Zu den Chancen von ressourcenschonenden Produktionsverfahren

Nachhaltige Chemieindustrie?

Die chemische Industrie steht im Ruf für gravierende Belastungen der Umwelt verantwortlich zu sein. Aber welchen Beitrag kann die Chemieindustrie ihrerseits zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten? Ressourcenschonende Syntheseverfahren sind ein Beispiel für die Grundlagen einer umweltschonenden Technikentwicklung.
Von Christian M. Kleiner und Peter R. Schreiner

Der G8-Gipfel in Heiligendamm liegt erst kurze Zeit zurück und hat aus deutscher Sicht im Hinblick auf den Klimaschutz keine durchschlagenden Ergebnisse erbracht. Dies mag zum einen an den bereits hohen Standards in Deutschland liegen, zum anderen aber auch an der Haltung einiger Teilnehmer, die eine Festschreibung von Kohlendioxid-Emissionen kategorisch ablehnen.

Die Entwicklung neuer Technologien steht auf der Tagesordnung der deutschen Industrie, um im internationalen Vergleich wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Chemie spielt hierbei eine besondere Rolle, da sie die Grundlagen für neue Entwicklungen in nachgelagerten Branchen liefert. Die Produktionsverfahren in der chemischen Industrie gelten immer noch als eine der größten Negativposten in der Umweltbilanz der Unternehmen. Dies ist vor allem auf den niedrigen Wirkungsgrad der Anlagen in Bezug auf deren Energieeffizienz und auf den Einsatz toxischer, pyrophorer oder mutagener Substanzen zurückzuführen. Um das Feld ein wenig einzugrenzen, ist es sinnvoll, die Produktion von großtechnischen Stoffen, sogenannte Bulkprodukte, und die von Feinchemikalien im Gramm- beziehungsweise Milligrammmaßstab, die Herstellung von Wirk- und Arzneistoffen in der Pharmaindustrie sowie den Einsatz von Chemikalien, zum Beispiel in der Lebensmittelindustrie oder der Farb- und Lackindustrie, zu unterscheiden.

Belastungen durch chemische Verfahren

Viele der großtechnischen Produkte, wie beispielsweise die Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren lassen in ihrer Effizienz sehr zu wünschen übrig. So sind für die Darstellung Temperaturen von 450 Grad Celsius bei einem Druck von 300 Atmosphären notwendig; wenig überraschend ist deshalb die Tatsache, dass etwa 3 Prozent des Weltenergieverbrauchs für die Ammoniaksynthese aufgewendet wird. Die Katalyse, egal welcher Art, ist ein nicht zu ersetzendes Werkzeug, da die Energiekosten, die Produktverteilung und die Reaktionsgeschwindigkeit gesteuert werden können. Weltweit werden durch Katalyse jährlich Produkte im Wert von 1,2 bis 6,0 Milliarden US-Dollar hergestellt (Noyori 2007). Die bei diesen Reaktionen eingesetzten Katalysatoren enthalten häufig Schwer- und Übergangsmetalle. Hierbei seien vor allen Blei, Quecksilber, Palladium, Platin oder Ruthenium genannt. Die Eigenschaften dieser Substanzen reichen von akuter Toxizität, Mutagenität bis hin zu einer hohen Intoleranz gegenüber Luftsauerstoff und Luftfeuchtigkeit. Ein weiteres Problem stellt die Abtrennung der Katalysatoren nach beendeter Synthese dar. Die Politik hat mit Recht sehr hohe Anforderungen an die Reinheit der in Umlauf befindlichen Pharmazeutika gestellt. So ist die Charge eines Medikaments nicht verkehrsfähig, wenn sich der Anteil des Metalls oberhalb der ppb-Schwelle (1 Katalysatormolekül pro 1 Milliarde Produktmoleküle) befindet. Dies bedeutet für das Unternehmen einen Totalverlust in Bezug auf die eingesetzten Substanzen, die Betriebskosten der Anlage sowie der aufgewendeten Arbeitszeit.

