

ve 1992/01

Chemische Fragestellungen:  
Metallatome als Bausteine von Molekülen

Festvortrag  
gehalten am 21. Oktober 1991  
anlässlich der Eröffnung  
des Wintersemesters 1991/92

von  
Professor Dr. rer. nat. Michael Veith  
Anorganische und Allgemeine Chemie  
an der Universität des Saarlandes

Saarbrücker Universitätsreden 33  
Herausgegeben von der Universität des Saarlandes

ve 1992/01

81a10.179 '330x33.

MM 5744



Der folgende Vortrag soll einen Einblick geben in die Denk- und Vorgehensweise der Chemie, wobei wir von allgemeinen Überlegungen ausgehen wollen, um schließlich bei speziellen Fragestellungen zu enden.

Daß die Chemie zu den Naturwissenschaften gehört und im Schnittpunkt verschiedener Wissenschaftsdisziplinen steht, ist allgemein bekannt. In Abbildung 1a ist dieser klassische Zusammenhang graphisch dargestellt: alle aufgezeigten Disziplinen ergänzen sich und viele der heutigen Forschungsaktivitäten laufen auf überlappenden Gebieten ab, sind also nicht einfach einem einzigen Wissenschaftsgebiet zuzuordnen. Bekannt dürfte auch sein, daß — vornehmlich bedingt durch die neuesten technologischen Entwicklungen — enge Beziehungen zwischen der Chemie und ingenieurwissenschaftlichen Fächern bestehen (Abb. 1b). Man denke nur an die Chipherstellung für Computer, die ohne die Chemie gar nicht zu denken ist.

Schließlich sollten wir uns aber auch bewußt machen, daß die Naturwissenschaften und damit selbstverständlich auch die Chemie, sich angesichts ihrer Fortschritte und Möglichkeiten in Zukunft immer häufiger auch mit gesellschafts-, wirtschaftswissenschaftlichen, philosophischen und juristischen Fragestellungen werden auseinandersetzen müssen (Abb. 1c). Um dies näher zu beleuchten, sei ein Beispiel aus dem Bereich der Ethik bzw. Religion angeführt. Es ist inzwischen möglich, mit chemischen und biologischen Methoden Moleküle, die in der belebten Natur (also auch im Menschen) vorkommen, so zu modifizieren, daß neue und andersartige Verbindungen mit veränderten Eigenschaften entstehen. Inwieweit sind solche Eingriffe „erlaubt“ und wo sind die Grenzen einer derartigen Forschung? Es ist klar, daß hier fundamentale ethische und religiöse Fragen berührt werden und einer Lösung bedürfen.

Herausgeber: Universität des Saarlandes  
Redaktion: Pressestelle  
Satz: Fotosatzstelle der Universität  
Druck: Universitätsdruckerei  
Saarbrücken 1992

ISSN 0486-7734

Alle Rechte vorbehalten

In das Zentrum meiner Ausführungen habe ich die Metalle gestellt. Metalle sind seit alters her dem Menschen als wichtige Werkstoffe vertraut, so daß ganze Menschheits-epochen nach ihnen benannt werden (z.B. Eisenzeit). Im allgemeinen kommen Metalle jedoch nicht gediegen, d.h. in „reiner“ Form in der Natur vor, weshalb man chemische Verfahren benötigt, um sie aus den Gesteinen zu gewinnen. In Abbildung 2 ist ein primitiver Hochofen aus dem alten China dargestellt. Bereits hier wird deutlich, daß die Metall-Atome außer mit ihresgleichen auch mit anderen Elementen verbunden sein können. Die Art und Weise wie die metallischen Elemente an andere Elemente gebunden sind, spiegelt sich in unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften der Verbindungen wider. Man unterscheidet ganz grob drei Bindungstypen: 1. überwiegend metallische Bindung, 2. überwiegend ionische Bindung (das Metallatom ist hier positiv geladen) und 3. überwiegend kovalente Bindung (zwischen dem Metallatom und dem Nichtmetallatom existiert eine gerichtete Elektronenpaar-Bindung).

Abbildung 3 vereinigt eine Auflistung von Verbindungen, die Metallatome in unterschiedlicher Bindungsart bzw. Metall-Umgebung besitzen. Die unter 1) - 9) aufgeführten Verbindungen sind als klassisch einzustufen, da sie schon lange bekannt und teilweise auch gut untersucht sind. Die unter der Nummerierung 10) - 12) angegebenen Substanzen (Supraleiter, Cluster und kleine Moleküle mit Metall-Atomen) sind in neuerer Zeit in das Zentrum des wissenschaftlichen Interesses gerückt; das mit 13) nummerierte Material (Metallanhäufungen in Molekülen) ist erst in jüngster Zeit eingehender charakterisiert worden, wobei eine abschließende Bewertung und Einordnung jedoch noch aussteht.

Lassen Sie uns einen Gang durch die verschiedenen Erscheinungsformen der gebundenen Metall-Atome antre-

ten, um dadurch auch ganz allgemein etwas über die Chemie sowie ihre spezifische Darstellungs- und Vorstellungs-Weise zu erfahren. Wie bereits erwähnt, sind die Metalle als Werkstoffe aufgrund ihrer plastischen Verformbarkeit, ihrer Härte, ihrer mechanischen Festigkeit usw. äußerst begehrt. Entgegen der allgemeinen Vorstellung sei jedoch darauf hingewiesen, daß sie in reiner Form nur selten verwendet werden (Ausnahmen: z.B. als Zahlungsmittel (Gold) oder als Thermometer-Flüssigkeit (Quecksilber)). Viel häufiger trifft man die Metalle in Form von Legierungen an, d.h. als feste oder flüssige Lösungen von unterschiedlichen Metallen. Abbildung 4 zeigt eine kleine Auswahl von Beispielen. Charakteristisch für die Metalle und ihre Legierungen ist der meist einfache Aufbau im kristallinen Zustand (dichteste Kugelpackungen von Atomen) sowie die hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit. Die letztgenannten Eigenschaften lassen sich auf der Grundlage von einfachen theoretischen Modellen (Fermi-Modell) verstehen.

