

LANDTAG
NORDRHEIN-WESTFALEN
16. WAHLPERIODE

INFORMATION
16/377

A23

2014

Innovationsleistungsfähigkeit der chemischen Industrie in NRW- Katalyse“



Karen Perrey, Henning Kayser, Konstantinos
Douzinas, Walter Leitner, Christoph
Sievering

RWTH Aachen, CleanTech NRW

30.09.2014

Gutachten „Innovationsleistungsfähigkeit der chemischen Industrie in NRW- Katalyse“

Kapitel 0 - Zusammenfassung

Die chemische Industrie ist forschungsintensiv und ein **Innovationsmotor** und Impulsgeber für Innovationen in vielen Wertschöpfungsketten der deutschen Wirtschaft. In rund **90 %** aller chemischen Prozesse kommen Katalysatoren zum Einsatz, also Substanzen, die Reaktionen beschleunigen, ohne selbst verbraucht zu werden. Solche Verfahren **erhöhen die Effizienz** in der Produktion und **verringern den Energieverbrauch**, wodurch wiederum der Ausstoß an Treibhausgasen reduziert wird.

Deutschland ist derzeit der viertstärkste chemische Forschungsstandort weltweit, allerdings erhöht sich der **Wettbewerbsdruck** auf den Forschungsstandort Deutschland erheblich. Starkes Wachstum erfährt die chemische Industrie hauptsächlich in China und im Nahen Osten.

In Nordrhein-Westfalen gibt es eine **exzellente Forschungslandschaft** mit hoher Dichte und mehreren lokalen Kompetenzzentren in der Schlüsseltechnologie Katalyse.

NRW ist im Vergleich mit anderen europäischen Chemieregionen **sehr gut positioniert** und liegt in der Spitzengruppe. Hauptgründe für diese erfreuliche Position sind (i) die erstklassige Infrastruktur, (ii) die gute Vernetzung der Industrie untereinander in Chemieparks, (iii) starke Vernetzung zwischen Forschung und Industrie in Verbund- und Netzwerkstrukturen, (iv) gut ausgebildete Arbeitskräfte und hochqualifizierte Fachkräfte sowie (v) die hohe Intensität der Forschung und Entwicklung. Standortnachteile sind die fehlende steuerliche Forschungsförderung und die **relativ hohen Energiekosten**.

Ein möglichst effizienter Umgang mit Energie und anderen Ressourcen ist der Schlüssel zur zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit von NRW. Da Katalysatoren Prozesse beschleunigen, energieeffizienter machen und die Ausbeuten steigern können, sind F&E- Aktivitäten im Bereich Katalyse von **zentraler Bedeutung im Wettbewerb der Standorte** der Chemieregionen.

Auch im Energiebereich spielt die Katalyse eine wichtige Rolle als möglicher Problemlöser bei der Kopplung von Energiewirtschaft und chemischer Synthese. Mit Technologien wie Power-to-

chemistry, Power-to-gas oder Power-to-liquid könnte Überschussstrom chemisch gespeichert werden und damit einen Beitrag zum Gelingen der Energiewende leisten.

Die Biokatalyse setzt Enzyme, Proteine oder lebende Zellen zur Katalyse chemischer Reaktionen ein. Die Bedeutung sowohl für die chemische Industrie als auch für andere Industriezweige, wie Lebensmittel-, Kosmetik-, Textil-, oder Papierindustrie nimmt stark zu.

In der chemischen Katalyse werden Materialien und oder Substanzen als chemische Katalysatoren eingesetzt, die zwei Reaktionspartnern neue Reaktionswege eröffnen indem sie deren Reaktionsfreudigkeit erhöhen bzw. die Reaktion in Gang setzen.

Schlüssel zum Erfolg bei der Umsetzung von beiden Arten der Katalysatorforschung in die industrielle Anwendung ist eine starke **interdisziplinäre Vernetzung** zwischen Biotechnologie, Chemie, Verfahrenstechnik und den Anwendungsgebieten, wie z.B. den Materialwissenschaften.

Die großen neuen Herausforderungen der Katalyse liegen in der Schließung von Kohlenstoffkreisläufen durch die stoffliche Nutzung von Biomasse oder Kohlendioxid (CO₂)

Dieses Gutachten identifiziert **vier große wissenschaftliche Herausforderungen** für die nächste Dekade, nämlich (i) (1) Das Verständnis von Katalysatoren auf atomarer bzw. molekularer Ebene, (ii) Multifunktionale Katalysatoren, (3) Rationales Katalysatordesign und (iv) (4) Neue katalytische Reaktivitäten.

Schließlich werden **neun Handlungsempfehlungen** genannt und begründet. Eine Umsetzung würde dazu führen, dass NRW die Zukunftschancen nutzt und neue Technologien, Anlagen und Arbeitsplätze am Standort NRW verankert.

Es sollten unter anderem **lokale Kompetenzzentren** gestärkt, und eine **intersektorale Zusammenarbeit** unterstützt werden. Von entscheidender Bedeutung für die Zukunftsfähigkeit ist die technische Demonstration zum Nachweis ökonomischer und ökologischer Vorteile gegenüber etablierten Verfahren. Dafür werden **industrielle Pilotanlagen** benötigt, die für eine schnelle zielgerichtete Entwicklung von Innovationen aus NRW erfolgskritisch sind.

Kapitel 1 - Bedeutung der chemischen Industrie

Die chemische Industrie gehört mit derzeit etwa 438.000 Beschäftigten in rund 2000 Unternehmen und einen Umsatz von über 190 Mrd. Euro zu den größten Industriezweigen in Deutschland. Aufgrund ihrer Positionierung als wichtiger Rohstofflieferant für fast alle verarbeitenden Gewerbe spielt die chemische Industrie eine maßgebende Rolle als Innovationsmotor und Impulsgeber für Innovationen in den meisten Wertschöpfungsketten der deutschen Wirtschaft. Sie nimmt dabei eine zentrale Position in wichtigen Zukunftsmärkten ein, auch im globalen Wettbewerb. Mit etwa 65 Mrd. Euro sind fast zwei Drittel aller ausgeführten Chemieprodukte forschungsintensiv¹.

Die chemische Industrie bietet sichere, qualifizierte und überdurchschnittlich bezahlte Arbeitsplätze und bildet jährlich rund 20.000 junge Menschen aus. Allein in NRW befinden sich über 400 Chemieunternehmen mit 65 Milliarden Umsatz und mehr als 100.000 Beschäftigten. Von den 20 umsatzstärksten deutschen Chemieunternehmen haben allein 7 ihren Sitz in NRW.²

Die chemische Industrie hat in den vergangenen Jahren ihre Innovationskraft stetig gestärkt. Wachstum kann in Europa nur mit Innovationen (neue Produkte und Verfahren) erzeugt werden. Mit ca. 10,5 Milliarden Euro erreichten die Ausgaben der chemischen Industrie für Forschung und Entwicklung einen historischen Höchststand in 2013. Dies entspricht etwa 17,5 Prozent der gesamten Forschungs- und Entwicklungsausgaben der deutschen Industrie. Die chemische Industrie gehörte damit gemeinsam mit dem Fahrzeugbau und der Elektrotechnik zu den drei Branchen mit den höchsten Forschungsbudgets in Deutschland.

Der Personalaufbau in Forschung und Entwicklung (F&E) stieg mit 5 Prozent deutlich dynamischer auf, als der gesamte Beschäftigungszuwachs in der Branche von 1,3 Prozent. In 2013 arbeiteten fast 44.500 Beschäftigte in Forschungs- und Entwicklungsabteilungen. Jeder zehnte Chemiebeschäftigte ist inzwischen in einer F&E-Abteilung beheimatet. Die Innovationskraft der chemischen Industrie profitiert dabei von einer leistungsstarken und wettbewerbsfähigen Grundlagenforschung. Etwa 40% der Unternehmen, die in den letzten Jahren neue Produkte auf dem Markt eingeführt haben, unterhalten Forschungsk Kooperationen mit Hochschulen.

¹ Quelle VCI Bericht: Stärkung der Innovationskraft der chemischen Industrie , Juli 2014

² Quelle VCI 2011, <http://www.chemsite.de/chemsite/region/chemieland-nrw.php>

Deutschland ist derzeit noch der viertstärkste chemische Forschungsstandort weltweit nach U.S.A., Japan und China. Allerdings haben insbesondere asiatischen Länder wie China, Indien und Korea in den letzten Jahren verstärkt in Bildung und Hochschulen investiert und befinden sich im Vergleich zu den westlichen Chemieländern auf der Überholspur. Dadurch wird sich in den nächsten Jahren der Wettbewerbsdruck auf den Forschungsstandort Deutschland erheblich erhöhen. Zudem ist mit steigenden Produktionsanteilen international agierender Firmen eine Verlagerung von Forschungsaktivitäten nach Asien sowohl für die chemische Industrie als auch für das verarbeitende Gewerbe zu beobachten.

Dennoch behält Deutschland als Innovationsstandort besondere Vorteile im Gebiet der Spezialchemie. Mit einer entsprechenden Spezialisierungsstrategie unterstützt vom starken industriellen Produktions- und Forschungsverbund soll die Innovationskraft Deutschlands in den kommenden Jahrzehnten wachsen.

Kapitel 2 - Chemieregionen der Welt

Die Perspektiven der chemischen Industrie haben sich in den letzten Jahren von Region zu Region sehr unterschiedlich entwickelt. Den reiferen, langsam wachsenden bzw. stagnierenden Chemieregionen U.S.A., Westeuropa und Japan stehen die dynamisch wachsenden Regionen der BRIC-Länder und des Nahen-Osten gegenüber. Insbesondere nach der Finanzkrise in 2008-2009 nahm die Investitionsbereitschaft in neuen Anlagen in den etablierten Chemieregionen deutlich ab und die verbleibenden Wachstumsimpulse erfolgten hauptsächlich in China und im Nahen Osten.

In den letzten beiden Jahren spielen Veränderungen bei den regionalen politischen und logistischen Rahmenbedingungen eine immer bedeutendere Rolle für die weitere Entwicklung der chemischen Industrie. Der rasante Ausbau der Schiefergastechnik in den U.S.A. mit den entsprechenden Verbesserungen bei der Energie- und Rohstoffversorgung gibt neue signifikante Impulse für die Petrochemie und Basischemie in Nordamerika. Knapp 200 neue Anlagenprojekte mit einem Investitionswert von fast 95 Mrd. Euro sind im Aufbau oder geplant. Die U.S.A. stellen sich strategisch auf, um ihre frühere Position als führender Chemieexportnation zurück zu erobern und beabsichtigen Produktionsanlagen aus China zurück zu holen. China dagegen plant das Wirtschaftswachstum mit Verstärkung der Innennachfrage und Kontrolle der Exporte zu konsolidieren. Darüber hinaus werden immer mehr einheimische Unternehmen subventioniert während die gesetzlichen Rahmenbedingungen für ausländische Investoren immer anspruchsvoller gestaltet werden. Im Nahen Osten beeinflusst z.Z. die fehlende geopolitische Stabilität zusammen mit dem Verbrauch der Gasreserven die Wettbewerbsfähigkeit der Region. Ein Wechsel von Naphtha zu Ethan als Grundrohstoff wird die bisherigen Wettbewerbsvorteile der regionalen petrochemischen Industrie verringern.

Europa wurde am stärksten von der Finanzkrise getroffen und zeigt ein sehr diversifiziertes Bild. Während die südlichen Nationen mit einer langjährigen und tiefen Rezession kämpfen, behalten viele Chemieregionen in Deutschland, den Niederlanden, Belgien, Frankreich und Großbritannien eine gute Wettbewerbsfähigkeit aufgrund ihres hervorragend ausgebildeten Personals und ihrer langjährig optimierten Infrastruktur.