Auch die Wahl der für die Synthese geeigneten Lösungsmittel stellt die Chemiker häufig vor Probleme. Die eingesetzten Substanzen sollen in dem Lösungsmittel beliebig löslich sein, das Produkt soll in hohen Ausbeuten und in hoher Reinheit dargestellt werden können. Die Reinheit bezieht sich hierbei nicht nur auf Verunreinigungen durch die Ausgangssubstanzen oder Katalysatorreste, sondern insbesondere und vor allem auf die Selektivität der Reaktion. Wenn sich bei einer chemischen Reaktion mehrere Produkte bilden, so ist die Wahl des Lösungsmittels mitunter von entscheidender Bedeutung. Bei vielen anorganischen Reaktionen stellt Wasser das Lösungsmittel der Wahl dar. So werden zum Beispiel bei Bayer durch Elektrolyse täglich 1200 Tonnen gesättigte Natriumchloridlösung in 800 Tonnen elementares Chlor umgewandelt, welches quantitativ im Chemiepark Leverkusen umgesetzt wird. Hierbei wird das Wasser in einem Kreislaufprozess eingesetzt.

Für organische Reaktionen ist Wasser allerdings bisher nicht das Lösungsmittel, welches in industriellen Prozessen zur Anwendung kommt, da es die Eigenschaft hat, viele organische Verbindungen nicht oder nur unzureichend zu lösen. Weiterhin ist die bereits erwähnte Wasserunverträglichkeit vieler Substanzen ein limitierender Faktor. Auch eine Umstellung des Herstellungsverfahrens von einem organischen Lösemittel auf Wasser, zum Beispiel bei der Wirkstoffproduktion, ist nicht per se wünschenswert, da ein neues Herstellungsverfahren immer auch mit einer Neuzulassung verbunden ist. Die damit verbun-

denen Kosten können eine Amortisierung verhindern. Auch können die Abwasserreinigung und die Wiedergewinnung des Katalysators sehr aufwendig und damit kostenintensiv sein.

Maßnahmen der Chemieindustrie

Besonders wichtig sind in der chemischen Produktion auch Reaktionen unter Verzicht auf Lösemittel. So wird von BAYER in Antwerpen nach einem neuen Verfahren Polycarbonat durch Umesterung in einer Schmelze aus Diphenylcarbonat und Bisphenol A hergestellt. Das dabei anfallende Phenol wird in einem Kreisprozess wieder in Diphenylcarbonat umgewandelt.

Auch Henkel legt gesteigerten Wert auf eine ressourcenschonende Produktion. Anfang 2006 wurde im Werk Cerano, Italien, welches ausschließlich Kleb- und Dichtstoffe an weitere Standorte zur Weiterverarbeitung liefert, ein Reinigungsprozess optimiert. Bei der Herstellung von Silikon-Produkten ist Hygiene ein kritischer Faktor. Häufig verbleibt nach der Entleerung ein dünner Film aus Silikonresten an den Wänden des Mischkessels. Um Verunreinigungen bei der nächsten Produktcharge zu vermeiden, wurden diese Kessel bisher aufwendig mit Bürsten und Lösemitteln gesäubert. Nun wurde dieser Reinigungsprozess automatisiert. Die Mischkessel werden jetzt nicht mehr mit Lösemitteln, sondern unter Hochdruck mit Wasser in weniger als 25 Minuten gereinigt. Wasser und Silikonreste werden kontinuierlich in einem geschlossenen Kreislauf vom Boden des Kessels abgezogen und über einen Filter einem Tank zugeführt. Das gefilterte Abwasser kann mehrfach wiederverwendet und dann entsorgt werden. Auf diese Weise werden alle Rückstände lösemittelfrei entfernt, der Reinigungsprozess beschleunigt, die Umwelt entlastet sowie ein hoher Sicherheits- und Gesundheitsstandard gewährleistet.

