



Metal-Organic Frameworks

Metall-organische Gerüststrukturen (metal-organic frameworks, MOFs), oft auch poröse Koordinationspolymere genannt, bilden eine große, ständig wachsende Gruppe von mikro- und mesoporösen Materialien. In diesen Substanzen sind anorganische Bauteile wie Metallionen mit organischen Bindegliedern (Linkern) zu dreidimensionalen Gerüsten mit kovalenten Bindungen verknüpft. Zurzeit gibt es drei Hauptgruppen von kristallinen nanoporösen Materialien: Zeolithe, mesoporöse Molekularsiebe und MOFs. Aus der Sicht des Chemikers sind die MOFs aufgrund ihrer vielfältigen Strukturen und ihrer diversen Eigenschaften, die auf dem modularen Aufbau durch verschiedene anorganische und organische Elemente und potenziellen Modifikationen der Ausgangsverbindungen und Produkte basieren, besonders interessant. MOFs überbrücken die Lücke zwischen organischen und anorganischen Materialien. Diese faszinierenden porösen Hybridverbindungen haben oft Eigenschaften, die sie für die Adsorption, Trennung, langsame Wirkstoff-Freisetzung, biomedizinische Anwendungen, die Verwendung als Sensoren und in der Katalyse usw. prädestinieren. Doch um mit den anderen nanoporösen Materialien, die in der Industrie verwendet werden, konkurrieren zu können, müssen ihre Eigenschaften, z.B. die thermische und mechanische Stabilität, weiter optimiert werden.

Farrusseng stellt in diesem Buch den aktuellen Stand der Forschungen über MOFs hinsichtlich Synthesen, Strukturen, Eigenschaften und potenziellen Anwendungen dar. Es ist ihm gelungen, informative Beiträge zahlreicher ausgezeichneten Experten von Hochschulen und aus der Industrie über nahezu alle wichtigen Bereiche der MOF-Forschung zusammenzustellen.

Der erste Beitrag ist eine kurze Einführung in die Chemie poröser Materialien, die chemischen und strukturellen Eigenschaften der MOFs und die Herstellung multifunktionaler Gerüste. Im folgenden Beitrag erhält der Leser einen Überblick über die Funktionalisierung von MOFs nach ihrer Synthese. Diese Modifizierungen beruhen beispielsweise auf der Koordination verschiedener funktioneller Gruppen an ungesättigte anorganische Zentren oder organische Linker. In erster Linie werden Reaktionen von MOFs mit Iminen und Amidin, Klick-Reaktionen und die Einführung metallorganischer Komplexe beschrieben.

In den folgenden Kapiteln steht die Verwendung von MOFs als Sorbens im Mittelpunkt. Die

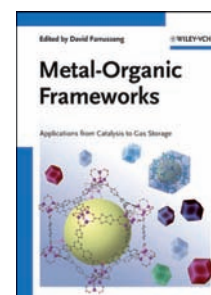
Gasttrennung, Gasreinigung, CO₂-Abtrennung und Wasserstoffspeicherung werden als Anwendungen erörtert. In Laborversuchen zeigen MOFs interessante Adsorptionseigenschaften, aber für die allgemeine (industrielle) Anwendung zählen weitere Faktoren wie Produktionskosten, Umweltverhalten, Langzeitstabilität, Formgebung, Formulierung oder Recycling. Die Trennung von Xylol-Isomeren ist z.B. eine interessante Anwendung, die einen Vergleich zwischen MOFs und Zeolithen zulässt. Mehrere MOF-Materialien zeigen ein größeres Adsorptionsvermögen und eine geringere Adsorptionseenthalpie als Zeolithe, aber ihre geringere thermische und mechanische Stabilität sowie ökonomische Faktoren könnten einer Verwendung im großen Maßstab entgegenstehen.

