

ABSTRACTS

VORTRÄGE

Photovoltaik und Erneuerbare Energien im Wissenschafts- und Technologiepark Berlin-Adlershof

Peer Ambrée

WISTA MANAGEMENT GMBH, Berlin

Berlin Adlershof - Stadt für Wissenschaft, Wirtschaft und Medien - ist eine der größten Technologieregionen Europas. 971 Unternehmen, 11 außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, 6 naturwissenschaftliche Institute der Humboldt-Universität zu Berlin, 15.000 Beschäftigte und 8.000 Studenten prägen das Bild dieses Standortes. In seiner technologischen Ausrichtung fokussiert er sich auf die Gebiete

- Photonik und Optik,
- Mikrosysteme und Materialien,
- Photovoltaik und Erneuerbare Energien,
- IT und Medien,
- Biotechnologie und Umwelt.

5 Technologie- und 2 Gründerzentren bieten mit einer modernen Infrastruktur aus Büro-, Labor-, Werkstatt- und Produktionsflächen ideale Voraussetzungen für unternehmerisches Wachstum. So konnten die High-Tech-Unternehmen im Jahr 2012 ihren Umsatz um 8 % und die Mitarbeiterzahl um 5 % steigern.

In diesem dynamischen Umfeld hat sich der Bereich "Photovoltaik und Erneuerbare Energien" in den letzten Jahren erfolgreich etabliert und profiliert. 39 Unternehmen mit rund 1.500 Beschäftigten sind hier tätig. Mit dem Helmholtz-Zentrum für Materialien und Energie sowie dem Kompetenzzentrum "PVcomB" existieren starke Einrichtungen, die insbesondere neue Entwicklungen im Bereich der Dünnschicht-Photovoltaik voran treiben und über Industriekooperationen zur Umsetzung bringen. Weitere wichtige, in Adlershofer Unternehmen und Instituten bearbeitete Themen sind die Energiespeicherung, die Entwicklung hybrider Kraftwerksstrukturen zur regenerativen Energieerzeugung und die Erzeugung von Biokraftstoffen. Mit dem "Zentrum für Photovoltaik und Erneuerbare Energien" wird 2013 ein Gebäude eröffnet, welches auf rund 8.000 m² Raum für neue unternehmerische Ideen, Aktivitäten und Kooperationen in diesem Technologiebereich bietet. Diese werden durch das Standortmanagement eng verzahnt mit den vielfältigen Netzwerkaktivitäten der Region Berlin-Brandenburg. Darüber hinaus werden in dem Adlershofer Projekt "HighTech-LowEx" Initiativen aus zahlreichen Einrichtungen des Technologieparks im Hinblick auf Energieeinsparung und den Einsatz erneuerbarer Energien gebündelt mit dem Ziel, eine Modellregion einer energieeffizienten Stadt zu entwickeln. So setzt der Standort Adlershof trotz der Krise der deutschen Photovoltaikindustrie neue und starke Impulse für eine nachhaltige Energiewende.

Die solare Revolution – Die Bedeutung der Photovoltaik für die Energiewende in Deutschland

Volker Quaschnig

Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW, Berlin

Um die Folgen der globalen Erwärmung noch in vertretbaren Grenzen zu halten, empfehlen Klimaforscher dringend, den Temperaturanstieg auf Werte unter 2 °C zu begrenzen. Dazu muss unsere Energieversorgung möglichst noch vor Mitte des Jahrhunderts vollständig auf kohlendioxidfreien erneuerbaren Energien basieren.

Dies kann nur durch einen weiteren schnellen Ausbau der Photovoltaik und Windkraft gelingen. Für ein ernst gemeintes Klimaschutzszenario ist in den nächsten 25 Jahren eine installierte Photovoltaikleistung von mindestens 200 GW erforderlich. Ein schneller Ausbau der Photovoltaik führt allerdings zur Verdrängung konventioneller Kraftwerkskapazitäten. Dies geht vor allem zu Lasten der großen Energieversorgungsunternehmen, die noch über viele mit einer regenerativen Energieversorgung inkompatible Braunkohle- und Kernkraftwerke verfügen. Daher versuchen sie über politische Einflussnahme derzeit einen schnellen Ausbau zu verhindern.

Um diese Widerstände zu überwinden, sind neue Konzepte erforderlich. Eine enorme Chance bieten dabei solare Eigenverbrauchssysteme. Sie können bereits in absehbarer Zeit ohne jegliche Förderung allein durch die vermiedenen Strom- und ggf. Brennstoffkosten wirtschaftlich zu betreiben sein. Batteriespeicher oder die thermische Nutzung von Überschüssen können dabei den Eigenverbrauchsanteil weiter erhöhen. Diese neuen Geschäftsmodelle funktionieren nicht nur in Deutschland, sondern weltweit. Damit haben solare Eigenverbrauchssysteme das Potenzial, durch eine regelrechte Revolution im Energiesektor einen entscheidenden Beitrag zum Aufbau einer nachhaltigen und klimaverträglichen Energieversorgung zu leisten und damit auch den Standort Deutschland zu sichern.

Photovoltaik auf dem Weg zur Terawatt-Technologie

Bernd Rech

Helmholtz Zentrum, Berlin

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Photovoltaik (PV) zu einer neuen Energiequelle entwickelt und es ist eine große Industrie entstanden. Der Beitrag beschreibt kurz den Stand verschiedener PV-Technologien und diskutiert das aktuelle Spannungsfeld der PV-Industrie im internationalen Wettbewerb. Im Mittelpunkt des Beitrags steht die Frage, welche Potenziale sich durch Forschung- und Entwicklung noch erschließen lassen, damit die Photovoltaik elektrische Leistung im Terawatt-Maßstab bereitstellen kann. Erst damit kann es gelingen, das zukünftige globale Energieversorgungssystem im Zusammenspiel mit anderen erneuerbaren Energieträgern nachhaltig zu gestalten. Anhand aktueller Beispiele aus der Forschung am Helmholtz-Zentrum Berlin wird die zentrale materialwissenschaftliche Herausforderung diskutiert, wie gleichzeitig hohe Wirkungsgrade und kostengünstigere und energiesparendere Herstellungsprozesse realisiert werden könnten.

Technologien für die Solarzellen der Zukunft

Rutger Schlatmann

Kompetenzzentrum Dünnschicht- und Nanotechnologie für Photovoltaik, Berlin

Die Photovoltaik (PV) hat sich in den letzten Jahren zu einer der etablierten erneuerbaren Energien entwickelt, die an dem Energiemix der Zukunft einen sehr wesentlichen Beitrag liefern kann. Dazu müssen alle Technologien die Wirkungsgrade weiter erhöhen, und gleichzeitig die Produktionskosten senken. Außerdem dürfen nur umweltschonende Prozesse und Materialien zum Einsatz kommen, damit die Photovoltaik elektrische Leistung im Terawatt-Maßstab bereitstellen kann.

In der weltweiten Forschung werden zurzeit viele neue Materialien und Bauelemente untersucht, die deutlich höhere Wirkungsgrade versprechen. Viele dieser Konzepte weichen deutlich ab von den heutigen Strukturen. In diesem Beitrag steht die Frage im Mittelpunkt, welche Technologien es ermöglichen können, dass zukünftigen Solarzellen wirtschaftlich produziert werden können.

Anhand aktueller Beispiele aus der Forschung am Helmholtz-Zentrum Berlin wird die zentrale wissenschaftlich-technologische Herausforderung diskutiert, wie kostengünstigere und energiesparendere Herstellungsprozesse für die zukünftige Solarzellen mit hohen Wirkungsgraden realisiert werden können.

