

# Technische Chemie 2005

**Methoden der technischen Chemie spielen bei der Prozessintensivierung und der weißen Biotechnologie eine wichtige Rolle. Der gestiegene Erdölpreis und die Sorge um das Klima rücken nachwachsende Rohstoffe in das Blickfeld. Die Katalyse wird bei der mittelfristig bevorstehenden Veränderung der Rohstoffbasis einen großen Einfluss haben.**

## Prozessintensivierung

◆ Kaum ein Thema hat in der Community zu solch kontroversen Diskussionen geführt wie die Prozessintensivierung. Zusammen mit der Forschungs-Gesellschaft Verfahrenstechnik und der VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen hat die Dechema 2005 eine Fachsektion Prozessintensivierung gegründet, die mittlerweile an die 200 Mitglieder verzeichnet. Auch die Novemberausga-

be der *Chemie Ingenieur Technik* hatte das Thema als Schwerpunkt.

Publiziert wurden unter anderem Beiträge aus der Mikroreaktions-<sup>1)</sup> und -verfahrenstechnik,<sup>2)</sup> die in Verbindung mit Methoden der Prozessintensivierung signifikante Verbesserungen bei einigen Produktionsprozessen versprechen. Die Degussa sieht Prozessintensivierung als einen ganzheitlichen Managementprozess, in dem neben technischen auch wirtschaftliche Aspekte eine entscheidende Rolle spielen.<sup>3)</sup> Eine me-

thodische Einteilung und Beispiele prozessintensivierender Techniken und Werkzeuge zeigt Abbildung 1.

## Fischer-Tropsch-Synthese

◆ Aufgrund des ständig steigenden Erdölpreises erlebte die Fischer-Tropsch-Synthese in den letzten zehn Jahren eine wahre Renaissance (Abbildung 2). Vor allem in China werden große Produktionskapazitäten aufgebaut; das südafrikanische Unternehmen Sasol beispielsweise



Abb. 1. **Methodische Einteilung und Beispiele für prozessintensive Techniken.** (Genehmigter Nachdruck nach Lit.3), Copyright Wiley-VCH, Weinheim<sup>3)</sup>



Abb. 2. Dreiphasenreaktor von Sasol in Südafrika zur Fischer-Tropsch-Synthese basierend auf der Slurry-Technik (Suspension aus Katalysator, flüssiger Produktphase und Synthesegas). (Foto: Emerson Process Management)

plant Anlagen in Shenhua/Ningxia. Auch deutsche Arbeitsgruppen setzten sich mit der Optimierung der Fischer-Tropsch-Synthese auseinander. Theoretische Untersuchungen befassten sich mit dem Einsatz von Monolithreaktoren in der Fischer-Tropsch-Synthese, die eine effiziente Wärmeabfuhr der stark exothermen Reaktion versprechen.<sup>4)</sup>

Membranreaktoren in der Fischer-Tropsch-Synthese verbessern CO<sub>2</sub>-haltige Synthesegase (Abbildung 3).<sup>5)</sup>

Viel versprechend im Hinblick auf die Klimaschutzdiskussion und eine nachhaltige Rohstoffpolitik ist Biomasse als Einsatzmaterial für die Fischer-Tropsch-Synthese. Dabei dient meist Kohle zusammen mit Biomasse zur Synthesegaserzeugung.

### Feststoff/Gas-Katalyse

◆ Katalysatoren für Feststoff/Gas-Reaktionen kommen fast ausschließlich als Trägersysteme zum Einsatz. Bei diesen Katalysatoren ist die katalytisch aktive Komponente auf einem Substrat fixiert. Ein entscheidender Vorteil dabei ist, dass Aktivität und Selektivität der jeweiligen Aktivkomponente durch Wechselwirkung mit dem Trägermaterial erheblich beeinflusst werden

Abb. 3. Fischer-Tropsch-Festbettreaktor mit integrierter H<sub>2</sub>O-selektiver Membran. (Foto: Martin P. Rohde, TU Karlsruhe)

können. Kennt man die Struktur von Aktivkomponente und Träger sowie den Mechanismus der Interaktionen, so ergeben sich daraus Möglichkeiten zum rationalen Design von Katalysatormaterialien. Die in den letzten Jahren etablierten In-situ-Analysenverfahren sind im letzten Trendbericht erwähnt.<sup>6)</sup>

Um der heterogenen Katalyse ein möglichst breites Spektrum an Techniken zur Verfügung zu stellen, hat die DFG im Jahr 2000 das sechsjährige Schwerpunktprogramm „Brückenschläge zwischen idealen und realen Systemen in der heterogenen Katalyse“ mit mehreren Teilprojekten ins Leben gerufen. Diese gehen der Frage nach, inwieweit sich klassische Ultrahochvakuum-Analysenmethoden (beispielsweise XPS; „pressure gap“) und Einkristallsysteme („material gap“) modifizieren lassen, damit reale Katalysatorsysteme unter praxisnahen Arbeitsbedingungen Ziel führend untersucht werden können. Viel versprechend sind die vor kurzem beispielsweise von der silberkatalysierten Acroleinhydrierung<sup>7)</sup> und der Acroleinoxidation an Mo/V/W-Katalysatoren<sup>8)</sup> berichteten Ergebnisse.

Darüber hinaus gewinnen für die Katalysatorcharakterisierung und Evaluierung von Reaktionsmechanismen spektroskopische Verfahren auf der Basis von Synchrotronstrahlung an Bedeutung.<sup>9–11)</sup> So können etwa durch EXAFS die Bulkstruktur und durch XANES die elektronischen Zustände der Katalysatormaterialien bestimmt werden.