In den letzten Jahren wurden die katalytischen Eigenschaften von MOFs in Hunderten von organischen Reaktionen untersucht. Dass in dem Buch nur ein Kapitel diesem Thema gewidmet ist, kann als Unterschätzung des katalytischen Potenzials von MOFs gewertet werden. Dennoch werden in dem Kapitel vielfältige Reaktionen vorgestellt. Zunächst werden ungesättigte Metall-organische Verbindungen und ihre katalytischen Eigenschaften beschrieben. Außerdem wird auf die katalytische Aktivität von einigen organischen funktionellen Gruppen wie Amino- und Amidgruppen eingegangen. Auch der Effekt intrinsischer Chiralität und chiraler funktioneller Gruppen wird erörtert. Desweiteren wird berichtet, dass MOFs in ihren Poren Katalysatoren wie Polyoxometallate, Metalloporphyrine oder Metallnanopartikel aufnehmen können. Diese Trägerkatalysatoren können in Säurekatalysen, Oxidationen, Hydrierungen und C-C-Kupplungen verwendet werden.

Die beiden Kapitel über biomedizinische Anwendungen und die Bildgebung von MOFs sind meines Erachtens die interessantesten, denn diese Bereiche bieten die besten Möglichkeiten für realistische Anwendungen der MOFs. In den anderen Bereichen wie Adsorption, Trennung und Katalyse sind zu viele etablierte und überlegene Alternativen wie Zeolithe, Aktivkohle usw. vorhanden. Die langsame Wirkstoff-Freisetzung, d.h. die präzise Dosierung von Pharmaka oder die kontrollierte Freisetzung von NO aus NO-beladenen MOFs, um die Plättchenaggregation im Blut zu hemmen, wird detailliert beschrieben. In diesem Zusammenhang wird auch die in vorklinischen Studien beobachtete Toxizität einiger Eisencarboxylate erwähnt.

Anwendungen von MOFs als Sensoren stehen in zwei Kapiteln im Mittelpunkt. Dazu werden MOFs als dünne Filme auf verschiedenen Trägern abgeschieden und für die Detektion von Ionen, kleinen Molekülen, Sauerstoff oder sogar Explosivstoffen verwendet.

Die letzten zwei Kapitel sind der industriellen Produktion von MOFs gewidmet. Anders als bei



Metal-Organic Frameworks
Applications from Catalysis to Gas Storage. Herausgegeben von David Farrusseng. Wiley-VCH, Weinheim, 2011. 392 S., geb., 119,00 €, ISBN 978-3527328703

der Herstellung im Labor stehen hier natürlich wirtschaftliche Faktoren im Vordergrund. Aus praktischer Sicht ist die der Synthese folgende Formgebung der entscheidende Prozess für spätere Anwendungen.

Diese Beitragssammlung soll nach Angaben des Herausgebers im Vorwort die Eigenschaften von MOFs unter der Berücksichtigung von Herstellungsmethoden und potenziellen Anwendungen kritisch beurteilen. Dieses Ziel wird voll und ganz erreicht. Es ist allerdings zu bedauern, dass kein separates Kapitel über die Strukturen von MOFs vorhanden ist, denn die faszinierendsten Eigenschaften der MOFs beruhen doch auf der Kombination ihrer strukturellen und chemischen Merkmale. Die dreidimensionalen Netzstrukturen der wichtigsten MOFs hätten meines Erachtens in einer Tabelle kurz beschrieben werden sollen. Es wäre für den Leser ebenfalls nützlich gewesen,

wenn man in den Diskussionen über katalytische und Adsorptionseigenschaften die Verwendbarkeit geeigneter MOFs tabellarisch zusammengefasst hätte.

Das Buch ist eine wertvolle Ergänzung der Bibliographie über MOFs. Sowohl erfahrene Forscher als auch Neulinge werden aus dieser ausgewogenen Sammlung von Beiträgen über Chemie und Anwendungen der MOFs ihren Nutzen ziehen. Studierende werden dieses Buch in den Anfängen ihres Studiums über nanoporöse Materialien im Allgemeinen und Metall-organische Gerüststrukturen im Besonderen sehr zu schätzen wissen.

Jiří Čejka

J.-Heyrovský-Institut für Physikalische Chemie
Prag (Tschechische Republik)

DOI: 10.1002/ange.201200812