Premiumqualität, Systemlösungen und Kundennähe – Chancen für die Photovoltaik „Made in Germany“

Jörg-Uwe Rascke

Gesellschaft zur Förderung von Wissenschaft und Wirtschaft - GFWW - e. V.,
Frankfurt (Oder)

Die Photovoltaik ist Teil der langfristig angelegten und notwendigen Energiewende, die selbst wiederum einen Strukturwandel in der Wirtschaft darstellt.

Seit mindestens 2 Jahren befindet sich die PV in der Konsolidierungsphase und hatte/hat dafür keine strategischen Konzepte. Erschwerend kommt hinzu, dass dieser Prozess unter den Rahmenbedingungen der Globalisierung abläuft.

PV-Module, verbaut in Gebäuden, sind langlebige Produkte. Sie erfordern Qualität, verfügbare Systemlösungen bis hin zur Speicherung. Hinzu kommt ein Klientelwechsel beim Kunden von dem Stromverkauf hin zur Nutzung für den Eigenbedarf. Damit wird deutlich, dass PV nicht beim Modul endet und die Wertschöpfungskette auszubauen ist.

Entsprechend dem Anliegen zur Sicherung von Premiumqualität anhand technischer Leistungsparameter sowie Bereitstellung erforderlicher Services und kompletter Systemlösungen haben sich 12 Projektpartner in einem Netzwerk zusammengefunden, Zulieferfirmen, Komponentenhersteller, Testinstitutionen und Installateure umfassend.

Nächste Generation von Solarzellen und -modulen auf der Basis von kristallinem Silizium

Bernd Rau

Roth und Rau AG, Hohenstein-Ernstthal

Die Photovoltaik befindet sich gegenwärtig auf Grund starker Veränderungen der Rahmenbedingungen ihrer Nutzung und der Nachfrage bei Solarmodulen in einer dramatischen Entwicklungsphase. Einerseits wird durch die gegenwärtige bestehende

Produktionskapazität von ca. 60 GWp weltweit, die die in den Jahren 2011 und 2012 verbauten ca. 28 GWp bzw. 29 GWp um mehr als das Doppelte übersteigt, eine für die Produzenten teilweise ruinöse Preisreduktion hervorgerufen. Die stetige Reduktion der Herstellkosten konnte diesem Preisverfall nicht folgen. Andererseits ist diese Preisreduktion Voraussetzung für die reale nachhaltige Nutzung der erzeugten Elektroenergie als unabdingbarer Bestandteil der geplanten zukünftigen Energieversorgung. Die technologische Herausforderung ist dabei entscheidend durch die ökonomischen Rahmenbedingungen der Energiekosten bestimmt. Die bisher dominierenden Solarzellenkonzepte auf der Basis von kristallinen Silicium-Wafern haben nur noch ein begrenztes Entwicklungspotential mit dem sich der Energieertrag für eine bestimmte Einstrahlungsleistung erhöhen lässt. Es zeigt sich immer deutlicher, dass eine evolutionäre Weiterentwicklung des dominierenden Solarzellenkonzeptes die wirtschaftlichen Anforderungen zukünftig nicht mehr erfüllen kann. Die erforderlichen Solarzellen-Konzepte neuer Generation zeichnen sich einerseits durch Zelleffizienzen über 20 % aus, wobei der gesteigerte Energieertrag durch Verbesserung des Temperatur-Koeffizienten und der Verbesserung der Energieerzeugung auch bei Schwach- und Diffuslicht berücksichtigt werden muss.

Die Anzahl der zur Herstellung der Solarzellenstruktur notwendigen Prozessschritte halbiert sich gegenüber dem bisher benutzten Prozessablauf. Damit ist ein erhebliches Kostensenkungspotential verbunden, da gleichzeitig auch der Materialeinsatz bei der Herstellung reduziert wird bzw. Materialien durch kostengünstigere Materialien substituiert werden. Vom physikalischen Grundkonzept des neuen Zelldesigns aus betrachtet besteht weiteres Entwicklungspotential für die Zukunft. Es ist zu erwarten, dass neue disruptive Entwicklungen zur weiteren Steigerung der erzielbaren Energieerträge bei Solarmodulen führen werden.

Die Möglichkeiten der Nutzung von mehrfachen Halbleiterübergängen zur effizienten Nutzung des solaren Spektrums werden dabei immer stärker in den Mittelpunkt rücken. Die Herstellprozesse in allen Bereichen der Wertschöpfungskette werden durch diese Entwicklung stark beeinflusst und verändert. Es ist dabei zu erwarten, dass bis 2020 Solarmodule mit Effizienzen von bis zu 40 % auf Massen-Produktionsniveau hergestellt werden können. Die Abschätzung der Herstellkosten pro Watt Peak ist problematisch, da insbesondere das Scaling der Produktion erhebliches Reduktionspotential bietet. Letztlich sind die regionalen klimatischen Bedingungen (Sonnenstunden, Temperatur u.a.) die bestimmenden Faktoren für den in Zukunft erzielbaren Energieertrag und damit für die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der aus Solarenergie erzeugten elektrischen Energie.

High-tech-Material Silizium im Spannungsfeld zwischen kostengünstiger Herstellung und höchsten Qualitätsansprüchen

¹Rolf Merker, ²Gerd Lippold, ³Hans Harter

¹pik service gmbh, Grafing b. München,

²PSC Polysilane Chemicals GmbH, Leipzig

³Activ Solar GmbH, Wien

Viel schneller als noch vor wenigen Jahren in Industrie-Roadmaps vorgezeichnet und in diversen Voraussagen von Markt-Analysten angenommen, hat die Photovoltaik (PV) für viele Orte Welt die Netzparität erreicht und unterschritten. Dabei sind System- und Komponentenpreise allerdings erheblich schneller gesunken als die tatsächlichen Herstellkosten. So hat die große Erfolgsgeschichte der Photovoltaik derzeit eine problematische Schattenseite: der überwiegende Teil der produzierenden Unternehmen aus den Bereichen vom Ausgangsmaterial bis zum Modul kann sich durch den Verkauf ihrer Produkte nicht mehr refinanzieren. Viele davon können noch

nicht einmal ihre Kosten decken. Auch der Bereich PV-Produktionsausrüstungen ist massiv betroffen.

Deshalb steht ein Großteil der PV-Wertschöpfungskette unter einem Kostensenkungsdruck von bedrohlichen Ausmaßen. Skaleneffekte allein sind nicht ausreichend. Es lag vor einigen Jahren nahe, schnelle Einsparungen durch Abstriche an den hohen Anforderungen an das Halbleitermaterial und seine Verarbeitung zu erreichen. Die Realität hat jedoch gezeigt, dass der Markt bei Langzeitstabilität und Systemwirkungsgrad keine Abstriche erlaubt. Dies sind letztlich entscheidende Parameter für Finanzierbarkeit und Wirtschaftlichkeit eines Systems zur photovoltaischen Stromerzeugung.

Wichtige Freiheitsgrade im Ringen um Kostensenkung sind der Wirkungsgrad der Solarzelle und ihre Fertigungsausbeute. Beide führen in der Praxis dazu, dass der Zwang zur drastischen Kostensenkung für das Ausgangsmaterial Polysilicium und die daraus gefertigten Wafer und Zellen mit gleichzeitig deutlich steigenden Qualitätsanforderungen an das Material und seine Verarbeitung einher geht.

Die Polysilicium-Industrie steht somit vor der doppelten Aufgabe, deutlich besseres PV-Silicium als bisher gleichzeitig deutlich billiger als bislang zu produzieren. Einige Ansätze zur Lösung dieser Aufgaben werden im Vortrag aus Sicht eines industriellen Polysilicium-Herstellers diskutiert. Gleichwohl sind hier technologische und ökonomische Grenzen in Sicht.

