

# Anhörung von Sachverständigen Enquete-Kommission Chemie

## "Intensivierte chemische Verfahren"

am 06. Mai 2014

13 Uhr, Raum E 1 – D 05

LANDTAG  
NORDRHEIN-WESTFALEN  
16. WAHLPERIODE

**STELLUNGNAHME**  
**16/1697**

A23

Dr. Jürgen Lang // Fragenkatalog

Hanau, den 8.05.2014

### Katalyse

1. Was ist die aktuelle Bedeutung der Katalyse für chemische Produktionsprozesse im Hinblick auf nachhaltige Chemie/Herausforderungen für die zukünftige Chemie (Ressourcenschonung, alternative Rohstoffe etc.)?

Die Mehrzahl aller industriellen Verfahren ist katalytisch. Je nach Literatur-Quelle zwischen 85 bzw. 95% der chemischen Prozesse. In den nächsten Jahrzehnten wird die moderne Chemie auf effiziente Katalysatoren angewiesen sein. Die Rolle der Katalyse wird sogar noch wachsen, weil die modernen Vorgaben bzgl. Energieeffizienz, nachhaltiger Prozessmedien (Lösemittel) etc ständig steigen. Es ist zu erwarten, dass biotechnologisch basierte chemische Prozesse zunehmen werden. Damit einher geht die Forderung, Biokatalysatoren (Enzyme, Zellen, Organellen) verstärkt zu erforschen. Diverse Firmen setzen schon heute fast ausschließlich auf biotechnologische Verfahren für die Entwicklung neuer Medikamente.

2. Was sind die Möglichkeiten und Grenzen (technisch und wirtschaftlich) von modularen Mikroreaktoren für die Herstellung von Grundchemikalien?

Das BMBF Leuchtturmprojekt DEMIS ist beispielhaft für die Verknüpfung von Grundchemikalienherstellung mit Mikroverfahrenstechnik genannt. Es wurde hier ein 6 m-langer „Mikroreaktor“ für die Propenoxidsynthese mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in großem Maßstab entwickelt. Einfach ausgedrückt handelte es sich um einen Plattenreaktor, bei dem meterlange Platten auf Millimeterabstand nahe gebracht wurden; also einen „Millireaktor“. Für die Umsetzung fehlte es aber **an einem geeigneten preiswerten Katalysator**, durch den ein ökonomisch akzeptabler Umsatz-Selektivitäts-Betriebspunkt erreicht werden könnte.

Parallele Prozessentwicklungsarbeiten von Velocys (=„mikro“) und Compact-GTL (=„meso“; Waermeintegration) für eine Fischer-Tropsch-Produktionsanlage der Petrobras (Petrochemie) in Brasilien zeigen beispielhaft, dass sich durch eine ganzheitliche (holistische) Betrachtung und der konsequenten Anwendung auch in dieser Größe die „Mikro- und Millitechnologie als „wirtschaftlicheres“ Konzept gezeigt hat. Diese Petrobras-GTL-Anlage ist viel kompakter als vergleichbare konventionelle Anlagen und hat die (ursprüngliche) Idee der Prozessintensivierung Wirklichkeit werden lassen.

Für die Möglichkeiten sei als Beispiel die Wärmeintegration genannt. Meso- oder Milli-Flow-Reaktoren ermöglichen aufgrund ihrer hohen Wäremeübertragungsleistung eine integrierte Kopplung mit reaktionstechnischer Prozessführung. Das vom FhG-IMM geführtes EU-Projekt BIOGO versucht gerade, dies für eine integrierte „Bioraffinerie“ zu demonstrieren (FhG-ICT, TU Eindhoven, Total, Südchemie/-Clariant u.a. sind Partner).

3. Aus welchen Stoffen bestehen die Katalysatoren der Zukunft und welchen Beitrag kann das Maßschneidern von Katalysatoren für die Energieeffizienz leisten?