Die Ausgangsstoffe zur Darstellung von Metallen sind oxidische oder sulfidische Gesteine, wie sie zur Illustration in Abbildung 5 aufgeführt sind. Zur Gewinnung der Metalle müssen die Gesteine chemisch behandelt werden (der Chemiker spricht von einer Reduktion des Metallkations), wobei mehrere Verfahren angewendet werden. Im Prinzip kommt es bei diesen Verfahren darauf an, den Metall-Atomen, die in den Gesteinen als Metall-Kationen vorliegen, die fehlenden Elektronen zur Verfügung zu stellen und gleichzeitig dafür zu sorgen, daß (wie im Fall der Oxide) das Sauerstoff-Anion mit einem anderen Element eine Bindung eingeht. Die Bindungsverhältnisse in diesen „Naturprodukten“ sind relativ einfach zu beschreiben und sollen im Falle des Kochsalzes (NaCl) erläutert werden (Abb. 6). Die Verbindung NaCl besteht aus großen Chlorid-Anionen (einfach negativ geladen) und kleinen Natrium-Kationen (einfach positiv geladen), die so zueinander

angeordnet sind, daß ein positiver immer von sechs negativen Ladungsträgern und umgekehrt ein negativer von sechs positiven Ladungsträgern umgeben ist. Man kann die Kristallstruktur auch so beschreiben, daß man eine dichteste Packung der größeren Anionen vorliegen hat, in deren Oktaeder-Lücken (siehe Abb. 6) die Natrium-Kationen eingebettet sind (die ebenfalls vorhandenen Tetraeder-Lücken sind für die Natrium-Kationen zu klein). Außer zur Metallgewinnung finden die Erze vielfältige Verwendung: als Komponenten von Keramiken, von Baustoffen, als Fließmittel usw. Besonders sei auch die Verwendung dieser Stoffe als mineralische Farben erwähnt [schon 2000 v. Chr. verwendeten die Griechen Mangan-Eisenoxidhaltige Erden (Hämatite) zur Einfärbung ihrer Vasen]. Unter besonders günstigen Verhältnissen können sie auch in Form von außergewöhnlich prächtigen Edelsteinen kristallisieren, die in allen möglichen Farben funkeln können, vom tiefroten Zinnober bis zum tiefblauen Azurit.

Wesentlich jüngeren Datums ist die Verwendung von Metallen in Katalysatoren. Unter einem Katalysator versteht der Chemiker eine Verbindung oder ein Element, die bzw. das eine chemische Reaktion entweder beschleunigt oder überhaupt erst ermöglicht und nach der Reaktion wieder im ursprünglichen Zustand vorliegt. In Abbildung 7 ist eine derartige katalytische Reaktion schematisch dargestellt, wobei die beiden Moleküle  $H_2$  und  $D_2$  an einer Metalloberfläche zu HD reagieren. Würde man die Metalloberfläche aus der Reaktion entfernen, so lägen die beiden Komponenten über lange Zeit unverändert nebeneinander vor. Erst die Anwesenheit des Katalysators ermöglicht also die Reaktion.

Bisher waren wir von dem zentralen Gesichtspunkt des Vortrages, dem „Metallatom als Baustein eines Moleküls“, relativ weit entfernt, da die behandelten Verbindungen immer nur als große Ensembles von tausenden von Atomen

men vorlagen. Schneidet man aus dem riesigen Salzkrystalld jedoch eine Untereinheit heraus, so gelangt man fortmal zu Metallkomplexen, die zwar immer noch geladen vorkommen können, aber schon wesentlich geringere Ausmaße einnehmen. In Abbildung 8 sind zwei Beispiele von typischen Metallkomplexen angegeben: der negativ geladene Komplex  $CoCl_6^{3-}$  und der positiv geladene Komplex  $Pt(en)_3^{4+}$  (en = Ethylendiamin). Im ersten Fall ist das dreiwertige Kobalt-Kation von sechs negativen Chlorid-Anionen umgeben, und zwar in exakt der gleichen Weise, wie das Natrium-Kation im Kochsalz von den Anionen koordiniert wird. Im Unterschied zum Kochsalz liegt der metallzentrierte Chlorid-Oktaeder hier isoliert vor; außerdem ist das Metall-Atom dreifach positiv geladen. Hieraus ergibt sich auch die Gesamtladung des Komplexes zu -3. Das zweite Beispiel der Abbildung 8 besitzt ein vierfach positiv geladenes zentrales Platinatom, das von drei ungeladenen Ethylendiamin-Liganden koordiniert wird, wodurch sich eine Gesamtladung von +4 in dieser Verbindung ergibt. Die genaue Analyse zeigt, daß das Zentralatom, wie in dem Beispiel zuvor, auch hier wieder von sechs Nichtmetall-Atomen oktaedrisch umgeben ist. Jeweils zwei dieser Nichtmetall-Atome gehören zu einem Liganden-Molekül, so daß drei „Schleifen“ entstehen. Der Chemiker hat für diese besondere Art von Komplexen den Ausdruck „Chelat-Komplexe“ (Chelat-Ligand = Zangen-Ligand). Im übrigen existiert der hier vorgestellte Platin-Komplex in zwei unterschiedlichen Strukturen, die zwar völlig gleiche Bindungen besitzen, sich zueinander aber wie Bild und Spiegelbild verhalten. Man spricht in diesem Fall gerne von „optischen Isomeren“. Nur ein kurzer Schritt ist es von diesen rein anorganischen Metallkomplexen zu den biologisch wirksamen Blut- und Blatt-Farbstoffen, wie dem Chlorophyll b oder dem Hämoglobin (Abb. 9). Beide Moleküle besitzen in ihrer Mitte ein Metall-Atom, das wegen der starren Konformation des Liganden quadratisch planar von Stickstoff-Atomen koordiniert wird. In beiden

Fällen ist das Metall-Atom formal zweifach positiv geladen, während der Ligand zwei negative Ladungen besitzt, so daß der Komplex nach außen hin neutral ist. Wie im unteren Teil der Abbildung 9 angedeutet, spannt sich im Hämoglobin ein dreidimensionales Gerüst eines Proteins um die Häm-Gruppe, so daß die Häm-Gruppen in sogenannten „Taschen“ des Makromoleküls zu liegen kommen. Man hat nachgewiesen, daß die eigentlich aktiven Zentren in beiden Molekülen die Metallatome sind, die zusammen mit der Umgebung die „von der Natur gewünschte“ Reaktion auslösen. Man versucht heute viele solcher katalytischen Systeme mit einfachen Modellsubstanzen nachzuahmen, um die Wirkungsweise derartiger biologisch wirksamer Makromoleküle verstehen zu lernen (Bioanorganische Chemie).