Am Standort Karaikal, Indien, werden von Henkel Geschirrspülmittel, Glasreiniger und Waschmittel produziert. Die Herstellungsverfahren und Rezepturen benötigen viel Wasser. Um die Abwassermenge zu reduzieren, werden die im Abwasser verbleibenden Feststoffe aus der Produktion abgetrennt und mit einem neuen Filtersystem entwässert. Das so gewonnene Prozesswasser kann anschließend wieder in der Produktion eingesetzt werden.

Nachhaltigkeitsbewertung von chemischen Verfahren

Sollten die vorher erwähnten Aspekte der Syntheseplanung von den Chemikern gelöst worden sein, so stellt sich als nächstes die Frage der Isolation des Produkts. Im Idealfall ist das Produkt in dem betreffenden Lösemittel schwer löslich und kann somit durch Filtration abgetrennt werden. Dies ist aber nur in den seltensten Fällen gegeben. Meist muss das Produkt durch Extraktion oder Destillation aus der wässrigen Reaktionslösung herausgelöst werden. Dies hat eine Kontamination des Wassers zur Folge, was im Anschluss zu einer aufwendigen Entsorgung der wässrigen Abfälle führt und für die Unternehmen mit hohen Kosten verbunden ist. Weiterhin befinden sich neben dem Produkt auch Verunreinigungen in der extrahierten Lösung, die durch weitere Reinigungsschritte entfernt werden müssen. Jeder dieser zusätzlichen Schritte ist mit Kosten verbunden, welche das Produkt für den Endverbraucher teurer werden lassen. Wasser aus chemischen Reaktionen, aus zweiphasigen Verfahren, wie zum Beispiel der Polycarbonat-Synthese, oder sonstiger Aufarbeitung wird stets über Kläranlagen gereinigt. Reste von Lösemitteln können verbrannt werden und liefern damit Energie, die zur Wasserdampfgewinnung eingesetzt werden kann. Grundsätzlich werden in der chemischen Produktion die Verfahren so gewählt, dass die Gesamtkosten einschließlich Recycling und Entsorgung minimal sind.

Die Umweltwirkung eines gegebenen Verfahrens wird anhand von sechs Kategorien beschrieben:

- Verbrauch von Rohstoffen
- Verbrauch von Energie
- Flächenbedarf
- Emissionen in Luft und Wasser sowie bei der Entsorgung
- Toxizitätspotenzial
- Risikopotenzial

R. A. Sheldon von der Delft University of Technology in Delft/Niederlande hat Anfang der 1990er Jahre den inzwischen nach ihm benannten E-Faktor eingeführt. Dieser E-Faktor beschreibt das Verhältnis von generiertem Abfall pro Kilogramm Produkt und steigt dramatisch von der Bulkproduktion über Feinchemikalien bis hin zu pharmazeutischen Produkten. Dieser Anstieg ist darauf zurückzuführen, dass in der Feinchemiekalienproduktion häufig mehrstufige Synthesen vonnöten sind und verleiht auch der Tatsache Ausdruck, dass es sich um stöchiometrische und nicht um katalytische Prozesse handelt (Sheldon 2000).

Tabelle 1: Der Sheldon E-Faktor

Industriesegment	Produktmenge (Tonnen/Jahr)	Kilogramm Abfall/ Kilogramm Produkt
Petrochemie	$10^6 - 10^8$	< 0.1
Bulkchemiekalien	$10^4 - 10^6$	< 1.5
Feinchemikalien	$10^2 - 10^4$	5 bis >10
Pharmazeutische Produkte	$10 - 10^3$	25 bis >100

Quelle: Sheldon 2000

Die Global Player der chemischen und pharmazeutischen Industrie stehen, bedingt durch die mit der Produktion verbundenen Risiken und Umweltbelastungen, seit Langem im Focus der Öffentlichkeit. Sie orientieren sich seit Mitte der 1990er an einer nachhaltigen Produktion und die Unternehmen werden sich zunehmend ihrer ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Verantwortung bewusst. So hat beispielsweise BASF die Einführung eines Eco-Labels vorangetrieben und führt seit 1996 für eine Reihe von Produkten eine Ökoeffizienz-Analyse durch. Anhand dieser Analyse wird entschieden, in welche Produkte und Verfahren in der Zukunft investiert wird. ➔