Als Methode für zukünftige Entwicklungsarbeiten gilt die Ab-initio-Quantenmechanik. Von der Theorie erhofft man sich die Vorhersage des

spezifischen Umsatzverhaltens eines jeden Katalysatormaterials. Dabei sollte im Idealfall nicht nur die Mikrokinetik der einzelnen aktiven Zentren,<sup>12)</sup> sondern auch die Dynamik der Gasphasenströmung (CFD, Computational Fluid Dynamics) im jeweiligen Reaktorsystem Berücksichtigung finden.<sup>13)</sup> Tatsächlich ist es der Gruppe um Warnatz und Inderwildi nun zum ersten Mal gelungen, die Kinetik eines technisch relevanten Katalysatorsystems durch Kopplung von Dichtefunktionaltheorie- und CFD-Rechnungen vorherzusagen.<sup>14,15)</sup> In dieser vorwiegend theoretischen Arbeit wurde die NO-Dissoziation an einem Rh-basierenden Katalysator unter transienten Reaktionsbedingungen untersucht.

Fortschritte sind in jüngster Zeit auch bei der numerischen Simulation des instationären Verhaltens von Drei-Wege-Katalysatoren erzielt worden. Die modifizierten Modelle beinhalten nun differenzierte Mechanismen für die Edelmetallkomponenten Pt, Pd und Rh.<sup>16)</sup>

### Nanogold in der Katalyse

◆ Ungebrochen ist der Trend zu Goldkatalysatoren, insbesondere nanoskaligen Goldstrukturen. Mögliche Anwendungen sind NO<sub>x</sub>-Reduktion, Tieftemperatur-CO-Oxidation, selektive Oxidation von Propen, Alkoholen und Zuckern sowie selektive Hydrierung von C=C- und C=O-Bindungen. *Applied Catalysis A* fasst diese Entwicklungen, inklusive theoretischer Studien und präparativer Arbeiten, in einem Sonderband<sup>17)</sup> zusammen.

### Methanolsynthese

◆ Zur großtechnischen Methanolsynthese dienen seit den 1960er Jahren Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Katalysatoren (ICI-Verfahren). Im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereichs 558 an der Ruhr-Universität Bochum gelang es nun, das System Cu/ZnO in amorphe MCM-41- und MCM-48-Silicatmatrices einzubringen. Diese Modifizierung führt zu attraktiven Methanol-Produktionsraten.<sup>18)</sup>



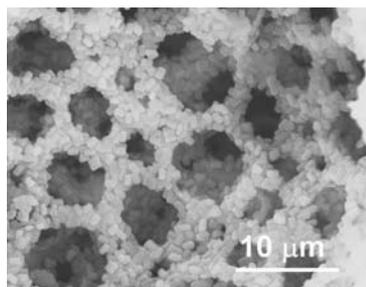
## Zeolithe in der Katalyse

◆ Die Zahl an zeolithischen Materialien mit neuen Strukturen und Zusammensetzungen wächst.<sup>19)</sup> Potential für petrochemische Reaktionen wie die Disproportionierung von Ethylbenzol oder die Isomerisierung von n-Alkanen hat beispielsweise das Zeolithsystem MCM-68.<sup>20)</sup> Viel versprechend für zukünftige Anwendungen in der heterogenen Katalyse erscheinen strukturierte zeolithhaltige Composite, die vorteilhafte Eigenschaften aufweisen, z. B. Formstabilität oder Mikroporosität. So gelang die hierarchische Modifizierung eines SiOC-Keramikschaums durch MFI-Zeolithe (Abbildung 4).<sup>21)</sup>

Eine Arbeit des Forschungszentrums Karlsruhe<sup>22)</sup> zur Erzeugung von Wasserstoff in Mikroreaktoren zeigt das hohe Anwendungspotential der Mikroverfahrenstechnik auch in der heterogenen Katalyse.<sup>23)</sup> Die Studie zielt dabei auf die H<sub>2</sub>-Produktion für Brennstoffzellen mit relativ geringen Leistungsanforderungen (0,01 bis 5 kW). Der Wasserstoff wird durch partielle Oxidation und oxidatives Steam-Reforming von Propan generiert – an mikrostrukturierten metallischen FeCrAlloy-Waben, die mit einem Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Katalysator beschichtet sind.

## Reinigung von Kraftfahrzeugabgasen

◆ Bezogen auf die Stückzahl ist die Reinigung von Kraftfahrzeugabgasen der wichtigste Anwendungsbereich für Katalysatoren. Nachdem der Drei-Wege-Katalysator seit den 1980er Jahren serienmäßig in Otto-Kraftfahrzeugen eingesetzt wird, gerät nun auch der Dieselsektor durch die kontinuierliche Verschärfung der Grenzwerte unter Druck, insbesondere bei Stickstoffoxiden und Ruß. Zur NO<sub>x</sub>-Minderung wurden daher das SCR-Verfahren<sup>24)</sup> und die NO<sub>x</sub>-Speicher-Katalysator-Technik<sup>25)</sup> zur Serienreife geführt. Beim SCR-Verfahren werden die Stickstoffoxide durch Ammoniak (mit Harnstoff als Precursor) an einem Katalysator



reduziert; aktuell ist die Substitution der Aktivkomponente Vanadium durch toxikologisch unbedenkliche Materialien. Die größten Anwendungschancen werden eisenausgetauschten Zeolithsystemen eingeräumt.<sup>26)</sup>

Im Hinblick auf die Rußminderung wird nicht zuletzt aufgrund des großen öffentlichen Drucks („Feinstaub-Debatte“) in Zukunft wohl jedes Dieselfahrzeug mit Dieselpartikelfiltern (Abbildung 5) ausgerüstet. Allerdings erfordert dieses Verfahren einen Regenerationsschritt, in dem der gefilterte Ruß durch Oxidation wieder entfernt wird, entweder mit CeO<sub>2</sub>-Katalysatoren oder nichtkatalysiert durch NO<sub>2</sub>.<sup>27)</sup> Dieses wird durch Oxidation des emittierten NO an einem Pt-haltigen Vorkatalysator generiert.

