

ITMC / TC • RWTH Aachen • Worringerweg 1 • D-52074 Aachen

An die
Enquetekommission II des
Landtags NRW
z.Hd. M. Preuß
Landtag NRW
Platz des Landtags
40221 Düsseldorf

Ihre Nachricht/ Ihr Zeichen:
Unsere Abteilung/ Unser Zeichen:
URL: <http://www.itmc.rwth-aachen.de>
E-Mail: leitner@itmc.rwth-aachen.de
Telefondurchwahl: +49(0)241 / 80-26480

Aachen, den 06.05.2014

**Anhörung „Intensivierte chemische Verfahren“ /
Fragebogen**

LANDTAG
NORDRHEIN-WESTFALEN
16. WAHLPERIODE

**STELLUNGNAHME
16/1685**

A23

Sehr geehrte Präsidentin Frau Gödecke,

zur Vorbereitung der Anhörung der Enquetekommission II "Intensivierte chemische Verfahren" hatten Sie um eine Stellungnahme in Bezug auf den Fragenkatalog gebeten. Da ich erst seit Freitag [REDACTED] zurück bin, kann ich Ihnen die Stellungnahme erst heute übermitteln. Ich hoffe, dass dies nicht zu große Unannehmlichkeiten bereitet.

Ich bin sehr auf die Diskussion in der Enquetekommission gespannt.

Mit freundlichen Grüßen,



(Prof. Dr. W. Leitner)

KATALYSE

1) *Aktuelle Bedeutung für die Nachhaltige Chemie*

Die Katalyse ist *die* Schlüsseltechnologie für nachhaltige chemische Prozesse. Bereits heute werden mehr als 80% aller chemischen Prozesse unter Einsatz von Katalysatoren durchgeführt, bei neueingeführten Verfahren liegt der Anteil sogar noch höher. Der Einsatz maßgeschneiderter Katalysatoren ermöglicht die effiziente Umwandlung petrochemischer Rohstoffe und trägt damit entscheidend zu deren verantwortungsvoller Nutzung bei. Großer Bedarf besteht nach wie vor bei der Erforschung der Wirkungsweise solcher Katalysatoren, um deren Effizienz stetig zu verbessern und neue Verfahrenswege mit verminderter Abfallbelastung und erhöhter Material- und Energie-Effizienz entwickeln zu können.

Für die Erschließung alternativer Rohstoffquellen (Erdgas, Kohle, Biomasse, Kohlendioxid) ist die Katalyse von entscheidender Bedeutung. Bei Biomasse und CO₂ handelt es sich – im Gegensatz zu den fossilen Rohstoffen – um Kohlenstoff in oxidiertem Zustand. Von überragender Bedeutung sind daher katalytische Prozesse, die eine selektive Re- und De-Funktionalisierung der Ausgangsstoffe ermöglichen. Entsprechende Katalysatoren sind in Ansätzen entwickelt und NRW hat auf diesem Gebiet eine international führende Stellung in der akademischen und industriellen Forschung.

2) *Möglichkeiten und Grenzen von modularen Mikroreaktoren*

Mikroreaktoren erlauben die Erweiterung von Prozessparametern in Bereiche, die mit konventioneller Technik nicht oder nicht effizient erreicht werden können (Drücke, Temperaturen, Explosionsgrenzen, etc). Damit bieten sich neue verfahrenstechnische Optionen für die chemische Produktion. Im Bereich von Grundchemikalien ist damit ein Paradigmenwechsel vom „scaling up“ zum „numbering up“ möglich. Die Investitionskosten sind dabei im Einzelfall entscheidende Kriterien für die bevorzugte Verfahrensvariante.

Die Verbesserung von Stoff- und Wärmetransport – und eine damit verbundene Steigerung der Energieeffizienz - ist ein weiterer potenzieller Vorteil der Miniaturisierung und Modularisierung chemischer Verfahren. Die daraus resultierenden schnelleren Ansprechzeiten solcher Apparaturen sind für zukünftige Herausforderungen variierender Energie- und Rohstoffflüsse von besonderem Interesse.

Darüber hinaus bieten kompakte und flexible, hoch automatisierte Anlagenkonzepte großes Potenzial für Produkte mit hoher Wertschöpfung.

3) *Katalysatoren der Zukunft*

Katalysatoren werden zunehmend auf molekularer Ebene „maßgeschneidert“ und so in ihrer Funktionalität optimiert (multifunktionale Katalysatoren). Damit vermindern sie den Energiebedarf während der Reaktion, vor allem aber auch in der Aufarbeitung und Trennung, da Zwischenschritte entfallen und unerwünschte Nebenprodukte vermieden werden.

