

Anhörung von Sachverständigen

Enquetekommission II
„Elektrochemische Verfahren“

Am 14. Februar 2014

Fragenkatalog

LANDTAG
NORDRHEIN-WESTFALEN
16. WAHLPERIODE

STELLUNGNAHME
16/1410

A23

Dr. Klaus-Michael Mangold

DECHEMA-Forschungsinstitut, Frankfurt am Main

Relevanz und Potenzial der Elektrochemie in NRW

Welche Mengen an chemischen Produkten werden zurzeit durch Verfahren, die den elektrischen Strom nutzen, hergestellt?

Der größte elektrochemische Prozess ist die Chloralkali-Elektrolyse mit einer weltweiten Chlorproduktion von ca. 68 Mio. Tonnen pro Jahr. Weitere Prozesse sind u.a. die Montanwachsbleiche (ca. 11.000 Tonnen pro Jahr), Anisaldehyd (ca. 3.500 Tonnen pro Jahr), Calciumgluconat (ca. 1.000 Tonnen pro Jahr), 1,2-Dihydrophthalsäure (ca. 600 Tonnen pro Jahr). Ein großer elektrochemischer Prozess, die Adiponitril-Synthese (ca. 300.000 Tonnen pro Jahr) wird seit einigen Jahren wieder chemisch durchgeführt. Die genannten Daten sind teilweise nicht auf dem neuesten Stand, geben aber einen Eindruck von den Größenverhältnissen.

Wie schätzen Sie das Potenzial ein, dass elektrochemische Prozesse petrochemische Prozesse ersetzen, bzw. ablösen können? Eine technische Machbarkeit vorausgesetzt, welchen Zeithorizont schätzen Sie, wird dies benötigen?

Petrochemische Prozesse zu ersetzen erfordert die Umstellung auf eine andere Rohstoffbasis. Kohlendioxid könnte eine neue Rohstoffbasis werden. Die Elektrochemie könnte bei der Nutzung von Kohlendioxid eingesetzt werden. Die elektrochemische Umwandlung von Kohlendioxid in Kohlenmonoxid, Ameisensäure, Methanol oder Methan oder Verbindungen mit zwei Kohlenstoffatomen wird seit einigen Jahrzehnten erforscht. Die wesentliche Herausforderung besteht in der Formulierung eines effizienten, selektiven und kostengünstigen Elektrokatalysators. Die Entwicklungszeit bis zur Marktreife wird vermutlich noch 10 bis 20 Jahren in Anspruch nehmen.

Was sind die Vor- und Nachteile einzelner elektrochemischer Verfahren?

Die Vorteile elektrochemischer Reaktionsführung liegen in der Selektivität, d.h. in vielen Fällen bildet sich ein Hauptprodukt und wenig oder keine Nebenprodukte. Diese Selektivität lässt sich über das an den Elektroden anliegende Potenzial (Spannung) leicht kontrollieren. Die Geschwindigkeit, mit der eine Reaktion abläuft, lässt sich über den angelegten elektrischen Strom kontrollieren. Das Material, aus dem die Elektrode gefertigt ist, bestimmt deren elektrokatalytischen Eigenschaften. Folglich ergibt sich durch geschickte Materialwahl eine weitere Möglichkeit, die Reaktion zu beeinflussen. Die Reaktionsbedingungen sind bei elektrochemischen Reaktionen meist mild (niedrige Temperaturen, geringer Druck). Elektrochemische Reaktionen laufen ohne Zusatz von Chemikalien, d.h. Oxidations- oder Reduktionsmitteln, ab.

Die Nachteile sind, dass spezielle Reaktoren (Elektrolyse-Zellen) erforderlich sind, dass die Reaktion nur an der Grenzfläche Elektrode-Lösung stattfindet und dass das Personal oft speziell geschult werden muss, weil elektrochemische Prozesse nicht so verbreitet sind. Außerdem entstehen an der Gegenelektrode in vielen Fällen Produkte, die kommerziell nicht verwertet werden können.