Technisch etabliert ist mittlerweile auch, die Rußemission bereits im Motor durch Fuel Borne Catalysts (FBC) zu reduzieren.<sup>27,28)</sup> FBC bestehen aus Organo-eisen- und Organocerverbindungen und werden „on board“ dem Kraftstoff beigemischt.<sup>29)</sup>

## Kombinatorik und Hochdurchsatz in der Katalysatorforschung

◆ In der Katalyse ebenso wie in vielen anderen Materialentwicklungen wirken sich Hochdurchsatztechniken (HTT) vor allem auf die Beschleunigung und Kostenreduktion in Entdeckung und Entwicklung (Optimierung) aus. Die damit verbundenen Wettbewerbsvorteile haben bereits bei vielen Firmen zum Aufbau von eigenen Hochdurchsatzaktivitäten geführt. Ebenso haben sich Dienstleister und Geräteanbieter für HTT wie hte, Symyx, Chemspeed, Avantium oder Bosch-Labsystems

etabliert. Ein nicht zu unterschätzender Zusatzbonus von HTT ist die Generierung reproduzierbarer experimenteller Daten, wichtig für Prozessentwicklung und Produktion.

Nach den methodischen Papers der letzten Jahre geht der Inhalt der HTT-Publikationen nun Richtung neue Katalysatoren und Materialien. Auch wenn häufig nicht klar ist, ob die beschriebenen Katalysatoren auch wirklich die besten der Studie sind, so geben diese Berichte doch Einsichten über neue Materialklassen und die Breite der untersuchten Parameterräume. Die Zahl der Veröffentlichungen steigt exponentiell, und die Hochdurchsatzkatalyse ist längst mehr als nur simples Screening. Durch die Entwicklung realistischer Parallelreaktoren, schneller quantitativer Analyseverfahren, HT-Charakterisierungstechniken und immer besserer Methoden zur Datenerfassung und zur Steuerung der Entdeckung und Optimierung von Katalysatoren hat sich inzwischen aus „Hochdurchsatztesten“ eine Hochdurchsatzwissenschaft entwickelt,<sup>30)</sup> wie die folgende Auswahl an Arbeiten zeigt.

Corma und Serra analysieren den Stand der Hochdurchsatzforschung in der Katalyse für die Erdölverarbeitung, die Petrochemie und die Feinchemikalien. Sie kommen zum Schluss, dass HTT nicht nur die Entdeckung neuer Katalysatoren beschleunigt, sondern vor allem erstmals ermöglicht, eine große Zahl von Variablen gleichzeitig zu studieren. Dies beschleunigt die Überprüfung neuer Theorien und schafft wichtiges Wissen in komplexen Parameterräumen.<sup>31)</sup>

Katalysatoren für die Wasserstoff-erzeugung aus Kohlenwasserstoff

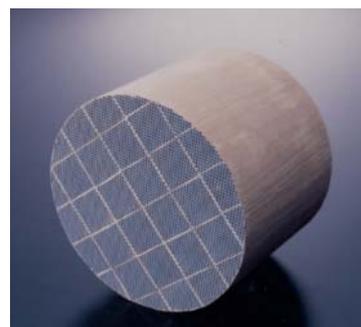


Abb. 4. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines mikroporigen SiOC-Schaums, der mit Silicalith-1 beschichtet ist. (Genehmigter Nachdruck nach Lit.21a), Copyright Wiley-VCH, Weinheim)

Abb. 5. Dieselpartikelfilter im Querschnitt. (www.ibiden.com)



Abb. 6.  
96-fach Reaktor zur  
Testung von Fest-  
körperkatalysato-  
ren. (Foto: hte)

und Wasser für den Betrieb von Brennstoffzellen, beispielsweise CuZn oder FeCr, sind nicht aktiv genug. Mitarbeiter von Symyx und Honda haben gemeinsam mit HTT nach anderen Katalysatoren gesucht. Die neuen besten Pt-freien Katalysatoren (Ni-Mn-In-Sn) arbeiten bei 250 bis 450 °C, die besten Pt-armen Katalysatoren, PtCeCoVMoFeNa u. a., bei 200 bis 350 °C.<sup>32)</sup> Hancu von GE berichtet über eine HTT für die Suche nach selektiveren Katalysatoren zur Aromatenchlorierung, speziell für die Dichlorethylen-freie Erzeugung von 4-Chlor-o-Xylol.<sup>33)</sup> 1,2-Dibromethan als alternatives Lösemittel und Beta-Zeolith erwiesen sich als konkurrenzfähig, mit Selektivitäten von über 80 % bei 65 °C. Metall-

oxidkatalysatoren auf ZSM-5-Basis haben Liu et al. für ihre Eignung zur Umwandlung von Methan mit CO in Benzol und Naphthalin untersucht. Zn- und Mo-dotierter Zeolith waren besonders aktiv; die katalytische Performance wurde in konventionellen Untersuchungen bestätigt. Bei 700 °C wurden Selektivitäten von über 50 % für Naphthalin und über 30 % für Benzol bei Methanumsätzen von 4 % erhalten.<sup>34)</sup> Mit einem modifizieren genetischen Algorithmus haben Jacobs et al. den in früheren HTT-Untersuchungen entdeckten  $\text{Mo}_8\text{V}_2\text{Sb}_{90}\text{-Mischoxidkatalysator}$  für die selektive einstufige Oxidation von Isoutan zu Methacrolein (MMA) verbessern können. Innerhalb von drei Generationen mit lediglich jeweils 30 Katalysatoren wurde die MMA-Selektivität von 40 auf 53 % gesteigert, beispielsweise mit  $\text{Mo}_8\text{V}_2\text{Sb}_{78}\text{Nb}_{2,3}\text{Te}_{9,7}\text{O}_x$ .<sup>35)</sup>