Bei einem detaillierteren Regionalvergleich müssen nicht nur technische sondern auch wirtschaftliche, politische und soziale Rahmenbedingungen bewertet werden. Entscheidende Parameter, die eine nachhaltige und erfolgreiche Entwicklung einer Chemieregion gewährleisten,

sind u.a. Verfügbarkeit von Rohstoffen und Energie sowie Ausbau der Logistikinfrastruktur, Verfügbarkeit und Qualifikation der Arbeitskräfte, Steuergesetze und Akzeptanz der Gesellschaft, Innovationskraft und Forschungslandschaft sowie Investitionsanreize und Standortmarketing.

NRW nimmt im Vergleich mit anderen europäischen Chemieregionen eine gute Position im Spitzenfeld ein. Dies wird auch vom vergleichsweise hohen Volumen ausländischer Direktinvestitionen in NRW insbesondere im Bereich der chemischen Produktion in den letzten Jahren bestätigt. Als eine der größten Chemieregionen Europas mit etwa ein Viertel der Beschäftigten der deutschen chemischen und pharmazeutischen Industrie, hat NRW in der Vergangenheit Investitionsprojekte mit überdurchschnittlichem Investitionsvolumen angezogen.

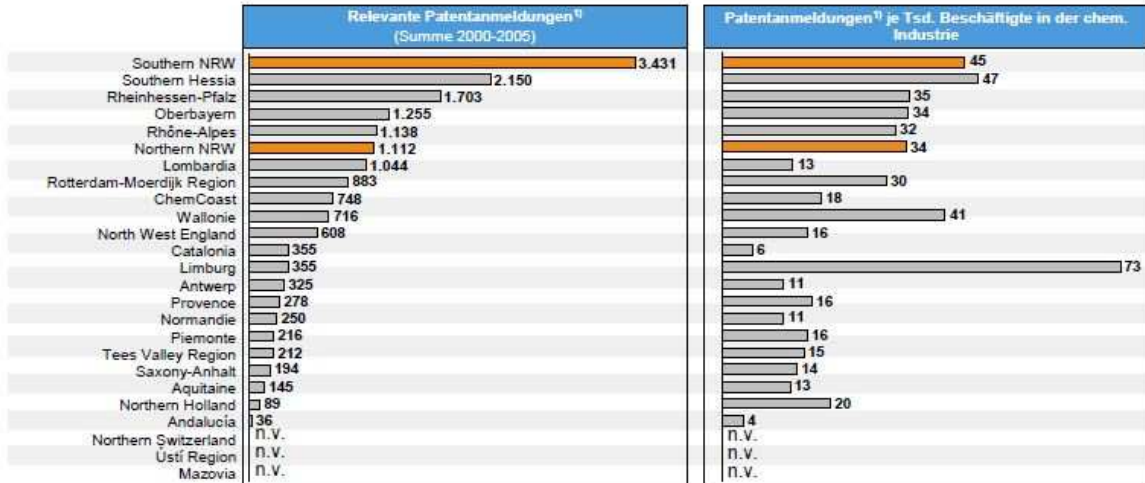
Die gut ausgebildeten und zahlreichen Arbeitskräfte in NRW werden mit wettbewerbsfähigen Lohnkosten vergütet, die im Mittelfeld der direkten Wettbewerber in den Niederlanden, Belgien und Großbritannien liegen. NRW verfügt historisch bedingt über erstklassige Infrastruktur - sehr gut ausgebaute Verkehrswege und Zugang zum größten Pipeline-Netzwerk Europas. Die Instandhaltung der Verkehrswege sowie der Ausbau des Pipeline-Netzwerkes sind unabdingbar, um gegenüber neueren Chemiestandorten in Asien und den Nahen Osten zu bestehen.

Unter den betrachteten Ländern verzeichnet Deutschland die höchsten FuE-Ausgaben in der chemischen Forschung. Patentanmeldungen sind ein guter Indikator für die Forschungsleistungen einer Region. Vergleicht man die Patentanmeldungen der Kategorie „Chemie/Metallurgie“ beim europäischen Patentamt aus unterschiedlichen Regionen, führt das Südliche NRW die Statistik mit großem Abstand an, gefolgt von Südhessen, Rheinhessen-Pfalz und Oberbayern:

Auf regionaler Ebene geben die Patentanmeldungen einen Indikator für die Innovationsstärke der Regionen

Patente auf Regionalebene

BRANCHENSPEZIFISCH



1) Anzahl Patentanmeldungen beim EPO im Bereich Chemistry/Metallurgy. Beinhaltet die Sektion C ("Chemistry; Metallurgy") der International Patent Classification (IPC) - u.a. Organische Chemie; Anorganische Chemie; Glas; Wasser-, Abwasser- und Abfallbehandlung; Baustoffchemie; Düngemittel; Sprengstoffe; Farben/Lacke; Klebstoffe; Petrochemie; Biochemie; Nahrungsmittelchemie; Metallurgie
Quelle: Eurostat, Booz & Company Analyse

Booz & Company
Montag, 29. Juni 2009

090622 ChemieRegionenEndberichtAnhang V7.ppt

32

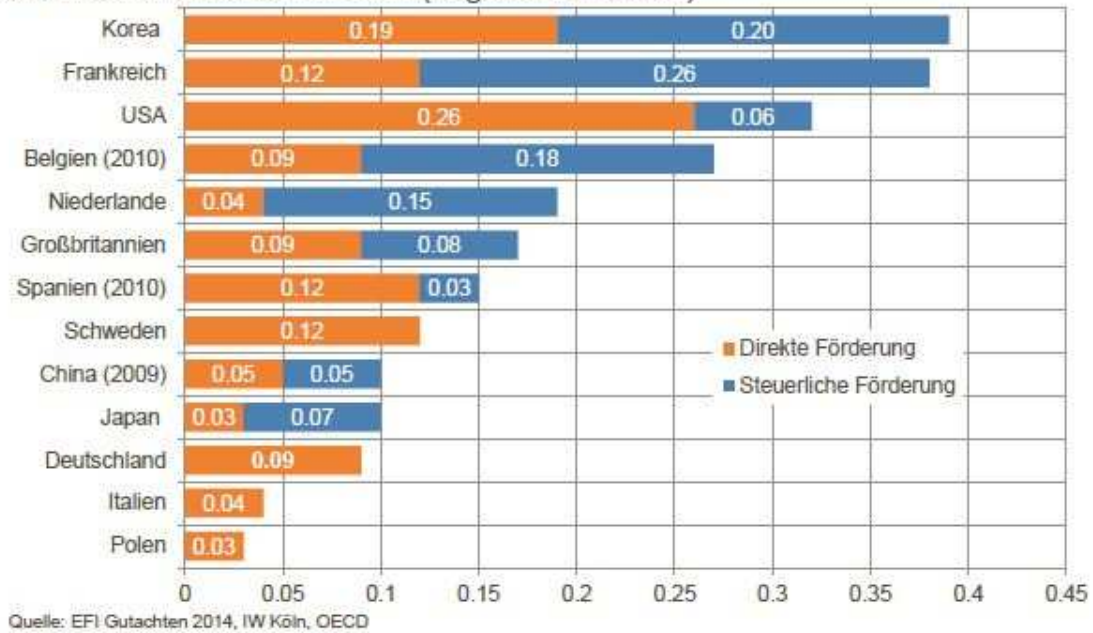
Setzt man die Patentanmeldungen ins Verhältnis zur Anzahl der Beschäftigten, sticht vor allem die niederländische Region Limburg positiv heraus. In dieser Region mit nur etwa 5000 Beschäftigten in der chemischen Industrie liegt der ehemalige Stammsitz der DSM in Geleen, der sich heute als Chemiapark Chemelot mit dem Vermerk „chemical innovation community“ bewirbt³.

Hinsichtlich der direkten Unternehmenssteuerlast liegt Deutschland heute auf einem mittleren Niveau im internationalen Vergleich und hat hier in den letzten Jahren deutlich an Wettbewerbsfähigkeit gewonnen. Allerdings werden in vielen Vergleichsregionen sowohl im Bereich der Forschungsförderung als auch bei Investitionen zusätzliche steuerliche Begünstigungen als Anreizinstrument genutzt. Zwei Drittel der OECD- und die Hälfte der EU-Länder nutzen diese Möglichkeit, während Deutschland bisher keine entsprechenden Regelungen umgesetzt hat:

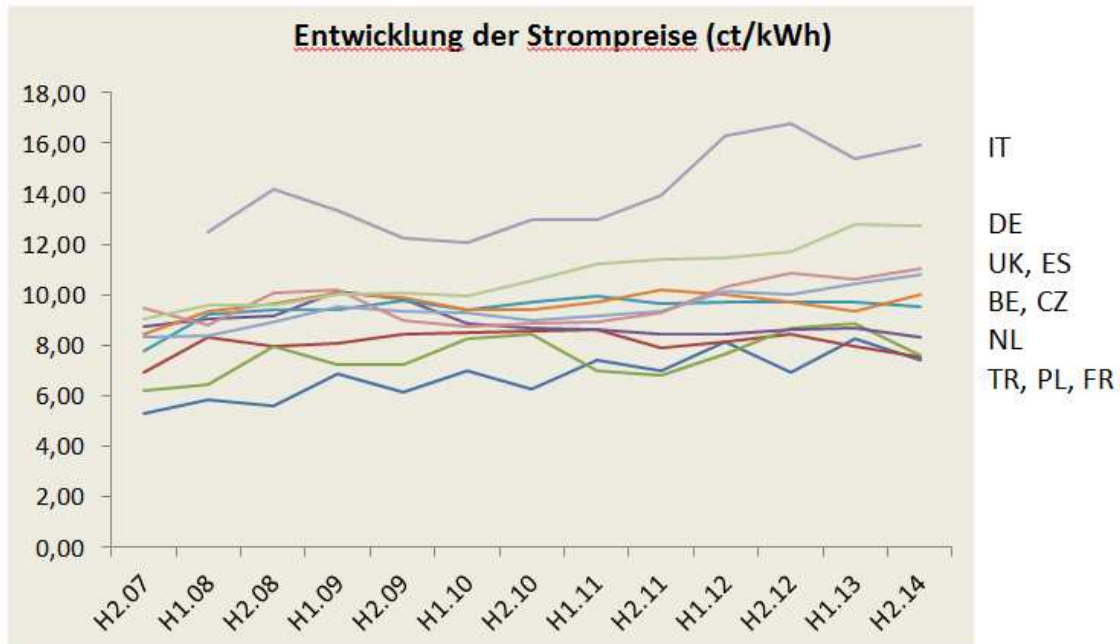
³ Booz Studie: „NRW im Wettbewerb europäischer Chemieregionen“ Juli, 2009

Staatliche Förderung von FuE in Unternehmen

Anteil der FuE-Ausgaben im Wirtschaftssektor, der direkt und indirekt durch den Staat finanziert wird als Anteil am BIP 2011 (Angaben in Prozent)



Relativ hohe Energiekosten sind dagegen ein wesentlicher Standortnachteil in Deutschland und NRW, der sich zudem tendenziell weiter verstärken könnte. Während die Arbeitskosten mit den Wettbewerbsregionen in den Niederlanden und Großbritannien vergleichbar sind, zeigt der Standort Deutschland deutliche Nachteile hinsichtlich der Energiekosten. Die Betrachtung etwa der Elektrizitätskosten über Zeit hat gezeigt, dass z.B. Frankreich (Atomstrom-Schwerpunkt) relativ moderate Preiszunahmen aufweist, während die Elektrizitätspreise in Deutschland stark gestiegen sind. Daher wäre zu prüfen, in wie weit eine stärkere Harmonisierung der Steuern auf die Nutzung fossiler Brennstoffe innerhalb der EU erreicht werden kann. In diesem Zusammenhang ist die Entlastung des in den Werksnetzen deutscher Chemiestandorte mittels Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erzeugten Stroms von der EEG-Umlage weiterhin ein wichtiges Werkzeug.