„Die Entwicklung neuer, effizienter und ressourcenschonender Synthesestrategien ist von wesentlicher Bedeutung für die gesamte volkswirtschaftliche Prosperität“

Das Eco-Label stellt eine Kosten-Nutzen Rechnung für das jeweilige Produkt auf. Diese Rechnung betrachtet den Nachhaltigkeitsaspekt des angewendeten Produktionsverfahrens im Hinblick auf die erwähnten sechs Kategorien. So besitzt BASF ein Umweltmanagement-System, das durch fast 2000 Mitarbeiter geführt wird. Die Mitarbeiter in den Betrieben haben dafür gesorgt, dass mithilfe der „End-of-Pipe-Technologie“ und produktionsintegrierter Maßnahmen die Auswirkungen auf die Umwelt seit Anfang der 70er Jahre bis heute drastisch reduziert wurden. So sind die produktspezifischen Emissionen in Wasser, Luft und Boden von 71,5 Kilogramm im Jahr 1970 auf 6,2 Kilogramm im Jahr 1999 pro Tonne Verkaufsprodukt gesunken. Als Folge der Ökoeffizienz-Analyse wurde 2005 der BASF Tochter BASF Coatings von der amerikanischen Umweltbehörde, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), der international renommierte Presidential Green Chemistry Challenge Award für einen neuartigen UV-härtenden Lack, der bei der Reparatur von Kraftfahrzeugen eingesetzt wird, verliehen.

Im Jahr 2000 hat Bayer den „Bayer-Öko-Check“ entwickelt, um die Umweltbelastungen auf allen Stufen des Produktlebenswegs abzuschätzen und damit bereits bei der Entwicklung neuer Präparate und Materialien den richtigen Weg einzuschlagen. Insgesamt kann die Ökoeffizienz-Analyse Antworten auf viele umweltpolitische Fragen geben, wie zum Beispiel ob ein definierter Umweltvorteil die dadurch entstehenden Mehrkosten rechtfertigt.

Organokatalyse als ressourcenschonende Alternative

Seit Ende der 1990er ist ein altes Gebiet der Synthesechemie wieder in den Focus der synthetisch arbeitenden Chemiker gerückt, welches einige der aufgezählten Probleme mit vielversprechenden Ansätzen zu lösen vermag – die Organokatalyse. Hierbei handelt es sich um den Ersatz von metallhaltigen Katalysatoren durch kleine organische Moleküle, wie sie zum Teil auch in der Natur vorkommen. Neben Aminosäuren und Alkaloiden kommt hier eine Vielzahl von Strukturen in Frage. Seit Langem bemühen sich Chemiker, die Effizienz und Selektivität von Enzymen mit synthetischen Katalysatoren nachzuahmen. Die schon lange in der Biokatalyse eingesetzten Enzyme haben den unschlagbaren Vorteil, dass sie meist in Wasser, ohne Hitze oder erhöhten Druck Reaktionen katalysieren können. Dies macht solche Reaktionen besonders ressourcenschonend.

Auch im Hinblick auf ihre Selektivität sind Enzyme derzeit einzigartig. Sie entfalten ihre Wirkung an genau definierten Stellen im Molekül, wo sie Bindungen brechen oder knüpfen. Nur etwa die Hälfte der bekannten natürlichen Katalysatoren enthält ein Metall im katalytisch aktiven Zentrum, was darauf hindeutet, dass mannigfaltige Reaktionen auch ohne Verwendung von Metallen realisiert werden können. Die Ansätze der Organokatalyse richten sich hierbei an dem Vorbild der Natur aus und das Katalysatordesign ist häufig an die Struktur von Enzymen angelehnt. Es wird nicht das gesamte Enzym als Modell gewählt, sondern nur die für die katalytische Reaktion entscheidende Stelle, der sogenannten active site. Damit ist Organokatalyse von katalytischen Ansätzen mit Biopolymeren wie Enzymen, Antikörpern, Ribozymen und Aptameren klar abzugrenzen. Vor allem auch deshalb, weil die gängigen Organokatalysatoren deutlich kleiner und wesentlicher einfacher aufgebaut sind.

