

- 28) T. Hoppe, S. Schaub, J. Becker, C. Würtele, S. Schindler, *Angew. Chem.* 2013, 125, 904–907.
- 29) P. Haack, A. Kärger, C. Greco, J. Dokic, B. Braun, F. F. Pfaff, S. Mebs, K. Ray, C. Limberg, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 16148–16160.
- 30) S. Kundu, F. F. Pfaff, E. Miceli, I. Zaharieva, C. Herwig, S. Yao, E. R. Farquhar, U. Kuhlmann, E. Bill, P. Hildebrandt, H. Dau, M. Driess, C. Limberg, K. Ray, *Angew. Chem.* 2013, 125, 5732–5736.
- 31) U. Hintermair, S. W. Sheehan, A. R. Parent, D. H. Ess, D. T. Richens, P. H. Vaccaro, G. W. Brudvig, R. H. Crabtree, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 10837–10851.
- 32) Y. Jiang, O. Blacque, T. Fox, H. Berke, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 7751–7760.
- 33) M. P. Boone, D. W. Stephan, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 8508–8511.
- 34) X. Xu, G. Kehr, C. G. Daniliuc, G. Erker, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 6465–6476.
- 35) L. Becker, P. Arndt, H. Jiao, A. Spannenberg, U. Rosenthal, *Angew. Chem.* 2013, 125, 11607–11611.
- 36) C. Mitzenheim, T. Braun, *Angew. Chem.* 2013, 125, 8787–8790.
- 37) B. Liu, M. Tu, R. A. Fischer, *Angew. Chem.* 2013, 52, 3486–3489.
- 38) J.-C. Rybak, M. Hailmann, P. R. Matthes, A. Zurawski, J. Nitsch, A. Steffen, J. G. Heck, C. Feldmann, S. Götzendörfer, J. Meinhardt, G. Sextl, H. Kohlmann, S. J. Sedlmaier, W. Schnick, K. Müller-Buschbaum, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 6896–6902.
- 39) N. A. Vermeulen, O. Karagiari, A. A. Sarjeant, C. L. Stern, J. T. Hupp, O. K. Farha, J. F. Stoddart, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 14916–14919.
- 40) Z. J. Wang, K. N. Clary, R. G. Bergman, K. N. Raymond, F. D. Toste, *Nat. Chem.* 2013, 5, 100–103.
- 41) M. Han, R. Michel, B. He, Y.-S. Chen, D. Stalke, M. John, G. H. Clever, *Angew. Chem.* 2013, 125, 1358–1362.
- 42) I. A. Riddell, Y. R. Hristova, J. K. Clegg, C. S. Wood, B. Breiner, J. R. Nitschke, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 2723–2733.
- 43) A. Baniodeh, C. E. Anson, A. K. Powell, *Chem. Sci.* 2013, 4, 4354–4361.
- 44) C. Schwarzmaier, A. Schindler, C. Heindl, S. Scheuermayer, E. V. Peresyphina, A. V. Virovets, M. Neumeier, R. Gschwind, M. Scheer, *Angew. Chem.* 2013, 125, 11097–11100.
- 45) A. Merca, S. Garai, H. Bögge, E. T. K. Haupt, A. Ghosh, X. López, J. M. Poblet, F. Averseng, M. Che, A. Müller, *Angew. Chem.* 2013, 125, 11981–11985.
- 46) S. Gomez-Coca, E. Cremades, N. Aliaga-Alcalde, E. Ruiz, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 7010–7018.
- 47) J. M. Zadrozny, D. J. Xiao, M. Atanasov, G. J. Long, F. Grandjean, F. Neese, J. R. Long, *Nat. Chem.* 2013, 5, 577–581.
- 48) I.-R. Jeon, J. G. Park, D. J. Xiao, T. D. Harris, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 16845–16848.
- 49) S. Fortier, J. J. Le Roy, C.-H. Chen, V. Vieru, M. Murugesu, L. F. Chibotaru, D. J. Mindiola, K. G. Caulton, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 14670–14678.

Bioanorganische Chemie

◆ Auch im Jahr 2013 waren die Bioanorganiker in Deutschland nicht untätig und stellten viele neue Ergebnisse vor – in Zeitschriftenbeiträgen aber auch auf den Konferenzen des Jahres: So war die deutsche BioAC zum Beispiel in einem 400 Seiten starken Spezialband der ZAAC¹⁾, aber auch auf der ICBIC 16²⁾ in Grenoble oder dem GDCh-Wissenschaftsforum in Darmstadt³⁾ jeweils bestens vertreten. Im Folgenden werden wir uns auf fünf Schwerpunkte konzentrieren, die 2013 besondere Aufmerksamkeit erregten: die Umsetzung der „kleinen Teilchen“ H₂, O₂, N₂ und e⁻ sowie den Einsatz anorganischer Verbindungen für pharmazeutische Zwecke.

