

Enquete-Kommission II

Antworten auf die Fragen zum Thema „Energiespeicher“

Dr.-Ing. Georg Markowz
Process Technology & Engineering
Evonik Industries AG

LANDTAG
NORDRHEIN-WESTFALEN
16. WAHLPERIODE

STELLUNGNAHME
16/1480

A23

1. Welche Grenzen sind dem derzeitigen Energiespeichersystem gesetzt (Kapazität, Verlustrate, Wirkungsgrad, etc.)? Wie schätzen Sie den Bedarf / die Relevanz für Nordrhein-Westfalen ein?

Grenzen des Energiespeichersystems zeichnen sich vor allem im Zuge der grundlegenden Veränderungen in der Stromwirtschaft ab. Diese sind zum einen im wachsenden Anteil fluktuierender, unabhängig vom Bedarf anfallender Stromerzeugungen aus regenerativen Quellen (Wind und PV) begründet. Zum anderen wird der Anteil der Stromerzeugung aus konventionellen Erzeugungsanlagen sinken (insbesondere Kernkraft- und Kohlekraftwerke). Diese Anlagen hatten bisher auch einen maßgeblichen Anteil an der Bereitstellung von Flexibilität (z.B. Bereitstellung von Regelleistung). Mit sinkendem Anteil der konventionellen Kraftwerke an der Stromerzeugung und deren abnehmender Verfügbarkeit sind alternative Formen der Bereitstellung von Flexibilität erforderlich. Dieser Bedarf an Alternativen wird mit zunehmendem Ausbau der regenerativen Stromerzeugungen immer weiter wachsen. Alle Formen von Stromspeichern oder variabel eingesetzten Strom-Wandlern (z.B. Power-to-Heat, Power-to-Gas) bieten grundsätzlich Ansätze zur alternativen Bereitstellung von Flexibilität.

Im Stromsystem bestehen je nach Zielstellung sehr unterschiedliche technische Anforderungen an die Flexibilität und damit konsequenterweise auch für den Einsatz von Speichern. Zu unterscheiden ist generell zwischen Maßnahmen, die der Netzstabilität, also eher einem technischen Zweck, dienen (beispielsweise Bereitstellung von Systemdienstleistungen wie Primärregelleistung, Sekundärregelleistung, Minutenreserve, Blindleistung, Lastabwurf, Notstromerzeugung, Vermeidung von EE-Abschaltungen infolge Netzüberlastung u.a.m.) und solchen zu betriebswirtschaftlichen Zwecken (z.B. optimierter Strombezug, Stromhandel, Reduktion Netznutzungsentgelte durch Lastverschiebung u.a.m.). Tendenziell sind bei den Maßnahmen zur Netzstabilisierung eher *Leistungskapazitäten* und dynamische Eigenschaften von Interesse, im anderen Fall haben die *Energiekapazitäten* eine größere Bedeutung.

Das konkrete Einsatzpotenzial von Speichertechnologien hängt neben den Eigenschaften der einzelnen Technologie (Wirkungsgrade, Speicherverluste, Anschaffungskosten u.a.m.) von verschiedenen externen Randbedingungen ab wie

- Bedarf bzw. der Marktgröße für Flexibilität (hier besteht ein wichtiger Zusammenhang zu den Kapazitäten des Stromnetzes: je höher die Kapazitäten des Stromnetzes, umso mehr Möglichkeiten bestehen, lokale Übererzeugungen zeitgleich, d.h. ohne Speicherung, andernorts zu verwerten bis hin zum Export ins Ausland),

- dem Marktdesign (z.B. die Zeit- und/oder Leistungs- und/oder Energieeinheiten, die gehandelt werden),
- den regulatorischen Randbedingungen und
- den alternativen Optionen zur Flexibilisierung (z.B. flexible Kraftwerke, Lastverschiebung).

Die Quantifizierung des Bedarfs an Speicherkapazität war und ist Gegenstand verschiedener Studien. Die getroffenen Annahmen und dementsprechend die Ergebnisse werden jedoch immer wieder kontrovers diskutiert. Alleine bezüglich der Frage des zukünftigen Netzausbaus sowie des Ausbaus regenerativer Erzeugungen im europäischen Ausland ergeben sich sehr große Abhängigkeiten für den Bedarf und die Potenziale von Speichern. Vor diesem Hintergrund erfolgt hier eine Beschränkung auf einige grundsätzliche Aussagen:

- Die aktuell verfügbaren, d.h. installierten Flexibilitätsoptionen bzw. -kapazitäten (einschließlich Speichern) reichen nicht aus, um den wachsenden Bedarf an Flexibilität, sowohl hinsichtlich elektrischer Leistung als auch Energiemengen, abzudecken. Beispielhaft genannt seien die Lastgradienten in den Stromnetzen, deren Maximalwerte mit dem Ausbau Erneuerbarer Stromerzeugungen zunehmen werden. Hier bieten dynamische Stromspeicher (z.B. Batterie- oder Pumpspeicher) sehr gute Voraussetzungen, um einen wichtigen Beitrag zur sicheren Beherrschung solcher Situationen zu leisten.
- Bei der Stromspeicherung bzw. flexiblen Stromnutzung sind zahlreiche technische Optionen sowie deren Verbesserungspotenziale bekannt. Von wenigen Ausnahmen abgesehen (z.B. Pumpspeicher, Notstrom-Versorgung) erweisen sich – auch bei Annahme erhöhter Wirkungsgrade – die Gesamtkosten für die meisten Anwendungen als zu hoch bzw. noch nicht wettbewerbsfähig (siehe z.B. „Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger - Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf“, VDE-Studie, Dezember 2008). Oftmals liegen die geschätzten Gesamtkosten der Speicherung bereits über denen der Stromerzeugung. So erklärt sich, dass es gegenwärtig sinnvoller ist, Überproduktionen durch Abschaltungen (v.a. Windenergie in Norddeutschland) zu vermeiden oder überschüssig erzeugte Energie – ggfs. unter Inkaufnahme sehr niedriger bis hin zu negativer Strompreise – zu exportieren.
- Die fehlende wirtschaftliche Machbarkeit ist oftmals nicht primär durch zu niedrige Wirkungsgrade, etwaige Speicherverluste oder andere technische Charakteristika, sondern besonders durch zu hohe spezifische Kapitalkosten verursacht. Dies wiederum resultiert zu einem beträchtlichen Teil aus den intrinsisch bedingten (zu) geringen Betriebsstundenzahlen eines Speichers. Niedrige spezifische Investitionskosten zählen daher à priori zu den wirtschaftlichen Erfolgsfaktoren von Speichertechnologien. Hier besteht mitunter ein höheres Entwicklungspotenzial als bei Wirkungsgraden oder Speicherverlusten.