Die Anfänge der Organokatalyse liegen im 19. Jahrhundert. Bereits der Chemiker Justus von Liebig konnte zeigen, dass Reaktionen durch organische Säuren oder Basen und deren Salze beschleunigt werden. Der deutsche Chemiker W. Langenbeck beschäftigte sich mit dem Einsatz einfacher Aminosäuren und kurzer Peptide als Katalysatoren und prägte schließlich den Begriff der „Organischen Katalyse“ (Langenbeck 1935). Die erste industriell bedeutsame Reaktion wurde Anfang der 1970er Jahre entwickelt (Eder et al. 1971). Diese, heute als Hajos-Parrish-Eder-Sauer-Wiechert-Reaktion bekannte asymmetrische, intramolekulare Robinson-Annelierung von Triketonen ist ein Schlüsselschritt bei der Steroidsynthese. Hierbei handelt es sich um den durch die Aminosäure Prolin katalysierten Aufbau von Stereoidgerüsten zum Beispiel bei der Herstellung von Antikontrazeptiva. Diese sogenannte Enamin- beziehungsweise Iminiumchemie ist heute ein essenzieller Bestandteil der Organokatalyse und eines der am besten verstandenen Konzepte (List 2004; Walji/MacMillan 2007). Leider ist diese Art der Katalyse noch auf eine vergleichsweise moderate Substanzbreite beschränkt und somit in ihrer Anwendbarkeit industriell noch nicht voll ausschöpfbar. In den späten 1990er Jahren wurde die Hajos-Parrish-Eder-Sauer-Wiechert-Reaktion von B. List und Kollegen am Scripps Institut, La Jolla, Kalifornien erneut untersucht. Die Ergebnisse dieser Arbeiten konnten so der Organokatalyse mit einer Reihe von Reaktionen wie zum Beispiel der Mannich-Reaktion, der Michael-Reaktion oder der Diels-Alder-Reaktion neuen Auftrieb verleihen.

Komplementär zu dieser kovalenten Katalyse, bei der starke Bindungen von Substrat und Katalysator gebildet werden, ist die nicht-kovalente Organokatalyse zu sehen. Hierbei nutzt man schwache Wechselwirkungen aus, wie sie zum Beispiel in Wasserstoffbrückenbindungen eine Rolle spielen. Wasserstoffbrücken bestimmen ganz entscheidend die Struktur der uns umgebenden Materie. So werden beispielsweise die Eigenschaften von Wasser, die Struktur der DNA-Basenpaare oder die Faltung von Proteinen maßgeblich durch Wasserstoffbrücken bestimmt. Neben diesen strukturellen Eigenschaften haben Wasserstoffbrücken aber auch entscheidenden Einfluss auf katalytische Prozesse (Hajos/Parrish 1974). Die Forschung auf diesem Gebiet wurde von unserer Arbeitsgruppe im Jahr 1996 begonnen. Es

konnte gezeigt werden, dass Wasserstoffbrückendonoren Diels-Alder Reaktionen in wässrigen Lösungen hervorragend katalysieren können (Wittkopp/Schreiner 2000). Inzwischen sind wir in der Lage, eine Reihe weiterer synthetisch wertvoller Reaktionen mit diesen kleinen, organischen Molekülen zu beschleunigen oder überhaupt erst möglich zu machen (Taylor/Jacobsen 2006). Hierzu zählen zum Beispiel die Schützung von Carbonylgruppen als Acetale, Epoxidöffnungen mit Aminen in Wasser, die Transferhydrierung sowie die Schützung von Alkoholen als THP-Ether (Kotke/Schreiner 2006 und 2007; Kleiner/Schreiner 2006; Zhang/Schreiner 2007). Dieses katalytische Konzept wird nunmehr weltweit untersucht und zur Beschleunigung einer Vielzahl von Reaktionen angewandt. Mittlerweile werden auch organische Säuren als Organokatalysatoren verwendet. So werden zum Beispiel in der Arbeitsgruppe von M. Rueping an der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt/Main, axial chirale Phosphorsäuren in verschiedenen enantio- und stereoselektiven Reaktionen äußerst erfolgreich eingesetzt (Rueping/Antonchick 2007; Rueping et al. 2007).