Wasserstoff

◆ Hydrogenasen sind die aktivsten bekannten Homogenkatalysatoren für die Produktion und Aufnahme von H₂. Ihre Funktionsweise inspiriert daher auch die Katalysatorentwicklung für Brennstoffzellen oder Wasserspaltungssysteme. Die H₂-Umsetzung durch Hydrogenase findet dabei an ein- oder zweikernigen Reaktionszentren statt, die neben Eisen auch Nickel enthalten können.

Im letzten Jahr gab es einige Durchbrüche auf diesem Gebiet. So trug die Arbeitsgruppe Shima zum Verständnis der ungewöhnlichen [Fe]-Hydrogenase bei, die H₂ mit einem einzelnen Eisen(II)-Ion aktiviert. Dieses befindet sich in einer Koordinationssphäre aus einem Cysteinatliganden, zwei cis-ständigen CO-Molekülen sowie Pyridin-N und Acyl-C eines Eisen-guanylpyridinolcofaktors (FeGP). Über Strukturanalysen der [Fe]-Hydrogenase mit gebundenen Iso-cyanid-Inhibitoren zeigten Shima et al., dass Iso-cyanid nicht nur an die vorhergesagte H₂-Bindungsstelle *trans* zum Acylkohlenstoffatom koordinieren, sondern zusätzlich kovalent an das Pyridinolhydroxyl-

sauerstoffatom des FeGP-Cofaktors binden (Abbildung 1a).⁴⁾ Dieser Erkenntnis ist für den Mechanismus des Enzyms, aber auch für das Design von Modellverbindungen wichtig: Bisher wurde in synthetischen Analoga die C2-Position am Ring des FeGP-Modells immer blockiert, etwa durch Methylsubstituenten. Shima et al. empfehlen nun, an dieser Stelle zur Verbesserung der Modelle eine OH-Funktion einzuführen.

In zweikernigen [FeFe]-Hydrogenaseenzymen läuft die Katalyse an einem dinuklearen Eisenzentrum ab, in dem zwei Eisenatome an für die Bioanorganik ungewöhnliche Ligandmoleküle gebunden sind, nämlich CO, CN⁻ sowie eine SCH₂XCH₂S-Dithiolatbrücke mit X = CH₂ oder NH. Die gesamte Fe₂-Einheit ist nur über eine einzelne Cysteinseitenkette an das Protein gebunden. Wie es an diesem Ort eingebaut wird, bleibt unklar. Den Gruppen um Lubitz, Happe und Fontecave gelang es im letzten Jahr, bereits bekannte synthetische Modelle des Dieisenzentrums auf das [FeFe]-Hydrogenase-Protein HydF zu laden und anschließend von dort auf das Apoprotein HydA1 unter Ausbildung der Cysteinbrücke zu transferieren (Abbildung 1b).⁵⁾ Dies ist das erste Beispiel für eine kontrollierte Hydrogenaseaktivierung durch eine Kombination des Proteingerüsts mit synthetischen Analoga des aktiven Zentrums. So zeigt die Arbeit außerdem, dass die eingesetzten Modellverbindungen die biologische Fe₂-Einheit offensichtlich sehr gut nachahmen. Für die Katalyse scheint neben der Struktur der Fe₂-Einheit die richtige Proteinumgebung entscheidend zu sein, denn nur hier – und nicht als isolierte Moleküle – werden höchste Katalysatoren erreicht.

Für das heterobimetallische aktive Zentrum der [NiFe]-Hydrogenasen war bereits bekannt, dass es in drei Formen vorliegen kann, die

wahrscheinlich alle Teil des Katalysezyklus sind. Diese Zustände werden als Ni-Si_a, Ni-C und Ni-R bezeichnet (Abbildung 1c). Die Arbeitsgruppen um van Gestel und Neese sowie Zebger und Hildebrandt gewannen im letzten Jahr unabhängig voneinander detailliertere Einblicke in einen neuen Zustand des Enzyms, die Ni-L-Form. Dieser ist durch Bestrahlung des Ni-C-Zustands bei Temperaturen unter 200 K zugänglich. Am MPI für chemische Energiekonversion in Mülheim nutzte man eine Kombination aus EPR- und FT-IR-Spektroskopie zusammen mit DFT-Rechnungen, um zu zeigen, dass das Hydridion, das im Ni-C-Zustand Nickel und Eisen verbrückt, nach Bestrahlung als Proton vom aktiven Zentrum dissoziiert und an eine in der Nähe befindliche Thiolatbase bindet.⁶⁾ Eine protonierte Cysteinseitenkette im Ni-L-Zustand wies auch das Berliner Team nach, das hierbei zum ersten Mal die Resonanzramanspektroskopie (rRaman) für mechanistische Einblicke in den katalytischen Kreislauf der [NiFe]-Hydrogenase einsetzte.⁷⁾

Die vielleicht wichtigste neue Entdeckung zur [NiFe]-Hydrogenase ist jedoch die überraschende Bildung einer Ni-Fe-Bindung im Ni-L-Zustand, wie sie Neese, van Gestel et al. fanden.⁶⁾ Diese Ni-Fe-Verknüpfung ist wahrscheinlich nicht nur für die Stabilisierung des Ni-L-Zustands, sondern auch für andere Intermediate im katalytischen Kreislauf relevant – ein Befund, der für die Zukunft der Wasserstoffaktivierung die Verwendung von Komplexen mit Metall-Metall-Bindungen initiieren könnte.