Welche vergleichbaren stromverbrauchenden Verfahren gibt es in anderen - nicht der chemischen Industrie zugerechneten Branchen?

Galvanische Abscheidung von Metallen, Elektrotauchlackierung, elektrochemische Desinfektion, Abwasserbehandlung, Metallgewinnung, Metallbearbeitung und Wasserelektrolyse sind Beispiele für elektrochemische Prozesse außerhalb der chemischen Industrie. Außerdem sind die Analytik, Sensorik und die Energiespeicherung und Energiewandlung, z.B. Batterien, Brennstoffzellen, Kondensatoren, Bereiche, in denen die Elektrochemie von Bedeutung ist.

Nachhaltigkeit

Wie bewerten Sie einen Austausch von etablierten Verfahren gegen Elektrochemie im Sinne des Carbon-Footprint, der Nachhaltigkeit im Allgemeinen?

Der für elektrochemische Verfahren benötigte elektrische Strom kann aus erneuerbaren Energien gewonnen werden. Die elektrochemische Umsetzung von Kohlendioxid im technischen Maßstab würde den Carbon-Footprint elektrochemischer Prozesse zusätzlich verbessern.

Welche Bedeutung haben elektrochemische Verfahren bei der stofflichen Umwandlung von nachwachsenden Rohstoffen in Chemikalien?

Bei der Nutzung von Holzabfällen in der Bioraffinerie könnten elektrochemische Verfahren in einzelnen Prozessschritten der Gewinnung von Fein- und Basischemikalien, z. B. Vanillin, vorteilhaft eingesetzt werden.

Forschung

Gibt es Projekte, die darauf zielen, die Reaktionsenergie direkt als elektrischen Strom zu nutzen?

Die Entwicklung von Batterien, Redox flow-Batterien und Brennstoffzellen zielt auf die direkte Umwandlung chemischer Reaktionsenergie in elektrische Energie ab.

Was ist der Forschungs- und Entwicklungsstand bei der Sauerstoffverzehrkathode und an welchen Standorten ist der Einsatz dieser Methode sinnvoll?

Für die Anwendung in der Chloralkali-Elektrolyse ist sie ausgereift. Ihre Anwendung ist vor allem an Standorten sinnvoll, die kein Wasserstoff-Verbundnetz haben. Darüber hinaus sind vielfältige Anwendungen möglich, beispielsweise in der Wasseraufbereitung oder der Elektrosynthese.

Rahmenbedingungen

Welche Rahmenbedingungen bzw. Voraussetzungen müssen geschaffen werden um die benötigte Energieversorgung sicher und nachhaltig zu realisieren?

Ein wichtiger Aspekt ist die Netzstabilisierung. Hier kann die Elektrochemie mit entsprechenden Speichersystemen einen Beitrag leisten.

Welche Anforderungen ergeben sich an die Ausbildung von z.B. Chemikern?

Eine Hürde bei der möglichen Einführung elektrochemischer Prozesse ist der deutliche Rückgang der Elektrochemie im Chemiestudium. Dies ist auch auf den Rückgang der Lehrstühle und Professuren für Elektrochemie zurück zu führen. Dadurch fehlt vielen Chemikern elektrochemisches Grundwissen. Entsprechend wird eine alternative elektrochemische Reaktionsführung bei der Prozesskonzeption nicht in Betracht gezogen. Mehrere Fachgesellschaften haben bereits 2010 ein Positionspapier zur Ausbildung in Elektrochemie an Hochschulen formuliert, das diesem Fragenkatalog als Anhang beigefügt ist.

Elektrochemie: Herausforderungen an die Lehre in der Chemikerausbildung

- November 2010 -



GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.



Verband der Chemischen Industrie e.V.



**Deutsche Bunsen-Gesellschaft
für Physikalische Chemie e.V.**



**Gesellschaft für Chemische Technik
und Biotechnologie e.V.**



Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V.