Abgesehen von wenigen Ausnahmen lassen sich im Gegensatz zu allen bisher behandelten Verbindungen die metallorganischen Verbindungen nur unter Ausschluß von Luft und Feuchtigkeit darstellen und halten (Schutzgas-technik). Wie der Name andeutet, besteht in diesen Verbindungen eine direkte Metall-Kohlenstoff-Bindung. Aufgrund der besonderen Bindungssituation am Kohlenstoff zählt man diese Substanzen zu den wenigen, bekannten kovalenten Verbindungen der metallischen Elemente. Vielfältige Anwendung in der präparativen Chemie finden insbesondere die Grignard-Verbindungen (Organyl-Magnesium-Halogenide, die zu Beginn unseres Jahrhunderts erstmals beschrieben wurden), Aluminium-Organyle oder die seit etwa dreißig Jahren bekannten Aromaten-Komplexe von Übergangsmetallen (z.B. Dibenzolchrom). In all diesen kleinen Molekülen liegen die Metallatome kovalent gebunden vor und sind meist äußerst reaktiv, was einen vielfältigen Einsatz der Verbindungen zuläßt.

Als Beispiele für ganz aktuelle Metallverbindungen sind Hochtemperatur-Supraleiter und die Metall-Cluster in Ab-

bildung 10 aufgenommen. Bei der ersten Substanzklasse handelt es sich um gemischte Metalloxide, die bei relativ hohen Temperaturen den Strom widerstandsfrei leiten, bei letzterer um „kleinste zerschnittene Metallbrocken definierter Größe“, die z.B. dadurch entstanden sind, daß ein Metall in einem koordinierenden Lösungsmittel in Einzelteile zerlegt wurde (der Ausdruck „Cluster“ kommt aus dem Englischen und bedeutet „Haufen“). In Abbildung 10 ist eine hochaufgelöste transmissionselektronen-mikroskopische Aufnahme eines vierschalenigen Metall-Clusters enthalten (oben, darunter ein computersimuliertes Bild), der aus einem zentralen Metallatom besteht, um das vier Schichten von Metallatomen gepackt sind. Der exakte Mechanismus der Hochtemperatur-Supraleitung ist übrigens bis heute noch nicht eindeutig geklärt.

Wir haben uns vor einiger Zeit die Aufgabe gestellt, kleine Moleküle darzustellen, die Metallatome mit möglichst niedriger Koordinationszahl enthalten. Es ist uns dabei gelungen unter Ausnützung des Chelateffektes und besonders günstiger Oxidationsstufen am Metall, cyclische Verbindungen zu synthetisieren, die in der Tat nur zweifach koordinierte Metallatome enthalten. Diese Metallacyklen sind wegen der fast „nackten“ Metallatome äußerst reaktiv und können nur unter Schutzgasbedingungen (ähnlich wie die metallorganischen Verbindungen) gehandhabt werden. Eine derartige Verbindung stellt z.B. das 1,3-Di-tert-butyl-2,2-dimethyl-1,3,2,4λ<sup>2</sup>-diazasilastannetidin (im folgenden kurz als cyclisches Bis(amino)stannylene bezeichnet) dar, das im Zentrum aus einem Vierling, aufgebaut aus einem Silicium-, zwei Stickstoff- sowie einem zweibindigen Zinn-Atom, besteht. Bei Raumtemperatur ist diese Verbindung eine rote Flüssigkeit, die bei 5° C jedoch in einen gelben Feststoff übergeht. Der Farbwechsel geht übrigens auf eine chemische Reaktion zurück: zwei Moleküle treten dabei zu einem neuen Molekül zusammen (chemisch: ein Dimeres), das nun drei annelierte



Vierlinge enthält [siehe Abb. 11; die beiden größeren Kugeln symbolisieren das Silicium- bzw. Zinn-Atom, die beiden kleineren Kugeln im Vierring verdeutlichen die Lagen der Stickstoffatome; die äußeren kleinen Kugeln geben die Lagen der organischen Substituenten (Methyl bzw. tert-Butyl, nicht ausgezeichnet) wieder]. Informationen über die Strukturen beziehen wir im übrigen aus Röntgenstrukturanalysen an Einkristallen.

Um neue Synthesen und Anwendungen planen zu können, ist es für den Chemiker besonders wichtig, nicht nur die Struktur einer Verbindung zu kennen, sondern auch ihre Reaktionsweise zu verstehen. Die Umsetzung des cyclischen Bis(amino)stannylens mit tert-Butylamin, ein in- struktives Beispiel aus der Chemie der oben vorgestellten Metallacyklen, sei nachfolgend beschrieben. Die Reaktion verläuft über mehrere Zwischenstufen zu einem hochsymmetrischen metallreichen Molekül, einem „Iminostannyl“, das aus einem Kubus besteht, dessen Ecken alternierend von Zinn- und Stickstoff-Atomen besetzt sind (Abb. 12 stellt eine vereinfachte Wiedergabe des Moleküls dar). Es stellt sich nun die Frage, auf welche Weise sich dieses Molekül bildet und welches die Zwischenstufen der Reaktion sind?