Industrieabnehmer 2.000 MWh bis unter 20.000 MWh.

Quelle: [Eurostat](#)

Umso wichtiger ist es, Kostenvorteile durch energieoptimierte Prozesse und Anlagen in, hinsichtlich der Stoffströme, hoch integrierten Chemieparks zu generieren um im internationalen Umfeld mit wettbewerbsfähigeren Energie-, Rohstoff- und Arbeitskosten konkurrenzfähig zu bleiben. Vor diesem Hintergrund sind die F&E- Aktivitäten insbesondere der Katalyse von zentraler Bedeutung. Katalysatoren und katalytische Prozesse sind das Herzstück der Stoffumwandlung, da sie Prozesse beschleunigen, energieeffizienter machen und die Ausbeuten steigern.

Im Standortmarketing fällt NRW z.Z. positiv auf durch vielfältige Initiativen und mit detaillierten Informationsangeboten. Die chemische Industrie in Deutschland sieht sich allerdings einem sich weiter globalisierenden Wettbewerbsumfeld ausgesetzt.

Ähnliches gilt auch für die Standortvermarktung. Eine zunehmende Professionalisierung der Standortvermarktung in anderen europäischen Ländern und die sich verstärkende Konkurrenz, z.B. mit China und dem Nahen Osten, um begrenzte Investitionsbudgets der Unternehmen werden den Standortwettbewerb weiter intensivieren.

Aufgrund der Wirtschaftskrise in 2008-09 erfolgte weltweit ein deutlicher Rückgang der Investitionsvolumina, insbesondere den Bereich der Neu-Anlagen-Investitionen betreffend von über 20%. Die Erholung der Wirtschaft geht nur langsam voran und insbesondere die chemische Industrie in Europa wurde sehr stark betroffen.

In der weniger kapitalintensiven pharmazeutischen Industrie wurde allerdings eine schnellere Erholung beobachtet. Mittelfristig wird davon ausgegangen, dass die Investitionen der forschenden Pharmaindustrie in Europa auf stabilem Niveau bleiben. Für das Segment der Generika-Hersteller ist mit einer weiteren Verlagerung der Produktion, z.B. nach Osteuropa oder Indien, zu rechnen. Innovationsfähigkeit, die Entwicklung der Nachfrage, aber auch die Preise und Kapazitätsauslastung sind kritische Faktoren für weitere Investitionen in chemische Produktionsanlagen in Europa. Es bleibt abzuwarten, wie erfolgreich neue Wettbewerber, vor allem aus dem Nahen Osten und Osteuropa, auf die Märkte der deutschen chemischen Industrie drängen.

Eine Strategie der europäischen Standorte wird dabei sein, dem direkten Kostenwettbewerb auszuweichen, vor allem durch Spezialisierung – z.B. durch ihre Innovationsstärke und Ausnutzung der Kundennähe. Dennoch werden europäische Standorte nach wie vor zum festen Bestandteil der Portfolios internationaler Chemieunternehmen gehören. Wichtige Faktoren dafür sind die gebotene Investitionssicherheit, die Ressourcen für F&E, der Schutz geistigen Eigentums, aber auch die Absicherung gegen regionale Risiken, z.B. mögliche Handelsbeschränkungen.

Der Kostendruck wird weiterhin dazu führen, dass Effizienzpotenziale in der Produktion erschlossen werden müssen; Verfahrensoptimierung, Spezialisierung und Realisierung von Skaleneffekten, z.B. im Infrastrukturbereich wird dabei von entscheidender Bedeutung sein. In Anbetracht dieses Spannungsfelds hat das deutsche Chemiapark-Konzept relevante Vorteile zu offerieren. Das vielfältige Angebot an Chemieparks ist ein Alleinstellungsmerkmal der deutschen Chemieregionen. Zwar gibt es auch in den Nachbarländern vereinzelt ähnliche Betreibermodelle, z.B. der niederländische Chemelot-Park, aber die Risiken der Imitierbarkeit in Europa sind begrenzt.

Die zur Erreichung der Synergien und Skaleneffekte notwendige kritische Größe und Auslastung lässt Greenfield-Neugründungen sehr unwahrscheinlich erscheinen und auch erfolgreiche Brownfield-Ansätze sind nicht erkennbar. In den Wachstumsregionen China und Naher Osten findet hingegen das Konzept des Chemieparks breite Nachahmung. Hier können aufgrund staatlicher Förderung von Infrastruktur und der Vielzahl und Höhe von Investitionen neue integrierte Chemieparks entstehen.

Der Standortwettbewerb der Chemieregionen wird in Zeiten geringer bis stagnierender Investitionssummen tendenziell zunehmen. Wesentliche Treiber dieser Entwicklung sind das Aufkommen neuer außereuropäischer Wettbewerber und die zunehmende Professionalisierung der Standortvermarktung in anderen europäischen Ländern. Beispielsweise zeigen Frankreich und Italien Bestrebungen, durch bessere Organisation ihrer Standortvermarktung und aggressivere Investitionsanreize ihren Marktanteil auszudehnen.

Betrachtet man die Landschaft der Investitionsförderung in Europa, so fällt momentan eine Betonung der Biotechnologie und „Life Sciences“ in der Darstellung auf. Das Land NRW ist mit den Clustern Bio.NRW und CLIB²⁰²¹ ebenfalls in diesem Bereich gut positioniert.

Die wesentliche Stärke der Region allerdings liegt in der klassischen chemischen Forschung und Produktion, was auch weiterhin als wichtige Klientel im Fokus der Standortvermarktung stehen sollte. Nicht zuletzt aufgrund der Entwicklungen im Nahen Osten und den erkennbaren Wettbewerbsvorteilen anderer Regionen, z.B. entlang der belgischen und niederländischen Küste, kann die Wahrscheinlichkeit großer Petrochemie-Investitionen in NRW als relativ gering eingeschätzt werden. Jedoch birgt der Rohstoffwandel hin zu alternativen Kohlenstoff- und Energiequellen sowohl große Chancen als auch Risiken für die Region.

Die wissenschaftliche Expertise in NRW könnte mit entsprechender Förderung lokal in industrielle Forschung und Produktion weiter entwickelt werden, um strategische chemische Rohstoffe in alternativen Produktionsrouten herzustellen oder durch alternative Rohstoffe zu substituieren. Letzteres ginge mit der Entwicklung neuer Produkte (als Substitute für klassische petrochemisch basierte Produkte) einher. Da es sich bei der chemischen Industrie um eine Investitionsintensive Branche handelt, ist eine Realisierung neuer Prozesse als „drop-in- Technologie“ erstrebenswert. Investitionen in neue Worldscale- Anlagen liegen häufig im zwei- bis dreistelligen Millionenbereich. Eine Abbildung eines neuen Prozesses in bestehenden Anlagen hat daher eine vergleichsweise höhere Realisierungschance, da sowohl das technische als auch das finanzielle Risiko minimiert werden. Auch hierbei spielt die Katalyse als Schlüsseltechnologie eine zentrale Rolle, die u. Umständen ein Prozessdesign ermöglichen kann, welches in einer drop-in- Lösung mündet.

Für Unternehmen aus den Bereichen der Fein- und Spezialchemie, der Polymerchemie, aber auch aus den Bereichen der weiterverarbeitenden Industrie (z.B. Entwicklung und Herstellung von Lack- und Klebstoffrezepturen) stellt eine im Unternehmen erfolgreich umgesetzte Katalysatorforschung

einen Schlüssel zum Erfolg dar, da sie Prozesse oder neue (verbesserte) Produkte erst möglich macht.

Für diese Segmente ist vor allem die Verfügbarkeit qualifizierter Fachkräfte entscheidend, sowohl im Bereich der Produktion als auch in der Forschung und Entwicklung. Investitionen in chemische Produktionsanlagen sind häufig an bestehende Standorte gebunden. Im Bereich der pharmazeutischen Industrie und bei der Biotechnologie allerdings sind eine geringere Standortbindung und eine größere regionale Streuung zu beobachten. Dies hat zur Folge, dass für solche Projekte auch eine größere Menge an Standortwettbewerbern existiert.

Kapitel 3 - Bedeutung der Forschung für die chemische Industrie

Um die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und ganzen Wirtschaftszweigen zu erhalten und weiter auszubauen, spielen F&E- Aktivitäten eine maßgebliche Rolle. Neue Produkte und Verfahren sowie Produkt- und Verfahrensverbesserungen sind maßgebliche Erfolgsfaktoren um ein langfristiges Überleben am Markt zu sichern. Dabei wird grundsätzlich zwischen Forschungsaktivitäten und Entwicklungsaktivitäten einerseits und Invention und Innovation andererseits unterschieden. Im Rahmen dieses Gutachtens sind die Begriffe der *Forschung*, *Entwicklung*, *Innovation* und *Invention* wie folgt definiert:

Forschung und Entwicklung ist die systematische Suche nach neuen Erkenntnissen unter Anwendung wissenschaftlicher Methoden in geplanter Form. Während *Forschung* der generelle Erwerb neuer Kenntnisse ist, wird unter dem Begriff der *Entwicklung* deren erstmalige konkretisierende Anwendung und praktische Umsetzung verstanden. Die neuen Kenntnisse können sich sowohl auf Produkte als auch auf (Herstellungs-)Verfahren und Produkt- sowie Verfahrensanwendungen erstrecken. Entbehrt Forschung noch eines realen Verwertungsaspekts, so handelt es sich um Grundlagenforschung. Die Entwicklung ist dagegen bereits auf konkrete Anwendungsmöglichkeiten hin ausgerichtet. Unter einer *Innovation* versteht man die Markteinführung und Marktdurchsetzung von Entwicklungsergebnissen in Form von Produkten und Verfahren. Die *Invention* ist die Idee, die am Anfang eines Innovationsprozesses steht. Im Erfolgsfall führt die Forschung zur Invention, die Entwicklung führt zu Innovation.

Der Prozess von der Idee bis zum marktfähigen Produkt wird durch die von der NASA eingeführten und von der EU adaptierten Begriff "Technology Readiness Level" (TRL) veranschaulicht:

- TRL 0: Idea: Kein validiertes Prinzip /Konzept, keine Tests durchgeführt
- TRL 1: Basic research: Grundprinzipien sind postuliert, keine experimentelle Validierung
- TRL 2: Technology formulation: Konzept und Anwendung sind formuliert
- TRL 3: Applied research: erste Labortests sind erfolgt, proof of concept existiert
- TRL 4: Small scale prototype: Prototyp im Labormaßstab hergestellt
- TRL 5: Large scale prototyp: Prototyp im technischem Maßstab
- TRL 6: Prototyp system: Tests im industriellen /realen Umfeld

- TRL 7: Demonstration system: Betrieb / Produktion im technischem Maßstab mit einer Demonstrationsanlage
- TRL 8: First of a kind commercial system: Alle Produktionsprobleme sind behoben.
- TRL 9: Full commercial application: Technologie / Produkte stehen dem Verbraucher zur Verfügung

Im Bereich der Katalysenforschung und -entwicklung geht es im Kern einerseits um Grundlagenverständnis UND andererseits um die Anwendung bekannter katalytischer Verfahren und deren Optimierung im Verbund. Die Katalysenforschung steht im Kontext eines sich ändernden Umfeldes hinsichtlich Energieverfügbarkeit (Stichpunkt: Überschussstrom), Kopplung von Energiewirtschaft und chemischer Synthese (Power-to-chemistry mit den vielzitierten Bereichen Power-to-gas und Power-to-liquid), Rohstoffverfügbarkeit und -reinheit (Stichwort: Nebenkomponenten und Katalysatorgifte in fermentativ oder agrartechnisch verfügbarer Rohstoffe, Verwendung von Rest- und organischen Abfallstoffen). Von entscheidender Bedeutung ist dabei die technische Demonstration zum Nachweis eines ökonomischen und ökologischen Vorteils gegenüber etablierten Verfahren. Dabei handelt es sich also um F&E-Aktivitäten, die mithin TRL2 bis TRL7 zuzuordnen sind.