- Die heutigen Flexibilitätsmärkte (insbesondere Regelleistungsmärkte) sind zu einem wesentlichen Teil auf die technischen Charakteristika konventioneller Stromerzeugungsanlagen (Kraftwerke) hin ausgerichtet bzw. vor deren Hintergrund definiert worden. Viele Speichertechnologien zeigen andere Charakteristika und spezielle Stärken bzw. können systemdienliche Flexibilitätsleistungen bereitstellen, die gegenwärtig jedoch nicht honoriert werden (z.B. sehr hohe Dynamik bei Batteriespeichern). Werden Märkte und Regularien stärker auf die Möglichkeiten von Speichern hin ausgerichtet, ist eine deutliche Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit von Speichern zu erwarten.
- Ein beträchtlicher Einfluss auf die wirtschaftliche Machbarkeit von Speichern ist zudem aus Systembetrachtungen zu erwarten. Dies ist in mehrerlei Hinsicht möglich wie beispielsweise bei der parallelen Erbringung verschiedener Energiedienstleistungen aus einem Speicher (z.B. um dessen Auslastung zu erhöhen), die Erbringung von Energiedienstleistungen aus Kombinationen („Pools“) von Speichern verschiedener Technologien (zur Kombination der Stärken), ggfs. auch mit konventionellen Anlagen zur Bereitstellung von Flexibilität, der Nutzung von branchenübergreifenden Effekten, wenn bspw. aus regenerativem Strom erzeugter Wasserstoff (z.B. aus Elektrolysen oder stromverbrauchenden Prozessen der Chemie-Industrie) in der Mobilität eine Reduktion der CO₂-Emission zu geringeren Kosten ermöglicht als über konventionelle Biokraftstoffe.

Zusammenfassend gibt es neben den naheliegenden Eigenschaften einer Speichertechnologie wie dem Wirkungsgrad zahlreiche andere Aspekte, die entscheidend für die wirtschaftliche Machbarkeit sind.

Die Relevanz bzw. das Potenzial von Speichern in NRW ist als sehr hoch einzuschätzen. Beispielhaft seien folgende Technologien bzw. Anwendungen genannt:

- Prozess-Speicher (stromverbrauchende Prozesse, die je nach Bedarf ober- oder unterhalb der Durchschnittslast gefahren werden und damit wie ein Pumpspeicher wirken, siehe auch Fragen 7 und 8). In Betracht kommen stromintensive Prozesse wie z.B. die Aluminium- oder die Chlor-Elektrolyse. Mangels hinreichender finanzieller Anreize aus den aktuellen Flexibilitätsmärkten wie auch mangels geeigneter regulatorischer Randbedingungen (z.B. erhöhte Netznutzungsentgelte bei Senkung der Volllaststundenzahl unter bestimmte Schwellwerte) werden diese Anlagen noch nicht oder nur sehr begrenzt flexibel betrieben. Sie bieten aber bei geeignetem Ausbau (Überdimensionierung) ein hohes technisches Potenzial im Bereich von in Summe mehreren 100 MW an Flexibilität allein in NRW. Auch eine Renaissance der Technologie zur Herstellung von Acetylen und Ethylen im Plasma-Lichtbogen als Zwischenprodukte für die Chemie-Industrie kommt in Betracht. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen ist diese Technologie in den vergangenen Jahrzehnten weitgehend durch andere Prozesse verdrängt worden. Die Kapazitäten einzelner Lichtbogen-Anlagen liegen à priori in energiewirtschaftlich relevanten Größenordnungen (die Anlage am Standort Marl allein hatte in Spitzenzeiten eine elektrische Anschlussleistung von knapp 200 Megawatt) und können flexibel skaliert werden. Damit eröffnet sich auch hier ein hohes technisches Potenzial zur Nutzung als Prozess-Speicher.