Sauerstoff

◆ Im letzten Jahr gab es auch neue Einblicke in die bioanorganische Metall-Sauerstoff-Chemie, und zwar besonders für die Entwicklung effizienter Sauerstoff-Insertionsreaktionen. Bisher sind für diese Reaktionen nur wenige synthetische Katalysatoren bekannt. In ei-

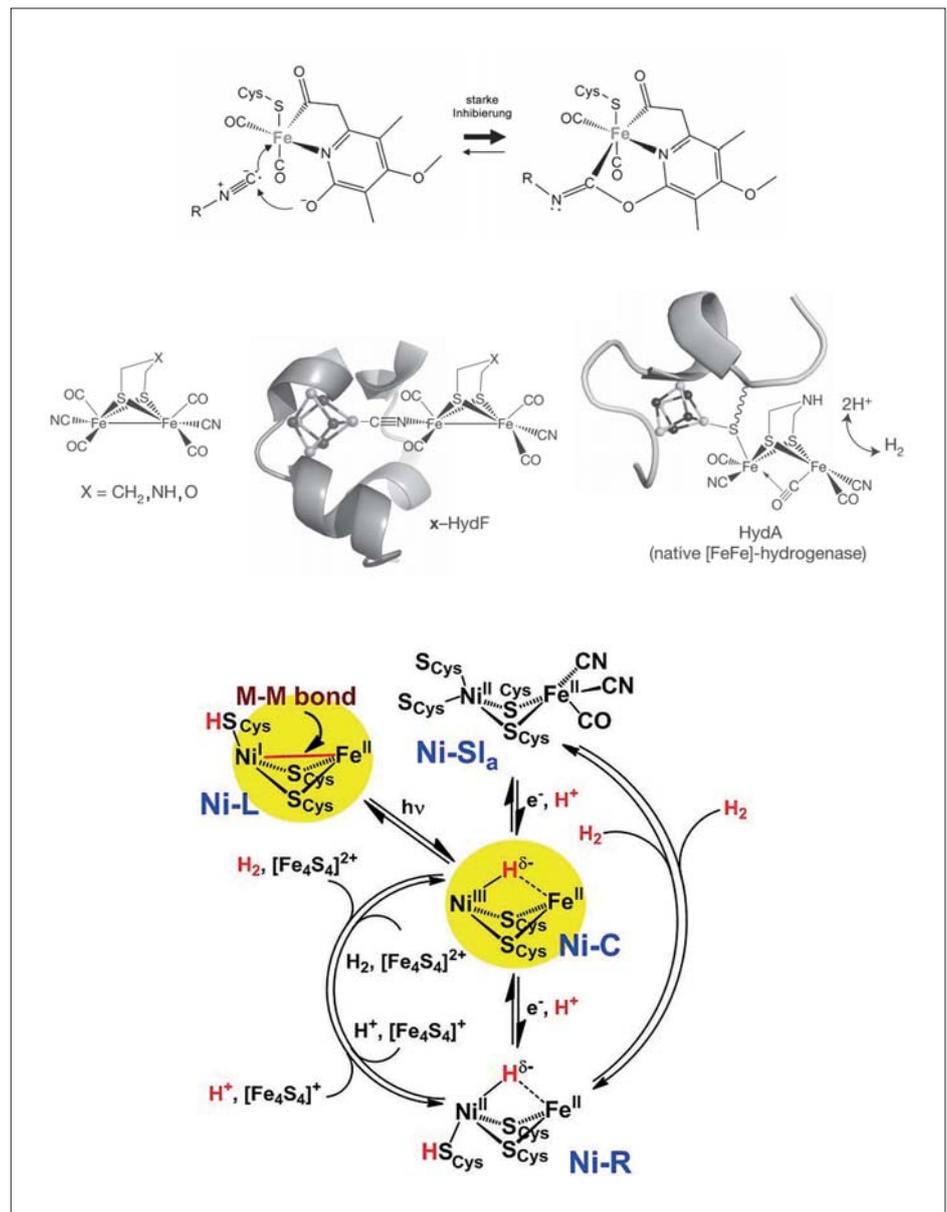


Abb. 1. Oben: Bildung kovalenter Bindungen zwischen Isocyanokohlenstoffatom und Eisenzentrum sowie Pyridinolhydroxysauerstoff des FeGP-Cofaktors der [Fe]-Hydrogenase.⁴⁾ Mitte: Einführung von synthetischen Analoga des aktiven Zentrums der [FeFe]-Hydrogenase in das Apoprotein HydF und Transfer der Fe₂-Einheit auf die katalytische Einheit HydA1.⁵⁾ Unten: Katalytischer Zyklus der [NiFe]-Hydrogenase mit der neuen Ni-L-Form.^{6,7)}