Für die Technologieentwicklung (mit inländischem Einsatz aber insbesondere im Hinblick auf die Verbesserung der Chancen im Hinblick auf Technologieführerschaft und Stärkung des Exportgeschäftes) sind industrielle Verbunde (Nutzung von Synthesegas aus der Vergasung von städtischen Abfällen, Verwertung von Hüttenabgasen, Wasserstoffherzeugung via Elektrolyse aus Überschussstrom, Acetylenchemie, u.a.m.) essentiell und deren Vorhandensein kann, bei zusätzlicher Förderung der Entwicklung ökonomisch riskanten Technologieansätze, im Falle einer Nutzbarkeit einen internationalen Wettbewerbsvorteil bieten.

Die deutsche Wirtschaft hat im Jahr 2011 insgesamt 51.077 Mio Euro für interne (im eigenen Haus durchgeführte F&E- Aktivitäten) und 12.340 Mio € für externe (Forschungsaufträge an Hochschulen, staatliche Forschungseinrichtungen und andere Unternehmen) F&E ausgegeben (insgesamt +12,8% gegenüber 2010). Den mit Abstand größten Anteil hat der KfZ-Bau, es folgen die Elektroindustrie, Pharma, Chemie und die IuK- Technologie. Ein Rückgang ist lediglich beim Luft- und Raumfahrzeugbau zu beobachten.

Forschung und Entwicklung des Bereichs „Hochwertige Technik“ (dazu zählen auch Forschungsaktivitäten des Automobil- und Maschinenbaus, der Elektrotechnik sowie der chemischen Forschung) findet schwerpunktmäßig im Süden Deutschlands statt. Über 52% der F&E-Aufwendungen wurden 2011 in Baden-Württemberg und Bayern in diesem Bereich ausgegeben. Diese Länder sind vor allem durch den dort angesiedelten Maschinenbau und die Automobilindustrie sehr stark.

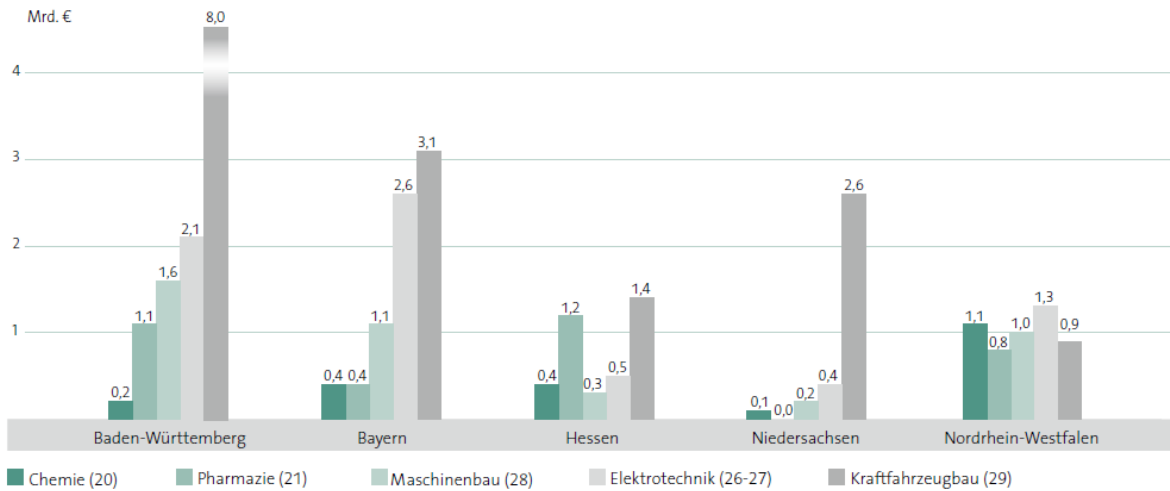
Im Vergleich der Länder untereinander liegt Nordrhein-Westfalen bei den internen F&E-Aufwendungen hinter den beiden großen südlichen Bundesländern auf dem 3. Platz (siehe Abb. 1). Das Land NRW unterscheidet sich strukturell von den übrigen Bundesländern durch die Existenz verschiedener wirtschaftlicher Schwerpunkte und durch die Organisation des Ruhrgebietes in drei Regierungsbezirke. Betrachtet man die F&E-Aufwendungen im Wirtschaftszweig der Chemie in den genannten Ländern, liegt Nordrhein-Westfalen, bedingt durch die starke Präsenz der chemischen Industrie, in der Spitzenposition (siehe Abb. 2).

Bundesland	Interne FuE-Aufwendungen								FuE-Personal							
	Mio. €				Anteil am BIP in %				Vollzeitäquivalente				Anteil an den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in %			
	2001	2005	2009	2011	2001	2005	2009	2011	2001	2005	2009	2011	2001	2005	2009	2011
Baden-Württemberg	9434	10966	12995	15698	3,05	3,40	3,81	4,10	71868	82376	88581	97548	18,7	22,2	23,0	24,1
Bayern	8682	9201	10056	11008	2,35	2,30	2,37	2,41	76665	76061	75514	79043	17,3	17,8	16,8	16,6
Berlin	1766	1473	1365	1402	2,24	1,86	1,49	1,39	15568	10698	10760	11340	13,8	10,6	9,7	9,6
Brandenburg	242	140	186	308	0,53	0,29	0,34	0,54	2467	1620	2106	3229	3,2	2,3	2,9	4,2
Bremen	240	225	243	269	1,06	0,91	0,91	1,00	2304	1824	1838	2082	8,0	6,8	6,5	7,0
Hamburg	583	934	1075	1181	0,76	1,16	1,27	1,26	5055	5984	7113	7130	6,5	8,1	8,8	8,4
Hessen	3749	4236	5173	5319	1,98	2,09	2,40	2,35	31795	30147	35366	35774	14,4	14,4	16,3	15,7
Mecklenburg-Vorpommern	53	97	196	242	0,17	0,30	0,55	0,68	646	950	1822	2189	1,1	1,9	3,5	4,2
Niedersachsen	3208	2871	3646	4420	1,76	1,49	1,77	1,97	23682	22461	23801	27269	9,8	9,7	9,9	10,6
Nordrhein-Westfalen	5056	5376	6429	6950	1,09	1,10	1,23	1,21	43127	41968	49381	53453	7,3	7,6	8,6	8,8
Rheinland-Pfalz	1354	1186	1572	1673	1,49	1,22	1,54	1,46	11678	10077	12447	12346	9,8	8,8	10,4	9,8
Saarland	96	90	144	169	0,38	0,32	0,51	0,54	860	864	1364	1625	2,4	2,5	4,0	4,5
Sachsen	935	915	1090	1198	1,20	1,07	1,17	1,26	11057	9393	10770	11378	7,5	7,1	7,8	7,8
Sachsen-Anhalt	145	161	215	220	0,33	0,34	0,43	0,43	1913	1991	2474	2656	2,4	2,8	3,3	3,5
Schleswig-Holstein	341	356	413	521	0,51	0,52	0,56	0,69	3319	3217	3897	4733	4,1	4,2	4,8	5,6
Thüringen	448	424	477	500	1,08	0,94	0,99	1,03	5253	4873	5258	5334	6,6	6,9	7,3	7,1
Deutschland	36332	38651	45275	51077	1,72	1,72	1,89	1,97	307257	304503	332491	357129	11,0	11,6	12,1	12,4

In FuE-Stätten der Unternehmen und IFG;
Regionale Zuordnung nach Sitz der FuE-Stätten

Quelle: Stifterverband Wissenschaftsstatistik, VGRdL

Abb. 1 Regionale F&E- Kennzahlen des Wirtschaftssektors in Deutschland 2001, 2005, 2009, 2011



1) WZ-2008 in Klammern

Quelle: Stifterverband Wissenschaftsstatistik

Abb. 2: Interne F&E-Aufwendungen in der Wirtschaft nach ausgewählten Bundesländern und Wirtschaftszweigen ¹⁾ 2011

Betrachtet man den Zeitraum beginnend mit dem Jahr 2000 hat die Forschungsintensität weltweit weiter zugenommen. Dies gilt insbesondere für die asiatischen Länder China und Südkorea. Grundsätzlich gilt, dass je mehr es aufstrebenden Schwellenländern gelingt, sich in forschungs- und wissensintensiven Wirtschaftszweigen zu etablieren, desto stärker konkurrieren sie mit etablierten Technologieanbietern wie den USA und Deutschland. Basierend auf dieser Erkenntnis engagieren sich die Staaten daher wieder stärker bei F&E. Deutschland bildet hierbei eine Ausnahme, hier liegen die staatlichen Investitionen seit Jahren bei ca. 1/3 der gesamten F&E- Aufwendungen. 2/3 werden von der Wirtschaft finanziert, traditionell vor allem in den Bereichen der hochwertigen Technik (Chemie, Elektroindustrie, Maschinen- und Fahrzeugbau.)

Auch die Finanzierung öffentlicher F&E durch die Wirtschaft ist in Deutschland vergleichsweise stark ausgeprägt- viel stärker als in den USA, Japan oder den EU-28. Im letzten Jahrzehnt hat sich diese Vernetzungsform zwischen Wirtschaft und Wissenschaft in Deutschland noch intensiviert. Im Jahr 2011 finanzierten die Unternehmen der OECD- Länder im Schnitt 6% der FuE, die in Hochschulen durchgeführt wurde- in Deutschland lag dieser Wert bei 14%. Im letzten Jahrzehnt hat Deutschland seine FuE- Intensität deutlich gesteigert und sich damit in der internationalen Spitzengruppe, bestehend aus Ländern wie Schweden, Finnland, Japan, Südkorea, Schweiz, Island den USA und

Österreich behauptet.⁴ Was die Forschungsintensität der chemischen Industrie anbelangt, so liegt Deutschland 2011 auf Platz 2 hinter Japan, aber vor Frankreich, den USA, GB, Südkorea und den Niederlanden.⁵ Die enge Vernetzung zwischen Wirtschaft und Wissenschaft stellt einen Wettbewerbsvorteil dar.^{6,7}

Im Hinblick auf die Katalysatorforschung lässt sich sagen, dass weltweit die Bedeutung der chemischen Katalyse für die Industrie erkannt ist und sich, ebenfalls weltweit, sehr gute Forschungseinrichtungen zu finden sind, die sich mit dem Thema befassen. In China sind die Tsinghua Universität in Peking mit ihrem katalytischen Lehrstuhl und insbesondere das Dalian Institute of Chemical Physics hervorzuheben. Insbesondere dem Dalian Institute wird das Potenzial zugetraut, kurzfristig zu den führenden Instituten im Bereich der chemischen Katalyse aufzuschließen. Von besonderer Bedeutung sind auch laufende Aktivitäten im Bereich der Kohlechemie, die aufgrund der großen Kohlevorkommen und dem erklärten Ziel der chinesischen Regierung, eine größere Unabhängigkeit von nicht-heimischen Rohstoffquellen zu erlangen, mit Nachdruck erfolgen. Ein starker Forschungsschwerpunkt wird mit dem China Coal Research Institute gesetzt, in dem auch katalytische Fragestellungen bearbeitet werden. Darüber hinaus existieren bereits große Pilotanlagen zu Verfahren aus der Kohlechemie, weitere sind im Entstehen begriffen. Der Vergleich mit NRW als „traditionellem Kohleland“ zeigt eine eher schwach ausgeprägte Landschaft im Bereich der „Kohleforschung“ in NRW. Das betrifft sowohl F&E- Aktivitäten im Bereich der Kohlechemie als auch die Weiterentwicklung der Anlagentechnik. Neben dem Max-Planck Institut für Kohlenforschung gibt es in NRW keine Institute oder eigene Lehrstühle, die sich mit der Thematik „Kohlechemie“ tiefergehend und systematisch befassen.