- Power-to-Heat. (optionale Erzeugung von Wärme aus Strom). Neben der Erzeugung von Niedertemperaturwärme zur Heizung und Warmwasserbereitung ist die *optionale* elektrische Erzeugung von Prozesswärme besonders viel versprechend. Für Prozesswärme besteht an zahlreichen Industrie-Standorten – nicht zuletzt in der Chemie-Industrie – ein Grundlast-Bedarf. Es genügt daher möglicherweise allein ein elektrischer Wandler (Strom zu Wärme), d.h. anders als in den meisten aktuellen Demonstrationsvorhaben zur Erzeugung von Niedertemperaturwärme kann der Speicher entfallen. Dies führt zu reduzierten Investitionskosten und erhöht die Aussichten auf Wirtschaftlichkeit (s.o.). Zum Grundlast-Prozesswärmebedarf in der Chemie-Industrie in NRW sind dem Verfasser keine Daten bekannt, das technische Potenzial zur optionalen elektrischen Erzeugung dürfte jedoch in Summe im GW-Bereich liegen.
- Regenerativ elektrisch erzeugter Wasserstoff. Für die Erzeugung, Verteilung und die Verwendung von Wasserstoff aus (bevorzugt) regenerativem Strom ergeben sich in NRW zahlreiche Anknüpfungspunkte. Erstens verfügen mehrere Chemie- und Raffinerie-Standorte bereits über Infrastrukturen und geschultes Personal zur Handhabung von Wasserstoff. Zweitens gibt es in NRW zahlreiche industrielle Wasserstoff-Verbraucher. Derzeit wird der Wasserstoff zum überwiegenden Teil über sogenannte Dampf-Reformierung von Erdgas gewonnen (Wirkungsgrade etwa 80 bis 90 %). Statt regenerativ erzeugten Wasserstoff unter Inkaufnahme zusätzlicher Apparatelkosten und Umwandlungsverluste zu „methanisieren“, um auch höhere Energiemengen spezifikationsgerecht ins Erdgasnetz einspeisen zu können (Grundidee von Power-to-Gas), ist eine Substitution des fossil erzeugten Wasserstoffs an Chemie- oder Raffinerie-Standorten und entsprechende Substitution der Reformierung von Erdgas energetisch und wirtschaftlich vorteilhaft. Drittens besteht mit der existierenden Wasserstoff-Pipeline in der Rhein-Ruhr-Region bereits die Ausgangsbasis für eine leitungsgebundene Wasserstoff-Distribution. Viertens gilt der ÖPNV als einer der bevorzugten Einstiegsmärkte für nachhaltige Mobilität auf Basis regenerativ erzeugten Wasserstoffs (oder daraus erzeugter Kraftstoffe). In NRW, speziell in den Ballungszentren, besteht dementsprechend ein besonderes Potenzial. Weite Bereiche der Rhein-Ruhr-Region lassen sich zudem vergleichsweise günstig über die o.g. Wasserstoff-Pipeline erschließen.

2. Wie schätzen Sie das Potenzial ein, dass Energiespeicher bei der Umsetzung der Energiewende helfen können? Welchen Zeithorizont schätzen Sie zur Realisierung?

Das Potenzial von Energiespeichern ist insgesamt als sehr hoch einzuschätzen. Deutlich schwieriger zu beantworten ist, zu welchem Zeitpunkt bzw. bei welchem Anteil an regenerativer Stromerzeugung welcher Realisierungsgrad an Speichern zu erwarten ist. Dies hängt erstens von den unter Frage 1 genannten Aspekten und Randbedingungen ab.

Zweitens ist entscheidend, wie gut es gelingt, das zentrale Ziel der Energiewende, die Senkung der CO₂-Emissionen, branchenübergreifend anhand einheitlicher Maßstäbe voranzutreiben und Leitlinien dafür aufzustellen. Ein Beispiel soll die aktuellen Verwerfungen illustrieren: Die avisierten Strafzahlungen in der Automobilindustrie bei Überschreitung von Zielvorgaben für die Flottenemissionen (bis zu 95 € je Fahrzeug und je Gramm zu viel emittiertem CO₂ pro gefahrenem Kilometer) entsprechen CO₂-Vermeidungskosten im Bereich von etwa 500 € je Tonne CO₂. Dies liegt um zwei Größenordnungen über den aktuellen Zertifikat-Preisen für CO₂. Hier ist fraglich, ob dies gesellschaftlich wie auch klimapolitisch zur optimalen Allokation der Ressourcen für die Senkung der CO₂-Emissionen führt. Unter adäquater Bewertung und Priorisierung technischer Alternativen zur Reduktion von CO₂-Emissionen besteht für Speicher möglicherweise deutlich früher eine Aussicht auf wirtschaftliche Machbarkeit als das heute der Fall ist.

Drittens ist zu beachten, dass bei zahlreichen Speicheroptionen eine beträchtliche Kostendegression über Stückzahlen bzw. realisierte Kapazitäten zu erwarten ist. Insofern herrscht eine Situation vor, die mit der der Erneuerbaren Energien vor etwa 15 bis 20 Jahren vergleichbar ist. Auch wenn ein dem EEG analoges Speichergesetz aktuell unrealistisch ist, bleibt zu klären, ob die Märkte allein ausreichen werden, um rechtzeitig Anreize für die erforderlichen Innovationen und Investitionen in Kapazitäten zu schaffen.

3. Welche Forschungsinitiativen gibt es derzeit auf dem Gebiet der Energiespeicher? Gibt es auch branchenübergreifende Ansätze?

Sowohl regional als auch national gab und gibt es zahlreiche Forschungs- und Förderinitiativen. Beispielhaft für nationale Initiativen seien die laufenden Programme LiB 2015 des BMBFs¹ und Förderinitiative „Energiespeicher“ des BMBFs zusammen mit dem BMWi und dem BMU² genannt.

Branchenübergreifende Ansätze ergeben sich à priori bei allen Projekten zur Wandlung von Strom in chemische Energieträger (z.B. Power-to-Gas), bei denen der Energieträger nicht zur Rückverstromung sondern im Bereich der Mobilität oder stofflich verwendet wird. Auf europäischer Ebene sind im Rahmen des aktuellen Forschungsprogramms SPIRE³ ausdrücklich branchenübergreifende Vorhaben gefordert. Dies schließt solche ein, bei denen die Entwicklung und Demonstration von Speichern adressiert wird. Insgesamt erscheint aber vor dem Hintergrund der hohen Potenziale bei systemischen Ansätzen (siehe Ausführungen zu Frage 1) die Zahl der branchenübergreifenden Forschungs- und Förderinitiativen noch deutlich zu gering. Ferner werden in den wenigen gegebenen Initiativen zwar technische Aspekte untersucht, oft jedoch nicht die – für die kommerzielle Umsetzung mindestens genauso wichtigen – Fragen nach dem jeweiligen Geschäftsmodell an der Schnittstelle zwischen der Energiewirtschaft und den anderen Branchen zufriedenstellend beantwortet (siehe auch Frage 4).