Homogene Katalysatoren in der Chemie und Feinchemie müssen künftig noch effizienter und möglicherweise anders (vor Ort in der Synthese) rezykliert werden; schon allein aus Kostengründen, da immer seltener werdende und damit auch teurer werdende PGM-Metalle als aktives Zentrum verwendet werden. Auch die Liganden homogener Katalysatoren haben ein Preisniveau erreicht, das den Metallen gleich kommt oder diese sogar noch übertrifft.

Hinsichtlich Design neuer Katalysatoren sei beispielhaft auf die Arbeiten von Prof. Leitner (RWTH Aachen) und der Uni Erlangen (Wasserscheid) sowie auf Arbeiten von Prof. Groeger (U Bielefeld) verwiesen. Dies betrifft die Fixierung von Katalysatoren in dünnen Fluidschichten und die Entwicklung von Katalysatorkaskaden (wie in der Natur, biomimetisch) zur Synthese komplexer Moleküle.

4. Wie kann die heterogene Katalyse durch die kombinierte Anwendung mit Mikroreaktoren verbessert werden?

Der aktuelle Hanns-Hofmann-Preisträger Prof. Dr.-Ing. Robert Güttel, hat grundlegende Arbeiten zur Entwicklung von strukturierten Katalysatoren und Reaktoren für Synthesegasreaktionen erarbeitet. Dies ist ein Trend in ganz Europa. Das EU-Programm SPIRE-5 in HORIZON2020 widmet sich explizit strukturierten katalytischen Reaktoren und erwähnt die Mikroreaktionstechnik und Kompaktanlagentechnologie explizit als Elemente für Effizienzsteigerungspotentiale. Beides ergänzt sich – heterogene Katalysatoren und Mikroreaktoren. Unter letzteren werden auch Millireaktoren oder allgemein strukturierte Reaktoren (Monolithe, Plattenreaktoren) verstanden.

#### Flow Chemistry

5. Was ist der Entwicklungsstand und was sind die Potentiale bei Flow Chemistry?

Die Mikroreaktionstechnik kann auf mehr als 20 Jahre Entwicklung zurückschauen; die Flow Chemistry auf etwa 10 Jahre. Es gibt ein umfangreiches kommerzielles Angebot von Mikroreaktoren. Die IVAM als Mikrotechnik-Plattform in Dortmund und die mit Firma Ehrfeld-BTS sind hier neben vielen anderen zu nennen. Corning und vormals Alfa-Laval fertigen mikrostrukturierte Reaktoren und Wärmetauscher im größeren technischen Maßstab. Ehrfeld-BTS vermarktet ferner die industriellen Mikroreaktoren der Lonza AG (Schweiz). Deren Set überspannt den Bereich vom Labor bis zur Produktion von Spezialchemikalien in drei Stufen.

Die Flow Chemistry hat dieses „Ingenieurangebot“ durch ein Angebot für den synthetischen Chemiker deutlich erweitert. Inzwischen kann man komplette automatisierte Flow Chemistry-Systeme fürs Labor kaufen (Syrris, Thales-Nano, Uniqsys, Amtech, ...). Damit hat die Mikroreaktionstechnik zumindest in der chemischen Entwicklung eine tiefe Akzeptanz gefunden. Einige der bekanntesten Chemiker setzen stark auf Flow Chemistry (Seeberger, Ley, Buchwald, Yoshida). Flow Chemistry ist selbstverständlicher Bestandteil der anerkannter Chemiejournalen (Angew. Chemie) geworden.

Über den wahren Durchdringungsgrad von Flow Chemistry in der chemischen Industrie kann nur spekuliert werden. Hier ist eine deutliche Informationsbeschränkung zu beobachten. Bei Pharmafirmen ist Flow Chemistry wohl gesetzt (ACS Pharmaceutical Roundtable 2010) und Pfizer, DSM, GSK, Eli Lilly, Lonza, OmniChem etc haben Anwendungsbeispiele publiziert. Oft finden sich Beispiele mit anspruchsvoller Betriebsführung (Ex-Bereich), für die es mit konventioneller Reaktionstechnik einen Stop in der Scale-Up-Entwicklung gegeben hat. Mikroreaktionstechnik öffnet hier Optionen zu einer sicheren und effizienten Betriebsweise. Auch in der Feinchemie sind einige Beispiele für Pilot- und Produktionsanwendungen bekannt. Hessel berichtet in diversen Reviews und Buchkapiteln über 50 solcher veröffentlichten Beispiele weltweit.

