

Dr. Rainer Weber
Dr. Jürgen Kintrup

Anhörung von Sachverständigen
Enquetekommission II
„Elektrochemische Verfahren“

LANDTAG
NORDRHEIN-WESTFALEN
16. WAHLPERIODE

STELLUNGNAHME
16/1378

A23

Fragenkatalog

Relevanz und Potenzial der Elektrochemie in NRW:

Welche Mengen an chemischen Produkten (anorganische und organische) werden zurzeit durch Verfahren, die den elektrischen Strom nutzen, hergestellt?

Derzeit werden als chemische Produkte im wesentlichen Chlor, Natronlauge, Kalilauge und Wasserstoff durch Chloralkali- bzw. Salzsäureelektrolyse hergestellt. Die aktuellen Produktionskapazitäten in NRW für diese anorganischen Chemikalien sind:

Chlor	1.792.000 t/a
Natronlauge	1.867.000 t/a
Kalilauge	216.000 t/a
Wasserstoff	51.000 t/a

Produktionsstandorte in NRW sind: Dormagen, Leverkusen, Uerdingen, Knapsack, Ibbenbüren, Lülldorf, Rheinberg und Marl. (Quelle: <http://www.eurochlor.org>)

Organische Stoffe werden heute nur in wenigen Fällen durch elektrochemische Verfahren hergestellt (vergl.

<http://www.aktuelle-wochenschau.de/2006/woche35b/woche35b.html>).

Die Produktionsmengen liegen deutlich unter den genannten Mengen an anorganischen Stoffen.

In NRW beschränkt sich die elektrochemische Synthese von organischen Chemikalien derzeit auf Spezialitäten. Zu den Produkten zählen beispielsweise fluorierte Flammschutzmittel, die durch Elektrofluorierung hergestellt werden (Kapazität in NRW ca. 50 t/a).

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

Bei Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen bzw. CO₂ als Edukte bieten elektrochemische Prozesse grundsätzlich die Chance petrochemische Prozesse zu ersetzen. Zu diesem Thema gibt es zahlreiche Veröffentlichungen (vergl. <http://www.aktuelle-wochenschau.de/2006/woche35b/woche35b.html> <http://www.aktuelle-wochenschau.de/2006/woche5b/woche5b.html>).

Soweit uns bekannt wurde bislang noch keines der Verfahren in den technischen Maßstab überführt. Der Zeithorizont bis zur technischen Realisierung der neuen Elektrolyseverfahren liegt nach unserer Einschätzung im Bereich von 10 bis 30 Jahren. Zum Vergleich: Die Entwicklung der neuen Elektrolysetechnologie zur Herstellung von Chlor mit Sauerstoffverzehrkatoden bei Bayer hat von der Idee bis zur technischen Realisierung 20 Jahre gedauert.

Wo sind die Vor- und Nachteile einzelner elektrochemischer Verfahren (Stichwort z.B.: Verwendung von umweltgefährdenden Stoffen)?

Elektrochemische Verfahren bieten grundsätzlich eine Reihe von Vorteilen im Vergleich zu anderen chemischen Herstellverfahren. Sie ermöglichen eine sichere Erzeugung reaktiver Spezies unter milden Bedingungen (Temperatur, Druck). Es ist möglich besonders hohe Oxidations- oder Reduktionspotentiale einzustellen, was die Synthese von ansonsten schwer bzw. nicht zugänglichen chemischen Verbindungen ermöglicht. Weiter ermöglichen elektrochemische Verfahren den Einsatz von reaktionsträgen Ausgangsstoffen, wie beispielsweise CO₂, für die Herstellung von Basischemikalien wie Methanol.

Bei elektrochemischen Prozessen können gleichzeitig zwei oder mehr Wertprodukte hergestellt werden (z.B. Chloralkali-Elektrolyse: Chlor, Natronlauge und Wasserstoff). Elektrochemische Prozesse können in der Regel modular aufgebaut werden, d.h. eine Kapazitätserweiterung ist erheblich vereinfacht. Hauptreagenz von elektrochemischen Verfahren sind Elektronen, was den Einsatz von Synthese-Chemikalien vermindert oder im günstigsten Fall sogar vermeidet. Elektrochemische Verfahren ermöglichen damit die Umwandlung von elektrischer Energie in Wertprodukte, was wiederum „Green Chemistry“ ermöglicht wenn erneuerbare Energien für die Stromerzeugung eingesetzt werden. Durch Elektrolyse kann beispielsweise Wasserstoff aus Wasser ohne CO₂-Anfall hergestellt werden.

Elektrochemische Verfahren haben heute noch oft im Vergleich zu anderen Verfahren den Nachteil, dass hohe Investitionskosten für die Elektrolyseanlagen und die Kosten für die elektrische Energie die Wirtschaftlichkeit negativ beeinflussen.