¹ <http://www.bmbf.de/de/11828.php>

² <http://www.bmbf.de/de/16753.php>

³ <http://www.spire2030.eu/>

4. 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?

Neben fachlichen Aspekten liegen die grundlegenden Herausforderungen bei der Entwicklung von Speichertechnologien in der hohen Unsicherheit bezüglich zukünftiger Markt- wie auch regulatorischer Randbedingungen. Wie oben bereits ausführlich geschildert, ist in der überwiegenden Zahl der Speichertechnologien heute noch nicht absehbar, ob (!) bzw. wann eine Aussicht auf wirtschaftliche Machbarkeit gegeben ist. Insofern bestehen hier oftmals deutlich höhere finanzielle Risiken als in anderen Innovationsfeldern. Dies ist umso stärker ausgeprägt, als dass viele Speichertechnologien für die Einführung in den Markt zuvor in einer energiewirtschaftlich relevanten, also mit hohen Investitionskosten verbundenen Größenordnung untersucht und demonstriert werden müssen. Im Fall von Großspeichertechnologien wie Druckluft-Speichern oder Prozess-Speichern, ist ein substanzieller Entwicklungsfortschritt überhaupt nur in Anlagen im industriellen Maßstab, also bei vergleichsweise hohen Investitionskosten möglich. Neue, attraktivere Formen und Quoten bei der Förderung von Investitionen im Rahmen von Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben versprechen hier sicher eine deutlich beschleunigte Überführung von Forschungsergebnissen in den technischen Maßstab.

Eine weitere Herausforderung ist struktureller Art. Wie bereits geschildert liegen beträchtliche Potenziale von Speichertechnologien an der Schnittstelle der Energiewirtschaft zu anderen Branchen. Bei einer Technologie, die mit Ihren Produkten mehrere Branchen adressiert, sind immer die Zuständigkeiten zu klären. Besonders deutlich wird dies im Fall der Prozess-Speicher. In der Chemie-Industrie gibt es verschiedene Technologien wie die oben genannte Chlor-Alkali-Elektrolyse oder die Lichtbogen-Technologie mit einem sehr hohen technischen Potenzial im Fall des flexiblen Betriebs. Die zum Betrieb erforderlichen Kompetenzen liegen zweifelsfrei in den Chemie-Unternehmen. Auf der anderen Seite sind für die zur Flexibilisierung erforderlichen Zusatzinvestitionen sicher nicht die Renditen zu erwirtschaften, die üblicherweise in dieser Branche gefordert werden. Nicht zuletzt ist es von Chemie-Unternehmen kaum zu leisten, die Entwicklungen und Risiken in Energie-Märkten auf vergleichbarem Niveau einzuschätzen wie von Unternehmen aus der Energie-Branche selbst. Auch hier sollten Vorhaben, die sowohl der technischen Entwicklung als auch der Entwicklung von Geschäftsmodellen dienen, besonders gefördert werden.

Fachliche Schwerpunkte, die im Kontext der Energiewende noch zu wenig Beachtung und Förderung erfahren haben, sind variabel zu betreibende, stromintensive Prozesse. Zwar gibt es generell einen weit entwickelten Stand der Technik und etablierte Prozesse wie bspw. die bereits erwähnte Chlor-Alkali-Elektrolyse und die Plasma-Lichtbogen-Technologie, jedoch wurden diese oft nicht oder nur untergeordnet hinsichtlich der technischen Anforderungen und Potenziale bei einem flexiblen Betrieb betrachtet. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob elektrochemische Produktionsverfahren, die unter bisherigen Randbedingungen in den Energiemärkten noch nicht wettbewerbsfähig waren, oder bei

denen realisierte Anlagen wieder stillgelegt wurden, unter den sich verändernden Randbedingungen in Energiemärkten eine deutlich verbesserte Wirtschaftlichkeit zeigen.

5. Welche Innovationen erlauben eine Vergrößerung der Energiedichte, die mit bisherigen Speichertechnologien für elektrische und Wärmeenergie nicht abbildbar sind?

Immer wieder finden sich Vergleiche von Speichertechnologien auf Basis von Energiedichten. Diese suggerieren, dass hohe Energiedichten à priori auch eine erhöhte Wettbewerbsfähigkeit von Speichertechnologien bedeuten. Maßgeblich für die Wirtschaftlichkeit einer Speichertechnologie sind die Investitionskosten, die für eine gewünschte Speicherkapazität erforderlich sind. Zwar gibt es in einigen Fällen umgekehrte Korrelationen zwischen den Investitionskosten einer Speichertechnologie und der Energiedichte. Andererseits belegt schon das Beispiel der sehr hohen, bereits verfügbaren Erdgasspeicher-Kapazitäten, dass es im Fall von Power-to-Gas nicht erforderlich ist, die chemische Energiedichte über die von synthetischem Methan hinaus zu erhöhen.

Weiterhin sind zahlreiche Ansätze bekannt, die theoretisch höhere Speicherdichten erwarten lassen, sowohl im Bereich chemischer Energiespeicher (z.B. Methanol oder Dimethylether) als auch von Wärmespeichern (z.B. bei Latent-Wärmespeichern oder Wärmespeichern unter Nutzung chemischer Reaktionen oder der Hydratisierung und Dehydratisierung von Salzen). In der Praxis besteht die Herausforderung jedoch in der verfahrenstechnischen Umsetzbarkeit bzw. dem Gesamt-Anlagenaufwand zur Realisierung. Das Innovationspotenzial besteht in diesen Fällen nicht im Speichermaterial selbst, sondern in der Peripherie bzw. im verfahrens- und anlagentechnischen Gesamtkonzept.