Lauterbach et al. berichten über die Entdeckung edelmetallfreier  $\text{NO}_x$ -Speicher-katalysatoren mit HTT. Sie nutzten dazu einen parallelbetriebenen 16-fach-Gasphasenreaktor mit Produktanalyse durch FT-IR-Imaging;<sup>36)</sup> im Speicherkatalysator ließ sich Pt ohne Aktivitätseinbuße durch Co ersetzen.

Weinberg et al. fanden mit HTT Oxidationskatalysatoren für die selektive Luft- oder  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Oxidation

von Alkoholen zu Aldehyden (speziell 2-Butyl-5-hydroxymethylimidazol) in flüssiger Phase (400 psi, 90 bis 120 °C); beste Ergebnisse liefern Pt-Bi-dotierte mesoporöse V-MCM-41-Katalysatoren.<sup>37)</sup>

Yamada setzte Halbleiter-Gassensorenarrays zur Geruchserkennung für die schnelle Analyse von Benzolderivaten in Hochdurchsatzexperimenten ein<sup>38)</sup> und fand damit Katalysatoren für die Bildung von Phenol aus Benzol und Luft, die Bildung von Anilin aus Ammoniak und Benzol und die Bildung von Cumol. Ein Zr-dotierter  $\text{SnO}_2$ -Sensor detektiert selektiv Phenol.

Metallische Nanopartikel, für die katalytische Bildung von Kohlenstoffnanoröhren von praktischem Interesse, haben Noda et al. kombinatorisch hergestellt.<sup>39)</sup>

Zur photoinduzierten katalytischen Wasserstoffherzeugung durch Reduktion von Wasser setzten Bernhard et al. einen 8-fach-Reaktor mit Leuchtdioden als Lichtquelle und Pd-Ni-Sensoren für die selektive Wasserstoffdetektion ein. Sechs Ir-Komplexe in homogener Lösung mit  $\text{Co}(\text{bpy})_2^{3+}$  als Photosensibilisatoren übertreffen die  $\text{H}_2$ -Quantenausbeute der bekannten  $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+}$ -Systeme um das bis zu 37-fache.<sup>40)</sup>

McFarland et al. berichteten über die HTT-basierte Entdeckung von Zn-Co-Oxid-Filmen, welche viermal so viel Wasserstoff wie reine ZnO-Filme produzieren.<sup>41)</sup>

Schmidt et al. vom Institut für Neue Materialien in Saarbrücken berichten über ein Hochdurchsatzverfahren zur Untersuchung photokatalytischer Eigenschaften von dünnen Filmen basierend auf dotierten  $\text{TiO}_2$ -Nanopartikeln unter realistischen Bedingungen.<sup>42)</sup>

Ein Hochdurchsatzverfahren zur elektrochemischen Synthese und Charakterisierung von Goldnanopartikeln auf  $\text{TiO}_2$  stellen McFarland et al. vor.<sup>43)</sup> Ihnen gelingt es, die Größe der Partikel von 5 bis 150 nm zu variieren und die elektrokatalytischen Eigenschaften für CO-Oxidation zu erfassen. Die hohe Aktivität kleiner Goldpartikel wird bestätigt.

Jiang et al. berichten über die pa-

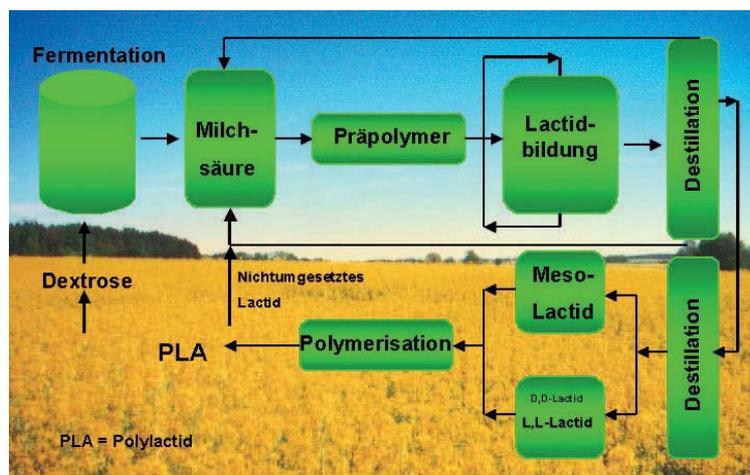


Abb. 7. Biotechnologische Herstellung des biologisch abbaubaren Kunststoffs Polylactid (PLA) über die Ringöffnungspolymerisation des dimeren Lactids (Cargill Dow). Da die eingesetzten Bakterien in Abhängigkeit von den Reaktionsbedingungen L-Milchsäure im Überschuss produzieren, überwiegt Meso- oder L,L-Lactid. Der relative Anteil der Diastereomeren in PLA beeinflusst entscheidend dessen Abbaubarkeit.

parallele Erfassung der Performance von 40 Direktmethanolbrennstoffzellen in einem Array.<sup>44)</sup> Ihr Verfahren soll die Einzelmessungen vor dem Zusammenbau von Brennstoffzellenstacks beschleunigen.