Eine Herausforderung ist letztlich das Down-Stream-Processing (Produktaufarbeitung) und dafür das Downscaling der Apparate insbesondere auf den Kleinmengen-, Produktionsmaßstab (Prof. Stube, Uni Claustal). Flow Chemistry braucht einen holistischen Systemansatz.

6. Welche möglichen Anwendungsbereiche gibt es (mengen- und produktbezogen)?

Wie oben ausgelegt, sind die Anwendungen in jedem Fall für die Pharmasynthese (100 kg Produkt/Charge typischerweise; etwa 1-10 t/a) zu sehen. Auch in der Fein- und Spezialchemie (100-1000 t/a) gibt es mögliche Anwendungsbereiche. Hier spielt die Verkürzung der Entwicklungszeiten (50%-Idee / Bayer, BASF, Evonik u.a.) eine wichtige Rolle und nicht alleine Überlegungen zu CAPEX

und OPEX. Die Mikroreaktionstechnik ist ein Element, um auf den Punkt genau am Markt zu sein und damit neue „Windows of Opportunity“ zu öffnen.

7. Sehen Sie eher eine langsame, aber stetige Implementierung in die Pilot- und Produktionstechnik der chemischen Industrie oder erwarten Sie ab einem bestimmten Zeitpunkt eine mehr sprunghafte Valorisation? Im letzten Fall, wann und warum?

Die Implementierung ist i.d.R. langsam, aber stetig. Dies hat viel mit der Bedeutung von IPR (Patenten) und den hohen CAPEX-Kosten der chemischen Industrie zu tun. Neue innovative Technologien – jedweder Art – diffundieren nur langsam in die Anwendungen. Ein Sprung ist nicht zu erkennen oder erwarten.

Es kann jedoch zu einer gewissen Beschleunigung bei der Implementierung kommen. Ursache hierfür kann ein Umbruch in den Grundstoffen (Biobased Economy, Power-to-Chemistry etc.) sein. Eine weitere Beschleunigung wird durch den Generationenwechsel bei verantwortlichen Prozessingenieuren erwartet (Bedeutung von Mindset in den Entscheidungen). Ggf. unterstützt eine gezielte „Förderung“ dieser Diffusionsprozesse durch die öffentliche Hand, flankiert durch sog. Impuls-Programme des Lands.

#### Integrierte Prozesstechnik

8. Bei welchen chemischen Prozessen ist das Einsparpotenzial am höchsten? Werden diese Verfahren bereits großtechnisch eingesetzt?

Die chemische Industrie ist auch heute schon, was Prozesse angeht, hochgradig integriert („Verbund“). Neu ist die Forderung, Reaktion und Grundoperationen innerhalb einer Prozesseinheit, ja selbst innerhalb eines Reaktors, zu integrieren. Das ist geboten bei energieintensiven Verfahren; gerade bei den Grundstoff-Synthesen. Integrierte Prozesstechnik kann hier helfen „Licht in das Dunkel des Reaktors zu bringen“ und durch geeignete Regelungstechnik Nebenprodukte zu reduzieren und damit die Wertschöpfung an den Grundstoffen zu erhöhen. Membrantechniken oder hybride Trennverfahren (als Alternativen zu Destillationen) haben darüber hinaus Potentiale, um Energie in der Aufreinigung zu sparen.