ner Zusammenarbeit entwickelten nun die Gruppen um Herres-Pawlis (LMU München) und Stack (Stanford) dieses Forschungsfeld weiter, indem sie zeigten, dass ein synthetischer Kupfer(I)-Katalysator (Abbildung 2 links, S. 246) eine große Vielfalt von Phenolen mit O₂ als Sauerstoffquelle zu Chinonen umsetzen kann.⁸⁾ Auf der Basis detaillierter kinetischer und spektroskopischer Untersuchungen identifizierten die Autoren eine side-on-verbrückende Dikupfer(II)-Spezies als Schlüsselintermediat der Reak-

tion. Diese Verbindung stellt damit ein seltenes Beispiel eines strukturellen und funktionalen Modells des Enzyms Tyrosinase dar, das in den letzten zwei Jahrzehnten Gegenstand intensiver Forschungsaktivitäten war. Nach dem Vorbild der Natur eröffnen sich hier nun Möglichkeiten für die Entwicklung von Werkzeugen für Sauerstoff-Insertionsreaktionen mit einer Substratbreite, die weit über das biologische System hinausgeht.

Ein weiterer Höhepunkt war die Ermittlung der Molekularstruktur

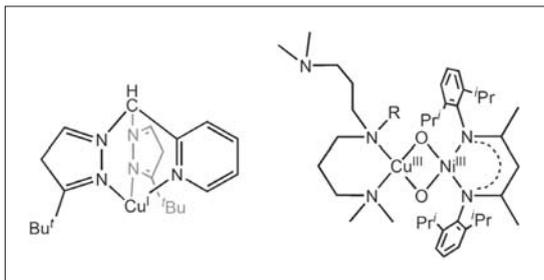


Abb 2. Links: Struktur des synthetischen Kupfer(I)-Präkatalysators für die Oxidation von Phenolen zu Chinonen mit O_2 als Sauerstoffquelle.⁹⁾ Rechts: Struktur eines heterodinuklearen di(μ -oxido)- Cu^{III} - Ni^{III} -Komplexes für die Deformylierung von Aldehyden im Stil des Enzyms Aldehyddehydrogenase.¹⁰⁾

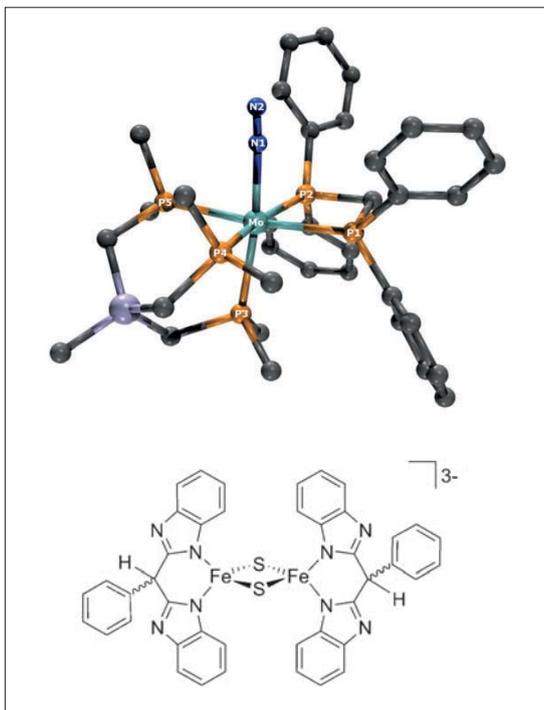


Abb 3. Oben: Distickstoffkomplex des Molybdäns. Die Variation der Phosphinliganden erlaubt ein „Tuning“ der N_2 -Aktivierung.¹²⁾ Unten: Modellverbindung für das $[2Fe-2S]$ -Zentrum von Rieske-Proteinen mit protonierbaren Liganden zum Studium von PCET-Prozessen.¹³⁾

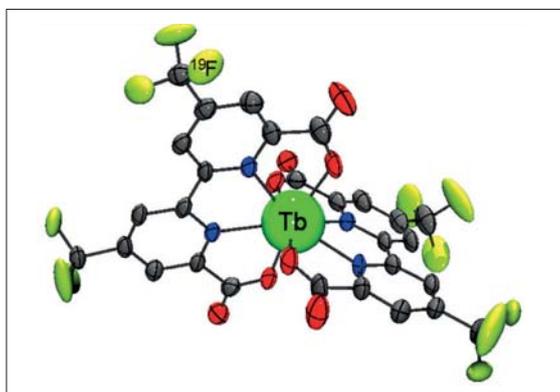


Abb 4. Die Kombination eines Terbiumzentrums mit fluorsubstituierten Liganden erlaubt den gleichzeitigen Einsatz der Verbindung als ^{19}F -MRT- und Lumineszenz-Sonde.¹⁵⁾