Hintergrund

Um die negativen Folgen des globalen Klimawandels zu begrenzen, wird in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft intensiv darüber diskutiert, wie das klimapolitische Ziel der Reduktion der Emission von Treibhausgasen erreicht werden kann.

Allein die wissenschaftlich-technischen Herausforderungen auf dem Weg in eine Gesellschaft, die mit den verfügbaren energetischen und stofflichen Ressourcen nachhaltig umgeht, sind immens. Verstärkte Investitionen in Wissenschaft und Technik, insbesondere mehr Anstrengungen in Forschung und Entwicklung, sind daher unverzichtbar.

Zukunftsfähigkeit und Nachhaltigkeit in einer Energiewirtschaft, die mittelfristig umgebaut werden muss, bedeuten, dass das zentrale Problem einer hocheffizienten und zuverlässigen Energiespeicherung gelöst werden muss. Für kurz- und mittelfristig zu speichernde oder bereit zu stellende Energie kommt als wesentliche Trägerform die elektrische Energie in Frage. Elektrischer Strom kann darüber hinaus auch als umweltfreundliches Reagenz (Oxidations- bzw. Reduktionsmittel) in Syntheseprozessen (Elektrolyse und Elektrosynthese) zur stofflichen Umwandlung genutzt werden.

Elektrochemie – eine Wissenschaft mit ökonomischer Bedeutung

Auch die teils kontroverse Diskussion um die Zukunftssicherung der Mobilität kreist in ihrem technologischen Kern um das Schlüsselproblem einer effizienten elektrischen Energiespeicherung. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen gewinnt die Frage der Sicherung des elektrochemisch geschulten Fachkräftenachwuchses enorme Bedeutung. Nur mit qualifizierten Fachkräften, insbesondere Ingenieuren und Naturwissenschaftlern^{*)}, können die wissenschaftlich-technischen Probleme in diesem interdisziplinären Feld mit Erfolg angegangen werden.

Die Bedeutung der Elektrochemie als Schlüsseldisziplin weist aber – darauf soll hier ausdrücklich hingewiesen werden – über die bereits genannten spezifischen Bezüge zum Themenfeld Energie erheblich hinaus: Ihre Beiträge spielen in den Materialwissenschaften, in den anderen Natur- und Ingenieurwissenschaften sowie in der Medizin eine große Rolle und sind auch dort von enormer wirtschaftlich-technischer Bedeutung: Bedenkt man, dass alle Korrosionsvorgänge letztlich elektrochemischer Natur sind und allein in Deutschland durch Korrosion jährlich Schäden in Höhe von schätzungsweise zwei bis drei Prozent des BIP^{**)} hervorgerufen werden, dann zeigt schon dieses Beispiel die große ökonomische Bedeutung der Elektrochemie.

Ohne genaue Kenntnis der Schritte, die den Austausch von Ladungen über Phasengrenzen hinweg bestimmen, ohne Kenntnis der Kinetik dieser Schritte und der Faktoren, die hemmende oder beschleunigende Wirkung auf die Austauschvorgänge ausüben, bewegen sich Korrosionsschutzmaßnahmen letztlich auf dem Niveau von „Trial and Error“.

^{*)} Zur besseren Lesbarkeit wird in diesem Text für Personenbezeichnungen der Einfachheit halber nur die männliche Form verwendet. Die weibliche Form ist selbstverständlich immer mit eingeschlossen.

^{**)} Quelle: Global Needs for Knowledge Dissemination, Research, and Development in Materials Deterioration and Corrosion Control (The World Corrosion Organization; May 2009)

Für wissenschaftlich begründete Schutzmaßnahmen bedarf es einer fundierten Absicherung durch elektrochemische Korrosionsforschung.