Aktuelle Forschungstendenzen

In der aktuellen Forschung gibt es bereits eine Vielzahl von Reaktionen, in denen metallbasierte Katalysatoren durch Organokatalysatoren ersetzt werden konnten. Ein Nachteil dieses Konzepts liegt im Moment noch in der Substratbreite. Die Vorteile überwiegen aber bei Weitem, da viele dieser neuen organischen Moleküle langzeitstabil sind und eine hohe Toleranz gegenüber Wasser und funktionellen Gruppen aufweisen. Des Weiteren sind die Vorteile der Organokatalyse in ihrer einfachen Durchführung zu sehen, da sauerstoff- und wasserfreie Bedingungen nicht erforderlich sind. Mehrkomponenten- beziehungsweise Tandemreaktionen wurden ebenfalls schon realisiert. Viele Organokatalysatoren sind ungiftig und sogar essbar, wie zum Beispiel die Aminosäure Prolin, welche zu 180 Milligram pro Kilogramm in Honig enthalten ist (siehe Tabelle 2).

In der organischen Synthesechemie ist die Skepsis gegenüber Wasser als Reaktionsmedium noch weitverbreitet. Erst in jüngster Zeit steigt die Anzahl der Publikationen in Fachzeitschriften, in denen Wasser eine besondere Rolle zuerkannt wird. Über die Bedeutung von Wasser bei organisch-chemischen Re-

Tabelle 2: Vergleichende Bewertung der vorgestellten Katalysearten

Kriterium	Organo-katalyse	Metall-katalyse	Bio-katalyse
Kosten	+	O	–
Herstellung	+ +	–	O
Durchführung	+ +	+	+
Abfall	O	–	+
Handhabung	+ +	+	+
Wasserverträglichkeit	–	–	+ +
Toxizität	+	– –	+ +
Anwendungsbreite	+	+	–

Legende:
+ +: sehr gut; +: gut; O: durchschnittlich; –: schlecht; – –: sehr schlecht

Quelle: Eigene

Die Märkte der Zukunft sind grün

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.)
2007. IX, 522 Seiten. Gebunden **€ 29,–**
4-farbig im Großformat, Recycling-Papier
ISBN 978-3-8006-3435-4
Deutsche Ausgabe
ISBN 978-3-8006-3436-1
Englische Ausgabe

Der Schutz des Klimas
und die Schonung der natürlichen Ressourcen gehören zu den großen Herausforderungen unserer Zeit.
Sie sind nur mit Hilfe innovativer Umwelttechnologien zu meistern. Schon heute ist die Umwelttechnikbranche in Deutschland ein bedeutender Wirtschaftsfaktor.

»GreenTech made in Germany«, der **Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland**, bietet einen Überblick über das gesamte Spektrum dieser Zukunftsbranche.

Es werden technologische Trends, das wirtschaftliche Potenzial und regionale Schwerpunkte der Umwelttechnologien in **sechs Leitmärkten** dargestellt:
- Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung
- Energieeffizienz
- Rohstoff- und Materialeffizienz
- Kreislaufwirtschaft
- Nachhaltige Wasserwirtschaft
- Nachhaltige Mobilität.

Bitte bestellen Sie bei Ihrem Buchhändler oder beim:
Verlag Vahlen · 80791 München · Fax (089) 3 81 89-402
Internet: www.vahlen.de · E-Mail: bestellung@vahlen.de

VERLAG VAHLEN MÜNCHEN

Preis inkl. MwSt./148689

aktionen existiert eine Vielzahl von theoretischen Erklärungsansätzen (Otto/Engberts 2003; Narayan et al. 2005).