Metallbasierte Katalysatoren sind auf absehbare Zeit unverzichtbar, und ein zunehmendes Verständnis ihrer Wirkungsweise erlaubt eine immer effizientere Nutzung der wertvollen Bestandteile. Die Verfügbarkeit selbst seltener Edelmetalle ist für eine chemische Nutzung in aller Regel kein limitierender Faktor. Schon aus Kostengründen werden extrem hohe Recyclingraten erreicht und die Dissipation ist bei chemischen Verfahren gering. Darüber hinaus lassen sich aus den Prinzipien der Edelmetallkatalyse auch Möglichkeiten ableiten, zu kostengünstigeren und besser verfügbaren Metallen überzugehen. Dieser Trend wird sich fortsetzen und in den einzelnen Sektoren der chemischen Industrie aufgrund unterschiedlicher Treiber sogar verstärken. In komplexen synthetischen Prozessen der Pharmaindustrie kommen zunehmend auch metallfreie molekulare Katalysatoren (Organokatalyse) zum Einsatz.

4) *Katalyse und Mikroreaktoren*

Die Anwendung von Mikroreaktoren erlaubt verbesserten Stoff- und Energie-Transport und damit eine bessere Nutzung der Katalysatormaterialien. Diese Effekte sind nicht auf „Mikroreaktoren“ im engeren Sinne beschränkt, sondern gelten allgemein für kompakte und flexible Verfahrenskonzepte. Insbesondere der Integration von Stoffumwandlung und Stofftrennung kommt hierbei eine überragende Bedeutung zu. Diese Potenzial gilt nicht nur für die heterogene Katalyse, sondern vor allem und in besonderem Maße für die molekulare Katalyse. Hier ermöglichen solche Kombinationen den Paradigmenwechsel von (ineffizienter) satzweiser Verfahrensweise (batch Betrieb) zu kontinuierlichen Prozessen (flow chemistry).

FLOW CHEMISTRY

5) *Entwicklungsstand und Potenziale*

Die potenziellen Vorteile einer kontinuierlichen Verfahrensweise werden zunehmend auch für hochwertige Produkte in der industriellen Realität erkannt. Derzeit gibt es aber noch eine signifikante Unsicherheit über die Auswahlkriterien und die besten Methoden der Implementierung. Verbundprojekte zwischen Akademie und Industrie wie z.B. die EU FP7 Projekte „F3 Factory“ und „SYNFLOW“ haben hier in den letzten Jahren mit führender Beteiligung aus NRW große Fortschritte ermöglicht.

6) *Anwendungsbereiche*

Bei großvolumigen Grundchemikalien sind kontinuierliche Prozesse bereits heute Stand der Technik. Dabei ist bemerkenswert, dass sowohl heterogene als auch homogene Katalysatoren genutzt werden. Ein illustratives Beispiel ist die Herstellung von Essigsäure (ca 5 Mio t pro Jahr), bei der immer wieder Technologiesprünge zu verzeichnen waren und sind, wobei die Ressourceneffizienz der Katalysatoren den entscheidende Ausschlag für die Wahl eines homogenen oder heterogenen Katalysators gibt.

Die Implementierung kontinuierlicher Verfahren in der Feinchemie und pharmazeutischen Industrie hat ein erhebliches Potenzial zur Einsparung von Ressourcen und Energie. Ein aktuelles Beispiel ist das Verfahren zur Herstellung von Menthol bei der BASF, das 2012 in die Produktion überführt wurde. Ein Schlüssel zum Erfolg war dabei die Möglichkeit der kontinuierlichen Reaktionsführung, die optimierte Bedingungen für die Aktivität und Stabilität des Katalysators während unterschiedlicher Prozessschritte erlaubt. Die Einführung der Membrantechnologie in der Hydroformylierung zu Spezialprodukten bei Evonik ist ein weiterer Beleg für das Potenzial innovativer Trenntechniken. Eine besonders beeindruckende Effizienzsteigerung wurde im BASIL Prozess der BASF realisiert, bei dem durch Integration von Reaktion und Stofftrennung eine Erhöhung der Raum-Zeit-Ausbeute um das 80 000-fache erreicht wurde.