Die Nutzung elektrischen Stroms zum Zwecke der stofflichen Umsetzung findet Anwendung in Elektrolyse- und Elektrosyntheseverfahren der präparativen organischen und anorganischen Chemie. Prominente Beispiele sind hier die Chloralkalielektrolyse sowie die Elektrosynthese von Adipodinitril als Vorstufe für Polyamide (Monsanto-Verfahren). Auch im Bereich der Feinchemie finden Elektrosynthesen aufgrund ihrer einzigartigen Möglichkeiten häufig Anwendung. Der Elektrochemie verdankt auch die moderne chemische Analytik ein Arsenal an Methoden, die mittels instrumentell ausgereifter zuverlässiger Messeinrichtungen weltweit routinemäßig Tag für Tag zum Einsatz kommen, z. B. in der klinischen Chemie.

Die Stellung der Elektrochemieausbildung im Rahmen des Chemiestudiums

Die moderne Elektrochemie zielt mit ihren Forschungsansätzen auf ein vertieftes Verständnis der Struktur und Dynamik von Phasengrenzen ebenso wie der Transportvorgänge in den beteiligten Phasen. Dies geht über die nach wie vor oft anzutreffende traditionelle makroskopisch-thermodynamische Sicht der Elektrochemie hinaus. Der dynamisch-strukturelle Ansatz erschließt den Zugang zu den auf mikroskopischer Ebene ablaufenden (Elementar)Prozessen des Ladungstransports/Ladungstransfers und ermöglicht erst hierdurch ein grundlegendes Verständnis vieler Prozesse und Phänomene in Technik, Umwelt und den Lebenswissenschaften.

Dieser Bedeutung der Elektrochemie wird die akademische Ausbildung des Chemikernachwuchses an vielen Universitäten und Fachhochschulen schon seit Jahren nicht mehr gerecht – weder in den (auslaufenden) Diplom- noch in den Bachelor- und Master-Studiengängen. Nur an wenigen deutschen Universitäten lehren und forschen in der Elektrochemie international ausgewiesene Wissenschaftler. Hauptsächlich aus diesen Arbeitskreisen stammen die maßgeblichen wissenschaftlichen Beiträge zur Weiterentwicklung dieser Disziplin. An vielen anderen Standorten hat die Elektrochemie dagegen den Weg einer nachrangigen „Hilfswissenschaft“ genommen, die im Kern als nicht weiter entwicklungsbedürftig angesehen wird. Eigenständig taucht die Elektrochemie daher meist nur unzureichend im Angebot der Vorlesungen und in der praktischen Ausbildung der Chemiestudierenden auf. Lediglich ihre Methoden werden in Praktika der analytischen und der physikalischen Chemie benutzt; für eine fundierte Behandlung der theoretischen Grundlagen bleibt oft kein Platz im Chemiestudium.

Zur künftigen Rolle der Elektrochemie in der Ausbildung von Chemikern

Um den aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft an die Elektrochemie herangetragenen Erwartungen und Forderungen nach Innovationen in wichtigen Aufgabenfeldern – und hier ist die Energieversorgung nur ein Beispiel von vielen – angemessen Rechnung tragen zu können, bedarf es Veränderungen in der akademischen Ausbildung. Die Umstellung der Chemiestudiengänge im Zuge der Bologna-Reform und das zunehmende interdisziplinäre Denken bieten hierfür geeignete Anknüpfungspunkte: Als Kerndisziplin vermittelt die Elektrochemie zwischen den physikalisch-chemischen Grundlagen, der Struktur organischer und anorganischer Funktionsmaterialien und deren Synthese auf der einen und deren Analytik auf der anderen Seite.

Hinzu kommen die Anwendungen der Elektrochemie beispielsweise in der chemischen Verfahrenstechnik, in der Sensorik, in der Galvanotechnik, im Korrosionsschutz, in der Medizintechnik, in der Biotechnologie und im Umweltschutz. Auch ist die stärkere Berücksichtigung der Elektrochemie im Rahmen der Ausbildung in technischer Chemie und chemischer Verfahrenstechnik anzustreben. Hier sind Kenntnisse im Bereich der elektrochemischen Verfahrenstechnik, z.B. in der Auslegung und in Designprinzipien von Elektrolysezellen bzw. -prozessen sowie zur Auswahl geeigneter Elektrodenmaterialien und Elektrolytsysteme zu vermitteln.