Das Potenzial der Organokatalyse wurde auch von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) schnell erkannt. Die DFG hat ein sehr gut ausgestattetes Schwerpunktprogramm ins Leben gerufen, an dem pro zweijähriger Förderperiode etwa 30 Gruppen beteiligt sind. Ziel dieses Schwerpunktprogramms ist die Entwicklung neuer, selektiver und praktischer organokatalytischer Prozesse und deren mechanistische und theoretische Aufklärung. Außerdem sollen organokatalytische Methoden in der ziel- und diversitätsorientierten Synthese, wie zum Beispiel in der Naturstoffsynthese oder der Medizinalchemie, zur Anwendung kommen (1).

Ausblick

Die dargestellten industriellen Anstrengungen zu einer nachhaltigen und dennoch wertschöpfenden Produktion zeigen auf, dass diese beiden Faktoren nicht gegenteiliger Natur sein müssen. Auch gibt es Schnittstellen zwischen der Industrie und der aktuellen akademischen Forschung auf dem Gebiet der Organokatalyse, da die Abteilungen für Katalyse die immer schneller werdenden Entwicklungen auf diesem Gebiet mit wachsendem Interesse beobachten und versuchen, die Fortschritte aufzugreifen, um die neuesten Erkenntnisse in die Produktion einfließen zu lassen. Dies führt zu einem hohen Innovationspotenzial, aus dem sich ein technologischer und wirtschaftlicher Vorsprung für Deutschland im globalen Wettbewerb ableiten lässt.

Das Gebiet der Organokatalyse stellt für die akademischen Gruppen durch das Schwerpunktprogramm der DFG ein Forschungsgebiet von besonderem Interesse dar, da durch die Bereitstellung der finanziellen Mittel eine breit angelegte und intensive Grundlagen- und auch anwendungsorientierte Forschung möglich wird (2). Durch die stetig steigende Anzahl der Veröffentlichungen auf diesem Gebiet kann man das Potenzial dieser Forschungsrichtung gut einschätzen. Auf dem Gebiet der Metallkatalyse stieg die Anzahl der Veröffentlichungen ebenfalls sprunghaft an und führte so zu einem Gebiet der Chemie, dessen Produkte aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken sind. Die Entwicklung neuer, effizienter und ressourcenschonender Synthesestrategien ermöglicht so den Zugang zu neuen Wirkstoffen im Pharma- und Agrarbereich sowie in den Materialwissenschaften und ist damit von wesentlicher Bedeutung für die gesamte volkswirtschaftliche Prosperität der Bundesrepublik Deutschland.

Katalytische Verfahren bieten in vielen Fällen den ökonomisch und ökologisch vorteilhaftesten Zugang zu den gewünschten Produkten. Die Vielzahl der notwendigen Reaktionen mit einer breiten Anwendbarkeit lässt sich noch nicht mit ausreichender Effizienz steuern. Neben der klassischen Metallkatalyse und der Biokatalyse wird sich die Organokatalyse ihren Platz erkämpfen und als gleichberechtigte Alternative neben den bereits etablierten Verfahren stehen.

Anmerkungen

(1) www.dfg.de
(2) www.kofo.mpg.de/kofo/institut/arbeitsbereiche/list/mpi/index.html

Literatur

Eder, U. / Sauer, G. / Wiechert, R.; Neuartige asymmetrische Cyclisierung zu optisch aktiven Steroid-CD-Teilstücken. In: Angewandte Chemie 83, 13/1971. S. 492-493.

Hajos, Z. G. / Parrish, D. R.: Asymmetric Synthesis of Bicyclic Intermediates of Natural Product Chemistry. In: Journal of Organic Chemistry 39, 12/1974. S. 1615-1621.

Henkel KGaA: Nachhaltigkeitsbericht. Düsseldorf 2006.

Heywang, G.: BAYER Industry Services GmbH & Co OHG. Informationen per Email an die Autoren. 2007.