Ohne Durchbrüche in der Zell- und Modultechnologie hin zu deutlich höheren Wirkungsgraden, drastisch weniger Materialverbrauch und rationellerer Systemintegration werden die Anstrengungen der Polysiliciumhersteller nicht ausreichen, um ein auskömmliches Verhältnis von Kosten und Preisen zu erreichen. Hier sind neben der Weiterentwicklung bekannter Konzepte auch in der wafer-basierten Photovoltaik noch echte Paradigmenwechsel gefragt. Einige Beispiele solcher Ansätze werden im Vortrag diskutiert.

Die Autoren sind überzeugt, dass die Branche angesichts der enormen weltweiten Marktperspektiven die nötigen Innovationsanstrengungen erfolgreich bewältigen wird, um eine Fortsetzung der Erfolgsgeschichte der Photovoltaik als einziger wirklich dezentraler und praktisch unbegrenzt verfügbarer, erneuerbarer Energiequelle zu ermöglichen.

Hocheffiziente Silicium-Solarzellen durch Niederohmkontakte aus Silber und Glas

Markus Eberstein, Uwe Partsch, Alexander Michaelis

Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme, Dresden

Die Frontseitenkontaktierung kristalliner Standardsolarzellen wird über glashaltige Silberpulvergemische realisiert, die im Siebdruckverfahren als Pasten abgeschieden und anschließend im Kurzzeitsintern (Rapid Thermal Processing, RTP) eingebrannt werden. Der Wirkungsgrad der resultierenden Solarzellen wird stark von Einbrennverhalten und elektrischer Kontaktausbildung der Pasten beeinflusst. Es ist Stand der Technik, dass der Glasanteil in der Paste die isolierende Antireflexionsschicht (ARC) aus Siliziumnitrid während des Einbrennens durchätzt und eine bedeutende Rolle für den Transport des Silbers zur Siliziumoberfläche spielt. Allerdings wird die Entwicklung neuer, hocheffizienter Pastenmaterialien noch behindert, weil die einzelnen Transportmechanismen des Silbers wie Lösung im Pastenglas und Wiederausscheidung an der Siliziumoberfläche noch nicht enger mit Pastenrezept und Sinterbedingungen korreliert werden können.

Zum besseren Verständnis der bei der thermischen Kontaktierung zugrunde liegenden Mechanismen wurden schnelle PV-Einbrennbedingungen mit Hilfe eines einfachen

Laborofens simuliert. Die mikrostrukturelle Entwicklung der Pasten wurde als Funktion von Temperatur und Zeit beobachtet und mit den gemessenen Kontaktwiderständen korreliert. Darüber hinaus wurde der Einfluss systematischer Variationen des Pastenglases auf die Kontaktausbildung untersucht. Die Kontaktbildungskinetik kann in zwei unabhängige, aber stark wechselwirkende kinetische Phänomene unterteilt werden: (i) die Reaktionskinetik auf der Waferoberfläche und (ii) die Phasentransportkinetik der Silberpaste. Die Reaktionskinetik auf der Waferoberfläche setzt sich aus drei Einzelreaktionen zusammen: Silberlösung und -ausscheidung in der amorphen Interfaceschicht, Wachstum dieser Schicht und Siliziumätzung. Die Phasentransportkinetik der Metallisierungspaste bestimmt die Glasmenge, die sich mit den Ätzprodukten der Interfaceschicht mischt und wird maßgeblich von der Verdichtungsrate des Silberpulvers und der Rheologie des Pastenglases beeinflusst. Anhand aktueller Entwicklungen zu bleihaltigen und bleifreien Kontaktierungswerkstoffen des Fraunhofer IKTS werden Wirkmechanismen demonstriert und mit Bezug auf thermodynamische und kinetische Einflussgrößen diskutiert.

Die Quadratur des Kreises – was die Energiewende so schwierig macht

Reiner Haseloff

Ministerpräsident Sachsen-Anhalt, Magdeburg

Die Energiewende ist eine mindestens so große Herausforderung wie der wirtschaftliche und gesellschaftliche Umbau nach der deutschen Wiedervereinigung. Für beide Ereignisse gab es keinen fertigen Fahrplan, der einfach nur zu abuarbeiten wäre. So ist die Energiewende denn auch nicht als Konstruktion aus gegebenen Bauteilen zu verstehen. Vielmehr stellt sie ein Gefüge aus dynamischen Prozessen und Entwicklungen dar. Sie ist ein gigantisches Infrastrukturprojekt, in dessen Gestaltung eine Vielzahl von Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft mit zum Teil widerstreitenden Interessen eingebunden ist. Das macht sie so schwierig. Die Energiewende kann nur Erfolg haben, wenn Partikularinteressen im Sinne des Zieles einer sicheren, sauberen und bezahlbaren Energieversorgung zurück gestellt werden. Dazu sind erhebliche Investitionen nicht nur in die Erneuerbaren Energien selbst, sondern auch in den Netzausbau, die Entwicklung von Speichertechnologien und allgemein in Forschung und Entwicklung notwendig. Vor allem aber ist es wichtig, dass wir bei der Gestaltung der Energiewende nicht den zweiten vor dem ersten Schritt tun und dass wir um Akzeptanz in der Bevölkerung werben.

Archetypen einer Vollversorgung mit erneuerbaren Energien

Harry Lehmann

Umweltbundesamt, Dessau

Das Programm der Bundesregierung zur Energiewende sieht als Ziel für die Stromversorgung Deutschlands im Jahr 2050 einen Anteil erneuerbarer Energien von mindestens 80 % vor. Dieses Ziel erscheint bereits aus heutiger Sicht nicht nur als machbar, sondern sogar als übertreffbar. Das Umweltbundesamt (UBA) ist der Auffassung, dass bis 2050 Deutschlands gesamter Strombedarf zu 100 % aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden kann. Das hat die 2010 veröffentlichte Studie „Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen“ demonstriert, und in dieselbe Richtung weisen auch weitere Szenarien, die derzeit vom UBA untersucht werden. Verfolgt wird dabei nicht der eine, perfekte Ansatz. Vielmehr soll anhand von grundsätzlich verschiedenen „archetypischen“ Szenarien gezeigt werden, dass es zu

einer regenerativ basierten Strom-Vollversorgung nicht nur einen technisch-ökologisch gangbaren Weg gibt, sondern viele mögliche Varianten, je nach politischer und gesellschaftlicher Prioritätensetzung.

Die untersuchten Szenario-Archetypen unterscheiden sich vor allem in der Erzeugungsstruktur sowie im Grad der Vernetzung voneinander. Mit dem Szenario „Regionenverbund“, in dem alle Regionen Deutschlands ihre Potentiale der erneuerbaren Energien weitgehend ausnutzen und ein landesweiter Stromaustausch zwischen den einzelnen Regionen stattfindet, konnte gezeigt werden, dass sich auch ein hochentwickeltes Industrieland wie Deutschland mit bereits heute am Markt verfügbarer Technik zu 100 % mit regenerativ erzeugtem Strom versorgen ließe. Die Versorgungssicherheit kann hier zu jeder Stunde eines Jahres gewährleistet werden. Allerdings sind dazu deutliche Anstrengungen nötig, nicht zuletzt beim Ausbau der Infrastruktur und insbesondere der Netze.