9. Welche Beiträge kann die Prozesstechnik für effiziente und nachhaltigere Chemieprozesse leisten?

Prozesstechnik allgemein hilft, Chemie an ihrem Optimum zu führen. Letztlich setzt Prozesstechnik alle vorher (Katalysator, Reaktor, Chemie, Regelung/Control) eingeleiteten Vorteile (Kosten, Umwelt) in die Realität um. Man muss daher die Prozessentwicklung holistisch betrachten und alle diese Elemente zusammen am Anfang der Prozessplanung gestalten. Stand der Technik ist, dies schrittweise und nacheinander – Schritt für Schritt - zu tun.

Neue Ansätze propagieren gerade die Prozesstechnik auch schon am Anfang der Entwicklung einzusetzen. So ermöglicht der Infrastrukturstandard der Evonik oder der F3-Standard, Laborexperimente bereits in einer Produktionsumgebung durchzuführen und dabei die Prozesskontrolle schon in diesem frühen Stadium mit zu betrachten. Dies könnte ein Mittel zum Zweck sein, um beispielsweise frühzeitig Daten für die Kinetik von Reaktionen bereitzustellen, die für eine brauchbare Modellbildung benötigt werden, um gerade Anlagen am Optimum und schnell auszulegen.

10. Welche Effizienzsteigerungen werden durch integrierte Prozesssteuerung mit verbesserten Messtechniken und Dosiereinrichtungen erreicht?

Man kann dies nicht unabhängig von den vorher genannten Effekten (Katalysatoren, Flow Chemistry, Reaktoren) sehen. Viele Experten, Roadmaps und LCA-Analysen weisen deutliche Energie- und Carbon Footprint-Einsparungen aus (z.B. 30-50%) – Literaturwerte weisen hier moderate jährliche Effizienzsteigerung aus (Berichte FhG-ISI bspw. zur rationellen Energienutzung). Die Betriebskosten und der Materialverbrauch können entsprechend gesenkt werden. Wichtig ist aber auch die Verkürzung der Dauer der Prozessentwicklung (und damit auch dieser Kosten). Die Werte variieren natürlich im Einzelfall.

11. Was sind die Vor- und Nachteile bzw. Potentiale und Grenzen der integrierten Prozesstechnik (für bestehende und neue Anlagen)?

Keine Angaben hierzu

#### Rahmenbedingungen/Auswirkungen

12. Welche (politischen) Rahmenbedingungen müssen existieren/geschaffen, welche Hürden müssen gegebenenfalls überwunden werden, um den Einsatz von Flow Chemistry und Prozessintensivierung im Allgemeinen voranzutreiben?

Die Brücke zwischen Forschung und Produkteinführung sollte verbessert werden. Viele Innovationen finden leider im noch riskanten Entwicklungsstadium keine Förderung mehr und erreichen dann nicht die Valorisation, die sie haben könnten. Risiken sind vielfältig und führen dazu, dass Innovationen erst später aufgegriffen werden; genau dann, wenn ihre Umsetzung sicher erscheint. Die EU hat dieses Dilemma erkannt und ist Vorreiter mit der Förderung von sog. TRL7-Vorhaben. Im Zuge der Aufgabenteilung EU/Bund/Land/Region sollten hier flankierende Optionen angeboten werden. Als Leitmotiv sollte eine ganzheitliche Innovationskultur geschaffen werden, die die Brücke von Forschung zum Produkt begleitet.

13. Welche Auswirkungen hat der Ausbau von Prozessintensivierung für den Chemieproduktionsstandort (z.B. auf die Verbundstruktur) NRW?

NRW hat mit dem EU-FP7-Leuchtturmprojekten F3-FACTORY und CoPIRIDE sowie den Prozessintensivierungsaktivitäten an der TU Dortmund und der RWTH Aachen gezeigt, dass es eine Vorreiterrolle inne hat. Hier gilt es, Stärken weiter auszubauen und eine/die weltweite Exzellenz durch Vernetzung bspw. mit den anderen ingenieurtechnischen Fakultäten (z.B. Regelungstechnik, Materialwissenschaften) zu festigen. Dann kann die Prozessintensivierung das seine am Ausbau des Chemieproduktionsstandorts NRW beitragen.