6. Welche Bedeutung kann Wärmespeichern in der Chemie-Industrie zukommen?

An Chemie-Standorten bestehen verschiedene, technisch sinnvolle Einsatzgebiete für Wärmespeicher, deren Bedeutung im Kontext der Energiewende zunehmen kann:

- Wärmeintegration und Vergleichmäßigung der Wärmeerzeugung für diskontinuierlich betriebene Prozesse. Zahlreiche Prozesse in der Chemie-Industrie laufen diskontinuierlich ab. Beispiele hierfür sind sogenannte Batch-Synthesen oder -Destillationen. Diese Prozesse erfordern oftmals die diskontinuierliche Zu- oder Abfuhr von Wärme. In vielen Fällen wird die abgeführte Wärme, sei es aus einer Reaktion oder zur Abkühlung eines Kesselinhalts, nicht für die Wärmezufuhr zu einem späteren Zeitpunkt, z.B. zur Aufheizung eines Kesselinhalts oder für eine destillative Aufarbeitung, genutzt. Ferner erfordert der diskontinuierliche Wärmebedarf eine schwankende Wärmeerzeugung. Wärmespeicher können dazu dienen, trotz diskontinuierlichen Betriebs zumindest teilweise eine Wärmeintegration, also die prozessinterne Nutzung von Abwärmern, zu erreichen und entsprechend den Primär-Energiebedarf für die Wärmeerzeugung zu reduzieren. Ferner kann bei Einsatz von Speichern die Erzeugung von

Prozesswärme vom momentanen Bedarf entkoppelt, damit vergleichmäßigt und letztlich effizienter gestaltet werden.

- Pufferung von Wärme aus Überschuss-Strom. Wie bereits unter Frage 1 ausgeführt hat die optionale elektrische Erzeugung von Wärme (bevorzugt aus Überschuss-Strom) gerade an Chemie-Standorten ein hohes Potenzial. Wirtschaftliche Wärmespeicher würden höhere elektrische Leistungs- und Energiekapazitäten ermöglichen.
- Schaffung von Freiheiten bzgl. Strom- und Wärmeführung in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Die Bereitstellung von Prozesswärme an Chemie-Standorten erfolgt in einem beträchtlichen Umfang in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, also Anlagen, die neben der Wärme auch Strom erzeugen. In der Regel werden diese Anlagen wärmegeführt, die momentane Stromerzeugung hängt dabei vom aktuellen Bedarf an Wärme ab. Die Fähigkeit dieser Anlagen, systemdienlich, also nach Anforderungen im Netz der allgemeinen Versorgung, gezielt mehr oder weniger Strom zu erzeugen, würde durch Wärmespeicher erhöht, da diese etwaige Differenzen zwischen der aktuellen Wärmeerzeugung und dem tatsächlichen Wärmebedarf ausgleichen könnte.

7. Welche Vorteile bieten Chemie-Prozesse mit hohem Stromverbrauch für die Flexibilisierung des Stromnetzes gegenüber klassischen Energiespeichern oder dem Energienetz für Privat-Haushalte?

Chemie-Prozesse mit hohem Stromverbrauch und (!) der Fähigkeit, diesen Stromverbrauch bedarfsgerecht, z.B. systemdienlich, anzupassen, haben in der Regel den Vorteil, dass es sich um vergleichsweise große Verbraucher handelt. Als Akteure in Flexibilitätsmärkten können also bereits aus einer einzelnen Anlage heraus hohe Leistungen bereitgestellt werden. Ferner sind die mit der Herstellung der Chemie-Produkte verbundenen spezifischen Energiemengen vergleichsweise hoch. Der Energiebedarf für eine Tonne Chlor in der Membranelektrolyse liegt oberhalb von 2 Megawattstunden (elektrisch), der für eine Tonne Acetylen bei grob 10 Megawattstunden (elektrisch). Diese Produkte oder – wie im Fall von Chlor zu bevorzugen – ihre Folgeprodukte haben hohe stoffliche Speicherdichten. Folglich lassen sich mit der Speicherung temporär übererzeugter Produkte nicht nur hohe Leistungen, sondern auch beträchtliche Energiemengen zeitlich verschieben.

Die Flexibilität lässt sich bei solchen Prozessen durch modulare Erhöhung der Reaktor-Kapazität realisieren, d.h. zu den bestehenden Reaktoren werden parallel weitere, einzeln ansteuerbare Einheiten installiert. Im Fall der oben genannten Chlor-Elektrolysen wären dies weitere Zellen, im Fall der Plasma-Lichtbogen-Technologie zusätzliche Lichtbogen-Öfen. Bei einem solchen modularen Aufbau der Reaktionskapazität ist der Wirkungsgrad der Gesamtanlage nur sehr wenig bzw. nahezu unabhängig vom Lastzustand der Anlage. Werden solche Chemie-Prozesse temporär ober- oder unterhalb ihrer Durchschnittslast betrieben, dann wirken sie wie ein Pumpspeicher, der Strom ein- oder ausspeichert. Wegen der vom Lastzustand unabhängigen Effizienz haben diese Che-

mie-Anlagen in ihrer Funktion als virtuelle Pumpspeicher einen elektrischen Wirkungsgrad von nahezu 100 %, also deutlich mehr als reale Pumpspeicher.

Als weiterer Vorteil sei hier angeführt, dass sich aus der modularen Erhöhung der Reaktor- und Produktspeicherkapazität entsprechend auch Freiheitsgrade hinsichtlich der Höhe der elektrischen Leistungs- und Speicherkapazität ergeben, die hinzugebaut werden. Vor dem Hintergrund der bereits oben geschilderten Unsicherheiten bzgl. der Entwicklungen in Energiemärkten und Regularien wie auch vor dem Hintergrund, dass der Bedarf an Flexibilität mit dem Ausbau an Erneuerbaren Stromerzeugungen generell noch wachsen wird, ist es beispielsweise möglich, bestehende Anlagen zunächst mit geringen Flexibilitätskapazitäten auszustatten und diese im Laufe der Zeit sukzessive und je nach Bedarf bzw. Potenzial auszuweiten. Um im Bild des Pumpspeichers zu bleiben: Das wäre, wie wenn an einem bestehenden realen Pumpspeicher die Leistung der Pumpen und Turbinen und/oder die Größe der Speicherseen sukzessive vergrößert würden.