Mallouk et al. vergleichen vier Hochdurchsatzverfahren zur Erfassung der relativen Aktivität von DMFC-Anodenkatalysatoren. Linear sweep voltammetry von Diskelektroden und das Testen in Brennstoffzellenarrays erweisen sich als die zuverlässigsten Methoden.<sup>45)</sup>

Ein automatisiertes elektrochemisches Verfahren zu Erfassung der NO<sub>x</sub>-Sensoreigenschaften von Metalloporphyrinen in 96-er Mikrotiterplatten haben Schumann und Mitarbeiter entwickelt.<sup>46)</sup>

Über die Immobilisierung von Rutheniumkatalysatoren für die Hochdurchsatzuntersuchung von Methathesereaktionen berichten Buchmeiser et al.<sup>47)</sup>

Dahmen et al. von der jungen cynora zeigen die Stärke von Hochdurchsatzverfahren bei der Suche nach Additiven zur Verbesserung der Enantioselektivität der Phenylzinkaddition an Aldehyde auf.<sup>48)</sup>

Bruneau und Dixneuf et al. fanden in HT-Experimenten Rutheniumkatalysatoren zur Homologisierung von Monoterpenoiden.<sup>49)</sup>

### Softwaretools für den Hochdurchsatz

◆ Die wohl eindrucksvollste Entwicklung bei HTT in der Katalyse ist nicht praktischer, sondern theoretischer Natur: die kontinuierliche Weiterentwicklung der Software. Saupé et al. von hte erläuterten in einem Übersichtsartikel die Anforderungen von HTT an die Softwareumgebung (Abbildung 6).<sup>50)</sup> Nicht trivial ist z. B. die Verknüpfung der Katalysatorrezepturen mit den Anforderungen von HTT. Ohrenberg et al. von Bayer Technology Services berichten über ihre positiven Erfahrungen mit Data Mining und evolutionären Algorithmen bei der Suche nach neuen Katalysatoren und stellen ihre Softwareumgebung in Hochdurchsatzanwendungen vor.<sup>51)</sup>

Genetische und evolutionäre Algorithmen haben sich von einer Kuriosität in der Katalyse zu einem immer häufiger angewandten Werkzeug in der Katalysatoroptimierung entwickelt. Die Gruppen von Mirodatos und Maschmeyer haben sich mit dem Einfluss der Parameter von genetischen Algorithmen auf die Katalysatoroptimierung beschäftigt,<sup>52)</sup> kommen aber nicht zu eindeutigen Ergebnissen. Farrusseng et al. beschreiben ein sehr anspruchsvolles Verfahren zur In-silico-Ermittlung von potentiell aktiven Katalysatoren für neue oder bekannte Reaktionen auf der Basis von bekannten Eigenschaften und Deskriptoren.<sup>53)</sup> Das komplexe Verfahren wird durch bekannte Data-Mining-Techniken wie prinzipielle Komponentenanalyse (PCA), hierarchisches Clustern, neuronale Netzwerke und Entscheidungsbäume unterstützt und soll vor allem dem intelligenten Design von diversen Startbibliotheken für Feststoffe auf der Suche nach neuen Katalysatoren dienen.

PCA haben auch Corma et al. auf spektrale Katalysatordaten angesetzt, um Deskriptoren für quantitative Struktur-Eigenschafts-Beziehungen für Katalysatoren zu finden. Wie die Vorgehensweise ist, zeigt die Modellierung der Eigenschaften von Epoxidierungskatalysatoren unter Verwendung von Herstellungsparametern und XRD-Spektren.<sup>54)</sup>

Scheidtmann et al. berichten über Verfahren zur Identifizierung quantitativer Korrelationen der Zusammensetzung von Mischoxiden mit katalytischer Aktivität.<sup>55)</sup>

### Industrielle Biotechnologie

◆ Die deutsche Biotechnologie ist stark wie nie – das war die Botschaft der Jahrespressekonferenz der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIB) im August 2005. Danach ist Deutschland neben den USA der stärkste Standort für biotechnische Entwicklung und Produktion. Insbesondere die großen, weltweit tätigen Unternehmen haben die Biotechnologie in den



Abb. 8.  
So kommt das antiviral wirkende Tamiflu in Fernost in den Handel.  
(Foto: Roche Taiwan)

letzten Jahren stark nach vorn gebracht (Abbildung 7).

Besonders in der Verfahrensentwicklung, Produktion und Technik waren die in Deutschland ansässigen Pharma- und Chemiekonzerne aktiv. In den vergangenen Jahren haben die deutschen Unternehmen, die Arzneimittel oder Diagnostika herstellen, an ihren Standorten Investitionen in Milliardenhöhe in die Biotechnologie getätigt. Aufgrund der mit Wirkstoffen gut gefüllten Pipeline planen sie für die kommenden Jahre, ihre technischen Kapazitäten weiter auszubauen. Das Feld der roten Biotechnologie scheint damit in Deutschland gut bestellt zu sein.