Diese Erkenntnis untermauern die Ergebnisse des Szenarios „Lokal-Autark“: Hier versorgen sich kleinräumige, dezentrale Strukturen autark mit Strom und sind dabei untereinander und nach außen nicht vernetzt, importieren somit auch keinen Strom. Dies, so zeigen die Simulationen, ist jedoch nur in Einzelfällen tatsächlich möglich, da durch die fehlende Vernetzung der Speicherbedarf unverhältnismäßig ansteigt. Der Strombedarf von industriellen Großbetrieben lässt sich auf diese Weise nicht decken. Daher wird im Szenario „International-Großtechnik“ eine zukünftige Stromversorgung Deutschlands untersucht, die auf den großtechnisch leicht erschließbaren deutschen, europäischen und europahanen Potentialen aller erneuerbaren Energien und Speicherkraftwerke basiert. Ein erheblicher Anteil des deutschen Strombedarfs wird dabei über ein gut ausgebautes interkontinentales Übertragungsnetz importiert.

Neben dem Ausbau der Infrastruktur leisten in allen betrachteten Szenarien die effiziente Stromnutzung in allen Sektoren sowie die Einführung von großtechnischer Stromspeicherung und Nutzung von Lastmanagementpotentialen einen substantziellen Beitrag zum Ausgleich zwischen Last und Erzeugung.

Lösungen zur Spannungsregelung in Verteilernetzen

Stefan Kempen, Andreas Averberg
AEG Power Solutions GmbH, Warstein

Stromverteilnetze wurden in der Vergangenheit meist unter Annahme eines unidirektionalen Lastflusses und einer in Grenzen bekannten Fluktuation des Verbrauchs projiziert und gebaut. Der heute zügig voranschreitende Ausbau der erneuerbaren Energien und die damit einhergehende Dezentralisierung der Erzeugungseinheiten bedingt nun eine charakteristische Veränderung der Lastflüsse in den Verteilnetzen. Je mehr in einem betrachteten Netzabschnitt das zeitliche Erzeugungsprofil vom Lastprofil abweicht, kommt es in Folge zu einer zeitweisen Umkehr der Lastflussrichtung und zum Auftreten kurzzeitiger extremer Leistungsspitzen. Während die Stromtragfähigkeit der Leitungen in vielen Fällen noch ausreichend ist, werden durch die geänderte Lastflusscharakteristik vor allem die Grenzen des zulässigen Spannungsbandes immer häufiger erreicht oder überschritten. Zur dynamischen Anpassung der Spannung an die Lastcharakteristik eignen sich insbesondere Leistungselektronik basierte Lösungen wie Längsregler, STATCOM und regelbare Ortsnetztransformatoren. Diese stellen häufig eine wirtschaftliche Alternative im Vergleich zum andernfalls erforderlichen und kostenintensiven Netzzubau dar. Im Rahmen des Vortrages werden beispielhaft Szenarien vorgestellt bei denen es ohne weitere Maßnahmen zu einer Verletzung der Spannungsbandgrenzen kommt. An Hand der Szenarien wird die Wirkungsweise der

einzelnen Lösungen dargestellt und deren optimaler Einsatz unter technisch-wirtschaftlichen Aspekten erläutert.

Solare Hybridsysteme

Klaus Kalberlah

EUROSUN UG, Fürstenwalde

Für deutsche PV-Modul-Hersteller lautet das Gebot der Stunde: weg vom Standard-Modul, hin zum solaren Komplett-System mit einer integriert-angepassten Photovoltaik. Solare Systeme sind beispielsweise „solar air conditioning“ oder „solare Wasser-Aufbereitung“, vor allem aber PV-Thermie-Hybridsysteme („PVT“ plus Wärmepumpe), die, wie gezeigt wird, in Mitteleuropa mit einer Deckungsrate von 100 % Haushalte mit Strom- und Wärmeenergie versorgen könnten.

Die Tatsache, dass über 85 % des Energiebedarfs von Haushalten als Wärmeenergie benötigt und über 60 % des Europäischen Primärenergiebedarfs zur Wärmeerzeugung verwendet wird, hat in die Entwicklung von standardisierten Komplett-Systemen als industrielles Produkt noch keinen Eingang gefunden.

Hier liegen, ebenso wie im Export von solaren Kühl- und Wasser-Aufbereitungssystemen, enorme Marktpotentiale brach. Für alle genannten Systeme ist, wie für das PVT-System im Detail gezeigt wird, das „proof of principle“ erbracht, die Systemkomponenten weitgehend entwickelt.

Die in Not geratenen Modulproduzenten müssen sich einer Aufgabe stellen, die vergleichbar ist mit der Entwicklung des Automobils, während bisher Motoren produziert und von Dritten in eine Kutsche montiert wurden.

Die Zukunft gehört dem solaren Baumaterial und Komplettssystemen, die preiswert und verlässlich eine „Dienstleistung“ erbringen - z.B. Energieversorgung, Klimatisierung oder Wasserversorgung.

Der Vortrag zeigt auf, dass die Grundlagen für derartige Industrieprodukte gelegt sind.

Material- und Prozessinnovationen in der industriellen Schicht- und Oberflächentechnik für die kostengünstige Bereitstellung erneuerbarer Energien

Bernd Szyszka

TU Berlin

Dünnschicht- und kristalline Photovoltaik, photochemische Reaktoren zur Erzeugung von Wasserstoff, Brennstoffzellen und Hochleistungs-Batterien sowie Concentrated Solar Power (CSP) Lösungen zur Bereitstellung erneuerbarer Energien haben eines gemeinsam: Es sind Oberflächen- und damit Beschichtungsthemen, die maßgeblich zur Funktion des Bauteils beitragen und die somit Gegenstand umfassender FuE-Arbeiten zur industriellen Schicht- und Oberflächentechnik im Hinblick auf die Optimierung der Kostenstruktur sind.

Im Bereich der Schicht- und Oberflächentechnik lassen sich derzeit eine Reihe neuer Trends erkennen, durch welche das Erschließen neuer Märkte und Produkt erst möglich wird. So bietet (i) die quantitative modellbasierte Auslegung von Beschichtungsanlagen völlig neue Zugänge zur Effizienzsteigerung und Kostensenkung. Darüber hinaus (ii) erreichen wir mehr und mehr Verständnis für das

Ablauf der atomaren Prozesse und wir können somit Beschichtungs- und Materialfragestellungen mehr und mehr modellbasiert verstehen. (iii) Auch die zugrundeliegende Technologie schreitet massiv voran. Nachfolgend werden einige Punkte beschrieben, nur um die wichtigsten Beispiele zu nennen:

- Entwicklung organischer Solarzellen auf der Basis des Slot-Dye-Coatings als kostengünstiger Hochrateprozesse,
- Herstellung defektfreier Oberflächen und Nanolamine durch die Atomlagen-Beschichtung (ALD),
- Substitution kostenaufwändiger PECVD-Prozesse durch rein thermisch angeregte CVD-Alternativen,
- Multiskalen-Modellierungen zur modellbasierten Auslegung von neuen Materialklassen, Schichtsystemen und Beschichtungsprozessen - wie etwa der amorphen, oxidischen Halbleiter als Kernbaustein der oxidischen Elektronik.

Die Entwicklung dieser Methoden und Verfahren erfolgt in komplexen multidisziplinären FuE-Vorhaben maßgeblich unter Einbeziehung der in Berlin vorhandenen Ressourcen im Bereich der Forschungsinstitute und Universitäten. Es offenbart sich hier ein Know-how Pool, der in weiten Teilen noch nicht industrialisiert ist und der somit innovativen Unternehmen erheblichen Spielraum für technologische Fortschritte und damit für Marktvorteile bietet.