Eine Herausforderung bei elektrochemischen Herstellungsverfahren, insbesondere bei elektroorganischen Synthesen, ist die Erzielung hoher Selektivitäten bei wirtschaftlich relevanten Stromdichten.

Wo und in welchen Größenordnungen werden elektroorganische Syntheseverfahren heute von der chemischen Industrie eingesetzt und welches Potenzial sehen Sie hier zukünftig?

Elektroorganische Verfahren werden zur Synthese von zahlreichen Molekülen eingesetzt. Im großtechnischen Maßstab werden heute nur wenige organische Moleküle hergestellt.

(vergl. <http://www.aktuelle-wochenschau.de/2006/woche35b/woche35b.html>).

Beispiele sind: Piperidin, Calciumgluconat, Anthrachinon und gebleichtes Montanwachs. Die Produktionsmengen liegen im Bereich von 100 bis 1.000 t/a; im Fall von gebleichten Montanwachs bei ca. 11.000 t/a.

Das Potenzial für elektroorganische Prozesse schätzen wir aufgrund der oben genannten Vorteile groß ein. Allerdings sind teilweise sehr anspruchsvolle Aufgaben zu lösen. Wesentliche Herausforderungen sind eine ausreichende Selektivität der Synthesen und eine zufriedenstellende Energieausbeute, was die Wirtschaftlichkeit der Verfahren signifikant beeinflusst. Der Einsatz von neuartigen Elektroden wie Gasdiffusionselektroden (z.B. Sauerstoffverzehrkatoden), Separatoren und neuartigen Elektrokatalysatoren (z.B. core-shell-Katalysatoren und Graphene) können wesentliche Beiträge zur Problemlösung liefern.

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

Neben der Synthese von anorganischen und organischen Verbindungen werden elektrochemische Verfahren bei der Herstellung von die Aluminium und Kupfer, bei galvanischen Prozessen wie beispielweise der Verzinkung von Metalloberflächen und bei Verfahren zur Abwasserreinigung eingesetzt.

Der Stromverbrauch für diese Prozesse liegt derzeit mit Ausnahme der Aluminiumherstellung deutlich unter den etablierten elektrochemischen Verfahren zur Herstellung von Chlor und den Koppelprodukten Natronlauge und Wasserstoff.

Produkt	Kapazität Mio t/a* (2010)	Stromverbrauch / TWh/a
Chlor	5,15	13,3
Aluminium	0,62	7,4
Kupfer	0,60	0,2
Zink	0,15	0,5
Sonstige**	~ 0,05	0,1
Summe	~ 6,6	21,5

*2010 Deutschland

** organische Verbindungen

Nachhaltigkeit:

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

Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht einen weitgehenden Umstieg auf CO₂-freie Stromerzeugung vor (Energiewende). Schon heute liegt der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bei 25%. 2050 sollen 80% erreicht sein.

Wie bereits oben ausgeführt ermöglichen elektrochemische Verfahren die Umwandlung von nachhaltig erzeugter elektrischer Energie in Wertprodukte, wodurch mit zunehmendem Anteil an CO₂-freier Stromerzeugung der Carbon-Footprint von Produkten aus elektrochemischer Verfahren verbessert wird. Wenn zusätzlich nachwachsende Rohstoffe und/oder CO₂ eingesetzt werden, kann der Carbon-Footprint der Produkte erheblich verbessert werden.

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

Für die elektrochemische Umwandlung von nachwachsenden Rohstoffen in Chemikalien gibt es in der Literatur zahlreiche Vorschläge (vergl. <http://www.aktuelle-wochenschau.de/2006/woche5b/woche5b.html>).

Eine aktuelle Veröffentlichung beschreibt ein neues innovatives Verfahren zur Herstellung von aromatischen Synthesebausteinen aus Lignin, das bei der Zellstoffgewinnung aus Holz anfällt

(vergl. http://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/archive/2013/october/article/chemiebausteine-aus-holz/?tx_ttnews%5Bday%5D=21&cHash=04d701e69f772dbde9ee428a860590da)

Bislang wurde nach unserer Information keines der Verfahren im technischen Maßstab realisiert.

Forschung:

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

Uns ist derzeit nur ein Projekt bekannt, bei dem die Reaktionsenergie direkt als elektrischer Strom gewonnen werden könnte:

Herstellung von Chlorwasserstoff in einer Chlor-Wasserstoff-Brennstoffzelle. Soweit bekannt befindet sich das Projekt noch in einer frühen Laborphase.

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

Die neue energiesparende Sauerstoffverzehrkathoden (SVK)-Technologie ist im großtechnischen Maßstab bei der Chloralkali-Elektrolyse und beim Recycling von Chlor durch Elektrolyse von Salzsäure-Zwanganfall etabliert.