der Kautschukoxygenase A (RoxA) aus *Xanthomonas sp.* durch Einsle und Mitarbeiter.⁹⁾ Diese Dioxygenase spaltet das sonst chemisch inerte Biopolymer Latex in bioabbaubare, lösliche Bestandteile. Bei der detaillierten Analyse der Struktur von RoxA fand man einen Häm-Sauerstoff-Komplex, dessen optisches Spektrum und Aktivität sich auch nach wochenlanger Lagerung auf Eis kaum änderte. Diese ungewöhnliche Stabilität des oxidierten RoxA-Zustands – die eher der reversiblen O_2 -Anbindung beispielsweise an Myoglobin gleicht – erklärt möglicherweise die langsame und unspezifische Reaktivität von RoxA. Für seine zahlreichen wichtigen Arbeiten zur Strukturanalyse von Metalloproteinen erhielt Oliver Einsle 2013 in Grenoble den Early Career Award der Society of Biological Inorganic Chemistry (SBIC).²⁾

Einer Kooperation der Berliner Arbeitsgruppen Ray, Driess und Limberg gelang es, einen neuartigen heterobimetallischen Di(μ -oxido)- Cu^{III} - Ni^{III} -Komplex (Abbildung 2b rechts) zu isolieren und zu untersuchen.¹⁰⁾ Dieser zeigt im Vergleich zu homodinuklearen Analoga ein völlig anderes Reaktionsmuster, da hier die verbrückenden Oxido-Liganden als Nucleophile reagieren. So lassen sich zum Beispiel in einer ungewöhnlichen Reaktion Aldehyde zu Alkenen deformylieren. Die Modellverbindung wirft die Frage auf, ob ein ähnliches asymmetrisches Di(μ -oxido)-Zentrum die noch unbekannte aktive Spezies des kürzlich entdeckten Enzyms Aldehyddehydrogenase sein könnte.

Stickstoff und Elektronen

◆ In den letzten Jahren kam es zu einer Renaissance der Nitrogenase-Forschung. Diese wurde unter anderem durch detaillierte Strukturuntersuchungen des FeMo-Cofaktors (FeMoCo) verursacht, dem einmaligen Fe_7MoS_9 -Cluster, das aktive Zentrum der aktivsten Nitrogenasen. Im Jahr 2011 wurde die Existenz eines C^+ -Ions im Zen-

trum des FeMoCo nachgewiesen. Wie der Einbau eines solchen vollkommen „unbiologischen“ Carbid bei der Biosynthese der Nitrogenase abläuft, ist weiterhin nicht geklärt. In einer deutsch-amerikanischen Gemeinschaftsarbeit zeigten die Arbeitsgruppen DeBeer (Mülheim) und Ribbe (Irvine) röntgenemissionsspektroskopisch nun, dass bereits der biosynthetische Vorläufer des FeMoCo, der L-Cluster (Zusammensetzung Fe_8S_9), ein solches C^+ -Ion enthält.¹¹⁾ Das Kohlenstoffanion wird also gezielt eingebaut, um einen funktionsfähigen FeMoCo zu erhalten und ist keineswegs ein Nebenprodukt des katalytischen Prozesses.

Eine große Herausforderung für die bioanorganische Modellchemie ist weiterhin die Synthese von Koordinationsverbindungen, die analog zur Nitrogenase die Reduktion von Stickstoff zu Ammoniak katalysieren. Bereits seit den 1970er Jahren sind hierfür Phosphinkomplexe des Molybdäns untersucht worden. Über den nach ihrem ersten Entwickler benannten Chatt-Zyklus katalysieren diese Komplexe auch tatsächlich die Reaktion in mehreren Schritten von N_2 zu NH_3 , wenn auch nur in geringen Ausbeuten. In jahrelanger, systematischer Arbeit hat sich die Arbeitsgruppe Tuzek (Kiel) mit dem Verständnis und mit Verbesserungen des Chatt-Systems beschäftigt. So gelang schließlich die Synthese ganzer Serien von Molybdänverbindungen, deren Ligandsphären aus fünf Phosphinen bestehen und gerade noch die weitere Koordination eines einzigen N_2 -Moleküls zulassen (Abbildung 3).¹²⁾ Die Wahl der Liganden erlaubt dabei ein Tuning der Aktivierung des koordinierten N_2 für die weitere Reaktion. Außerdem sind die Verbindungen hervorragend als Modelle für mechanistische Studien zur Stickstoffreduktion geeignet.