Photovoltaik-Maschinenbau Made in Germany – Chancen und Herausforderungen im globalen Wettbewerb

Florian Wessendorf

VDMA Photovoltaik-Produktionsmittel, Frankfurt

Die wirtschaftliche Lage der PV-Branche befindet sich 2013 am Scheideweg: Überkapazitäten und der damit einhergehende starke Preisverfall bei Solarprodukten, unsichere Entwicklung der Installationsmärkte, zunehmende asiatische Konkurrenz, sowie internationale Handelskonflikte bestimmen das Bild. Gleichzeitig steht der globale Roll-Out der Photovoltaik unmittelbar bevor. Aus dem gegenwärtigen Umfeld ergeben sich für alle Marktteilnehmer eine Vielzahl von Herausforderungen und Chancen. PV-Maschinenbauer setzen neben der kontinuierlichen Optimierung der Produktionsprozesse und einer weiteren gezielten Kostenminimierung auch auf die strategische Erschließung neuer Märkte. Darüber hinaus steht die konsequente Nutzung von Synergieeffekten aus Kooperationen zwischen Maschinenbauern und Schlüsselkunden für viele Akteure auf der Agenda.

Keramische Technologien und Systeme für die effiziente Energiewandlung und -speicherung

Alexander Michaelis

Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme, Dresden

Um die Energieversorgung der Zukunft sicherzustellen müssen Systeme für die regenerative bzw. effiziente Energiewandlung sowie Speichersysteme zusammenwirken. Beispiele hierfür sind die Photovoltaik (Regenerativ), Brennstoffzellen (Effizienz) und Li-Ionen Batterien. Die Performance und Sicherheit dieser Systeme wird entscheidend von keramischen Materialien und Technologien

bestimmt. Anhand konkreter Beispiele wird der Stand der Entwicklung beleuchtet. Im Falle der Li-Ionenbatterien wird besonders auf das Materialdesign und die Fertigungstechnologien der keramischen Kathodenmaterialien eingegangen. Die gleichen Fertigungstechnologien, speziell die keramische Dickschichttechnologie ist auch für die effiziente Herstellung von Solarzellen relevant. Als Brennstoffzellentechnologien werden die Hochtemperaturbrennstoffzellen SOFC (solid oxide fuel cell) und MCFC (molten carbonate fuel cell) in den Vordergrund gestellt. Diese Brennstoffzellen können direkt mit konventionellen bzw. regenerativen Kohlenwasserstoffen (z.B. Bioethanol) betrieben werden und benötigen damit keine neue Kraftstoff Infrastruktur. In Kraft-Wärme-Kopplung werden mit solchen Brennstoffzellen Gesamtwirkungsgrade von über 90 % erreicht.

Effiziente Nachnutzung von Traktionsbatterien als Pufferspeicher in Energieversorgungsnetzen

¹Marco Götz, ²Frank Schuldt

¹DMOS GmbH, Dresden

²EWE-Forschungszentrum für Energietechnologie e.V., Oldenburg

Regenerative Energieerzeugung ist durch einen zeitlichen und örtlichen Versatz zu den energieverbrauchenden Systemen gekennzeichnet. Windenergie ist kostengünstig in Offshore-Anlagen auf dem Meer erzeugbar und Solarenergie ist nur tagsüber und dann auch besonders in den Sommermonaten verfügbar. Dem gegenüber stehen Verbraucher, die sich fernab vom Meer befinden und auch nachts und im Winter Energie nachfragen. Deshalb ist die regenerative Energieerzeugung mit dem Grundproblem der Verteilung, der Speicherung und der Regelung der von ihr erzeugten Energie konfrontiert.

Der zeitliche Versatz von Energieanfall und Verbrauchsaufkommen wirft die Frage nach der kostengünstigen und effizienten Speicherung von elektrischer Energie auf. Für eine langfristige Speicherung sind Pumpspeicherkraftwerke geeignet. Jedoch bedingt ihre Konstruktion auch eine geeignete landschaftliche Umgebung. Dies setzt dem Ausbau solcher Kraftwerke eine natürliche Grenze.

Als weiteres sich in der Diskussion befindliches Verfahren sei „Power to Gas“ zu nennen, bei dem die elektrische Energie in chemische Energie in Form von Wasserstoff oder Methan umgewandelt wird.

Im Bereich der Kurzzeitspeicher hängt die direkte Speicherung elektrischer Energie von der Verfügbarkeit kostengünstiger und wartungsarmer Speichertechnologien ab.

Eine Möglichkeit diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist die Nachnutzung von Traktionsbatterien als Energiepufferspeicher. Zu Grunde liegt dabei die Annahme, dass in Zukunft massenhaft Traktionsbatterien in Elektrofahrzeugen verbaut worden sind, die aus Gründen der spezifischen Anwendung nur zu einem bestimmten Prozentsatz ihrer endgültigen Lebensdauer im Fahrzeugbetrieb zulässig sind. Aus heutiger Sicht könnten ab 2025 jährlich ungefähr eine Million solcher Batterien mit einem Gesundheitszustand (State Of Health) von 80 % für den Fahrzeugbetrieb unbrauchbar sein. Diese Batterien können dann in der weitaus anspruchloseren Anwendung der Energiezwischenlagerung nachgenutzt werden. Voraussetzung dafür sind die vertrauenswürdige Bewertung der Restgüte dieser Traktionsbatterien, die Marktwert und Sortierung ermöglichen, und eine standardisierte leistungselektronische Schnittstelle, um solche Batterien ohne größeren Mehraufwand in Pufferspeicher integrieren zu können.

Beide Aspekte adressieren einen Bereich informationstechnischer Standardisierung, an der es im Vorlauf einer solchen „Börse für Traktionsbatterien“ zu forschen gilt.

Die Thermobatterie – Möglichkeiten und Probleme von Latentwärmespeichern in der Anwendung

Christian Muhr

H.M. Heizkörper GmbH, Dingelstädt

Ein entscheidender Faktor für den Erfolg der sogenannten Energiewende ist sicherlich das Vorhandensein ausreichender Speichermöglichkeiten von Strom, aber auch von Wärme. Latentwärmespeicher stellen dabei, neben Großspeicheranlagen, eine interessante dezentrale Speichermöglichkeit dar.

Die Thermobatterie, ein Latentwärmespeicher auf Natriumacetatbasis, nähert sich heute, nach über 3 Jahren intensiver Entwicklung in unserem Haus, der Serienreife. Andererseits ist nach wie vor ein ernstes Problem nicht wirklich geklärt: die sichere und vollständige Latenzzyklenfestigkeit.

Zwar ist es möglich, eine größere Anzahl Zyklen zu fahren und die Speicher bestimmungsgemäß, auch unter Ausnutzung der sensiblen Wärme - als wesentliches Element für die Wirtschaftlichkeit der Thermobatterie - zu nutzen, allerdings treten doch in jedem Zyklus kleine, zunächst nicht erkennbare Veränderungen auf, die sich aufbauen und ab einem bestimmten Punkt die unterkühlte Schmelze verhindern.

Aufgrund der nicht vollständig geklärten Zyklenfestigkeit haben wir uns entschlossen, die ursprünglich für Frühjahr geplante Markteinführung der Thermobatterie zu verschieben und zunächst eine weitere Versuchsanlage in deutlich größerem Maßstab in unserem Haus aufzubauen. Dabei ist vorgesehen, 1.000 Einzelspeicher (jeweils in 4er-Zellen zusammengefasst) aufzubauen und unter unterschiedlichsten Bedingungen zu testen.

Der entscheidende Vorteil einer derart großen Anlage ist, dass Variablen jeweils einzeln geändert werden können - unter Beibehaltung aller anderen.

Im Einzelnen ergeben sich noch folgende wichtige Fragestellungen:

- Wie kann die Stabilität der unterkühlten Schmelze sichergestellt werden?
- Wie muss der optimale Auslöser beschaffen sein?
- Wie kann die Wärmeübertragung optimiert werden?
- Welche Anforderungen muss eine leistungsfähige Steuerung erfüllen?