Abbildung 13 faßt schematisch diejenigen Schritte zusammen, die notwendigerweise durchgeführt werden müssen, um eine derartige Reaktion aufzuklären. Die vermutete Zwischenstufe kann zunächst einmal mit spektroskopischen Methoden plausibel gemacht werden. Ist sie derart charakterisiert, kann man prüfen, unter welchen Bedingungen diese Zwischenstufe besonders stabilisiert wird. Bei der tieferen Temperatur  $T_1$ , die deutlich unterhalb der Raumtemperatur  $T_{\text{Raum}}$  liegen sollte (etwa  $100^\circ$  Differenz hat sich als günstig erwiesen), kann man nun versuchen, die Zwischenstufe auszukristallisieren — eine Prozedur, die erhebliche Geduld erfordert. Gelingt es schließ-

lich, Kristalle zu züchten, so muß man nun einen der Kristalle aussuchen, ihn auf ein Diffraktometer montieren und in einen Röntgenstrahl bringen, wobei alle Manipulationen bei tieferen Temperaturen durchzuführen sind bzw. dafür gesorgt werden muß, daß der Kristall andauernd gekühlt wird. Dies kann man z.B. mit einem kalten Stickstoff-Strom erreichen. Durch die Wechselwirkung des Röntgenlichtes mit dem Kristall entstehen Beugungsbilder, die man rechnerisch, d.h. mit dem Computer auswerten kann und dadurch ein atomares Molekülmodell erhält. Weitere Zwischenprodukte sowie das Endprodukt der Reaktion werden in ähnlicher Weise charakterisiert. Man erhält eine Folge von „Momentaufnahmen einer chemischen Reaktion“, die aneinandergereiht die atomaren Prozesse einer Reaktion beschreiben. In Abbildung 14 ist ein solcher Reaktionsverlauf dargestellt (Reaktion des Bis(amino)stannylens mit tert-Butylamin), wobei nur die letzte Stufe der Reaktion mehr oder minder erraten ist, also nicht auf eine Röntgenstrukturanalyse zurückgeht. Das Produkt der Reaktion, das Iminostannylen von Abbildung 12, wird dadurch als das Tetramer eines instabilen Zwischenproduktes beschreibbar, das aus dem Zinnatom des Ausgangs-Metallacyclus und dem tert-Butylimino-Rest des tert-Butylamins zusammengesetzt ist. Die Wasserstoffatome des tert-Butylamins wandern bei dieser Reaktion zu den Stickstoff-Atomen des Metallacyclus. Das Zinn-Atom des Metallacyclus reagiert dabei wie erwartet „als Zielscheibe“ für das elektronenreiche Stickstoff-Atom des tert-Butylamins.

Man kann aus derartigen Untersuchungen, wie gesehen, wertvolle Informationen über die Reaktivität von Verbindungen bekommen. Daß der dabei zu betreibende Aufwand relativ groß ist, liegt natürlich auf der Hand. Auf der anderen Seite haben wir aber beispielhaft gesehen, bis zu welchem Informationsstand man in der Chemie vordringen kann, schöpft man die heutzutage zur Verfügung stehenden experimentellen Möglichkeiten aus.

Am Beispiel der Chemie der Metalle habe ich versucht zu zeigen, wie sich neue Interessengebiete entwickeln können und welchen Fragestellungen der Chemiker hierbei nachgeht. Gleichzeitig hoffe ich, einen kleinen Einblick in die aktuelle Arbeit im Labor gegeben zu haben.

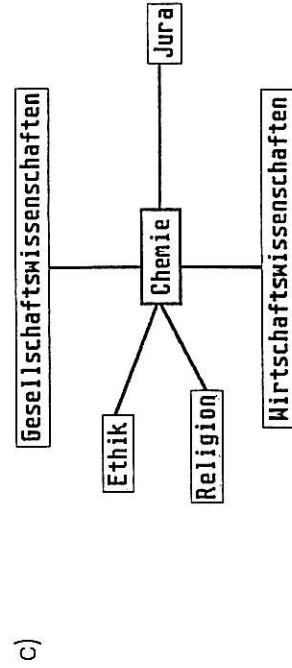
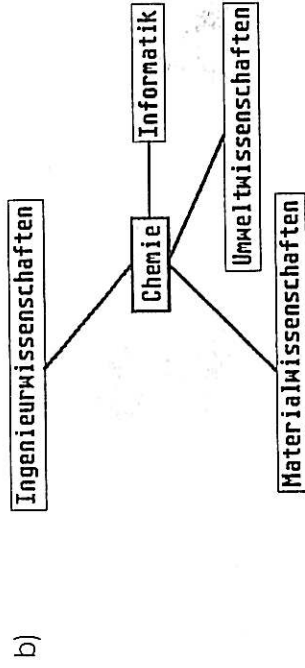
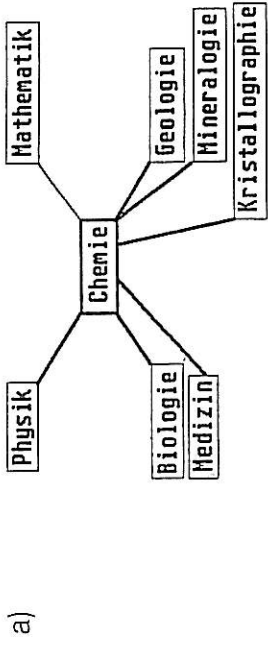
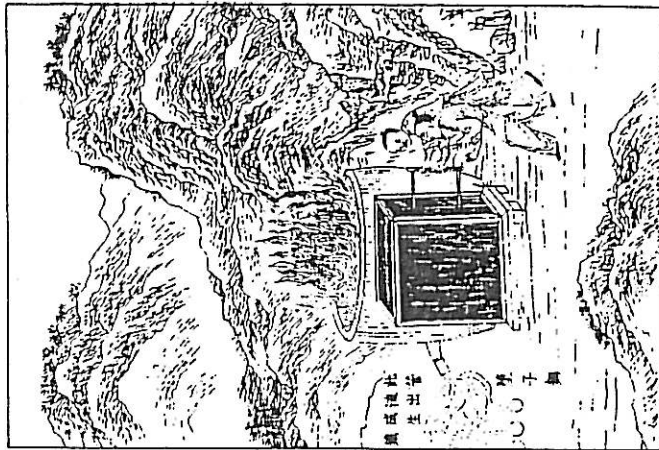


Abb. 1 Verknüpfungen der Chemie zu anderen wissenschaftlichen Disziplinen: a) Naturwissenschaften, b) Technische Wissenschaften, c) Geisteswissenschaften.



Alter chinesischer Hochofen mit seitlichem Schlackenabfluß und seltensam kastenförmiger Konstruktion des handbetrieblenen Gebläses. Privatbesitz, München

Abb. 2 Chinesischer Hochofen.