Um Reduktionszentren wie die der Hydrogenase oder Nitrogenase mit Reduktionsäquivalenten zu versorgen, existieren verschiedene bioanorganische Elektronentrans-

porter. Ein wichtiger Vertreter davon sind Rieske-Zentren, die einen [2Fe-2S]-Kern enthalten, der an Cystein- und Histidinseitenketten des Proteins gebunden ist. Es gelang lange nicht, die gemischte Ligandumgebung $S^{2-}/R-S^{-}/N$ in synthetischen Fe_2 -Komplexen nachzuahmen. Vor wenigen Jahren war die Arbeitsgruppe Meyer (Göttingen) hier erfolgreich und stellte nun 2013 eine elegante Folgestudie vor.¹³⁾ Elektrochemische Messungen ergaben dabei, dass die Redoxprozesse einer Rieske-Modellverbindung wie im natürlichen Vorbild reversibel und bei gleichen Oxidationszuständen des Eisens stattfinden ($Fe_2^{III,III}/Fe_2^{II,III}$). Zusätzlich war mit einem protonierbaren Liganden (Abbildung 3) erstmals für ein Rieske-Modell ein gekoppelter Protonen-/Elektronen-Transfer (PCET) zu beobachten, wie er auch bei Rieske-Proteinen stattfindet.

Pharmazeutische Anwendungen

◆ Ein weiterhin blühendes bioanorganisches Forschungsfeld sind neue Ansätze, wie sich anorganische Verbindungen in der Medizin einsetzen lassen. Die weitaus meisten Publikationen in diesem Gebiet beschäftigen sich mit Metallen. Wir möchten hier allerdings zuerst auf Arbeiten hinweisen, bei denen auch p-Block-Elemente Hauptrollen spielen.

Die zweiatomige Verbindung Stickstoffmonoxid (NO) ist ein zellulärer Botenstoff und gilt seit einiger Zeit auch als potenzielles Pharmakon. Dabei ist die Biosynthese dieser sehr reaktiven Verbindung in vivo nicht wirklich geklärt. In Erlangen entdeckte die Arbeitsgruppe um Ivanovic-Burmazovic und Filipovic nun einen neuen möglichen Pfad zum Reaktionsprodukt NO.¹⁴⁾ Dabei inkubierte das Team Zellkulturen menschlicher Endothelzellen in Medien, die Nitrit und/oder Schwefelwasserstoff enthielten. Es bildete sich nur dann außergewöhnlich schnell NO, wenn den Zellen NO_2^- und H_2S gleichzeitig zur Ver-

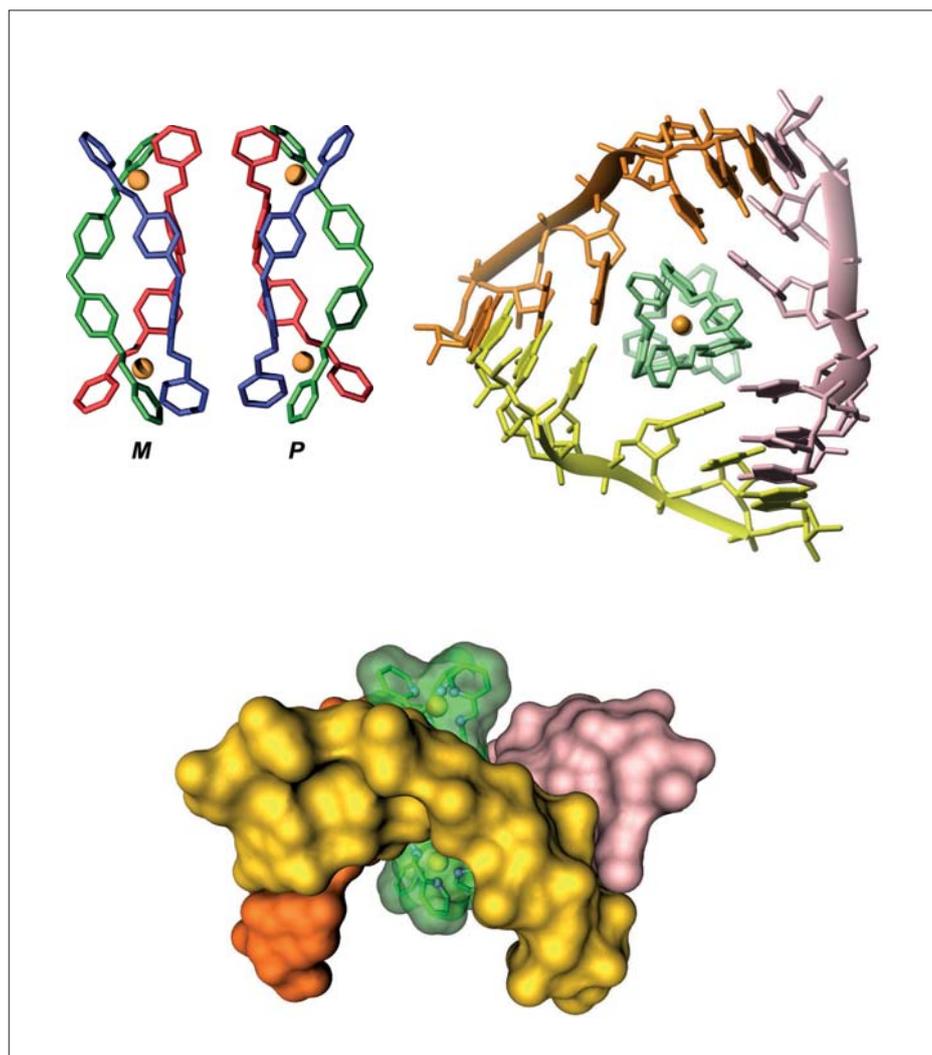


Abb. 5. Supramolekularer Fe_2 -Komplex und dessen Bindung an drei RNA-Stränge in der Auf- und Seitenansicht.¹⁷⁾