Die weltweit erste Chloralkali-Elektrolyse mit Sauerstoffverzehrkathoden im industriellen Maßstab wird seit Mai 2011 bei Bayer MaterialScience am Standort Krefeld-Uerdingen in einer Anlage mit einer Chlorkapazität von 20.000 t/a betrieben. Nachdem die Anlage 2 Jahre störungsfrei gelaufen ist, starteten die Entwicklungspartner Bayer MaterialScience und ThyssenKrupp Industrial Solutions im Juni 2013 die weltweite Vermarktung. Im Dezember 2013 ging der erste externe Auftrag für eine SVK-Chloralkali-Elektrolyse mit einer Kapazität mit 80.000 t/a Chlor ein. Weitere Kundenanfragen werden derzeit bearbeitet. Das Marktpotenzial der neuen energiesparenden SVK-Chloralkali-Elektrolysetechnologie wird auf eine jährliche Kapazität von mehreren Millionen Tonnen Chlor geschätzt.

Die Salzsäure-SVK-Elektrolyse ist inzwischen in 3 Anlagen realisiert (eine Anlage in Deutschland, zwei Anlagen in China). Drei weitere Anlagen befinden sich derzeit in der Planung bzw. im Aufbau. Ab 2015/2016 werden weltweit rund 1 Million Tonnen Salzsäure-Zwanganfall mit dem neuen SVK-Elektrolyseverfahren zu Chlor umgesetzt.

Die neuen SVK-Technologien sparen im Vergleich zu den etablierten Elektrolyse-Technologien zur Chlorherstellung erhebliche Mengen an elektrischer Energie ein. Aufgrund der höheren Investitionskosten sind die SVK-Technologien aber nicht an allen Standorten wirtschaftlich zu betreiben. Die Wirtschaftlichkeit der SVK-Technologien wird maßgeblich von den Kosten für Strom und Sauerstoff und der Nutzung bzw. dem Wert des Wasserstoffs bestimmt.



Bei der Umrüstung von bestehenden Elektrolyse-Anlagen auf SVK-Technik wird der Strombedarf um rund 30 bis 50% gesenkt (abhängig von der installierten Chlorherstellungs-Technologie), wodurch entsprechende Strommengen für andere Anwendungen zur Verfügung stehen bzw. Engpässe bei der Stromversorgung beseitigt werden. So kann die SVK-Technik durch die Steigerung der Energieeffizienz der Chlorproduktion einen wichtigen Beitrag zur Energiewende in Deutschland leisten. Allerdings sind in Deutschland die SVK-Technologien insbesondere wegen des großen Wasserstoff-Bedarfs für chemische Synthesen bisher nur eingeschränkt wirtschaftlich.

In den USA ist eine Wirtschaftlichkeit insbesondere aufgrund der sehr niedrigen Strompreise nicht gegeben.

In Regionen, in denen die Versorgung mit elektrischer Energie nicht ausreichend ist (z.B. Indien, Japan und China) und/oder Wasserstoff in der Regel nicht benötigt wird, sind die SVK-Elektrolysetechnologien dagegen wirtschaftlich.

Die neue SVK-Elektrolysetechnologie kann prinzipiell auch bei anderen elektrochemischen Syntheseverfahren eingesetzt werden. Beispiele sind die Salzsäureperoxyd-Synthese per Elektrodialyse und die Herstellung von Oxidationsmitteln (z.B. OH-Radikale oder Ozon) für die Trinkwasseraufbereitung bzw. Abwasserbehandlung. Darüber hinaus könnten Sauerstoffverzehrkathoden in modifizierter Form als Gasdiffusionselektroden bei elektroorganischen Synthesen eingesetzt werden. Eine potenziell interessante Anwendung ist dabei die Umsetzung von CO₂ zu Synthesebausteinen in der Chemie und zu chemischen Energiespeichern wie beispielsweise Methanol.

Was sollte aus Ihrer Sicht getan werden, um den Transfer zwischen Forschung und Industrie zu fördern, gibt es z.B. einen spezifischen nicht gedeckten Bedarf in der Förderpolitik?

Beim Wissenstransfer zwischen Forschung und Industrie gibt es noch Optimierungspotenzial. Wir könnten uns vorstellen, dass ein „NRW-Elektrolyse-Know-how-Zentrum“ hier einen wertvollen Beitrag leisten könnte. Diesem „NRW-Elektrolyse-Know-how-

Zentrum“ sollten Experten aus Hochschulen, Industrie und Verbänden (z.B. VCI-NRW, GdCH) angehören, die über eine breite Erfahrung auf dem Gebiet der Elektrochemie verfügen. Potenzielle Mitglieder könnten auch pensionierte Elektrolyse-Experten sein.

Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung des Wissenstransfers zwischen Forschung und Industrie könnte die Einrichtung eines oder mehrerer Lehrstühle für technische Elektrochemie in NRW sein. An diesen Lehrstühlen könnten neue elektrochemische Verfahren in Kooperation von Hochschulen und Industrie vom Labormaßstab bis in den technischen Maßstab entwickelt werden.

Die Förderung von gemeinsamen Forschungsprojekten von Hochschulen und Industrie ist in Deutschland gut etabliert. Es gibt aber nach unserer Einschätzung noch Optimierungsbedarf insbesondere bei der Förderung von erfolgreichen F&E-Projekten, die in den technischen Maßstab überführt werden könnten. Die Überführung in den technischen Maßstab erfordert in vielen Fällen den Betrieb einer Demonstrations-Anlage. Hier gibt es oft das Problem, dass für zu errichtende Demonstrationsanlagen hohe Investitionen getätigt müssen, die Unternehmen (insbesondere KMUs) in vielen Fällen nicht tragen können. Da der Betrieb einer Demonstrationsanlage letztendlich die Basis für die spätere Investitionsentscheidung für eine neue Technologie ist, ist eine finanzielle Förderung grundsätzlich von Interesse. Dadurch könnte letztendlich die „Erfolgsquote“ von geförderten Forschungsprojekten deutlich verbessert werden.

Rahmenbedingungen:

Welche Rahmenbedingungen bzw. Voraussetzungen müssen geschaffen werden um die benötigte Energieversorgung sicher und nachhaltig (ökonomisch – ökologisch – sozial) zu realisieren?

Die aktuellen Rahmenbedingungen bzw. Voraussetzung für eine sichere und nachhaltige Energieversorgung sind für die Anwendungen von elektrochemischen Verfahren gegeben. Elektrolyseverfahren bieten im Vergleich zu anderen Produktionsverfahren oft den Vorteil, dass sie auch bei einem schwankenden Energieangebot betrieben werden können. Das könnte insbesondere bei einem zukünftig höheren Anteil von erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung von Interesse sein.

Generell sollte dabei gewährleistet werden, dass die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und die Stromerzeugung in konventionellen Kraftwerken (back-up`s) nebeneinander wirtschaftlich betrieben werden können.

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

Bei der Ausbildung von Chemikern und Chemieingenieuren ist die Elektrochemie in der Regel heute eher unterrepräsentiert. Zahlreiche Elektrochemie-Professuren wurden seit den 80er Jahren aufgegeben.

Die Ausbildung wird den heutigen Anforderungen aufgrund der wieder zunehmenden Bedeutung der Elektrochemie nicht mehr gerecht. Bereits im Bachelor-Studium sollten die Grundlagen der Elektrochemie als eigenständiger Lehrinhalt vermittelt werden (Vorlesung und Praktika). Im Masterstudiengang sollte eine vertiefte wissenschaftliche Ausbildung von zukünftigen Elektrochemikern ermöglicht werden. Dazu sollte auch die apparative Ausstattung an den Lehrstühlen verbessert werden.

Eine ausführliche Stellungnahme zum Status der Elektrochemie in der Chemiker-ausbildung und den Herausforderungen an die Lehre ist in http://www.dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/PapElektrochemie.pdf zusammengestellt.

Wenn ein elektrochemisches Verfahren nachweislich ressourcenschonender und umweltfreundlicher ist, sollte dann die Nutzung von elektrischem Strom als Reaktionsmittel für chemische Reaktionen steuerlich begünstigt werden?

Ressourcenschonende und umweltfreundliche Verfahren haben oft den Nachteil, dass sie weniger wirtschaftlich sind. Das könnte insbesondere auch für neue elektroorganische Verfahren der Fall sein. Eine steuerliche Begünstigung für nachweislich ressourcenschonende und umweltfreundliche Verfahren halten wir deshalb grundsätzlich für sinnvoll.

Welche weiteren Rahmenbedingungen gibt es, um die Lücke zwischen Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit elektrochemischer Verfahren zu schließen?

Um die Lücke zwischen Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit elektrochemischer Verfahren zu schließen, ist eine ständige Weiterentwicklung/Optimierung der Verfahren erforderlich.

Als Beispiel sei hier die Weiterentwicklung der SVK-Elektrolyse-Technologie genannt. Wie oben dargestellt, ist die SVK-Technologie trotz der erzielbaren Energieeinsparung nicht an jedem Standort wirtschaftlich betreibbar. Durch Optimierung von Elektrolysezellenkomponenten und Optimierung der Sauerstoffverzehrkathode sollen die Performance und die Investitionskosten der SVK-Elektrolyse-Technologie weiter verbessert werden. Diese Weiterentwicklung erfolgt wie schon die Prozessentwicklung in Kooperation von Industrie und Hochschulen.