- 1) Metalle
- 2) Oxidische Gesteine
- 3) Salze
- 4) Legierungen
- 5) Farben(oxidische)
- 6) Katalysatoren
- 7) Komplexverbindungen
- 8) Biologische Moleküle
- 9) Metallorganische Moleküle

- 10) Supraleiter
- 11) Cluster
- 12) Kleine Moleküle mit Metallen

- 13) Metallanhäufungen in Molekülen

Bindungstyp

— *überwiegend metallisch*

== *überwiegend ionisch (positiv geladen)*

--- *überwiegend kovalent (Elektronenpaar-Bindung)*

· *undefiniert bzw. unbekannt*



Metallatome als Bestandteile von Legierungen  
(metallisch)

Messing	Kupfer/Zink
Bronzen	Kupfer/Zinn
Silbermünzen	Silber/Kupfer
Stahllegierungen	Eisen/Kohlenstoff/ Nickel oder Chrom oder Wolfram

z. B. V2A: 72% Fe, 20% Cr,  
8% Ni, 0,2% Si, 0,2% C,  
0,2% Mn.

Metallatome als Bestandteile von Gesteinen  
(meist oxidisch oder sulfidisch)  
(ionisch)

<u>Beispiel</u>	<u>Gesteine</u>
Oxide	Chrom Eisenstein Seltene Erden
Sulfide	Silberglanz Kupferstein
Silikate	Olivin Karfunkel Kaolinit Kalifeldspat
Carbonate	Kalkstein Kreide Marmor
Sulfate	Malachit Azurit Gips

Kupfer und Chrom  
Lanthanoide  
Silber  
Eisen und Kupfer  
Magnesium  
Eisen  
Eisen  
Aluminium  
Aluminium  
Kalium  
Aluminium  
Calcium  
Kupfer  
Calcium

Abb. 4 Einige Beispiele von Legierungen.

Abb. 5 Eine kleine Auswahl metallhaltiger Gesteine.

Metallatome als Bestandteile von Salzen  
(ionisch)

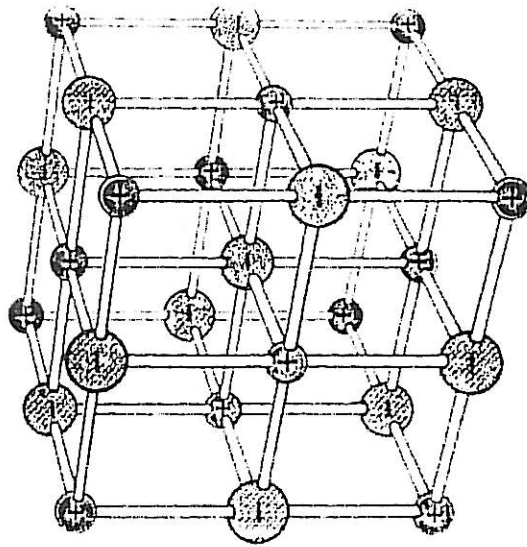
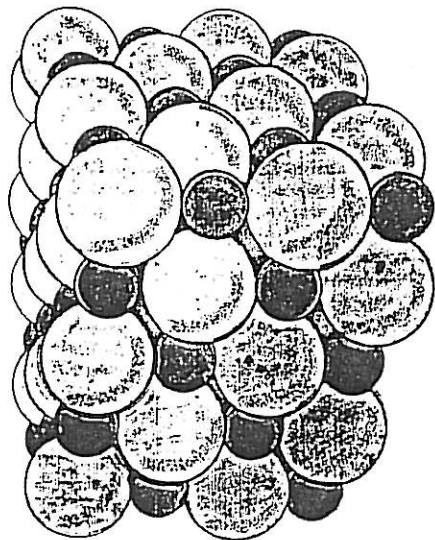


Abb. 6 Der strukturelle Aufbau eines Salzes wie NaCl.

Wirkungsweise eines Katalysators

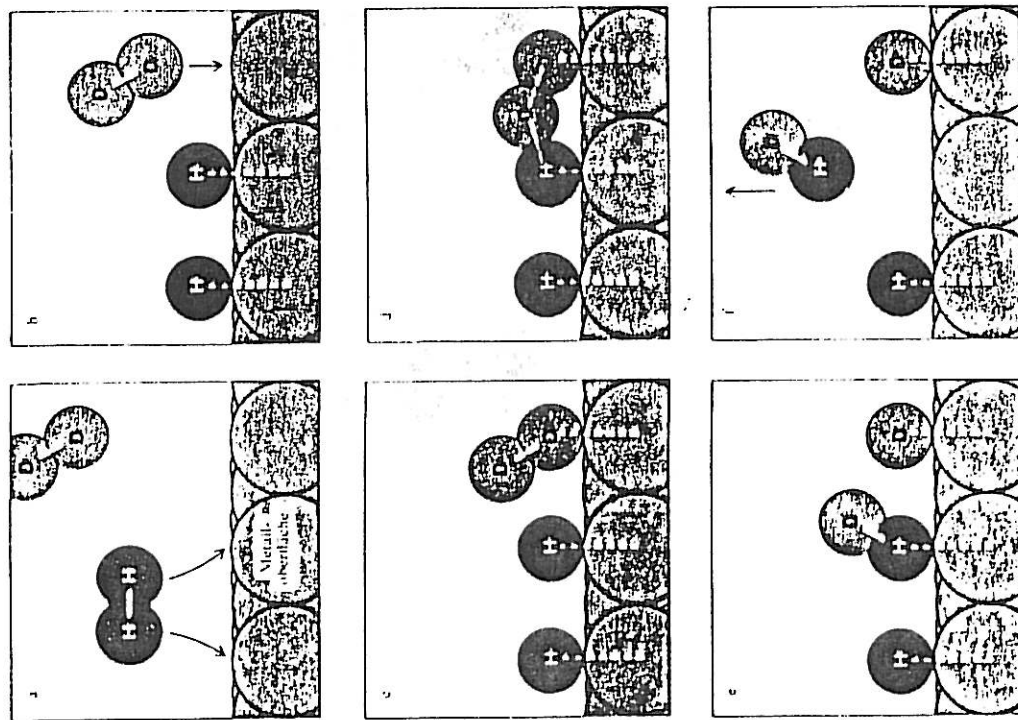


Abb. 7 Schematische Darstellung der Wirkungsweise eines Katalysators bei der Reaktion  $H_2$  mit  $D_2$ .