### Vogelgrippe

◆ Ein weiteres Teilgebiet der roten Biotechnologie, die Impfstoffforschung, rückte durch ein Thema in den Blickpunkt: die Vogelgrippe, früher als „Geflügelpest“ bekannt. Sowohl die EU als auch die betroffenen Länder befassten sich mit dem Problem einer möglichen Vogelgrippe-Pandemie. Weltweit wird an Impfstoffen gegen ein künftiges Vogelgrippe-Virus geforscht, das durch Mutationen oder Vermischung mit einem humanen Influenza-Erreger auch von Mensch zu Mensch übertragbar sein könnte.<sup>56)</sup>

Nutznieser der weltweiten Furcht vor der Vogelgrippe sind die Produzenten von antiviralen Medikamenten wie Tamiflu (Abbildung 8) oder Relenza, die auch bei einer Vogelgrippe-Pandemie Schutz versprechen. So baut Roche seine Herstellungskapazität für Tamiflu weiter aus. Tamiflu wird aus Shikimisäure synthetisiert, die ihrerseits wieder fermentativ mit Bakterien hergestellt wird. Damit ist die Brücke zur weißen Biotechnologie geschlagen. →

## Weißer Biotechnologie

◆ Die weiße Biotechnologie gilt als ein Feld mit großem Innovationspotential. Gleich zwei der großen deutschen Chemieunternehmen wollen ihre Aktivitäten in der weißen Biotechnologie verstärken. Die Degussa gründet ein Science to Business Center Bio als neues Zentrum für weiße Biotechnologie, die BASF baut mit dem „Wachstumscluster Weiße Biotechnologie“ ihre Expertise in der Enzymkatalyse und der Fermentation aus.

Die weiße Biotechnologie ist branchenübergreifend. Ihre Bedeutung sowohl für die chemische Industrie als auch für neue, zumeist umweltfreundlichere Verfahren und Produkte in anderen Industriezweigen, z. B. in der Lebensmittel-, Kosmetik-, Textil- oder Papierindustrie wird steigen. Darin sind sich zumindest alle Institutionen einig, die auf einem Kongress im Februar 2005 die

„Nationale Plattform Weiße Biotechnologie“ initiierten. Nach heutigem Stand wird die Plattform von der DIB, der Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, der deutschen Bundesstiftung Umwelt und der Dechema getragen. Ziel der Plattform ist es zum einen, die Aktivitäten in der weißen Biotechnologie in Deutschland zu bündeln, und zum anderen, die weiße Biotechnologie in der EU zu stärken. Die EU-Kommission bereitet ihr 7. Forschungsrahmenprogramm vor; die weiße Biotechnologie könnte hierbei einer der Schwerpunkte werden. Im Auftrag der Kommission wurde bei Europabio, dem Dachverband der europäischen Biotechnologieindustrie, eine Strategic Research Agenda zur weißen Biotechnologie erstellt. Auch in der Agenda der European Technology Platform for Sustainable Chemistry [Nachr. Chem. 2006, 54, 124] findet sich die weiße Biotechnologie wieder.

## Nachwachsende Rohstoffe

◆ Der Trend zur weißen Biotechnologie geht einher mit einer erhöhten Aufmerksamkeit für nachwachsende Rohstoffe. Der Ölpreis, der im Jahr 2005 neue Rekordhöhen erklimmen hat, verstärkte diese Entwicklung, die in den USA bereits seit einigen Jahren im Gang ist, auch in Europa.<sup>57,58)</sup> Die unmittelbare und augenscheinlichste Auswirkung in Deutschland ist die Inbetriebnahme von mehreren Produktionsanlagen für Ethanol. Allein in Deutschland ist damit die Jahresproduktion von Ethanol auf 470 000 Tonnen pro Jahr angestiegen.

Das Ethanol wird Benzin beigemischt, um die Auflagen der EU-Biokraftstoff-Richtlinie zu erfüllen. Durch den steuerlichen Anreiz – in Deutschland ist Biosprit steuerbefreit – können die Anlagen nun produktiv arbeiten.

Angesichts einer weltweiten Produktionsmenge von ca. 20 Millionen Tonnen Ethanol pro Jahr und der starken Produktionszuwächse werden bereits Sorgen geäußert, der Zuckerpreis könnte weiter steigen. Sollte sich die Ethanolproduktion weiter so rasant entwickeln, könnte dadurch weniger Zucker für die Lebensmittelindustrie und auch für die stoffproduzierenden Prozesse der weißen Biotechnologie zur Verfügung stehen. Das Angebot ist bereits durch Dürren in Indien und Thailand geschrumpft; der Zuckerpreis ist 2005 bereits um 27 % gestiegen und dürfte weiter klettern.



**Sven Kureti**, Jahrgang 1968, studierte Chemie an der Universität Karlsruhe (TH), wo er im Jahr 2000 promovierte. Seit dieser Zeit ist er am dortigen

Institut für Technische Chemie und Polymerchemie als Habilitand tätig. Sein Arbeitsschwerpunkt ist die Abgaskatalyse, speziell die katalysierte Entfernung von NO<sub>x</sub> und Ruß aus mageren Motorabgasen. Im Jahr 2005 erhielt er den Dechema-Hochschullehrer-Nachwuchspreis.



**Willi Meier**, Jahrgang 1963, studierte Chemie und Betriebswirtschaft an der RWTH Aachen und promovierte 1992 in Physikalischer Chemie.

Von 1992 bis 1995 arbeitete er als Projektleiter in der Unternehmensberatung MIT in den Bereichen Prozessanalyse und -optimierung. Seit 1995 ist er Mitarbeiter der Dechema und dort als leitender Angestellter verantwortlich für die IT-Abteilung und internationale Beziehungen.



**Wilhelm F. Maier**, Jahrgang 1949, studierte Chemie an der Universität in Marburg und promovierte 1978 bei Manfred Reetz. Von 1981 bis

1988 war er Assistent Professor an der UC Berkeley, danach hatte er eine Professur für Technische Chemie an der U-GHS Essen. Seit 1992 war er Gruppenleiter am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim, und seit 2000 leitet er an der Universität des Saarlandes den Lehrstuhl für Technische Chemie. Seine Spezialgebiete sind die heterogene Katalyse und die kombinatorische Chemie.