Diese hohen Anforderungen an die akademische Ausbildung von Elektrochemikern stehen in beunruhigendem Widerspruch zur Realität an vielen deutschen Hochschulen. Gemessen an diesen Anforderungen sind die Ressourcen, die der Elektrochemie an den Chemiefachbereichen zur Verfügung stehen, oft unzureichend – nicht zuletzt aufgrund der Tatsache, dass an vielen Chemiefachbereichen die Elektrochemie nicht mehr eigenständig in Lehre und Forschung vertreten ist. Die Defizite betreffen sowohl qualifiziertes Personal als auch die Sachausstattung. In einzelnen Spezialgebieten, z. B. in der Batterie- und Brennstoffzellenforschung, stellt sich die Situation aufgrund der jüngsten Entwicklungen zwar besser dar, dafür ist sie in anderen Feldern, z. B. in der präparativen organischen Elektrochemie umso enttäuschender. Die Elektrochemie kann ihren Beitrag zu den verschiedenen Forschungsfeldern nur leisten, wenn qualifizierte Hochschulabsolventen neben Kenntnissen aktueller Entwicklungen und Hightech-Anwendungen auch das erforderliche theoretisch-methodische Grundlagenwissen und die experimentellen Grundfertigkeiten mitbringen.

Welche Schritte sind geboten, um die Elektrochemie-Ausbildung an den Hochschulen in Deutschland substantiell zu verbessern?

Bereits im **Bachelor**-Studium sollten die Grundlagen der Elektrochemie als eigenständiger Lehrinhalt vermittelt werden. Hierfür bietet sich eine Kursvorlesung an. Diese Vorlesung sollte vorzugsweise von einem Elektrochemiker gehalten werden. An vielen Hochschulstandorten ist dies derzeit aber nicht möglich: Hier kann dieser Einstieg in die Elektrochemie im Rahmen einer von mehreren Lehrenden getragenen Lehrveranstaltung realisiert werden. Die in den Praktika des Bachelor-Studiums (der analytischen Chemie, der präparativen anorganischen und organischen Chemie und der physikalischen Chemie) angebotenen Versuche, mit denen die Studierenden praktisch-experimentelle Kenntnisse der Konzepte und Methoden der Elektrochemie erwerben, sollten aus didaktischen Gründen zusammengefasst und mit der Kursvorlesung verknüpft werden.

Für **Master**-Studiengänge, zu deren Profil die Elektrochemie maßgeblich beitragen soll, sind deutlich höhere Ausstattungsstandards zu erfüllen, um den Studierenden eine vertiefte wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Elektrochemie zu ermöglichen. Eine theoretisch wie praktisch anspruchsvolle wissenschaftliche Ausbildung mit Elektrochemie als einem Schwerpunktfach des betreffenden Master-Studiengangs, erfordert somit mehr Investitionen in die apparative Ausrüstung. Diese Verstärkung der Sachausstattung ist aber letztlich nur dann sinnvoll, wenn die Elektrochemie am betreffenden Hochschulstandort in Lehre und Forschung von einem Hochschullehrer vertreten wird, der sowohl über die Expertise in der Lehre verfügt als auch auf aktuellen Forschungsgebieten der Elektrochemie international ausgewiesene Leistungen erbringt.

Neben der Möglichkeit, elektrochemische Lehrveranstaltungen bei räumlicher Nähe zu benachbarten Hochschulen gemeinsam durchzuführen, sollte auch die Möglichkeit geprüft werden, geeignete Lehrbeauftragte, z.B. aus der Industrie, für Vorlesungen und Seminare zu gewinnen. Elektrochemische Inhalte sollten, wenn sie in vorhandene Module des Master-Studiums eingebunden sind, als identifizierbare Beiträge dieser Disziplin sichtbar werden.