fügung standen. Als Ort der Nitritreduktion zu NO werden schon länger Häm-Proteine diskutiert. Die neuen Ergebnisse deuten jetzt darauf hin, dass dieser Prozess am Häm-Eisen in Anwesenheit von Schwefelwasserstoff besonders effizient ist. Dies könnte neben CO und NO nun auch eine medizinische Nutzung des „Gifts“ H_2S eröffnen.

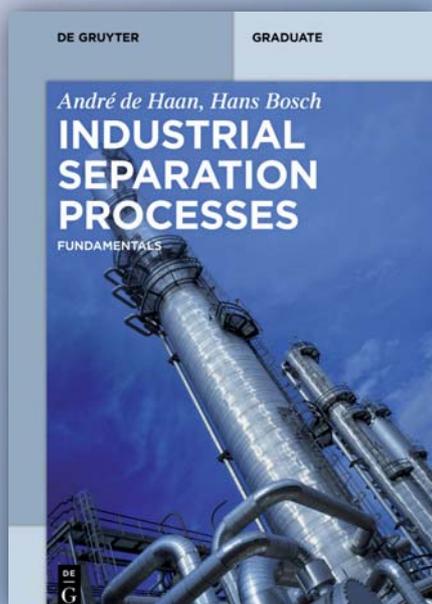
Metallionen des f-Blocks haben eine lange Geschichte als MRT-Kontrastmittel. Seitz (Bochum) und Mitarbeiter stellten im letzten Jahr ein neues Diagnosekonzept vor, indem sie Terbium und Dysprosium an fluorsubstituierte Bipyridinliganden koordinierten (Abbildung 4).¹⁵⁾ Eine solche Kombination eröffnet die Möglichkeit, die Verbindung diagnostisch gleich zweifach einzusetzen: Zum einen ließe sich das ^{19}F -NMR-Signal, das

GDCh-Kurs
Hochauflösende
Festkörper-NMR-Spektroskopie
Grundlagen und Praxis (359/14)
25. Juni 2014, Darmstadt
Leitung: Prof. Dr. Gerd Buntkowsky

Highlights:

- Unterschied Festkörper-/Flüssigkeit vom Standpunkt der NMR
- Chemische Verschiebungsanisotropie, dipolare und quadrupolare Wechselwirkung
- Grundlagen und Praxis des MAS und CP-MAS Experiments
- ^{13}C -CP-MAS zur Unterscheidung von Polymorphen
- ^{27}Al -MAS-NMR am Beispiel eines Aluminosilikats

Anmeldung/Information:
 Tel.: 069/7917-364
 E-Mail: fb@gdch.de
 www.gdch.de/fortbildung

**De Gruyter Textbook**

2013. 384 pp. 222 fig.

Pb.

RRP € 59.95 / US\$ 84.00

ISBN 978-3-11-030669-9

eBook

RRP € 600.00 / US\$ 840.00

ISBN 978-3-11-030672-9

Separation processes on an industrial scale comprise well over half of the capital and operating costs. They are basic knowledge in every chemical engineering and process engineering study. This book provides comprehensive and fundamental knowledge of university teaching in this discipline, exercises and solutions.

- ▶ Authoritative introduction to industrial separation technology
- ▶ Contains exercises at the end of each subject and solutions

durch die Wechselwirkung mit Tb und Dy noch verschoben wird, in der MRT nutzen; außerdem beobachteten die Autoren die für Lanthanoidkomplexe typischen intensiven Lumineszenzen im sichtbaren Bereich, welche eine optische Detektion möglich machen.

Die letzte vorgestellte Arbeit stammt aus Zürich, dem Veranstaltungsort der europäischen Bioanorganik-Konferenz EuroBIC 12 im kommenden August.¹⁶⁾ Untersuchungen zu Wechselwirkungen von Metallkomplexen mit den Biopolymeren DNA und RNA sind Klassiker der Bioanorganik. In einem weit über herkömmliche Studien hinausgehenden Ansatz setzten die Anorganiker der Universität Zürich mit ihren Kooperationspartnern im englischen Birmingham eine helikale, supramolekulare Eisenverbindung ein und studierten deren Wechselwirkung mit RNA und DNA.¹⁷⁾ Als Resultat fanden sie die Selbstorganisation von drei RNA- und DNA-Stücken um den Eisenstrang zu einem Superkomplex – ästhetisch ansprechend und erstaunlich stabil in Lösung (Abbildung 5, S.247). Da es sich beim Eisenkomplex um eine bereits als zellgiftig bekannte Substanz handelt, eröffnet die Studie eine neue Basis, ihren Wirkmechanismus aufzuklären.