Leistungshalbleiter und Technologien zur Verbesserung der globalen Energieeffizienz

Peter Irsigler

Infineon, Villach

Die Bedeutung von Leistungshalbleitern wird in Bezug auf die globale Energiebilanz immer größer. Sie ermöglichen zum einen den Bau effizienter Antriebe zum Beispiel für Windkraft, Züge, Automobile und Anwendungen in der Industrie, werden aber auch in der Hochspannungsgleichstrom Übertragung (HGÜ) eingesetzt, um große Mengen an Energien über große Distanzen zu transportieren. In diesem Leistungsbereich von einigen 10 kW bis mehrere hundert MW kommen *Isolated Gate Bipolar Transistoren* (IGBT) zum Einsatz. Sie ermöglichen die Energien punktgenau, verlustarm und in der richtigen Frequenz zur Verfügung zu stellen. Die Energieeinsparung muss im Gesamtsystem betrachtet werden und ist pro Anlage groß, die Zahl der Anlagen aber im Vergleich zu den mittleren und kleinen Leistungsbereichen eher gering. Die Zahl der

Netzspannungsanwendungen - wie zum Beispiel Schaltnetzteile, Solarkonvertern, Energiesparlampen, Pumpensteuerungen und viele mehr - dagegen, geht in die Millionen. In jedem Haushalt gibt es davon viele Geräte. Jedes Watt an Einsparung durch verbesserte Leistungshalbleiter schlägt auch hier mit großen Einsparungen zu Buche. Hier werden heute kompensierte *Hochvolt MOSFet* Transistoren mit einer Sperrspannung kleiner 1.000 V verwendet. Bei niedrigen Sperrspannungen für zum Beispiel Stromversorgung der CPU im Notebook oder die Versorgung von *LED* Beleuchtungssystemen werden *Trench MOSFets* eingesetzt. Für alle diese Technologien werden die gleichen Prozesse wie für Standard Integrierte Schaltkreise verwendet. Der Fortschritt hier wird auch, zeitlich verzögert, bei Leistungshalbleitern Einzug finden. Viele neue Möglichkeiten der Verbesserung ergeben sich durch den Einsatz von 300 mm Silizium Wafern für Leistungshalbleiter. Die neuen Leistungshalbleiter erhöhen den Wirkungsgrad der Anwendungen, produzieren weniger Abwärme und können somit in kleinere Gehäuse eingebaut werden. Der Beitrag zur globalen Energieeffizienz von modernen Leistungshalbleitern besteht also nicht nur im geringeren Energieverbrauch während des Betriebs, sondern auch im geringeren Rohstoffverbrauch während der Erzeugung.

Netzintegration erneuerbarer Energien in Ostdeutschland

Harald Schwarz
BTU Cottbus

Obwohl die Energiewende politisch erst vor ca. 2 Jahren verkündet wurde, hat sich das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) in den letzten 15 Jahren als Haupttreiber für den Auswuchs regenerativer Stromspeisungen ins Netz erwiesen. Da das EEG ausschließlich eine monetäre und keine regional-politisch-strukturelle oder gar netztechnische Komponente enthält, werden EEG-Anlagen natürlich dort errichtet, wo diese besonders profitabel betrieben werden können. Dies hat dazu geführt, dass die deutsche Windenergie-Erzeugung mit derzeit über 30.000 MW installierter Leistung in der norddeutschen Tiefebene steht, ungeachtet dessen, ob dort überhaupt die entsprechende Abnahmen existieren oder eine ausreichende Netzstruktur vorhanden ist, mit der ggf. regenerative Überschussleistung in Gebiete mit noch vorhandener Nachfrage transportiert werden kann.

Diese regionalen Ungleichgewichte, verbunden mit den massiven Auswirkungen auf einen sicheren Netzbetrieb werden in der Politik auch nur sehr zögerlich zur Kenntnis genommen bzw. entsprechend kommuniziert. Während gerne von einer durchschnittlichen EEG-Quote von derzeit etwa 25 % in Deutschland gesprochen wird, verdrängt man geflissentlich, dass in den ostdeutschen Stromnetzen diese Quote derzeit bei etwa 75 % liegt und in etwa 3-4 Jahren die 100 % Marke überschritten wird – ein Wert, der in Deutschland, wenn überhaupt, aber dann weit nach 2050 erreicht werden könnte. Selbst bei dieser regional präziseren Darstellung bleibt dabei auch noch unerwähnt, dass eine 100 % EEG-Quote keine regenerative Voll-Versorgung darstellt, da die abnehmergerechte Bereitstellung der Leistung aus EEG-Quellen auch über längere Zeiträume zwischen 0 und 400 % der benötigten Leistung schwankt.

In Kenntnis dieser Randbedingungen gibt es nur 3 Handlungsoptionen für die zukünftige Stromversorgung mit einem hohen Anteil regenerativer Quellen. Ein Weg kann die Errichtung von Speicherkapazitäten in bislang ungekannter Größenordnungen sein. Hier muss aber zur Kenntnis genommen werden, dass bereits heute bei einem üblichen Sturmtief alle z.B. in Ostdeutschland am Netz befindlichen Verbraucher komplett regenerativ versorgt werden und ein Energie-Überschuss von ca. 250 GWh gespeichert werden müsste. Diese Zahl wird sich mit bei Umsetzung der aktuellen Ausbauziele noch vervielfachen. Aktuell befindet sich mit 20 GWh etwa die Hälfte der deutschen Speicherkapazität in Ostdeutschland, d.h. wir brauchen technische

Lösungen, die diese Kapazität etwa um den Faktor 20 erhöht. Ein Ziel, dass bei massiven Anstrengungen in der Forschung und der großtechnischen Umsetzung vielleicht 2050 erreichbar sein könnte.

Ein zweiter Weg wäre der Abtransport regionaler regenerativer Überschüsse in Gebiete mit noch vorhandener Last. Hier hat die DENA II Studie in 2010 einen Bedarf von 4.500 km Höchstspannungs-Freileitung für Deutschland ermittelt. Die DENA-Verteilnetzstudie aus 2012 weist zusätzlich jeweils zusätzlich 40.000-120.000 km Leitungen im Bereich der Hochspannung bzw. Mittelspannung bzw. Niederspannung aus. Die Netzstudien für das Land Brandenburg aus 2008 bzw. 2011 zeigen einen Bedarf von 600 km Höchstspannung und 2.100 km Hochspannungsleitung nur im Land Brandenburg. Unter Berücksichtigung der entsprechenden Proteste gegen diesen Netz-Umbau ist mit einem Realisierungszeitraum bis ca. 2030 zu rechnen. Erschwerend kommt hinzu, dass die Politik leichtfertig den Fokus auf die Verkabelung des Leitungsneubaus bis einschließlich in die Hochspannungsebene gelegt hat. Neben einer massiven Kostensteigerung für den Netzausbau werden technische Parameter des Netzbetriebes so verändert, dass erhebliche Zusatzinvestitionen in die Netzbetriebsmittel und den Netzschutz erforderlich werden.

Da beide o.g. Maßnahmen in den nächsten 10 Jahren keine signifikante Wirksamkeit erreichen werden, bleibt nur der dritte und letzte Weg, um eine zuverlässige Stromversorgung sichern zu können, nämlich die Begrenzung der EEG-Einspeisung entsprechend der vorhandenen Netzkapazitäten. Inwieweit dies mit einer Erstattung der nicht eingespeisten Energiemenge einhergehen muss, kann dabei sehr kontrovers diskutiert werden.