Kleiner, C. M. / Schreiner, P. R.: Hydrophobic Amplification of Noncovalent Organocatalysis. In: Chemical Communications 2006. S. 4315-4317.

Kotke, M., Schreiner, P. R.: „Acid-free, organocatalytic acetalization"; Tetrahedron, 62, 434-439, 2006.

Kotke, M. / Schreiner, P. R.: Generally Applicable Organocatalytic Tetrahydropyranylation of Hydroxy Functionalities with Very Low Catalyst Loading. In: Synthesis 5/2007. S. 779-790.

Langenbeck, W.: Organische Katalysatoren und ihre Beziehungen zu den Fermenten. Berlin 1935.

List, B.: Enamine Catalysis Is a Powerful Strategy for the Generation and Use of Carbanion Equivalents. In: Accounts of Chemical Research 37, 8/2004. S.548-557.

Narayan, S. / Muldoon, J. / Finn, M.G. /Fokin, V.V. / Kolb, H.C. / Sharpless, K.B.: On Water: Unique reactivity of Organic Compounds in Aqueous Suspension. In: Angewante Chemie, International Edition 44, 21/2005. S.3275-3279.

Noyori, R.: Asymmetric Catalysis: Structural and Functional Engineering. Vortrag auf dem 4th Heidelberg Forum of Molecular Catalysis'. 22.06.2007.

Otto, S. / Engberts, J.B.N.F.: Hydrophobic interactions and chemical reactivity. In: Organic & Biomolecular Chemistry, 1/2003. S.2809-2820.

Rueping, M. / Antonchick, A. P.: Organokatalytische enantioselektive Reduktion von Pyridinen. In: Angewandte Chemie 119, 24/2007. S. 4646-4649.

Rueping, M. / Sugiono, E. / Moreth, S. A.: Metal-Free, Enantioselective Strecker Reactions Catalyzed by Chiral BINOL and TADDOL Catalysts. In: Advanced Synthesis & Catalysis 349/2007. S. 759-764.

Schreiner, P. R. / Wittkopp, A.; H-Bonding Additives Act Like Lewis Acid Catalysts. In: Organic Letters 4/2002. S. 217-220.

Sheldon, R. A.: Atom efficiency and catalysis in organic synthesis. In: Pure & Applied Chemistry 72, 7/2000. S. 1233-1246.

Taylor, M. S. / Jacobsen, E. N.: Asymmetrische Katalyse durch chirale Wasserstoffbrückendonoren. In: Angewandte Chemie 118, 10/2006. S. 1550- 1573.

Walji, A.M. / MacMillan, D.W.C.: Strategies to Bypass the Taxol Prolblem. In: Synlett 10/2007. S.1477-1489.

Wittkopp, A. / Schreiner, P. R.: Diels-Alder Reactions Catalyzed by Hydrogen Bonding and in Hydrogen-Bonding Environments. In: Rappoport, Z.: The Chemistry of Dienes and Polyenes, Vol.2. Chichester 2000. S. 1029-1088.

Zhang, Z. / Schreiner, P. R.: Thiourea-Catalyzed Transfer Hydrogenation of Aldimines. In: Synlett 9/2007. S. 1455-1457.

AUTOREN + KONTAKT

Peter R. Schreiner ist Professor für Organische Chemie und Dekan des Fachbereichs Biologie und Chemie der Justus-Liebig-Universität (JLU), Gießen.

JLU Giessen, Institut für Organische Chemie, Heinrich-Buff-Ring 58, 35392 Gießen. Tel.: +49 641 9934300.
E-Mail: prs@org.chemie.uni-giessen.de

Christian M. Kleiner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Institut für Organische Chemie der Justus-Liebig-Universität, Gießen.

JLU Gießen, Tel.: +49 641 9934319.
E-Mail: Christian.Kleiner@org.chemie.uni-giessen.de

(c) 2010 Authors; licensee IÖW and oekom verlag. This is an article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivates License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.