

Eine dritte Art von Liganden, z. B.  $\text{OH}^-$ ,  $\text{F}^-$  und  $\text{H}_2\text{O}$ , kann weitere sp-Elektronen in unbesetzte Bahnen des Metalls abgeben und so die Elektronenladung am Metall verändern. Die hohe Elektronenzahl am Zentralatom bedingt eine leichte Elektronenabgabe an Oxydationsmittel, wodurch jetzt die hohe Oxydationsstufe stabilisiert wird.

Es gibt auch Liganden, welche sowohl die niedrigen als auch die höheren Oxydationsstufen stabilisieren.  $\text{o-C}_6\text{H}_4[\text{As}(\text{CH}_3)_2]_2$  z. B. bildet Komplexe mit einer höheren Koordinationszahl als durch die Regel von der effektiven Atomzahl bestimmt ist. Die überschüssigen Elektronen können leicht durch Oxydation entfernt werden. Eine andere Gruppe sind Heterocyklen, deren leicht polarisierbares  $\pi$ -Elektronensystem sowohl Elektronen an das Metall abgeben als auch von diesem aufnehmen kann.

Auch die Elektronenstruktur des Metalls ist für das Auftreten stabiler Oxydationsstufen maßgebend. Nach der Ligandenfeldtheorie spalten die fünffach entarteten d-Orbitale bei oktaedrischen Komplexen unter dem Einfluß des Ligandenfelds in drei Orbitale niedrigerer und zwei Orbitale höherer Energie auf, so daß sich beim Co(II) ein und beim Ni(II) zwei ungepaarte Elektronen auf den Bahnen höherer Energie befinden und bei Vorhandensein eines genügend starken Ligandenfelds leicht abgegeben werden können. Als stabile Oxydationsstufen entstehen Co(III), Ni(III) und sogar Ni(IV). Fe(III) ist unter dem Einfluß des starken Ligandenfelds von  $\text{CN}^-$  ein starkes Oxydationsmittel, da die Orbitale niedriger Energie nur mit fünf Elektronen besetzt sind und leicht ein weiteres aufnehmen können.

Ein Beispiel für die Anwendung dieser Überlegungen ist die Lufttrocknung eines Sojaöl-Alkydfilms in Gegenwart eines Co(II)-o-Phenanthrolin-Komplexes (1:2), der  $\text{O}_2$  zur Hyperoxydstufe ( $\text{O}_2^-$ ) reduzieren kann. ( $\text{O}_2^-$ ) besetzt eine freie Koordinationsstelle und leitet die radikalische Vernetzung des Harzes ein. Der Sauerstoff wird dabei zur Peroxydstufe ( $\text{O}_2^{2-}$ ) reduziert. Das Peroxyd reduziert das zuerst gebildete Co(III) wieder zu Co(II). Die Katalyse durch Co(II) wird durch ein drittes Mol o-Phenanthrolin unterbunden. In Gegenwart eines Liganden mit niedrigerer Feldstärke kann die Oxydation zum Co(III) unter Bildung der Hyperoxyds nicht stattfinden. Liganden höherer Feldstärke (z. B.  $\text{CN}^-$ ) verhindern die Reduktion zu Co(II). Die Wahl des Liganden geeigneter Feldstärke ist also für solche katalytischen Prozesse und vor allem auch bei biochemischen Reaktionen von entscheidender Bedeutung.

### Olefin-Oxydation mit Palladiumchlorid [1]

J. Smidt, W. Hafner, R. Jira, A. Sabel, J. Sedlmeier und R. Sieber, München

Die Oxydation von Olefinen mit Palladiumchlorid zu Carbonylverbindungen verläuft über Olefin-Palladiumchlorid-Komplexe. Der die Hydrolyse dieses Komplexes einleitende Schritt besteht, wie kinetische Untersuchungen zeigen, in einer intramolekularen Reaktion des komplexgebundenen Olefins mit einem Hydroxyd-Liganden des Palladiums. Analoge Reaktionen dürften die Bildung von Vinylacetat und Isopropenylacetat aus Äthylen bzw. Propylen und Essigsäure sowie die Bildung von Vinylchlorid durch thermische Zersetzung von  $\text{K}[\text{C}_2\text{H}_4\text{PtCl}_3]$  sein. Neben der Olefin-Oxydation über Olefin-Komplexe verdient noch die Oxydation über  $\pi$ -Allylkomplexe Beachtung; manchmal (z. B. bei Isobutylen oder Allylhalogeniden) ist dies der bevorzugte Weg. Er führt in wasserfreiem Medium zu Allylverbindungen (z. B. Allylchlorid, Allylacetat), in wasserhaltigem zu ungesättigten Carbonylverbindungen (z. B. Acrolein und Homologen).