Fakt ist aber, dass sich die Notwendigkeit der Aktivierung der §13 und §14 des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) seit dessen Einführung in 2005 stark erhöht haben. In diesen beiden Paragraphen sind die Anordnung von Zwangsmaßnahmen zur Gewährleistung des sicheren Systembetriebes durch den Übertragungsnetzbetreiber (§13) bzw. den Verteilnetzbetreiber (§14) geregelt. Im Netz der e-on edis als regionaler Versorger in der Mitte/im Norden Brandenburgs und Mecklenburg-Vorpommerns wurden an bis zu 240 Tagen im Jahr Maßnahmen nach EnWG §14 angeordnet, oftmals Zwangsabschaltungen von EEG Einspeisungen wegen sich abzeichnender Leitungsüberlastung. Die Leitstelle der 50 Hertz-Transmission als ostdeutscher Übertragungsnetzbetreiber muss etwa an 150-200 Tagen im Jahr Maßnahmen nach §13(1) anwenden. Meist sind dies Redispatch-Maßnahmen, d.h. die Zwangseinsenkung von konventioneller Kraftwerkseinspeisung in Ostdeutschland bei gleichzeitiger Erhöhung der Kraftwerksleistung in Süd- oder Westdeutschland, um die Kuppelleitungen nach Süden oder Westen vor der Überlastung zu bewahren. An 100 Tagen im Jahr müssen auch Maßnahmen nach §13 (2) durchgeführt werden, d.h. die Zwangsabschaltung regenerativer Erzeugung in Ostdeutschland, da die Kuppelleitungen an der Leistungsgrenze sind, die gesamte Last versorgt ist und auch die konventionelle Erzeugung nicht weiter eingesenkt werden kann.

Bedarfsgerechte Bereitstellung von Bioenergie – Herausforderungen und Chancen

¹Daniela Thrän, ²Alexander Krautz

¹Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig

²Deutsches Biomasseforschungszentrum, Leipzig

Bioenergie ist die Erneuerbare Energie (EE) die im Verhältnis zur installierten Leistung das höchste Maß an gesicherter Leistung bereitstellen kann. Dies bietet insbesondere für den gegenwärtigen Umbau der Stromversorgung zusätzliche Einsatzmöglichkeiten. Das Fördersystem des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) reizte bisher eine möglichst hohe und kontinuierliche Auslastung der Anlagenkapazitäten an, sodass

Bioenergieanlagen heute in der Regel eine gesicherte Grundlastversorgung anbieten. Daher gilt es, sowohl Neuanlagen als auch den Anlagenbestand entsprechend weiter zu entwickeln. Hier bieten insbesondere Biogasanlagen vielfältige Ansatzmöglichkeiten, die zu unterschiedlichen Verfügbarkeiten und Kosten führen. Erste erfolgreiche Beispiele zeigen, wie durch Bioenergie wesentliche Systemdienstleistungen wie Minutenreserve und Sekundärregelleistung angeboten und damit bereits heute fossile Must-Run-Kapazitäten reduziert werden. Die systemintegrierte Vermarktung von Bioenergie ist sowohl für Anlagenbetreiber, Stromhändler, Netzbetreiber sowie Genehmigungsbehörden Neuland. Es bestehen noch viele regulatorische und rechtliche Probleme und Hindernisse in der Praxis die zügige Investitionen und Veränderungen der Betriebsweisen erschweren.

Mit Wasserstoff-Infrastruktur die Energiekosten senken

Karl-Heinz Tetzlaff
H₂-Patent GmbH, Bad Iburg

Es wird ein Energiekonzept vorgestellt, bei dem nachhaltig hergestellter Wasserstoff dezentral genutzt wird. Über das bestehende Erdgasnetz kann so virtuell Strom, Wärme und Mobilität zum Endkunden gebracht werden. Dabei entsteht bei nahezu jedem Endverbraucher mehr Strom als er bisher genutzt hat. Die Gesamteffizienz in dieser wärmegeführten Energiewirtschaft ist daher so hoch, dass 60-80 % der Primärenergie im Vergleich zu einer atomar-fossilen Energiewirtschaft eingespart werden kann. Da die vorzugsweise eingesetzte Biomasse nicht teurer ist als fossile Energieträger und die Energieverteilung über ein Rohrnetz billiger ist, sinken auch die Energiekosten um mindestens 60-80 %. Das Konzept ermöglicht darüber hinaus die problemlose Einbindung fluktuierender Energien.

Wasserstoff und die magische Grenze von 3 €/kg

Jens Hanke
Graforce Hydro GmbH, Wittenberg

Graforce Hydro hat eine neuartige Technologie zur Wasserstofferzeugung entwickelt. Mit dieser Technologie ist es möglich, den Energieträger Wasserstoff - einen Rohstoff unserer Natur - nach Wunsch ressourcenschonend auf einfachem Weg mit hohem Wirkungsgrad zu erzeugen.

Die Vision einer Wasserstoff-Energiewirtschaft entspringt dem Traum der Menschen, Energie unbegrenzt und ohne Auswirkungen auf Umwelt und Ressourcen nutzen zu können. Der Einsatz in z.B. einer Brennstoffzelle ermöglicht hohe Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung und bietet grundsätzlich neue Perspektiven als Antriebstechnologie im Verkehrsbereich. Während der Schwerpunkt heutigen Bemühens in den Anwendungstechniken liegt, besteht ein erheblicher Entwicklungsbedarf hinsichtlich einer effizienten, d.h. kostengünstigen Wasserstoffproduktion.

Wasserstoff wird heute in technischem Maßstab in aller Regel aus fossilen Brennstoffen - vor allem Erdgas - mit Hilfe der Wasserdampfreformierung hergestellt. Nur ein geringer Anteil des verwendeten Wasserstoffs wird durch elektrolytische Wasserzersetzung und in der Chloralkalielektrolyse gewonnen. Ziel ist es, Wasserstoff zukünftig verstärkt aus erneuerbaren Energien (Biomasse, Wasserkraft, Wind, direkter Sonnenenergienutzung mittels Photovoltaik oder solarthermische Kraftwerken) zu gewinnen. Im Sinne einer nachhaltigen Ressourcenverwendung und CO₂-

Emissionsreduzierung werden in diesem Vortrag die Methodenarsenale und ihre Energieträger auf ihre Wirtschaftlichkeit hin vorgestellt.