8. Chemie-Prozesse wurden bislang auf maximale Betriebsdauer bei kontinuierlicher Grundlast ausgelegt. Auf Grund der Energiewende bedarf es einer zunehmenden Flexibilisierung des Stromnetzes, was wiederum neue Anforderungen an Industrie-Prozesse auch der Chemie-Industrie bedingt. Welche Anforderungen sind das im Einzelnen und welche Unbekannten gibt es dabei derzeit noch (d.h. wo besteht ggfs. auch noch Forschungsbedarf für eine entsprechende Anpassung von Chemieanlagen)?

Generell sind Chemie-Anlagen verfahrenstechnisch und speziell regelungstechnisch vergleichsweise komplex und anspruchsvoll. Auf Grund der langjährigen Erfahrung besteht ein hohes Know-how für die Auslegung, den Bau und den sicheren Betrieb solcher Anlagen. Für den gezielt dynamischen Betrieb liegen dagegen in der Regel deutlich weniger Erfahrungen vor. Beispielhaft seien im Folgenden einige ausgewählte Aufgabenstellungen genannt, die eingehender Untersuchungen und Entwicklungen bedürfen.

- Dynamisierung der Anlagen. Tendenziell ist die Flexibilität für die Energiewirtschaft umso wertvoller, je schneller sie bereitgestellt werden kann. Zwar gibt es auch in (weitgehend) kontinuierlich betriebenen Anlagen das Erfordernis von Lastanpassungen bis hin zum - beispielsweise revisionsbedingten – Anlagenstillstand, und auch hier besteht generell ein Interesse, dass diese Anpassungsvorgänge nicht zu lange dauern. Die für die Energiewirtschaft interessanten charakteristischen Zeiten liegen jedoch üblicherweise noch deutlich unterhalb der Zeiträume, innerhalb derer Chemieanlagen herunter- oder heraufgefahren werden. Die neuen Anforderungen bzw. Zielstellungen mit Blick auf energiewirtschaftliche Dienstleistungen sind nicht allein regelungstechnisch zu lösen, sondern erfordern oft auch separat zu entwickelnde Modifizierungen im Anlagen-Design.
- Speicherdichten/-formen. In gegenwärtig bevorzugt kontinuierlich betriebenen Anlagen werden Roh-, Zwischen- oder Endprodukte zur Reduzierung von Kapitalkosten

üblicherweise nur in einem geringen Umfang gespeichert. Dies erfolgt in geeignet dimensionierten, aber vergleichsweise einfachen Pufferbehältern. Sind größere Produktmengen zwischen zu speichern, ist prinzipiell ein Ausbau der vorhandenen Pufferkapazitäten möglich. Oftmals wird es jedoch erforderlich sein, die betreffenden Produkte anders zwischen zu speichern, sei es um die Risiken einer Speicherung zu reduzieren (wie beispielsweise im Fall von Chlor) oder aus wirtschaftlichen Gründen (wie bei der Senkung der Speicherkosten durch Erhöhung der Speicherdichte – z.B. durch stoffliche Umwandlung oder Verdichtung im Fall von gasförmigen Produkten). Hier sind nicht nur neue Verfahrenskonzepte erforderlich, sondern auch Erfahrungen zum dynamischen Betrieb (siehe vorangehender Spiegelpunkt).

- Standzeiten. Generell spielen Fragen zu Standzeiten von Anlagen und einzelnen Komponenten bei dynamischem Betrieb eine grundsätzlich größere Rolle als bei weitgehend statischem Betrieb. Dies gilt umso mehr, je stärker der flexible Betrieb mit Temperatur-, Druck- und/oder Konzentrationsänderungen in den betreffenden Anlagenteilen verbunden ist.

Aufwendig sind diese und weitere Entwicklungen zur Flexibilisierung von Chemie-Anlagen nicht zuletzt dadurch, dass sie fast durchweg die Realisierung, Untersuchung und Demonstration im Produktionsmaßstab, d.h. verbunden mit vergleichsweise hohen Kosten, zwingend erforderlich machen.

9. Kann der Wirkungsgrad der Brennstoffzellen-Systeme zur Stromspeicherung über die Brennstoffe (bisher nur Wasserstoff) wesentlich verbessert werden?

Dem Verfasser sind keine umfassenden, ganzheitlichen Studien und Vergleiche hierzu bekannt. Es ist jedoch zu beachten, dass es sich um ein komplexeres Thema handelt, als die Frage suggeriert. Neben dem Wirkungsgrad in der Verstromung sind auch die regenerative Erzeugung des Brennstoffs, dessen Speicherung und ggfs. Distribution in den Vergleich mit Wasserstoff einzubeziehen. Die meisten der in Betracht kommenden alternativen (regenerativen) Brennstoffe werden aus Wasserstoff zu erzeugen sein. Dieser Umwandelungsschritt ist mit zusätzlichen Kosten und Verlusten verbunden, die etwaige Vorteile beim Schritt der Umwandlung in der Brennstoffzelle zumindest teilweise kompensieren.

10. Welche stationären Batterien sind als wirtschaftliche Stromspeichersysteme für Speicherzeiten von 1-2 Wochen geeignet?