Metallatome als Bestandteile von Metallkomplexen  
(ionisch)

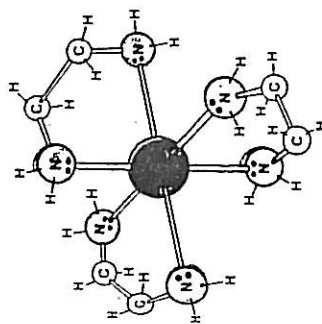
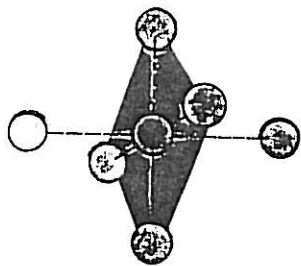
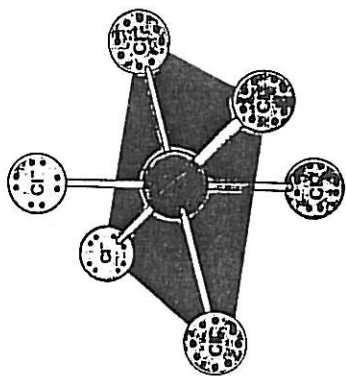


Abb. 8 Zwei unterschiedliche klassische Metallkomplexe. Die Metallatome erscheinen in der Abbildung als schwarze Kugeln.

Metallatome als Bestandteile von Makromolekülen  
(ionisch/kovalent)

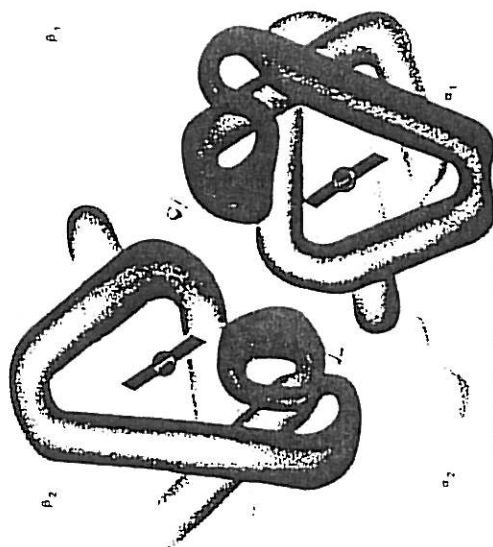
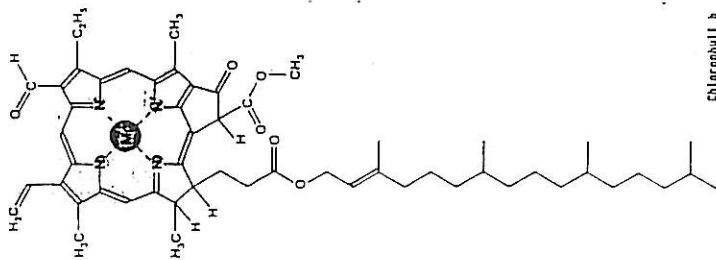
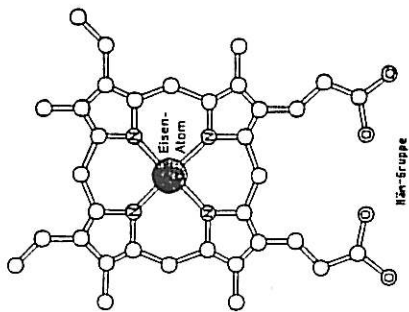
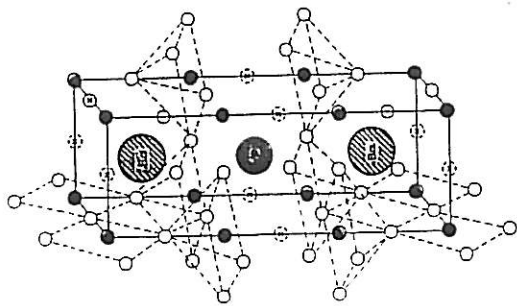
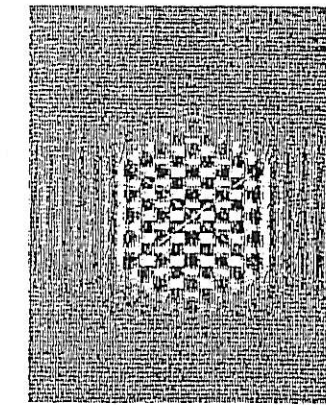
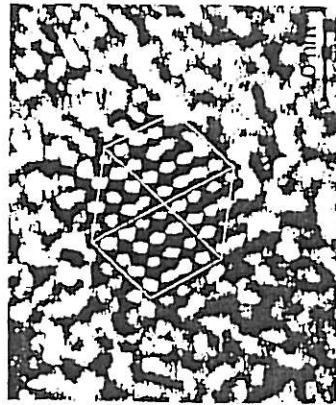


Abb. 9 Zwei biologisch wichtige Metallkomplexe: links: Chlorophyll b, rechts: Hämoglobin bzw. Häm-Gruppe.



### Supraleiter



### Cluster

Abb. 10 Beispiele für aktuelle Forschungsgebiete: Hochtemperatur-Supraleiter und Metall-Cluster. Im oberen Teil der Abbildung ist die Struktur von  $YBa_2Cu_3O_7$  skizziert, im unteren Teil eine elektronenmikroskopische Aufnahme eines vierschichtigen Metall-Clusters nebst einer Computersimulation.

