007, 26, 3633.
- 31) J. D. Masuda, W. W. Schoeller, B. Donnadieu, G. Bertrand, *Angew. Chem.* 2007, 119, 7182.
- 32) J. D. Masuda, W. W. Schoeller, B. Donnadieu, G. Bertrand, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 14180.
- 33) Y. Xiong, S. Yao, M. Brym, M. Driess, *Angew. Chem.* 2007, 119, 4595.
- 34) W. Ting, K. Chan, F. Garcia, *et al.*, *Angew. Chem.* 2007, 119, 3144.
- 35) P. Barbaro, M. Di Vaira, M. Peruzzini, S. S. Costantini, P. Stoppini, *Chem. Eur. J.* 2007, 13, 6682.
- 36) G. A. Pierce, S. Aldridge, C. Jones, *et al.*, *Angew. Chem.* 2007, 119, 2089.
- 37) a) H. Braunschweig, M. Burzler, T. Kupfer, K. Radacki, F. Seeler, *Angew. Chem.* 2007, 119, 7932;
b) H. Braunschweig, M. Burzler, K. Radacki, F. Seeler, *Angew. Chem.* 2007, 119, 8217.
- 38) S. P. Green, C. Jones, A. Stasch, *Science* 2007, 318, 1754.
- 39) a) M. Yamashita, Y. Suzuki, Y. Segawa, K. Nozaki, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 9570;
b) Y. Segawa, M. Yamashita, K. Nozaki, *Angew. Chem.* 2007, 119, 6830.
- 40) Y. Wang, B. Quillian, P. Wei, C. S. Wannere, Y. Xie, R. B. King, H. F. Schaefer, III, P. v. R. Schleyer, G. H. Robinson, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 12412.
- 41) P. A. Ruper, V. N. Staroverov, P. J. Ragogna, K. M. Baines, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 15138.
- 42) S. P. Green, C. Jones, G. Jin, A. Stasch, *Inorg. Chem.* 2007, 46, 8.
- 43) a) S. Yao, M. Brym, C. van Wüllen, M. Driess, *Angew. Chem.* 2007, 119, 4237;
b) S. Yao, Y. Xiong, M. Brym, M. Driess, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 7268.
- 44) S. Inoue, M. Ichinohe, A. Sekiguchi, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 6096.
- 45) a) A. V. Zabula, F. E. Hahn, T. Pape, A. Hepp, *Organometallics* 2007, 26, 1972;
b) F. E. Hahn, A. V. Zabula, T. Pape, A. Hepp, *Eur. J. Inorg. Chem.* 2007, 2405.
- 46) S. Inoue, M. Ichinohe, A. Sekiguchi, *Angew. Chem.* 2007, 119, 3410.
- 47) M. Kira, T. Kadowaki, D. Yin, K. Sakamoto, T. Iwamoto, C. Kabuto, *Organometallics* 2007, 26, 4890.
- 48) I. Bejan, D. Güclü, S. Inoue, *et al.*, *Angew. Chem.* 2007, 119, 3413.
- 49) S. Yao, S. Block, M. Brym, M. Driess, *Chem. Commun.* 2007, 3844.
- 50) a) I. Bejan, D. Scheschkewitz, *Angew. Chem.* 2007, 119, 5885;
b) A. Fukazawa, Y. Li, S. Yamaguchi, H. Tsuji, K. Tamao, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 14164.
- 51) S. R. Schofield, S. A. Sarai, P. V. Smith, M. W. Radny, B. V. King, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 11402.
- 52) T. Iwamoto, T. Abe, S. Ishida, C. Kabuto, M. Kira, *J. Organomet. Chem.* 2007, 692, 263.
- 53) a) R. Kinjo, M. Ichinohe, A. Sekiguchi, *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 7766;
b) R. Kinjo, M. Ichinohe, A. Sekiguchi, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 26.
- 54) a) T. B. Marder, *Angew. Chem.* 2007, 119, 8262;
b) F. H. Stephens, V. Pons, R. T. Baker, *Dalton Trans.* 2007, 2613.
- 55) SciFinder Scholar, Version 2004.2, durchgeführt am 15. 11. 2007
- 56) P. V. Ramachandran, P. D. Gagare, *Inorg. Chem.* 2007, 46, 7810.
- 57) R. J. Keaton, J. M. Blacquiére, R. T. Baker, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 1844.
- 58) F. H. Stephens, R. T. Baker, M. H. Matus, D. J. Grant, D. A. Dixon, *Angew. Chem.* 2007, 119, 760.
- 59) a) D. Vidovic, M. Findlater, A. H. Cowley, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 8436;
b) D. Vidovic, M. Findlater, G. Reeske, A. H. Cowley, *J. Organomet. Chem.* 2007, 692, 5683.
- 60) R. Dinda, O. Ciobanu, H. Wadepohl, *et al.*, *Angew. Chem.* 2007, 119, 9270.
- 61) a) P. A. Chase, G. C. Welch, T. Jurca, D. W. Stephan, *Angew. Chem.* 2007, 119, 8196;
b) G. C. Welch, I. Cabrera, P. A. Chase, *et al.*, *Dalton Trans.* 2007, 3407.
- 62) a) G. C. Welch, D. W. Stephan, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 1880;
b) J. S. J. McCahill, G. C. Welch, D. W. Stephan, *Angew. Chem.* 2007, 119, 5056.
- 63) M. H. Lee, T. Agou, J. Kobayashi, T. Kawashima, F. P. Gabbaï, *Chem. Commun.* 2007, 1133.
- 64) T. W. Hudnall, F. P. Gabbaï, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 11978.
- 65) Y. Cui, F. Li, Z.-H. Lu, S. Wang, *Dalton Trans.* 2007, 2634.
- 66) A. Wakamiya, K. Mori, S. Yamaguchi, *Angew. Chem.* 2007, 119, 4351.
- 67) W. Uhl, A. Vinogradov, S. Grimme, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 11259.
- 68) A. Y. Khalimon, Z. H. Lin, R. Simionescu, S. F. Vyboishchikov, G. I. Nikonov, *Angew. Chem.* 2007, 119, 4614.
- 69) T. M. Klapötke, B. Krumm, R. Ilg, D. Troegel, R. Tacke, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 6908.
- 70) M. Saito, S. Imaizumi, T. Tajima, K. Ishimura, S. Nagase, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 10974.

GDCh-Kurs
 Grundlagen der Anorganischen und
 Allgemeinen Chemie für
 Kaufleute und Ingenieure (985/08)
 22. - 25. April 2008, Bad Dürkheim
 Leitung: Dr. Jürgen Hocker

Highlights:
 Verständnis für chemische Zusammenhänge
 Arbeitssicherheit
 Umweltschutz
 Experimentalveranstaltung
 Chemische Vorkenntnisse nicht notwendig

Anmeldung/Information:
 Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.
 Fortbildung
 Tel.: 069/7917-291, Fax: 069/7917-475
 fb@gdch.de, www.gdch.de/fortbildung