Das Bundesland NRW ist Standort von 72 Hochschulen, mehr als 50 außeruniversitären Forschungseinrichtungen, darunter 12 Max-Planck-Institute, 13 Institute der Fraunhofer-Gesellschaft, 11 Leibniz-Institute sowie 3 Helmholtz- Institute. Damit zählt NRW zu einer der Regionen mit der höchsten Dichte an Forschungseinrichtungen weltweit. Die Katalyse als Schlüsseltechnologie wird an mehreren Standorten in lokalen Kompetenzzentren repräsentiert.

⁴ http://www.e-fi.de/fileadmin/Studien/StuDIS2009/1_2009_FuE_Wirtschaft_Staat_NIW.pdf

⁵ OECD: STAN/ANBERD - Berechnungen und Schätzungen des NIW

⁶ Gehrke, Birgit; Schasse, Ulrich; Kladroba, Andreas und Stenke, Gero (2013): FuE-Aktivitäten von Wirtschaft und Staat im internationalen Vergleich, Studien zum deutschen Innovationssystem 2-2013, Berlin

⁷ FuE Datenreport 2013- Analysen und Vergleiche, Wissenschaftsstatistik GmbH im Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft Essen 2013, Andreas Kladroba, Gero Stenke

An der WWU Münster wird durch den Sonderforschungsbereich SFB858 „Synergetic Effects in Chemistry - From Additivity towards Cooperativity“ die **chemische Katalyse** skalenübergreifend und über das gesamte Spektrum von Theorie bis Anwendung erforscht. Die RU Bochum beleuchtet in Ihrem Exzellenzcluster (EXC 1069) RESOLV die Wechselwirkungen von Reaktanden in Lösung. Dies vor allem für ein tieferes Verständnis auf dem Gebiet der homogenen Katalyse essentiell. Die Technische Chemie der TU Dortmund ist auf die Entwicklung katalytischer Prozesse für den Rohstoffwandel von der Petrochemie zu nachwachsenden Rohstoffen als auch in CO₂-Chemie ausgerichtet.

An der RWTH Aachen ist mit dem Exzellenzcluster (EXC236) „Maßgeschneiderte Kraftstoffe auf Biomasse“ ein interdisziplinäres Forschungsvorhaben mit Teilprojekten von Bio-, Organo-, Metallorgano- bis hin zu heterogener Katalyse angesiedelt. Hier ist die direkte Einbindung der Ingenieurwissenschaften ein Alleinstellungsmerkmal.

Die Max-Planck-Institute auf dem Campus Mülheim an der Ruhr für Kohlenforschung und Chemische Energiekonversion decken nicht nur das gesamte Spektrum der chemischen Katalyse ab, sondern sind explizit auf die Bereiche Heterogener Katalyse und Organokatalyse ausgerichtet.

Die Biotechnologieforschung ist am Forschungszentrum Jülich stark vertreten und international führend. Die Bereiche der Energiewandlung und Speicherung werden am Institut für Energie- und Klimaforschung erforscht. Die Fraunhofer Gesellschaft unterhält das Institut UMSICHT in Oberhausen, welches in den Bereichen Energie- und Prozesstechnik auch die Katalyse umfasst.

Auf Basis der vorgenannten lokal konzentrierten Kompetenzzentren wird eine erfolgreiche aktive Vernetzung, auch angeregt durch Initiativen wie das Cluster CLIB2021 (Biokatalyse) und das Zukunftscluster Chemie.NRW, betrieben. Konkret sind hier z.B. der Ruhrverbund Katalyse, der Hochschulen TU Dortmund und der Ruhr-Universität Bochum sowie der RWTH Aachen und des MPI für Kohlenforschung anzuführen. Dort werden chemische und verfahrenstechnische Grundlagen von Relevanz für die homogene und heterogene Katalyse, die Biokatalyse und die Elektro- und Photokatalyse verknüpft.

Das NRW-Cluster SusChemSys vereinigt 6 nordrhein-westfälische Forschungseinrichtungen (RWTH Aachen, RU Bochum, TU Dortmund, Uni Köln, MPI KoFo Mülheim und WWU Münster) für die Entwicklung innovativer Methoden und Technologien für die nachhaltige Synthese chemischer Produkte.

Das Bioeconomy Science Center (NRW-Strategieprojekt der Universitäten Düsseldorf, Bonn und Aachen gemeinsam mit dem Forschungszentrum Jülich) zielt hierbei auf eine gemeinsame Bewältigung der Herausforderungen einer nachhaltigen Bioökonomie ab.

Zudem gibt es in NRW über PPPs institutionalisierte Kooperationen zwischen Akademie und Wirtschaft, die sich mit der Erforschung und Entwicklung von Katalysatoren und katalytischen Prozessen beschäftigen. Das an der RWTH Aachen angesiedelte CAT - Catalytic Center ist eine eigenständig betriebene Forschungseinrichtung in Kooperation mit Bayer.

Eine neue, auf technisch/industrielle Demonstration ausgelegte Initiative PLANCK (PLattform für Nachhaltige Chemische Konversion von Energie) ist unter Beteiligung von Thyssen Krupp Industrial Solutions sowie Evonik, Bayer u.a. in Vorbereitung.

Zudem ist die chemische Industrie mit großen Unternehmen wie z.B. Evonik, Bayer, Ineos, Henkel, Lanxess aber auch „kleineren“ Firmen wie Jowat oder KMUs wie Taros Chemicals oder Gaskatel in NRW sehr stark vertreten.

Im Rahmen des Clusters Industrielle Biotechnologie (Clib2021)⁸ legt die Plattform "**Biokatalyse**" unter der Koordination der TU Dortmund die reaktionstechnische Basis für eine erfolgreiche industrielle Implementierung von biokatalytischen Prozessen. Hohe Selektivitäten und milde Reaktionsbedingungen sind ein Markenzeichen, wobei so Emissionen reduziert und Energie eingespart werden können.

Die biotechnologische Produktion von hochwertigen Synthesebausteinen, wie zum Beispiel von enantiomerenreinen oder selektiv funktionalisierten niedermolekularen Verbindungen, kann sowohl mit isolierten Enzymen aber auch mit (z. T. ruhenden) ganzen Zellen erfolgen. Für den erfolgreichen Einsatz eines Biokatalysators ist ein vertieftes Verständnis des Gesamtprozesses essentiell. Nicht-natürliche Substrate stellen immer wieder eine besondere Herausforderung dar. Von den Biokatalysatoren wird in diesen Fällen häufig eine erhöhte/veränderte Selektivität, Aktivität und vor allem Stabilität erwartet. Für die Problemlösung bedeutsam ist ein effizientes Biokatalysator-Screening sowohl für die Nutzung isolierter Enzyme als auch für fermentative Prozesse. Über Produktivitäts- und Flusserhöhung sollen kofaktorabhängige Prozesse optimiert werden; die Nutzung regenerierbarer Kohlenstoffquellen zum Kofaktorrecycling soll ebenso zur Nachhaltigkeit beitragen wie die Erhöhung der Energieeffizienz oder die Einführung heterologer

⁸ <http://www.clib2021.de/technologie-cluster/biokatalyse>

kofaktorregenerierender Enzyme. Die Plattform 'Biokatalyse' vereint die Expertise aus den verschiedenen Bereichen von Hochschule, Forschungsinstituten und Industrie über die Fachkompetenzen von Biologie, Chemie, Verfahrenstechnik und Bioinformatik hinaus.

Bei industriellen Anwendungen der chemischen Verfahrenstechnik und der Biotechnologie spielt die Katalyse eine zentrale Rolle und ist bei der Etablierung neuer Prozesse und Produkte immer zentraler Bestandteil. Insbesondere im Bereich der angewandten chemischen Forschung ist zu beobachten, dass diese häufig in räumlicher Nähe zu bestehenden Anlagen anzutreffen ist. Wenn F&E Aktivitäten aus dem Laborumfeld heraus in einen technischen Maßstab entwickelt werden sollen, ist ein dafür geeignetes Umfeld mit einer Genehmigungslage, die dem Vorhaben gerecht wird, erforderlich. Dieses findet sich in räumlicher Nähe zu großtechnischen Anlagen ähnlicher Natur. Zudem können die F&E- Aktivitäten von geschultem Personal, das im Umgang mit vergleichbaren Produkten, Prozessen und Anlagentechnik erfahren und geschult ist, begleitet werden. Vor diesem Hintergrund ist eine räumliche Trennung von Produktion und F&E in der chemischen Industrie nur äußerst eingeschränkt denkbar und möglich. Optimalerweise erfolgt im Anschluss an erfolgreiche F&E- Aktivitäten eine Pilotierung ebenfalls in räumlicher Nähe zu bestehenden Anlagen, um vorhandene Infrastrukturen des Stoffverbundes zu nutzen und Synergien zu schaffen. Diese Strukturen tragen zur Standortsicherung und zum Erhalt bzw. zur Schaffung von Arbeitsplätzen und zur Beschäftigung bei.

Kapitel 4 - Technische Bedeutung der Katalyse

Die Biokatalyse setzt biologische Systeme zur Katalyse von chemischen Reaktionen ein. Erfolgt dies im technischen/industriellen Maßstab wird häufig der Begriff Biotechnologie verwendet. Typischerweise eingesetzte Biokatalysatoren sind Enzyme/Proteine, lebende Zellen (z.B. Bakterien, Hefen) oder mehrzellige Organismen (z.B. Pflanzen).

Die Biokatalyse weist einen stark branchenübergreifenden Charakter auf. Ihre zunehmende Bedeutung sowohl für die chemische Industrie als auch für Verfahren und Produkte in anderen Industriezweigen, z.B. in der Lebensmittel-, Kosmetik-, Textil-, oder Papierindustrie ist signifikant. Auch in der organischen Synthese spielt die Biokatalyse eine zunehmend wichtige Rolle. In aktuellen Forschungsarbeiten wurde beispielsweise gezeigt, dass stereoselektive Enzyme in bestimmten Reaktionen eine höhere Enantioselektivität als klassische Metallkomplexe ermöglichen. Dieser Vorteil ist besonders bei der Herstellung von Wirkstoffen interessant.

Deutschland kann bereits Erfolgsbeispiele der Biokatalyse vorweisen. So werden biokatalytische Produktionsverfahren bereits von deutschen Firmen eingesetzt. Dazu gehört z.B. die Produktion von Lysin durch Evonik.

Die chemische Industrie bezieht die Biokatalyse heutzutage bereits in die Forschung und Prozessplanung ein. So wird versucht bestehende chemische Verfahrensschritte durch biokatalytische Verfahrensschritte zu ersetzen, falls eine Kosteneinsparung bei gleichzeitiger Umweltschonung zu erwarten ist.. Darüber hinaus wird die Biokatalyse von Anfang an als neue Gesamtalternative zu chemischen Verfahren in die Entscheidungsfindung einbezogen. Diese Vorgehensweise hat im Rahmen der letzten Jahre in der industriellen Praxis zugenommen und wird weiterhin ansteigen.