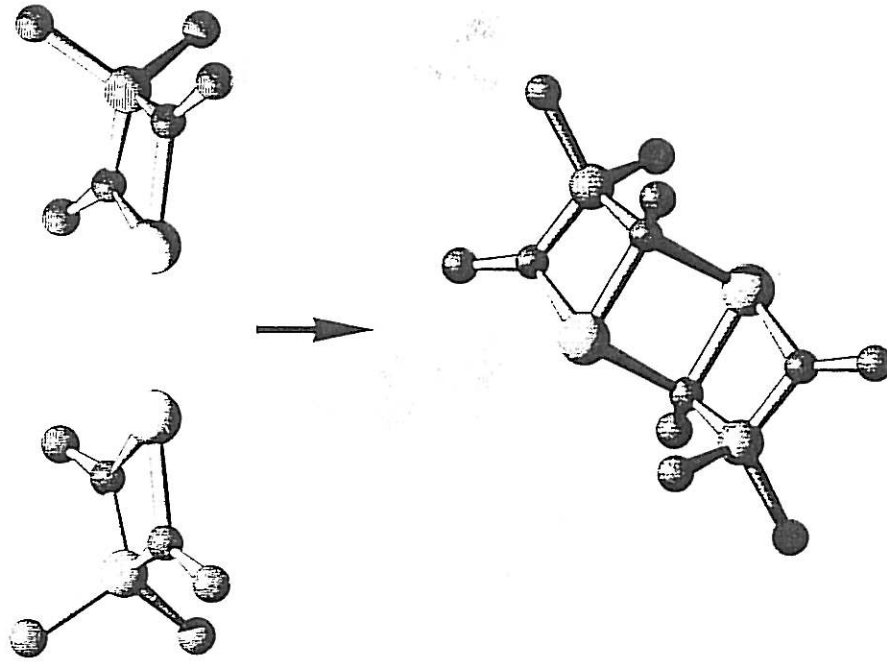


Abb. 11 Das „Zusammengehen“ der monomeren Diazastannylene zu einem Dimeren (vgl. Text). Von den beiden größeren Kugeln (Silicium und Zinn) besitzt das Siliciumatom noch zwei Bindungen an endständige Methylgruppen, die nur durch eine Kugel repräsentiert werden. Auch die endständigen tert-Butylgruppen sind nur durch eine Kugel dargestellt.

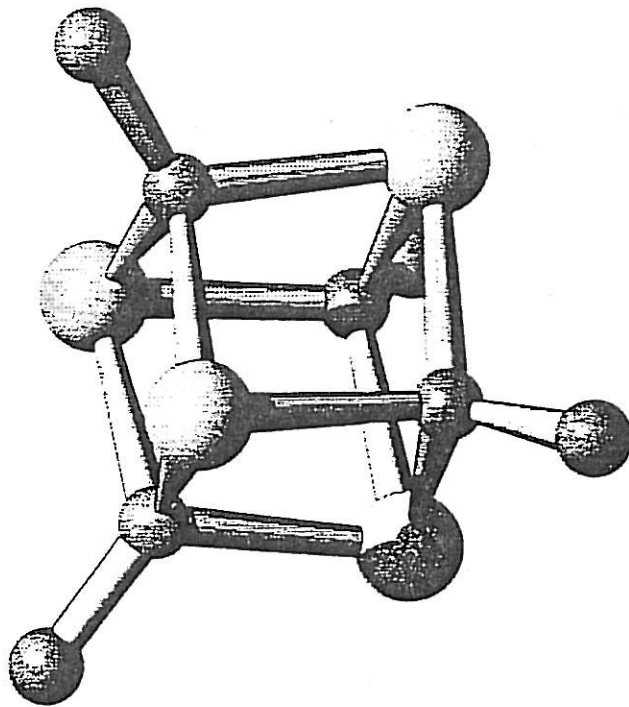


Abb. 12 Struktur des Iminostannylens (SnN-tBu)<sub>4</sub> in vereinfachter Darstellung. Von der tert-Butylgruppe ist nur das zentrale Kohlenstoff-Atom wiedergegeben. Die größeren Kugeln geben die Lagen der Zinn-Atome wieder.

Verfolgung einer chemischen Reaktion  
mit Zwischenstufen

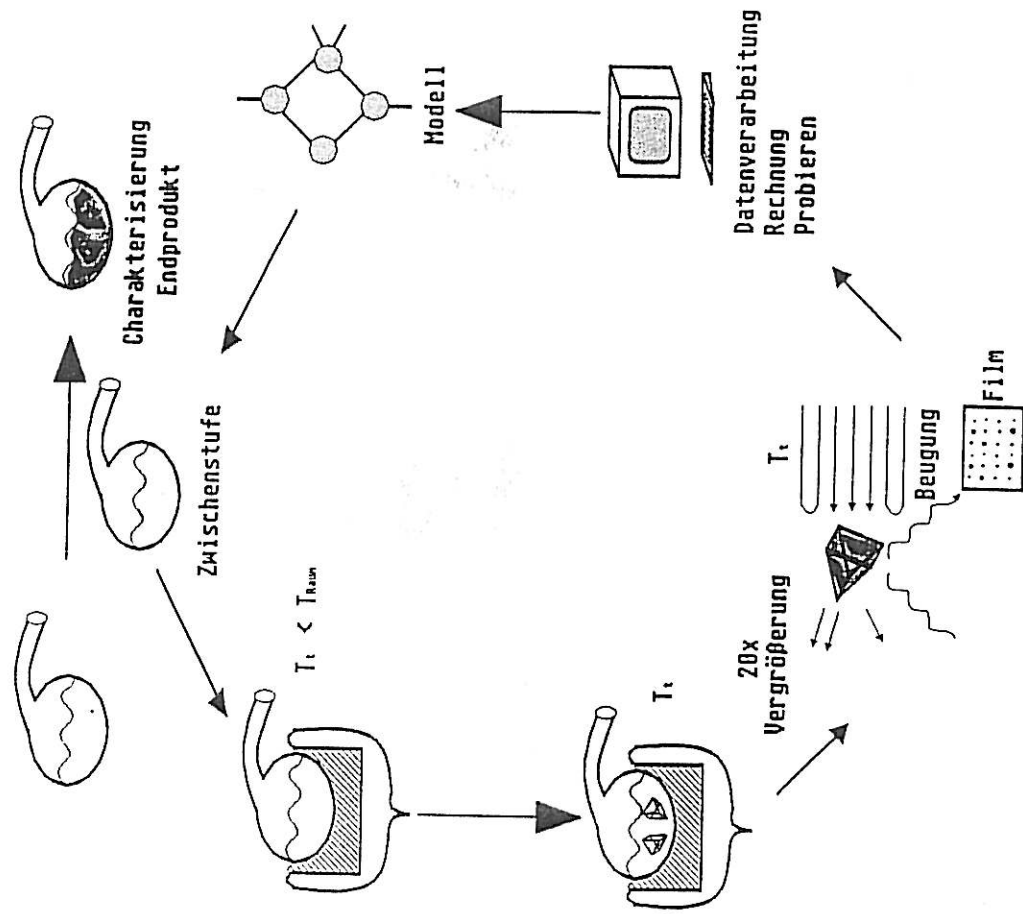


Abb. 13 Zur Aufklärung einer chemischen Reaktion mit Zwischenstufen (vgl. auch Text).