Von sehr speziellen Anwendungen abgesehen (z.B. Notstrom-Versorgung, Bereitstellung von Schwarzstart-Kapazität in Kraftwerken, Remote-Anwendungen) sind Batterien nicht für derart lange Speicherzeiten prädestiniert. Dies liegt in den gegenüber alternativen Formen der Bereitstellung von Flexibilität zu hohen spezifischen Anschaffungskosten (bezogen auf die speicherbare Energiemenge). Batterien haben ihre Stärken vor al-

lem dann, wenn es darum geht, elektrische Leistungen über eher kurze Zeiträume bereitzustellen und mit bevorzugt hohen Zyklenzahlen, d.h. eher kurzen Speicherzeiten.

11. Welche Vor- und Nachteile haben adiabate Pressluftspeicher (z.B. in Salzkavernen) für die Windenergie und wie groß ist die großtechnische Realisierungswahrscheinlichkeit?

Zu den Vorteilen zählt, dass der Nachweis der technischen Machbarkeit bereits im industriellen Maßstab erfolgt ist. Ferner lassen sich hier Skaleneffekte besonders vorteilhaft nutzen, d.h., deutlich stärker als beispielsweise bei Batterien oder Elektrolyseuren wirkt sich eine zunehmende Anlagengröße auf die Wirtschaftlichkeit aus. Schließlich bestehen hier – auch gegenüber vielen anderen Speichertechnologien – noch mit die höchsten Potenziale zur Steigerung der Wirkungsgrade (z.B. bei Realisierung von Wärmespeichern).

Nachteilig ist, dass diese Technologie die Verfügbarkeit geeigneter Kavernen voraussetzt. Ferner bringt es die unter den Vorteilen genannte positive Skalenabhängigkeit der spezifischen Investitionskosten mit sich, dass eine solche Technologie bevorzugt im großen Maßstab realisiert wird. Das aber bedingt vor dem Hintergrund der bereits mehrfach genannten Unsicherheiten bezüglich der Markt- und regulatorischen Entwicklungen insgesamt sehr hohe Investitionsrisiken.

12. Welche Rolle können organische Fotovoltaik Elemente für Dach- und Fassadenelemente und Industriebauten bei einer zukünftigen Energieversorgung einnehmen?

Keine Antwort.

13. Welche Rahmenbedingungen (z.B. politisch) müssen gegeben sein/geschaffen werden, um das Potenzial/die Entwicklung der Energiespeicherung in NRW voranzutreiben?

Drei Themenfelder mit hoher Priorität sind hier zu nennen:

- Reduzierung von Markt- und regulatorisch bedingten Risiken. Die teils drastischen Veränderungen in der Energiewirtschaft einschließlich angrenzender Branchen (z.B. Gaskraftwerke, Wind, PV) in der jüngeren Vergangenheit haben den nachhaltigen Eindruck hinterlassen, dass mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien nicht nur Chancen, sondern vor allem sehr hohe Risiken verbunden sind. Ein beträchtlicher Teil dieser Risiken ist nicht unmaßgeblich durch Regularien und damit politisch verursacht. Es besteht kein Zweifel, dass die Energiewende eine sehr komplexe Aufgabenstellung und sehr große Herausforderung ist. Dennoch ist auch klar zu adressieren, dass die Unsicherheiten und Risiken bei weitem das Maß übersteigen, mit dem Unternehmen in Energiemärkten gewohnt sind umzugehen.

Nicht nur aus ökologischen Gründen, sondern auch, weil so zentrale Aspekte wie Versorgungssicherheit und Standortattraktivität betroffen sind, ist es dringend erforderlich, transparenter zu machen und zu konkretisieren, wie (technisch) die Ziele bzw. Zwischenziele der Bundesregierung zum Ausbau der Erneuerbaren Energien erreicht werden sollen, welche Kosten hierfür erwartet werden bzw. wir als Gesellschaft bereit sind zu tragen, wie diese Kosten verteilt werden und wie wir mit den Lasten und Konsequenzen umgehen, wenn sich diese Ziele bzw. die angenommenen Kosten als nicht erreichbar erweisen. Darauf hin ausgerichtet sind konsistente Regularien und Markt-Designs zu erstellen. Als ein Maßstab für eine erfolgreiche Umsetzung kann sicher gelten, dass es Verwerfungen, wie sie sich derzeit zwischen CO₂-Zertifikatepreisen und CO₂-Vermeidungskosten bei den Flottenemissionen in der Automobilindustrie zeigen (siehe Frage 2), nicht mehr geben darf.