Grundbausteine der chemischen Industrie werden dennoch jedoch selten biokatalytisch im großen Maßstab in Deutschland produziert. Eine Vorreiterrolle nehmen hier internationale Firmen wie z.B. DuPont Tate&Lyle (Produktion von 1,3-Propanediol) oder DSM (Produktion von Bernsteinsäure) ein, die Produktionen in den USA bzw. in Italien errichtet haben und betreiben. In den letzten Jahren drängen zunehmend auch meist noch junge, kleine und mittlere Unternehmen mit neuen Technologien auf den Markt.

Voraussetzungen für eine breitere Anwendung der Biokatalyse in der chemischen Industrie in Deutschland sind folgende:

- (1) Die Biokatalyse setzt heutzutage häufig nachwachsende Rohstoffe (z.B. Biomasse) ein. Um die industrielle Umsetzung der Biokatalyse zu gewährleisten müssen diese Rohstoffe auch in geeigneten Mengen zu wettbewerbsfähigen Preisen zur Verfügung stehen. Dabei müssen Technologien und Methoden, die die Rohstoffverfügbarkeit verbessern, objektiv bewertet werden dürfen (z.B. grüne Biotechnologie).
- (2) Die Umsetzung von Laborverfahren in den technischen Maßstab erfolgt über Pilotanlagen. Dieses Upscaling ist jedoch mit hohen Investitionskosten verbunden. Die Unterstützung dieser essentiellen Upscaling-Schritte durch Förderprogramm oder frei zugängliche Pilotanlagen ist wichtig.
- (3) die Etablierung akademischer Kompetenzzentren, die biokatalytische Fragestellung der chemischen Industrie bearbeiten. Die nötigen Kompetenzen müssen dabei an einem Standort vereint (Metabolic Engineering, Computational Modeling, Bioverfahrenstechnik, Verfahrenstechnik) vorliegen und durch Dependancen der chemischen Industrie ergänzt werden können.

Biokatalytische Verfahren können nachwachsende oder alternative Rohstoffe einsetzen. Darüber hinaus sind sie in vielen Fällen energie- und stoffeffizienter als herkömmliche Verfahren, z.B. bei der enantioselektiven Synthese. Diese Vorteile sollten auch in der chemischen Industrie verstärkt in Deutschland genutzt werden.

In der chemischen Katalyse werden Materialien und oder Substanzen als chemische Katalysatoren eingesetzt, die zwei Reaktionspartnern neue Reaktionswege eröffnen indem sie deren Reaktionsfreudigkeit erhöhen bzw. die sogenannte Aktivierungsenergie erniedrigen. Die Aktivierungsenergie ist die Energie, die benötigt wird, um chemische Reaktionen in Gang zu setzen. Als Reaktionsvermittler sind chemische Katalysatoren nicht stöchiometrisch (also nicht im gleichen Verhältnis wie die Reaktionspartner) einzusetzen sondern lassen sich im Idealfall mehrfach wieder verwenden. Sie sind somit die Schlüsseltechnologie um technische Prozesse unter sparsamen Einsatz knapper Ressourcen wie Ausgangsstoffe oder Energie zu ermöglichen.

Durch den Einsatz von geeigneten chemischen Katalysatoren können auch nicht aktivierte Reagenzien (z.B. CO, CO₂, Alkane, Aromaten etc.) als Synthesebausteine in der chemischen Wertschöpfungskette verwendet werden. Im Hinblick auf die Nutzung von CO₂ als Kohlenstoffbaustein für den Aufbau von Polymeren oder anderer chemischer Verbindungen muss

jedoch gesagt werden, dass aus heutiger Sicht das Potenzial begrenzt ist. Basierend auf den heutigen Erkenntnissen wird von einem Potenzial einer Nutzbarkeit von CO₂ als Rohstoff für Polymere und chemischen Verbindungen im zweistelligen Millionen Tonnen- Bereich (weltweit) ausgegangen. Eine Betrachtung der Umsetzung von CO₂ mit Wasserstoff zu Methan ist hierbei allerdings nicht enthalten.

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von chemischer Katalyse:

- (1) Bei der heterogenen Katalyse wird ein Katalysator in fester Phase verwendet, welcher von einem Fluid (Gasförmig, flüssig, oder überkritisch) von den Reaktanden umströmt wird. Dieses Verfahren findet vor allem bei großskaligen Anwendungen wie petrochemischen Verfahren oder industriellen Grundchemikalien, wie dem Cat-Cracking oder Reforming, sowie bei z.B. der Haber-Bosch-Ammoniak-Synthese, Anwendung.

Die Abtrennung von Produkt und Katalysator ist in diesem Fall einfach zu realisieren, da die zu trennenden Stoffe in unterschiedlichen Aggregatzuständen vorliegen. Die Breite der eingesetzten Katalysatoren geht von einfachen Metalloberflächen (z.B. Nickel bei Chlorierung von Kautschuk; Eisen/Cobalt bei Haber-Bosch-Synthese) über hochkomplexe Multimetall(oxid)systeme (z.B. für hochselektive Oxidationen wie z.B. in der Acrylatchemie oder der synthetischen Methioninherstellung), Fischer-Tropsch-Systeme hin zu formselektiven Katalysatoren (z.B. Zeolithe für Cat-Cracking) bis hin zu auf molekularer Ebene definierten Strukturen wie Polymere (z.B. Elektrokatalyse).

In der Pharma- und Agrochemie werden ebenfalls in großem Maße heterogene Katalysatoren eingesetzt, wegen der hohen Selektivitätsanforderungen hier auch verstärkt Edelmetall-haltige Systeme. Adaption von an sich bekannten Katalysatoren für neue Prozesse (z.B. HPPO durch Oxidation von Propen mit H₂O₂ an TS-1 Katalysatoren) oder für Rohstoffe anderer Provenienz (z.B. Biobornsteinsäurehydrierung zu Butandiol) spielt gerade in der heterogenen Katalyse eine entscheidende Rolle.

- (2) In der homogenen Katalyse kommen in der (flüssigen) Reaktionsphase gelöste Katalysatoren zum Einsatz. Das Spektrum reicht hier von anorganischen Säuren oder Basen (z.B. Schwefelsäure) über Organokatalysatoren (wie z.B. Aminosäuren wie Prolin) hin zu metallorganischen Komplexen (z.B. Hydroformylierung mit Rhodium-Phosphin-Komplexen). Hierbei lassen sich häufig Katalysatoren in einem rationalen Prozess

entwickeln und an die Anforderungen des gewünschten Reaktionspfades anpassen. Dies setzt ein tiefes Grundlagenverständnis der Katalysatoren auf molekularer Ebene voraus.

Schlüssel zum Erfolg bei der Umsetzung von Katalysatorforschung in die industrielle Anwendung ist eine starke interdisziplinäre Vernetzung zwischen Chemie, Verfahrenstechnik und den Anwendungsgebieten, wie z.B. den Materialwissenschaften. Zu nennende Erfolgsbeispiele aus den zukunftsorientierten Bereichen der Zwischen- und Spezialchemieprodukte sind z.B. die homogen katalysierte Herstellung von Terephthalsäure mit einem weltweiten Volumen von 40 Mio t/a oder Acrylsäure für Polyester und Superabsorber (Windeln) mit einer weltweiten Kapazität von 6 Mio t/a. In der heterogenen Katalyse konnten hoch effiziente aber sehr komplex aufgebaute Materialien wie Multi-Metall-Multi-Phasen-Mischoxide in die Anwendung gebracht werden. Als vielversprechende Forschungsaktivität im prozess-nahen Umfeld zur wertschöpfenden Verwertung von Restströmen und alternativen Rohstoffströmen ist die katalysierte, oxidative Dehydrierung von Butenen zu Butadien (BASF und Linde) zu nennen.

Kapitel 5 - Wirtschaftliche Bedeutung und Umsetzung der Katalyse in NRW

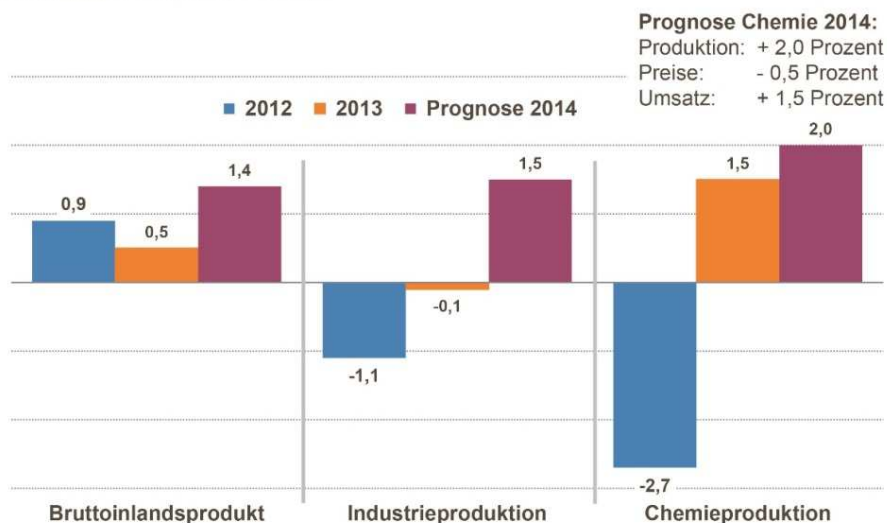
Die wirtschaftliche Bedeutung der Katalyse nimmt stetig zu. Während katalytische Verfahren einen Anteil von 80% aller chemischen Prozesse ausmachen, sind es bereits 90% aller neu entwickelten Verfahren. Hiervon wiederum sind ca. 10-15% homogen katalysiert.⁹

Die Wirtschaftsleistung der chemischen Industrie (inkl. Pharma) hat einen Anteil von ca. 2,3% am Bruttoinlandsprodukt Deutschlands¹⁰. Dies entspricht absolut einer Leistung von 62 Mrd. € (2013; stat. Bundesamt) und entsprechend ca. 50 Mrd. € (ca. 11 Mrd € in NRW) allein durch katalytische Prozesse. Zudem wird für die Produktion in 2014 ein Wachstum von 2% erwartet. (s. Abb. VCI)

Im Jahr 2014 wird die Chemieproduktion moderat wachsen

BIP, Industrie- und Chemieproduktion

Veränderung ggü. Vorjahr in Prozent



Quellen: Statistisches Bundesamt, VCI

VCI-Pressabend am 11. März 2014 – VCI-Quartalsbericht 4/2013



Abb. 3: Prognostizierte Chemieproduktion, VCI

Diese Zahlen zeigen, welche enorme wirtschaftliche Bedeutung in der Katalyse liegt.

⁹ [VCI Positionspapier 2002; J. Hagen, Industrial Catalysis, Wiley VCH, 2006

¹⁰ (2009; <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/236732/umfrage/anteil-ausgewaehlter-industriezweige-am-bip/>)

Historie

Gerade in Nordrhein-Westfalen ist die Innovationskraft in der Katalyse gewachsen. In diesem Jahr begeht das Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr sein 100-jähriges Bestehen. Es wurde 1914 von der unter Wilhelm II. gegründeten Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft als "Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung" mit dem Ziel gegründet, die Nutzung von Kohle als einzige heimische Kohlenstoffquelle als chemischen Rohstoff und nicht nur zur Wärmeerzeugung zu erforschen.