## Saarbrücker Universitätsreden

Bisher erschienen:

- 1 Conrad von Fragstein  
Die geschichtliche Entwicklung der Optik
- 2 Hermann Krings  
Über die akademische Freiheit
- 3 Joseph Müller-Blattau  
Vom Wesen und Werden der neueren Musikwissenschaft
- 4 Arthur Kaufmann  
Gesetz und Recht
- 5 Helmut Slimm  
Die romanischen Wörter für 'frei'
- 6 Konrad Repgen  
Hitlers Machtergreifung und der deutsche Katholizismus
- 7 Hermann Muth  
Die Biophysik als Bindeglied zwischen Naturwissenschaften und Medizin
- 8 Hugo Josef Seemann  
Wissenschaftliche und technische Aspekte der Metallforschung
- 9 Fritz Brecher  
Rechtsozialismus und Wirtschaftsleben
- 10 Josef Schmitthüsen  
Was ist eine Landschaft?
- 11 Werner Nachtigall  
Biologische und globale Energetik
- 12 Gert Hummel  
Hoffnung Universität
- 13 Johann Paul Bauer  
Universität und Gesellschaft
- 14 Hermann Josef Haas  
Medizin — eine naturwissenschaftliche Disziplin?
- 15 Werner Nachtigall  
Biologische Grundlagenforschung
- 16 Kuno Lorenz  
Philosophie — eine Wissenschaft?
- 17 Wilfried Fiedler  
Die Verrechtlichung als Weg oder Irrweg der Europäischen Integration
- 18 Ernest Zahn  
Die Niederländer, die Deutschen — ihre Geschichte und ihre politische Kultur
- 19 Axel Buchter  
Perspektiven der Arbeitsmedizin zwischen Klinik, Technik und Umwelt
- 20 Reden anlässlich der Verleihung der Würde eines Ehrensenators an Herrn Ernst Haaf und Herrn Dr. Wolfgang Kühborth
- 21 Pierre Deyon  
Le bilingualisme en Alsace
- 22 Jacques Mallet  
Verse une Communauté Européenne de la Technologie
- Rainer Hudemann  
Sicherheitspolitik oder Völkerverständigung?
- 23 Andrea Romano  
Der lange Weg Italiens in die Demokratie und den Fortschritt
- Rainer Hudemann  
Von der Resistenza zur Rekonstruktion
- Helene Harth  
Deutsch-italienische Literaturbeziehungen

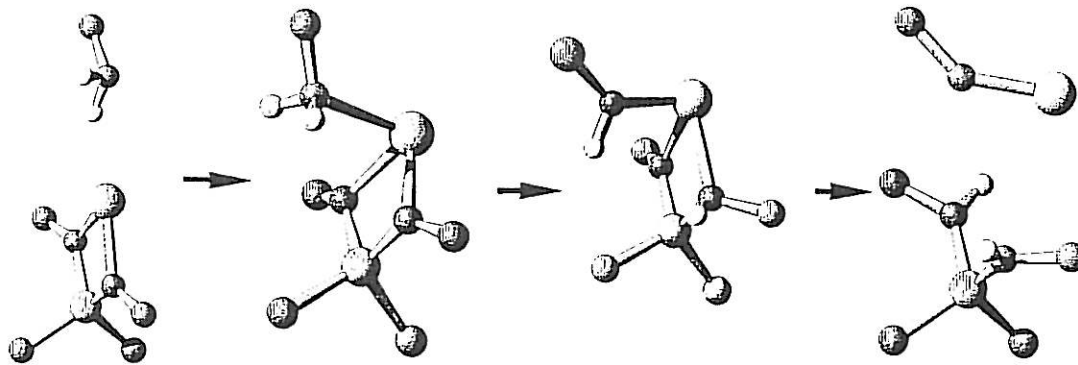


Abb. 14 Momentaufnahmen der Reaktion zwischen dem cyclischen Bis(aminostannylene) und tert-Butylamin (zur Kennzeichnung der Atome vgl. Legende von Abb. 11; vgl. auch Text).

- 24 Alfred Herrhausen  
Macht der Banken
- 25 Gerhard Schmid-Henkel  
„Die Wirkliche Welt“? ist, in Wahrheit, nur die Karikatur unser Großen Romane!“ (Arno Schmidt)  
Über die Fiktion unserer Realität und die Realität literarischer Fiktion
- 26 Heike Jung, Johann Paul Bauer  
Problemkreis AIDS — seine juristischen Dimensionen
- 27 Horst Albach  
Praxisorientierte Unternehmenstheorie und theoriegeleitete Unternehmenspraxis
- 28 Reden und Vorträge aus Anlaß der Verleihung der Würde eines Doktors der Philosophie ehrenhalber an Bischof Monsenor Leonidas E. Proano
- 29 Jubiläumssymposium zum 65. Geburtstag von Prof. Dr. Martin Schrenk und zum 15-jährigen Bestehen des Instituts für Klinische Psychotherapie  
Hermann Krings  
Universität im Wandel
- 30 „Man steigt nicht zweimal in denselben Fluß“ (Heraklit)  
Wolfgang J. Mommsen
- 31 Max Weber und die moderne Geschichtswissenschaft
- 32 Günter Holz  
Algorithmen, Sprachen und Komplexität
- 33 Michael Veith  
Chemische Fragestellungen: Metallatome als Bausteine von Molekülen