- Anreizprogramme für Speicher. Wie bereits unter Frage 2 ausgeführt besteht bei den meisten Speichertechnologien eine ähnliche Situation wie den Erneuerbaren Energien vor etwa 15 bis 20 Jahren: Auch wenn ein beträchtliches Kostensenkungspotenzial bei zunehmenden Stückzahlen bzw. realisierten Kapazitäten zu erwarten ist, sind diese Technologien heute noch deutlich zu teuer. Allerdings sind zwei Dinge zu beachten: Erstens, wie die aktuelle Situation eindrucksvoll belegt, spiegeln die Flexibilitätsmärkte weder absolut noch von der Tendenz her den zukünftigen Wert bzw. den Bedarf an Flexibilität wieder, insbesondere nicht in Anbetracht der ehrgeizigen Ziele zum Ausbau der Erneuerbaren Energien. Zweitens erfordern die mit der Schaffung von Flexibilität verbundenen Investitionen oft vergleichsweise hohe Planungs- und Realisierungszeiten (das im ersten Spiegelpunkt genannte, derzeit eher geringe Vertrauen in die Planbarkeit der Märkte wirkt sich hier zusätzlich erschwerend aus). Beides führt tendenziell dazu, dass Flexibilitätsoptionen, und konkret Speichertechnologien nicht rechtzeitig bzw. zu hinreichend niedrigen Kosten verfügbar sind. Sowohl aus volkswirtschaftlichen Gründen als auch zur Erreichung der klimapolitischen Ziele ist es möglicherweise optimal, rechtzeitig Fördermaßnahmen für die Demonstration und Einführung von Speichertechnologien vorzusehen. Nach den Erfahrungen mit dem EEG – und in deutlicher Abhebung davon – sollten diese Förderprogramme klar begrenzt sein, sowohl zeitlich wie auch hinsichtlich der geförderten Kapazitäten. Konsequenterweise wären die dadurch verursachten (vorübergehenden) Mehrkosten in einer Gesamtbetrachtung auszuweisen, wie sie im ersten Spiegelpunkt vorgeschlagen werden, bei gleichzeitiger Würdigung der Vorteile, die von einer rechtzeitigen Entwicklung, Markteinführung und damit Verfügbarkeit der Technologien zu erwarten sind.
- Befreiung von Stromnebenkosten für systemdienliche Flexibilität – Gleiche Regeln für gleiche Funktionen. Derzeit werden die technischen Optionen zur Bereitstellung von Flexibilität regulatorisch unterschiedlich behandelt. Während beispielsweise ein (realer) Pumpspeicher von Netznutzungsentgelten, EEG-Umlage und auch Stromsteuer befreit ist, ist dies für einen flexibel, d.h. als virtueller Pumpspeicher (siehe Frage 7) betriebenen, stromintensiven Prozess wie eine Chlor-Alkali-Elektrolyse oder eine

Plasma-Lichtbogenanlage nicht der Fall. Stromintensive Prozesse haben in NRW eine hohe Bedeutung und können wesentliche Beiträge zum Gelingen der Energiewende leisten, nicht nur landesweit, sondern darüber hinaus. Die aktuelle Regelung ist nicht diskriminierungsfrei, sie setzt keine bzw. falsche Anreize und lässt technisch-wirtschaftlich interessante Potenziale ungenutzt. Systemdienlich flexibel betriebene Industrie-Prozesse sollten vergleichbar behandelt werden wie Pumpspeicher.

14. Welche Anforderungen ergeben sich an die Ausbildung von Chemikern, Verfahrenstechnikern etc.? Wie hoch ist der Bedarf an Fachkräften?

Wie oben bereits ausgeführt liegen sowohl die großen Herausforderungen als auch die Chancen und Lösungsansätze für die Zukunft an den Schnittstellen zwischen Branchen und Systemen. Es ist daher sehr wichtig, schon in der Ausbildung die Auswirkungen zu vermitteln, die sich aus den Veränderungen in Energie- und Rohstoffmärkten ergeben, wie auch das Denken in systemübergreifenden Lösungsansätzen. Wenn Ingenieure und Chemiker bereits im Studium vermittelt bekommen, dass eine großtechnische Chemie-Anlage unter veränderten Randbedingungen in den Energiemärkten nicht zwingend dauerhaft unter Volllast betrieben werden muss, um wirtschaftlich zu sein, bzw. ein Gespür für die Abhängigkeit der Rentabilität der Investitionen und Betriebszeiten von Erlösen an Flexibilitätsmärkten bekommen, dann schafft das wichtige Voraussetzungen nicht nur für innovative Lösungsansätze sondern auch für die Geschwindigkeit mit der solche Ansätze auf Plausibilität hin geprüft und bei hinreichendem Potenzial auch umgesetzt werden können.

15. Welche Ausbauszenarien für Energiespeicher gibt es bzw. welche Rahmenbedingungen müssen gegeben sein, um den Anteil Erneuerbarer Energien in Deutschland entsprechend den Zielen der Bundesregierung für 2020 und 2050 (35 % bzw. 80 % Erneuerbare Energien am Brutto-Stromverbrauch) wirtschaftlich verträglich realisieren zu können?

Zum Ausbau von Speichern gibt es mittlerweile zahlreiche Studien, Szenarien und Empfehlungen. Beispielhaft genannt seien VDE-Studie „Energiespeicher für die Energiewende“⁴ sowie das Eckpunktepapier der dena „Der Beitrag von Power to Gas zur Erreichung der energiepolitischen Zielstellungen im Kontext der Energiewende.“⁵. Solche Studien werden teils sehr kontrovers diskutiert, was auch nicht verwunderlich ist, da noch nicht einmal für die kommenden 5-10 Jahre die Entwicklungen der regulatorischen bzw. Markt-Randbedingungen hinreichend klar sind und wie die Kosten der Energiewende verteilt werden, welche technischen und wirtschaftlichen Annahmen also letztlich für die Potenzialanalysen von Speichern zu Grunde zu legen sind. Belastbare Aussagen zum Potenzial und Empfehlungen zum Ausbau von Speicherkapazitäten sind erst dann mög-

⁴ <http://www.vde.com/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/V2/Aktuelles/Oeffenlich/Seiten/StudieSpeicherungsbedarf.aspx>

⁵ <http://www.powertogas.info/strategieplattform/positionen/eckpunktepapier.html>

lich, wenn Klarheit und Einigkeit hinsichtlich der Randbedingungen herrscht, unter denen der Ausbau der Erneuerbaren Energien erfolgt und die Optionen bzw. Alternativen vor diesem Hintergrund verglichen werden können (siehe hierzu auch den ersten Spiegelpunkt unter Frage 13).

Diese eher kritischen Anmerkungen zum gegenwärtigen Stand des Wissens bzw. der Prognose- und Planungs(un)sicherheit sollen aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass der Ausbau der Erneuerbaren Energien in die von der Bundesregierung vorgegebene Größenordnung nicht allein durch eine Flexibilisierung des konventionellen Kraftwerks-parks und durch Netzausbau gelingen kann, sondern zwingend auch Energie- und insbesondere Stromspeicher erforderlich macht, sowohl aus technischen als auch aus wirtschaftlichen Gründen.