Fischer-Tropsch-Verfahren

Die Besetzung von Franz Fischer (1877-1946) als erstem Direktor dieses Instituts sollte sich als ein Glücksgriff für die Katalysatorforschung erweisen. Mit seinem Mitarbeiter Hans Tropsch (1889-1935) entwickelten sie ein nach Ihnen benanntes Verfahren zur Herstellung flüssiger Kraftstoffe wie Diesel oder Benzin aus Kohle. Das sogenannte Fischer-Tropsch-Verfahren baut auf dem bereits damals bekannten Kohlevergasungsprozess zu Synthesegas (Kohlenmonoxid CO und Wasserstoff H₂) auf. Ihr Verfahren lässt heterogenkatalytisch die Bildung von flüssigen Kohlenwasserstoffen zu. Hierbei kamen vor allem Heterogenkatalysatoren bestehend aus auf Metalloxiden geträgerten Metallen, wie Eisenpartikel auf Zink- oder Aluminiumoxid, zum Einsatz.

Die Anwendung dieses Verfahrens ist vor dem aktuellen Hintergrund der stofflichen Nutzung von Biomasse aktueller denn je. Auch aus Biomasse lässt sich durch entsprechende Vergasung, ähnlich wie aus Kohle, Synthesegas herstellen, welches in einem nachgeschalteten Fischer-Tropsch-Prozess "verflüssigt" werden kann. Die erhaltenen Alkanmischungen sind vor allem als Kraftstoff und Schmiermittel (da vollkommen schwefelfrei) einsetzbar. Eine Nutzung dieses Prozesses in industriellem Maßstab ist bis heute eine Herausforderung an der Schnittstelle von Katalyse und Reaktionstechnik.

Haber-Bosch-Ammoniak-Synthese

Basierend auf dem durch Fischer und Tropsch gewonnenen Verständnis der Wirkungsweise von Heterogenkatalysatoren, konnten Haber und Bosch (BASF) das bis heute mengenmäßig zweitgrößte chemische Verfahren der Ammoniak-Synthese entwickeln. Auch hier trugen Errungenschaften der Katalyse Früchte im Sinne immenser Energieeinsparungen und Vermeidung von Neben- und Koppelprodukten. (vgl. Abb. Ammonia synthesis).

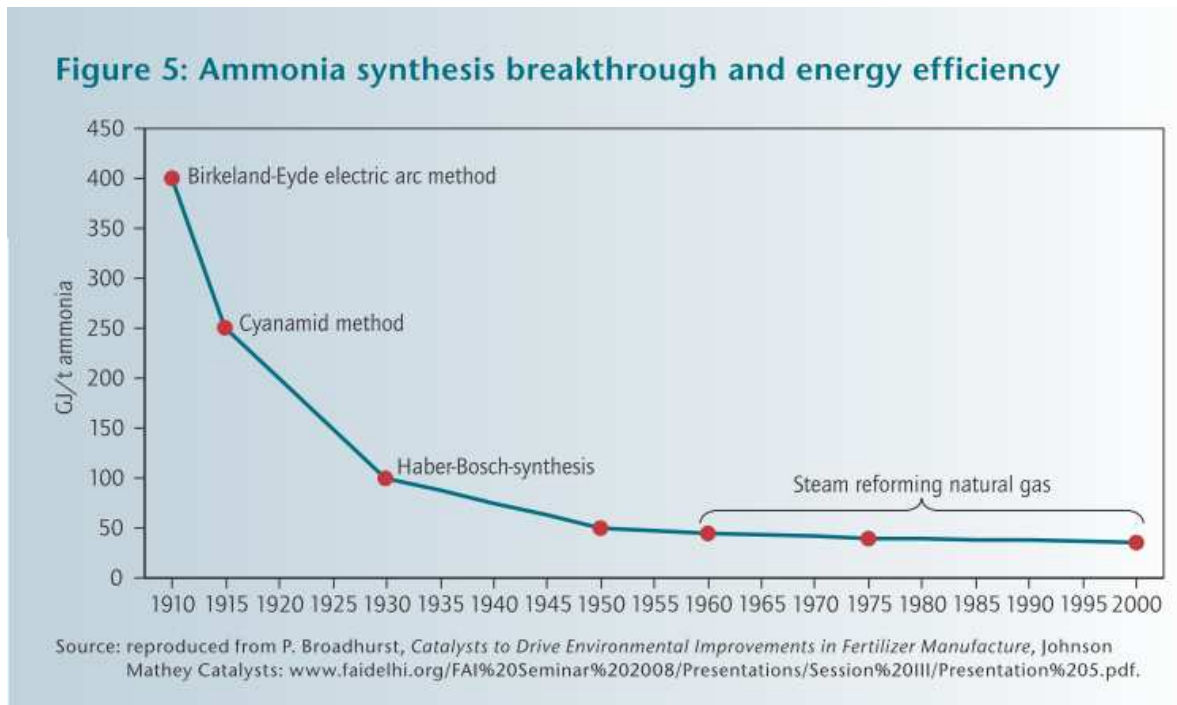


Abb. 4: Bedeutung der Katalyse für die Ammoniak-Synthese

Katalyse am Beispiel einer Wertschöpfungskette

Im Alltag begegnen wir in unzähligen Produkten, in denen Bindemittel (Klebstoffe, Harze für Druckfarben und Lacke, Wachse, Leime etc.) enthalten sind. Zahlreiche Unternehmen, die sowohl Grundstoffe (Polymervorstufen) und Polymere für Bindemittel herstellen, maßgeschneiderte Rezepturen für unterschiedliche Anwendungen entwickeln, die entwickelten spezifischen Bindemittel herstellen und, z.B. in Klebstoffrezepturen für Schuhe, Möbel oder die Automobilindustrie, weiterverarbeiten, haben ihren Sitz und ihre Produktion in NRW. Als Bindemittel werden insbesondere für die Hochleistungssysteme reaktive Polymere wie z.B. Polyurethane, Epoxide, Acrylate und Silikone verwendet. Die Aushärtecharakteristik und die Performance derartiger Systeme werden entscheidend durch unterschiedlichste Katalysatorsysteme definiert.

So kann mit dem Katalysator z.B. Einfluss auf die Aushärtecharakteristik genommen werden. Manchmal benötigt man auch Katalysatoren für die Bildung von Polymervorstufen (Prepolymeren), um z.B. bestimmte Anwendungseigenschaften wie Viskosität oder Reaktivität einzustellen. Für viele dieser Anwendungen werden heute metallorganische Katalysatoren eingesetzt, die sowohl von ihrer

Anwendungssicherheit als auch ihrer Performance Verbesserungsbedarf besitzen. Hier ist für die Zukunft ein erhebliches Forschungspotenzial zu erwarten.

Aktuelle Herausforderungen

Die großen neuen Herausforderungen der Katalyse liegen in der Schließung von Kohlenstoffkreisläufen. Das aus der Verbrennung fossiler, kohlenstoffbasierter Energieträger in die Atmosphäre emittierte CO₂ ist in einem nachhaltigen Ansatz dem Kohlenstoffkreislauf wieder zurück zu führen. Auf dem Gebiet der anwendungsnahen Forschung werden in NRW in mehreren Großforschungsprojekten zwei Ansätze gewählt:

- 1) Die stoffliche Nutzung von Biomasse in der chemischen Wertschöpfungskette und
- 2) die direkte stoffliche Nutzung von CO₂ als Synthesebaustein oder Energiespeicher.

Im erstgenannten Fall des Rohstoffwandels einer petrochemischen Wertschöpfungskette, die hauptsächlich auf dem Aufbau von funktionellen Gruppen auf unfunktionalisierten, fossilen Alkanen fußt, besteht die Herausforderung an die Katalysatorforschung die Funktionalität von Biomasse ab- und selektiv umzubauen.

Im zweiten Fall der Nutzung von CO₂ ist die Überwindung der Reaktionsträgheit des Reagenzes durch den Katalysator, eine Aktivierung, notwendig.

Kohlenstoffkreislauf

Betrachtet man die CO₂ Emissionen nach den Bereichen der Emittenten (vgl. Abb. DECHEMA) so unterscheidet man Abgasemissionen mit lokal sehr hohem CO₂ Anteil, wie in Kohle- oder Gaskraftwerken, bzw. in chemischen Produktionsprozessen, neben Abgasemissionen, bei denen CO₂ räumlich verteilt und in geringer Konzentration emittiert wird. Hier ist vor allem der Transportsektor anzuführen.

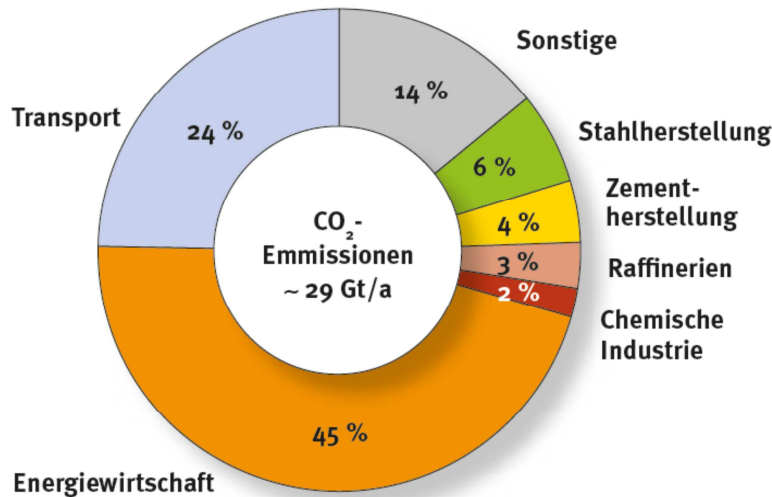


Abb. 5 CO₂- Quellen und Emissionen durch Nutzung fossiler Brennstoffe¹¹

Nutzung von Biomasse

Naturgemäß binden Pflanzen im Prozess der Photosynthese Kohlenstoff aus dem in der Atmosphäre vorhandenen CO₂. Die Nutzung von Biomasse als Kohlenstoffquelle ist daher eine Möglichkeit den Kohlenstoffkreislauf auch von räumlich diffus auftretenden CO₂-Emissionen zu schließen. Dieser Ansatz wird unter anderem in dem Exzellenzcluster an der RWTH Aachen "Tailor Made Fuels From Biomass (TMFB)" verfolgt. Im Gegensatz zu dem vorgenannten Fischer-Tropsch-Prozess werden hier nicht Alkanmischungen angestrebt, sondern die Synthese von Designkraftstoffen mit verbesserten Verbrennungseigenschaften als den konventionellen Eingesetzten. Hierbei wird mit katalytischen Verfahren ausgehend von Lignozellulose unter milden Bedingungen die Zerteilung von Biomasse in kleinste Kohlenstoffbausteine wie Synthesegas vermieden. Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen bleiben bei dem Ansatz weitestgehend erhalten.

CO₂ als Rohstoff

Als Beispiele für die Nutzung von CO₂ als Stoffspeicher für regenerativ hergestellten Wasserstoff gibt es diverse Ansätze in der Katalyse CO₂ sukzessiv zu Hydrieren. Hierbei werden wichtige chemische Zwischenprodukte wie Ameisensäure oder Methanol durchlaufen. Grundsätzlich ist auch eine Totalreduktion zum Methan möglich. In den genannten Produkten ließe sich Wasserstoff speichern und durch katalytische Prozesse bei Bedarf wieder freigeben lassen. Neben der Aktivität ist eine präzise steuerbare Selektivität der Reduktionstufen und der damit verbrauchten Wasserstoff- bzw.