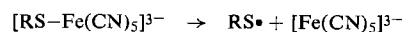
Die Carbonylierung von Olefinen in Gegenwart von Palladiumchlorid führt ebenfalls über Olefin- oder  $\pi$ -Allylkomplexe. Die Produkte sind wegen der geringen Nucleophilie des Kohlenmonoxyds nicht so einheitlich wie bei der Olefin-Oxydation.

[1] Vgl. auch J. Smidt et al., Angew. Chem. 71, 176 (1956); 74, 93 (1962); Angew. Chem. internat. Edit. 1, 80 (1962).

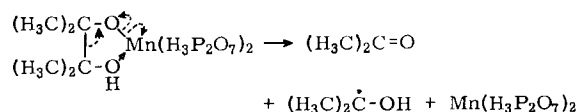
### Oxydation organischer Verbindungen mit Übergangsmetallionen

W. A. Waters, Oxford (England)

Voraussetzung für viele Oxydationen mit Ionen der Übergangsmetalle ist die zwischenzeitliche Substitution eines Liganden des Übergangsmetallions durch das zu oxydierende Molekül, um den Elektronenübergang zu ermöglichen oder zu erleichtern. So wird die Oxydation von Thiolen zu Disulfiden mit  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  durch vorhergehende Substitution eines  $\text{CN}^-$ -Ions durch einen Sulfidrest, der ein Elektron unter Bildung eines Sulfidradikals an das Fe(III) abgibt, einem direkten Elektronenübergang durch die CN-Hülle vorgezogen.



Vielfach sind auch sterische Gegebenheiten Voraussetzung für eine Reaktion. Einwertige Alkohole werden von  $\text{Mn}(\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_7)_3$  nicht angegriffen, Pinakol wird dagegen leicht zu Aceton oxydiert. Die Reaktion verläuft über ein Chelat.



(Die gestrichelten Pfeile kennzeichnen den Übergang eines Elektrons). Weitere Beispiele für Oxydationen mit Oxo-metallaten, bei denen eine intermediäre Bindung zwischen dem organischen Molekül und dem Metallation nachgewiesen ist, sind:

Die Oxydation von Benzaldehyd zu Benzoesäure und von Olefinen zu Glykolen mit Permanganat, die Oxydation von Alkoholen zu Aldehyden mit  $\text{HCrO}_4^-$  sowie die Oxydation von Cyclohexanol mit  $[\text{V}(\text{OH})_3]^{2+}$ . Bei diesen Reaktionen treten esterartige Zwischenstufen auf. Bei Einelektronenübergängen wie  $\text{Mn(VII)} \rightarrow \text{Mn(VI)}$  und Vanadin(V)  $\rightarrow$  Vanadin(IV) entstehen häufig intermediär Radikale.

Die aktive Form des  $\text{Co}(\text{ClO}_4)_3$  ist das Kation  $[(\text{HO})\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ , welches primäre, sekundäre und tertiäre Alkohole sowie Carbonsäuren und aromatische Kohlenwasserstoffe oxydiert. Es werden Produkte gebildet, wie sie auch bei anderen Radikalreaktionen, z. B. Kolbe-Synthese, Sandmeyer-Reaktion, entstehen.

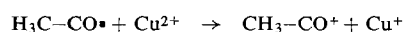
### Oxydation organischer Verbindungen mit Sauerstoff in flüssiger Phase

T. H. Twigg, Epsom, Surrey (England)

Nach einem Radikalkettenmechanismus werden als primäre Oxydationsprodukte meist Hydroperoxyde gebildet, welche verschiedenartig weiterreagieren können:



Technisch wichtig ist die Bildung von Cumolhydroperoxyd. Bei der Acetaldehyd-Oxydation entsteht als „Hydroperoxyd“ Peressigsäure, welche mit weiterem Acetaldehyd den Hydroxyperester bildet. Aus der Gleichgewichtsmischung der drei Verbindungen kann Peressigsäure erhalten werden. Unter der katalytischen Einwirkung von Schwermetallsalzen lagert sich der Hydroxyperester nichtradikalisch zu zwei Mol Essigsäure um. Mit größeren Mengen an Metallsalzen, besonders Kupfersalzen, wird Essigsäureanhydrid gebildet.



Ketone reagieren langsamer als Aldehyde und bilden nach dem allgemeinen Schema Hydroperoxyde, welche sich häufig zu Säuren und Aldehyden oder Ketonen umlagern. Ketone, insbesondere aber Aldehyde, werden weiter oxydiert.