**Dieter Sell** (Jahrgang 1961) studierte Biologie an der Universität Bochum und promovierte 1991 am Fachbereich Chemietechnik der Universität Dortmund. Seit 1991 leitet er die

Arbeitsgruppe „Bioverfahrenstechnik“ am Karl-Winnacker-Institut der Dechema. Seine Arbeitsgebiete umfassen bioelektrochemische Systeme zur Kontrolle der Stoffwechselaktivität, die biotechnische Stoffproduktion sowie die Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten biotechnischer Prozesse. 2004 habilitierte er am Institut für Technische Chemie der Universität Hannover.

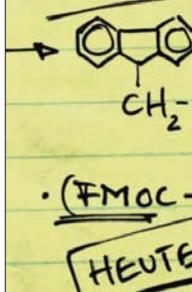
Sven Kureti  
kureti@ict.uni-karlsruhe.de  
Wilhelm F. Maier  
w.f.maier@mx.uni-saarland.de  
Willi Meier  
meier@dechema.de  
Dieter Sell  
sell@dechema.de

- 1) C. M. Knösche, Chem. Ing. Tech. 2005, 77, 1715.
- 2) V. Hessel, C. Serra, H. Löwe, G. Hadziioannou, Chem. Ing. Tech. 2005, 77, 1693.
- 3) A. Hütter, A. Geißelmann, H. Hahn, Chem. Ing. Tech. 2005, 77, 1829.
- 4) R. Güttel, U. Kunz, T. Turek, T. Bauer, R. Lange, Chem. Ing. Tech. 2005, 77, 1175.
- 5) D. Unruh, M. P. Rohde, G. Schaub, Chem. Ing. Tech. 2005, 77, 1173.
- 6) E. Klemm, G. H. Vogel, Nachr. Chem. 2004, 52, 332.
- 7) M. Bron, D. Teschner, A. Knop-Gericke, B. Steinhauer, A. Scheybal, M. Haevecker, D. Wang, R. Foedisch, D. Hoenicke, A. Woortsch, R. Schloegl, P. Claus, J. Catal. 2005, 234, 37.
- 8) A. Drochner, P. Kampe, J. Kunert, J. Ott, H. Vogel, Appl. Catal. A 2005, 289, 74.
- 9) A. Morlang, U. Neuhausen, K. V. Klementiev, F. W. Schuetze, G. Miehe, H. Fuess, E. S. Lox, Appl. Catal. B 2005, 60, 191.
- 10) K. Nagaoka, A. Jentys, J.A. Lercher, J. Catal. 2005, 229, 185.
- 11) J. Penzien, C. Haefßner, A. Jentys, K. Köhler, T. E. Müller, J.A. Lercher, J. Catal. 2004, 221, 302.
- 12) J. W. Andzelm et al., Catal. Today 1999, 50, 451.
- 13) J. Braun, T. Hauber, H. Többen, J. Windmann, P. Zacke, D. Chatterjee, C. Correa, O. Deutschmann, L. Maier, S. Tischer, J. Warnatz, JSAE Technical paper 2002-01-0065.
- 14) Q. Su, O. R. Inderwildi, O. Deutschmann, J. Warnatz, D. Lebiez, JSAE Technical Paper 2005, 611-115.
- 15) Q. Su, O.R. Inderwildi, S. Tischer, O. Deutschmann, J. Warnatz, J. Maier, O. Gerlach, W. Strehlen, D. Lebiez, J. Catal., im Druck.
- 16) S. Tischer, O. Deutschmann, D. Chatterjee, B. Bandl-Konrad, J. Halbei, 4th International Conference on Environmental Catalysis, Heidelberg, 5-8.6.2005, S. 58.
- 17) G. J. Hutchings, M. Haruta (guest editors), Appl. Catal. A 2005, 291, 1.
- 18) R. Becker, H. Parala, F. Hipler, O. P. Tkachenko, K. V. Klementiev, W. Grünert, H. Wilmer, O. Hinrichsen, M. Muhler, A. Birkner, C. Wöll, S. Schäfer, R. A. Fischer, Angew. Chem. 2004, 116, 2899.
- 19) F. Schüth, Chem. Ing. Tech. 2005, 77, 1399.
- 20) S. Ernst, S. P. Elangovan, M. Gerstner, M. Hartmann, T. Hecht, S. Sauerbeck, Stud. Surf. Sci. Catal. 2004, 15C, 2861.
- 21) a) A. Zampieri, P. Colombo, G. T. P. Maban-de, T. Selvam, W. Schwieger, F. Scheffler, Adv. Mater. 2004, 16, 819; b) F. Scheffler, A. Zampieri, W. Schwieger, J. Zeschky, M. Scheffler, P. Greil, Adv. Appl. Ceram. 2005, 104, 43.
- 22) I. Ingurd, H. J. Venvik, A. Holmen, P. Pfeifer, O. Goerke, K. Schubert, Catal. Today 2005, 110, 98.
- 23) M. Matlosz, Chem. Ing. Tech. 2005, 77, 1399.
- 24) G. Busca, L. Lietti, G. Ramis, F. Berti, Appl. Catal. B 1998, 18, 1.
- 25) M. Guyon, P. Blanche, C. Bert, L. Philippe, I. Messaoudi, SAE Paper 2000-01-2910.
- 26) M. Pfeifer, B. van Setten, P. Spurk, Y. Demmel, T. Kuhl, J. Gieshoff, E. Lox, T. Kreuzer, DE 103 08 288 A1.
- 27) F. Jacquot, V. Logie, J. F. Brillhac, P. Gilot, Carbon 2002, 40, 335.
- 28) O. Salvat, P. Marex, G. Belot, SAE Paper 2000, No.01-0473.