7) *Implementierung*

Der Trend zur Implementierung kontinuierlicher Verfahren in der Feinchemie und pharmazeutischen Industrie hält an, auch wenn die üblichen Innovationszyklen (hype vs Enttäuschung) im Einzelfall durchlaufen werden. Entscheidend für eine noch schnellere Umsetzung wird sein, Fortschritte auf *methodischer Ebene* zu erzielen, um die Implementierungsphase generell – und nicht nur für einzelne Fallstudien – zu beschleunigen. Ferner ist es wichtig, die Prinzipien bereits auf einem frühen Stadium der Produktentwicklung zu nutzen, da sonst ein einmal im Labor entwickelter Syntheseweg nachträglich mühsam auf „flow chemistry“ adaptiert werden muss.

Integrierte Prozesstechnik

8) *Einsparpotenzial*

Während bei Grundchemikalien schon heute häufig eine extrem hohe Rohstoffeffizienz erreicht wird, besteht im Bereich der Energieeinsparung noch ein großes Potenzial. Bei Feinchemikalien und Pharmazeutika ist die Ressourceneffizienz (E-Faktor) der überwiegende Faktor.

9) *Beitrag der Prozesstechnik*

Die Prozesstechnik ist untrennbar mit der Katalysatorentwicklung verbunden. Effiziente Katalysatoren können ihre performance nur in optimierten Verfahren voll zur Geltung bringen. Vice versa erfordern innovative Verfahrenskonzepte häufig maßgeschneiderte Katalysatoren. Die Hydrofomylierung im wässrigen 2-Phasensystem (Ruhrchemie/Rhône-Poulenc-Verfahren) bietet dafür in NRW ein illustratives Beispiel.

Diese Bedeutung wird vor dem Hintergrund variabler Energieströme (erneuerbare Energien) und alternativer Rohstoffquellen noch erheblich zunehmen.

10) *Effizienzsteigerung*

Eine exakte Quantifizierung ist nur im Einzelfall möglich. Potenzielle Vorteile ergeben sich z.B. durch die Einhaltung exakter Mengenverhältnisse sowie Temperatur- und Druckfenster, wodurch unerwünschte Nebenreaktionen unterdrückt und die Standzeit von Katalysatoren erheblich gesteigert werden können. Auf die Einkopplung variabler Energieströme wurde bereits hingewiesen.

11) *Potenziale und Grenzen*

Die unter 8-10 beschriebenen Potenziale können z.T. durch "Retrofitting" an bestehenden Anlagen erreicht werden. Neue Verfahren des "Online Monitorings" mit spektroskopischen Methoden sind dabei besonders wertvoll. Bei neuen Anlagenkonzepten lassen sich solche Innovationen naturgemäß leichter implementieren. „Selbstoptimierende Reaktoren“, die durch feedback loops zwischen integrierter Messtechnik und automatischer Prozessteuerung das optimale Prozessfenster erreichen und beibehalten sind dabei auch für Produkte mit hoher Wertschöpfung zunehmend von Interesse.

Rahmenbedingungen/Auswirkungen

12) *Rahmenbedingungen*

Entscheidende Faktoren sind effiziente Strukturen und stimulierende Rahmenbedingungen in folgenden Bereichen:

- Grundlagenforschung an der Schnittstelle von Natur- und Ingenieurwissenschaften als Basis der Innovation (Balance von Grundausstattung vs Projektförderung)
- Kooperationsmodelle zwischen Akademie und Industrie (CAT, Invite, Planck)
- Start-ups und Ausgründungen
- Ausbildung von Fachkräften auf allen Ebenen (Graduiertenschulen, Studiengänge, duales Ausbildungssystem)
- Positive Anreize für nachhaltige Produktion

13) *Auswirkungen*

Der Chemiestandort NRW benötigt positive Impulse im globalen Wettbewerb. Dies gelingt nur durch Innovation in Prozessen und Produkten. Eine zunehmende Vernetzung unterschiedlicher wirtschaftlicher Sektoren (Energie-Chemie, Landwirtschaft-Chemie, Stahl-Chemie, etc) kann dabei von großem Vorteil sein und wird durch Innovationen im Bereich der Prozessintensivierung begünstigt.

Auch die Synergien innerhalb der Sektoren der chemischen Wertschöpfungskette (Raffinerie, Grundchemikalien, Feinchemie, Pharmazeutische Industrie) können über den Verbund von Stoffströmen hinaus gesteigert werden, wenn methodische Querbezüge zunehmend erkannt und sinnvoll genutzt werden (z.B. flow chemistry).

Zentraler Faktor dabei ist der „Wissensverbund“ als Basis für die erfolgreiche Gestaltung des Wissenschafts- und Wirtschaftsstandorts NRW.