¹¹ Diskussionspapier „Verwertung und Speicherung von CO₂“, DECHEMA, Oktober 2008

Reduktionsäquivalente Ziel der Katalysforschung auf diesem Gebiet. Ein derartiges „Power-to-Chemistry“-Konzept bietet neuartige Schnittstellen zwischen Chemie- und Stromwirtschaft. Um hier eine relevante Größenordnung zu erreichen, müssen auch mengenmäßig relevante Chemieprodukte, wie die vorgenannten adressiert werden. Erste Ansätze hierfür werden im Folgenden genannt.

Als stoffliche Nutzung von CO₂ im industriellen Maßstab gibt es in dem BMBF geförderten Projekt "Dream Produktion" Beispiele bis hin zur Pilotierung (direkt am Standort Leverkusen Bayer Material Science/ Bayer Technology Services, CAT Catalytic Center, RWTH Aachen). Hierbei werden Polyethercarbonatpolyole aus der Copolymerisation von CO₂ und Epoxiden gewonnen. Diese können zu Polyurethanschäumen weiter verarbeitet werden. Die industrielle Produktion soll hier bereits 2015 erfolgen. Gegenüber der konventionellen Herstellungsweise kann hierdurch der Einsatz von toxischen Reaktanden wie Phosgen vermieden werden. Dies geht auch mit ökonomischen Einsparungen einher.

In einem weiteren BMBF Projekt CO₂rrect wird CO₂, welches direkt aus Kohlekraftwerken des Projektpartners RWE (Niederaußem) abgeschieden wird, durch Wasser-Gas-Shift-Reaktionen zu dem chemischen vielseitig einsetzbaren Kohlenmonoxid reduziert und dies direkt in einer Monomersynthese eingesetzt.

Kapitel 6 - Aktuelle Situation

Internationaler Vergleich

Die genannten Kooperationen in NRW in Public-Private-Partnership sind im internationalen Vergleich in vielen Bereichen führend. Die genannte Pilotierung einer CO₂-Epoxid-Kopolymerisation zu Polycarbonaten ist in diesem Maßstab weltweit einmalig.

Die Projekte zur stofflichen Nutzung von Biomasse verfolgen in NRW neuartige Ansätze, welche interdisziplinäre Synergien schaffen. Vergleichbare Projekte mit industrienähe sind in den benachbarten Niederlanden (CatchBio) und in Schottland (EaStCHEM) zu finden. Hierbei ist jedoch der Focus mehr auf eine chemische Nutzung der Biomasse und nicht mit dem Ziel der Kraftstoffherstellung gelegt.

International führende Katalysatorforschung ist im niederländischen Katalyse-Verbund NIOK unter Leitung von Prof. Weckhuysen anzutreffen. In Singapur ist A*Star als staatlich unterstützte Einrichtung hervorzuheben, die auch katalytische Fragestellungen bearbeitet.

Die räumliche Nähe von forschenden und produzierenden Einrichtungen der Chemie in NRW ist ein starker Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Regionen. Informeller, bilateraler Austausch von Industrie und Akademie sind reibungsfrei zu realisieren. Aber auch der Austausch von Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Katalysatorforschung untereinander (z.B. BioSc: Universitäten Aachen, Köln und Bonn nebst dem Forschungszentrum Jülich) ist an der Tagesordnung.

Herausforderungen und Handlungsempfehlungen

Die wissenschaftlichen Herausforderungen der Katalyse in der nächsten Dekade werden folgende Meilensteine umfassen:

(1) Das Verständnis von Katalysatoren auf atomarer bzw. molekularer Ebene.

Nur durch Kontrolle und Verständnis der chemischen Teilreaktionen, die an den aktiven Zentren der Katalysatoren ablaufen, können Beschränkungen der Reaktivität verstanden und dadurch bestehende Reaktionssysteme verbessert werden

(2) Multifunktionale Katalysatoren

Die Entwicklung von Katalysatoren, die mehrere aktive Zentren aufweisen um mehrere Reaktionsschritte in Einem zu ermöglichen ist gerade auf dem Gebiet der Katalyse essentiell. Vor allem an den Schnittstellen zwischen den Disziplinen Chemie und Biologie sind Innovationen möglich.

(3) Rationales Design von Katalysatoren

Die Idealvorstellung eines Chemikers ist das rationale Design eines Katalysators für eine durchzuführende Reaktion. Die Minimierung experimentellen Aufwandes zur Optimierung von Reaktionsparametern und Katalysatoren durch das molekulare Verständnis von Reaktivitäten ist hier das Ziel.

(4) Neue katalytische Reaktivitäten

Gerade angesichts des Wandels der chemischen Rohstoffbasis hin zu regenerativen Kohlenstoffquellen ist die Entdeckung neuer, bislang unbekannter Bindungsknüpfungsmethoden oder Bindungsspaltungen essentiell zur Erschließung dieser Ressourcen.

Alle diese Herausforderungen sind Teil des Weges von der Grundlagenforschung und Invention in der chemischen Industrie. Es müssen die sich daraus ergebenden Erkenntnisse einer wirtschaftlichen Betrachtung nach Hochskalierung in die Größenordnung industrieller Pilotanlagen standhalten – die Entwicklung bis hin zur tatsächlichen Innovation am Markt. Über den gesamten Entwicklungsprozess sind alle relevanten Disziplinen von Chemie über Reaktionstechnik und Materialwissenschaft bis Anlagenbau einzubeziehen.

Handlungsempfehlungen für NRW

Unterstützung in den folgenden Gebieten:

Adressierung zukunftsweisender, langfristig orientierter, sektorenübergreifender Projekte: Biomasse-Nutzung, CO₂-Nutzung (Wasserstoffspeicher), Power-to-Chemistry, Chemiepark-Konzepte

Intersektorale Zusammenarbeit: Der Wandel hin zu erneuerbaren Ressourcen geht mit der Bewältigung von fluktuierenden Stoff- und Energieströmen einher. Die Lösung hiervon liegt an den Schnittstellen von Molekular- und Ingenieurwissenschaften. Synergien sind aber auch sektorenübergreifend zwischen Chemiesektor und

- dem Stahlsektor (CO₂-Nutzung),
- dem Energiesektor (CO₂-Nutzung, Biomassenutzung),
- der Land- & Forstwirtschaft (Biomassenutzung, Dünger)

erkennbar. Daraus abgeleitet sollte auch zukünftig ein Schwerpunkt auf F&E – Aktivitäten (der Katalyse) bei den Themen CO₂- Nutzung, Power- to- Chemistry, Kohle- und Synthesegaschemie (Fischer-Tropsch-Prozesse, pyrolytische Prozesse, katalytischer Aufbau von aliphatischen und aromatischen Verbindungen aus Synthesegas und aus Bausteinen von pyrolytischen Prozessen) und Biomassenutzung liegen.

Biobasierte Rohstoffbasis: Umwandlung von Biomasse zu chemischen Grundstoffen kann auch in Verbindung mit Einsatz regenerativ erzeugter Energie zu einem Technologievorsprung sowohl in der Verfahrensentwicklung wie auch bei Katalysatoren und somit zu einem globalen Wettbewerbsvorteil für die deutsche chemische Industrie führen (z.B. Bioethanol 2. Generation), entsprechende Technologien sollten weiter entwickelt und gefördert werden.

Nutzung temporärer Energieüberschüsse: Eine wichtige Option für die Speicherung von temporären Energieüberschüssen im Rahmen der Energiewende, die auch zu einer günstigeren Rohstoffbasis für die chemische Industrie führen kann. Hierbei sind insbesondere Modelle mit hoher Flexibilität und guter stofflicher und energetischer Integration (Rückumwandlungsoptionen) interessant.

Neue katalytische Verfahren und Reaktionssysteme: Die Veränderung der Rohstoffbasis bedingt neue Verfahren und damit einhergehend entstehen geänderten Anforderungen an Katalysatorsysteme (andere Katalysatorgifte bei Rohstoffen der Biosphäre, andere Verwertungsströme aus Erdöl basierten Prozessen, z.B. bedingt durch veränderte Rohstoffmärkte) Generell ist es eine große Herausforderung, aber auch für eine große Chance, wenn es gelingt, Katalysator-Systeme dahingehend zu optimieren, dass sie gegenüber den Verunreinigungen, die sich in manchen CO₂- oder CO-haltigen Abgasen befinden, robuster sind als die heutigen Katalysatoren. Damit kann die Gasaufbereitung entsprechend kostengünstiger gestaltet werden.

Stärkung lokaler Kompetenzzentren: In NRW sind die Einrichtungen für skalenübergreifende Implementierung von Innovationen, vom Molekül bis zum Produktionsprozess, vorhanden. Die Stärkung lokaler Kompetenzzentren ist der Schlüssel zur Etablierung starker regionaler und überregionaler Kooperationsbande. Vernetzung darf aber nicht auf Kosten lokaler Exzellenz und Expertise erfolgen.

Etablierung industrieller Pilotanlagen: Eine Durchgängigkeit vom Labor in Miniplants bis hin zu industriellen Pilotanlagen ist erfolgskritisch für die schnelle zielgerichtete Entwicklung von Innovationen aus NRW. Hier wäre ein stärkeres Engagement des Landes mit entsprechenden Programmen zur Abfederung des technischen und wirtschaftlichen Risikos wünschenswert.

Steuerliche Forschungsförderung: Vor dem Hintergrund, dass deutsche Wirtschaftsunternehmen in Deutschland ein im internationalen Vergleich sehr hohes Engagement im Bereich der Eigenfinanzierung von F&E- auch in der Zusammenarbeit mit Hochschulen und Forschungsinstituten- aufweisen, wird zur Einführung einer steuerlichen Förderung von F&E-Aktivitäten geraten.

Deutliche Stärkung des Themas LCA: Öffentliche Akzeptanz neuer Technologien ist unvermeidlich für dessen Implementierung. Lebenszyklenanalysen (LCA life cycle assessment) zur Realisierung neuer Prozesse liefern fundierte wissenschaftliche Betrachtungen über mögliche Einsparungen in den Bereichen Toxizität, Energie und Emissionen. Sie sollten die Basis der öffentlichen Debatte bilden. Von einer Verwendung als Steuerungsgröße ist aufgrund des der LCA innewohnenden vergleichenden Charakters abzuraten.

Im Interesse der industriellen Wettbewerbsfähigkeit des Landes Nordrhein-Westfalens sollten die Grundsteine in der anwendungsnahen Forschung in den oben genannten Bereichen gelegt werden.

Zusammenfassend lässt sich, insbesondere am Beispiel der chemischen Katalyse und der Biokatalyse sagen, dass NRW mit seiner Hochschullandschaft und ansässigen Forschungsinstituten, von einigen Ausnahmen abgesehen (Elektrokatalysatoren, Kohlechemie) im Bereich der Katalyse im nationalen und internationalen Vergleich gut positioniert ist. Erfolgsfaktor ist die starke Vernetzung zwischen Hochschulen, Forschungsinstituten und Industrie, die die Voraussetzung dafür schafft, Forschungs- und Entwicklungsergebnisse erfolgreich in Inventionen und Innovationen umzusetzen. Dies kann anhand vieler Projekte gezeigt werden (Doktorandenprogramm SusChemSys mit enger Schnittstelle zwischen Chemie- und Ingenieurwissenschaften unter starker Einbindung der industriellen Partner; EU- Projekte F³ Factory und SynFlow, in denen integrierte Prozesse mit katalytischen Verfahren als ein Kernelement entwickelt und in die Anwendung gebracht wurden). Insbesondere in der engen Verzahnung der Katalysatorforschung mit der Verfahrens- und Anlagentechnik, liegen Chancen über den Zwischenschritt der Realisierung von Demonstrations- und Pilotanlagen, neue Anlagen und Technologien am Standort NRW zu realisieren und zu verankern.