- 29) L. Rocher, F. Garcia, P. Waters, O. Kunstmann, 3. FAD-Konferenz, Dresden, 9-10.11.2005, S. 187.
- 30) R. J. Hendershot, C. M. Snively, J. Lauterbach, Chem. Eur. J. 2005, 11, 806.
- 31) A. Corma, J. M. Serra, Catal. Today 2005, 107, 3.
- 32) C. J. Brooks, J. Pigos, A. Hagemeyer, K. Yacato, R. Carhart, M. Herrmann, A. Lesik, P. Strasser, A. Volpe, H. Turner, H. Weinberg, Prepr. Am. Chem. Soc. Div. Pet. Chem. 2005, 50, 140.
- 33) D. Hancu, R. E. Colborn, R. Kilmer, Prepr. Am. Chem. Soc. Div. Pet. Chem. 2005, 50, 135.
- 34) H. Wang, Z. Liu, J. Shen, H. Liu, J. Zhang, Catal. Commun. 2005, 343.
- 35) J. S. Paul, R. Janssens, J. F. M. Denayer, G. V. Baron, P. A. Jacobs, J. Comb. Chem. 2005, 7, 407.
- 36) R. Vijay, R. J. Hendershot, S. M. R. Ivera-Jimenez, W. B. Rogers, B. J. Feist, C. M. Snively, J. Lauterbach, Catal. Commun. 2005, 6, 167.
- 37) R. Borade, O. Bruemmer, A. Guram, A. Hagemeyer, H. Turner, X. Wang, H. Weinberg, Chem. Eng. Commun. 2005, 192, 1621.
- 38) Y. Yamada, A. Ueda, H. Shioyama, T. Maekawa, K. Kanda, K. Suzuki, T. Kobayashi, Meas. Sci. Technol. 2005, 16, 229.
- 39) S. Noda, Y. Tsuji, Y. Murakami, S. Maruyama, Appl. Phys. Lett. 2005, 86, 173106/1.
- 40) J. I. Goldsmith, W. R. Hudson, M. S. Lowry, T. H. Anderson, S. Bernhard, J. Am. Chem. Soc. 2005, 127, 7502.
- 41) T. F. Jaramillo, S.-H. Baek, A. Kleiman-Shwarsstein, K.-S. Choi, G. D. Stucky, E. W. McFarland, J. Comb. Chem. 2005, 7, 264.
- 42) H. Schmidt, M. Akarsu, T.S. Müller, K. Moh, G. Schäfer, D. J. Strauss, M. Naumann, Res. Chem. Intermed. 2005, 31, 535.
- 43) S.-H. Baek, T. F. Jaramillo, A. Kleiman-Shwarsstein, E. W. McFarland, Meas. Sci. Technol. 2005, 16, 54.
- 44) R. Jiang, C. Rong, D. Chu, J. Comb. Chem. 2005, 7, 272.
- 45) B. C. Chan, R. Liu, K. Jambunathan, H. Zhang, G. Chen, T. E. Mallouk, E. S. Smotkin, J. Electrochem. Soc. 2005, 152, A594.
- 46) V. Ryabova, A. Schulte, T. Erichsen, W. Schuhmann, Analyst 2005, 130, 1245.
- 47) M. Mayr, D. Wang, R. Kröll, N. Schuler, S. Prühs, A. Fürstner, M. R. Buchmeiser, Adv. Synth. Catal. 2005, 347, 484.
- 48) J. Rudolph, M. Lormann, C. Bolm, S. Dahmen, Adv. Synth. Catal. 2005, 347, 1361.
- 49) J. Le Nôtre, R. Touzani, O. Lavastre, C. Bru-neau, P. H. Dixneuf, Adv. Synth. Catal. 2005, 347, 783.
- 50) M. Saupe, R. Födisch, A. Sundermann, S. A. Schunk, K.-E. Finger, QSAR Comb. Sci. 2005, 24, 66.
- 51) A. Ohrenberg, C. von Törne, A. Schuppert, B. Knab, QSAR Comb. Sci. 2005, 24, 29.
- 52) S. R. M. Pereira, F. Clerc, D. Farrusseng, J. C. van der Waal, T. Maschmeyer, C. Mirodatos, QSAR Comb. Sci. 2005, 24, 45.
- 53) D. Farrusseng, C. Klanner, L. Baumes, M. Lengliz, C. Mirodatos, F. Schüth, QSAR Comb. Sci. 2005, 24, 78.
- 54) A. Corma, J.M. Serra, P. Serna, M. Moliner, J. Catal. 2005, 232, 335.
- 55) J. Scheidtmann, D. Klär, J. W. Saalfrank, T. Schmidt, W. F. Maier, QSAR Comb. Sci. 2005, 2, 203.
- 56) G. M. Forde, Nature Biotechnol. 2005, 23, 1059.
- 57) M. H. Thomsen, Appl. Microbiol. Biotechnol 2005, 68, 598.
- 58) P. Lorenz, H. Zinke, Trends Biotechnol., im Druck.

**ELEKTROPHILE ADDITIONEN AN C=C-DOPPELBINDUNGEN**

$C=C + ICR_2 \rightarrow \begin{matrix} C-C \\ | \quad | \\ R \quad R \end{matrix}$

(ADDITION VON CARBENEN) ~~UND~~ (CYCLOPROPAN)



$CH_2-O-C-Cl + AS \rightarrow \begin{matrix} H \\ | \\ H_2N-C-COO^- \\ | \\ R \end{matrix}$

(FMOC-Cl) (AMINO-SÄURE)

**HEUTE!!**

**ANRUFEN!!!**

**GDCh**

→ TEL. 069.7917 364  
WWW.gdch.de

[FORTBILDUNG]

**GDCh**  
GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

Fortbildung  
Telefon 069 / 7917 364  
Fax 069 / 7917 475  
E-Mail fb@gdch.de  
Internet www.gdch.de