Literatur

- 1) B. Krebs, J. Reedijk, Z. Anorg. Allg. Chem. 2013, 639, 1293–1684.
- 2) www.icbic16.com
- 3) www.gdch.de/veranstaltungen/tagungen/tagungen-2013/wissenschaftsforum-chemie-2013.html
- 4) H. Tamura, M. Salomone-Stagni, T. Fujishiro, E. Warkentin, W. Meyer-Klaucke, U. Ermler, S. Shima, Angew. Chem. 2013, 125, 9838–9841.
- 5) G. Berggren, A. Adamska, C. Lambert, T. R. Simmons, J. Esselborn, M. Atta, S. Gambarelli, J.-M. Mouesca, E. Reijerse, W. Lubitz, T. Happe, V. Artero, M. Fontecave, Nature 2013, 499, 66–69.
- 6) M. Kampa, M.-E. Pandelia, W. Lubitz, M. van Gastel, F. Neese, J. Am. Chem. Soc. 2013, 135, 3915–3925.
- 7) E. Siebert, M. Horch, Y. Rippers, J. Fritsch, S. Frielingsdorf, O. Lenz, F. Velazquez Escobar, F. Siebert, L. Paasche, U. Kuhlmann, F. Lenzian, M.-A. Mroginski, I. Zebger, P. Hildebrandt, Angew. Chem. 2013, 125, 5267–5270.

- 8) A. Hoffmann, C. Citek, S. Binder, A. Goos, M. Rübhausen, O. Troepner, I. Ivanovic-Burmazovic, E. C. Wasinger, Stack, T. Daniel P., S. Herres-Pawlis, Angew. Chem. 2013, 125, 5508–5512.
- 9) J. Seidel, G. Schmitt, M. Hoffmann, D. Jendrossek, O. Einsle, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2013, 110, 13833–13838.
- 10) S. Kundu, F. F. Pfaff, E. Miceli, I. Zaharieva, C. Herwig, S. Yao, E. R. Farquhar, U. Kuhlmann, E. Bill, P. Hildebrandt, H. Dau, M. Driess, C. Limberg, K. Ray, Angew. Chem. 2013, 125, 5732–5736.
- 11) K. M. Lancaster, Y. Hu, U. Bergmann, M. W. Ribbe, S. DeBeer, J. Am. Chem. Soc. 2013, 135, 610–612.
- 12) H. Broda, S. Hinrichsen, J. Krahmer, C. Näther, F. Tuczek, Dalton Trans. 2014, 43, 2007–2012.
- 13) A. Albers, T. Bayer, S. Demeshko, S. Dechert, F. Meyer, Chem. Eur. J. 2013, 19, 10101–10106.
- 14) J. L. Miljkovic, I. Kenkel, I. Ivanovic-Burmazovic, M. R. Filipovic, Angew. Chem. 2013, 125, 12283–12286.
- 15) T. Güden-Silber, K. Klein, M. Seitz, Dalton Trans. 2013, 42, 13882–13888.
- 16) www.bioinorganic-chemistry.org/eurobic12
- 17) S. Phongtongpasuk, S. Paulus, J. Schnabl, R. K. O. Sigel, B. Spingler, M. J. Hannon, E. Freisinger, Angew. Chem. 2013, 125, 11727–11730.

Kallol Ray, Jahrgang 1978, studierte an der Universität Kalkutta und am Indian Institute of Technology und promovierte 2005 bei Karl Wieghardt in Bochum/Mülheim. Nach Postdoktoraten am MPI Mülheim (2005–2006) und bei Lawrence Que, Jr. an der University of Minnesota, USA, (2006–2008) ging er als Gruppenleiter innerhalb des Exzellenzclusters Unicat an die Humboldt-Universität zu Berlin. Zu seinen Forschungsthemen zählen bioinspirierte Katalyse, Organometallchemie sowie hochvalente Metall-oxido- und -imidokomplexe. Für seine Arbeiten erhielt Kallol Ray 2012 den Ernst-Haage-Preis und 2013 den Wöhler EurJIC Young Investigator Prize. kallol.ray@chemie.hu-berlin.de



Philipp Kurz, Jahrgang 1976, studierte in Leipzig und Zürich Chemie. Seine Promotion fertigte er an der Universität Zürich bei Roger Alberto an. Nach einer Zeit als Postdoktorand in der Gruppe von Stenbjörn Styring in Uppsala, Schweden, leitete er als Liebig-Stipendiat des FCI eine Nachwuchsgruppe in Kiel. Seit dem Jahr 2012 ist er Professor am Institut für Anorganische und Analytische Chemie der Universität Freiburg. Seine Forschung beschäftigt sich mit künstlichen Systemen für die Umwandlung von Sonnenenergie nach dem Vorbild der biologischen Photosynthese. philipp.kurz@ac.uni-freiburg.de