Die Kohlendioxid-Ökonomie – eine Lösung für das globale Klima-Energie-Problem

Detlev Möller
BTU Cottbus

Jede Stunde gelangt dieselbe Energiemenge durch die Sonne auf die Erde, wie sie die Menschheit in einem Jahr aus fossilen Rohstoffen verbraucht – diese aber wurde im Verlaufe einer Million Jahre aus Sonnenenergie gespeichert. Kohlenstoff ist das dritthäufigste Element (H und He nicht berücksichtigt) im Weltall. Über 100 organische Kohlenstoffverbindungen wurden im Kosmos spektroskopisch nachgewiesen und wahrscheinlich gelangte Kohlenstoff in Form von Chondriten vor 4,2-4,4 Milliarden Jahre während des „late heavy bombardment“ auf die Erde und befindet sich in Tiefen von über 20-40 km in der Lithosphäre in „unvorstellbaren“ Mengen. Vieles spricht auch dafür, dass Öl und Gas überwiegend abiogen gebildet wurden. Kohlenstoff (4. Hauptgruppe) hat genauso starke elektropositive wie elektronegative Eigenschaften (wie übrigens auch Si) und bildet daher mit nahezu allen Elementen eine überaus große Anzahl Verbindungen, wobei vor allem Kohlenwasserstoffe ein- bis dreidimensionale Strukturen und damit die Grundlage für das „Leben“ bilden. Methan (CH₄) und Kohlendioxid (CO₂) sind gasförmig und stellen die reduzierte bzw. oxidierte Form des Kohlenstoffs im biogeochemischen Kreislauf dar. Beide Gase gehören auch zu den Nebenbestandteilen der Atmosphäre und tragen zum „Treibhauseffekt“ bei. Kohlenstoff ist in der Biosphäre jedoch zu 99 % als Karbonat gespeichert, gelöst im Meerwasser und steht im Gleichgewicht mit dem atmosphärischen CO₂. Die Reservoirkonzentrationen und Flussraten sind ein Ergebnis der biogeochemischen Evolution – sie sind über lange Zeiträume wenig variabel und ändern sich auch nur über lange Zeiträume. Durch die Photosynthese werden große Mengen CO₂ jährlich in Biomasse fixiert (ca. 200 Milliarden Tonnen C), jedoch auch wieder veratmet; die ökosystemare Nettoproduktion ist sehr klein und die geologische Ablagerungsrate („burial“) vernachlässigbar (s. ersten Satz). Mit der Extraktion von Kohle, Öl und Gas (fossiler Rohstoffe) und deren Verbrennung zu CO₂ entstanden zwei Probleme: Erstens werden die Vorräte in geologisch kurzer Zeit (Jahrhunderte) verbraucht sein (weshalb alleine deshalb eine Neuorientierung auf andere Energiequellen notwendig ist) und zweitens verschieben sich die Kohlenstoff-Reservoirkonzentrationen (atmosphärisches CO₂ und ozeanisches Karbonat) in dieser kurzen Zeit mit entsprechenden Wirkungen im Klimasystem. Diese Wirkungen (globale Erwärmung und ozeanische Versäuerung) werden als essential für eine Klimaänderung mit entsprechenden sozioökonomischen Folgen bewertet. Der Vortrag erläutert einleitend diese Zusammenhänge und Änderungen. Eine Lösung der anstehenden Probleme kann nur durch einen Paradigmenwechsel (Solarzeitalter) erfolgen. Eine zukünftige Nutzung elektrischer Primärenergie ist zweifellos die einzigartige Form zukünftiger Nutzung. Jedoch bestehen dabei einige noch zu lösende Probleme:

- Elektrizität wird weder konstant über die Zeit produziert noch korreliert die Produktion mit dem Bedarf; es ist also eine Speicherung notwendig, am besten in Form von „chemischer“ Energie durch Reduktion von CO₂.
- Aus Sicherheitsgründen muss überschüssige Energie gespeichert werden; wieder wird sich eine „chemische“ Energieform als optimal erweisen, am besten als „solare“ Rohstoffe (s.o.),
- Es gibt technische Anwendungen (beispielsweise Metallurgie, Luftverkehr, Langstreckentransport, Schiffverkehr) wo eine Anwendung primärer elektrischer

Energie schwerlich vorstellbar ist und die erwähnten „solaren“ Rohstoffe zur Anwendung kommen können,

- Der Mensch wird stets synthetische organische Materialien benötigen (Polymere, Heilmittel, Chemikalien usw.); diese können zukünftig anstelle aus fossilen Rohstoffen aus CO₂ erzeugt werden.

Im Sinne des Klimaschutzes ist eine baldige und umfassende CO₂-Entfernung (CCS) notwendig. Eine komplexe Lösung (SONNE-Konzept) wird vorgestellt. Während Primärenergie als Strom aus Solarstrahlung zur Verfügung gestellt wird (z.B. DESERTEC), soll speicherbare Energie in Form von Kohlenwasserstoffen („solar fuels“) unter weitgehender Nutzung der vorhandenen Infrastrukturen durch CO₂-Reduktion gewonnen werden. Ziel des Konzeptes ist es, eine globale CO₂-Nullbilanz (Emission = Verwertung) zu erreichen. Dazu wird es erforderlich sein, CO₂ aus der Luft („air capture“ - und ggf. dem Meer) zu extrahieren und der stofflichen Verwertung zuzuführen. Wegen der weiter ansteigenden atmosphärischen CO₂-Konzentration und seiner nahezu vernachlässigbaren anorganischen Abbaurate (d.h. extrem hohen Verweilzeit) wird dem „air capture“ in Zukunft eine hohe Bedeutung zukommen (Atmosphärensanierung); auch zur Wiedergewinnung von CO₂, das aus kleinen und mobilen Quellen emittiert wurde. Schließlich kann ein anthropogen geschlossener Kohlenstoff-Kreislauf erreicht werden, bei dem nicht die Rate (Stoffverbrauch – Energieumsatz) sondern die atmosphärische CO₂-Konzentration einzige Kontrollgröße sein wird. Damit kann der Traum einer nachhaltigen Energie- und Kohlenstoffwirtschaft realisiert werden. Wahrscheinlich wäre es innerhalb weniger Jahrzehnte möglich, dieses Ziel technisch zu erreichen, wenn global-politische und wirtschaftliche Richtlinien festgeschrieben werden: Es geht nicht mehr um das Können sondern lediglich um das Wollen.

Das Konzept SONNE eines global geschlossenen Kohlenstoffkreislaufes will a) den weiteren Anstieg der CO₂-Emission stoppen und eine globale Null-Bilanz erreichen, b) das Problem der chemischen Speicherung solarer Energie lösen, c) kohlenstoffbasierte Materialien zur Verfügung stellen und d) die bereits vorhandene Infrastruktur aus dem Zeitalter der fossilen Rohstoffe weiter nutzen.

Der soziale Bias der Energiewende und einige Konsequenzen

Michael Thomas
BISS e.V., Berlin

Berechtigt wird die Energiewende mit der Suche nach einem neuen Gesellschaftsvertrag verbunden. Sowohl in der Frage danach, wie ein solcher aussehen soll, wie in der Frage nach seiner Implementierung stößt man auf grundlegende Probleme zu gestaltender gesellschaftlicher Umbrüche. Es geht nicht nur darum, ob und wie die Umsetzung der Energiewende sozial abgedeckt werden könnte, wie sie sich auswirkt auf Gerechtigkeit, auf Demokratie.

Auszugehen ist von einem nunmehr erodierten Gesellschaftsmodell (und Gesellschaftsvertrag), in dem sich das bisher dominierende Energiesystem in Passung befand mit Massenproduktion und Massenkonsum. Die soziale Konfiguration kann typologisch als Teilhabekapitalismus bezeichnet werden. In der Auseinandersetzung mit diesem Modell zeigen sich in modernen Gesellschaften zwei grundlegend divergierende Trends, die jeweils mit technologischen Innovationen (Energiewende) verbunden sind. Um einschätzen zu können, ob Innovationen eher zu Deformation oder zu Transformation tendieren, kommt der sozialen Dimension (der Konstitution von Sozial- und Kulturformen) eine Schlüsselrolle zu. Das soll aufgezeigt werden.

Geschichte der Photovoltaik in Adlershof

Klaus Thiessen
WISTA Berlin

Bereits vor mehr als 50 Jahren wurden bei der damaligen Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin Forschungsarbeiten zur Photovoltaik durchgeführt, deren Ergebnisse erst in den letzten Jahren in dem EU-Projekt "Full Spectrum" (Intermediate band materials and cells) für Solarzellen nutzbar gemacht werden sollen.

Wegen der ungenügenden Kapazität der Si-Produktion in der DDR konnte die Photovoltaik bis 1991 nicht für die Nutzung der Solarenergie angewendet werden.

Nach der Wiedervereinigung wurden in Adlershof sofort Arbeiten zur Photovoltaik in drei Einrichtungen begonnen:

- Abt. Silizium-Photovoltaik des HMI, jetzt Helmholtz-Zentrum Berlin,
- Leibniz-Institut für Kristallzüchtung,
- Arbeitsgemeinschaft für die Anwendung der Solarenergie (WISTAsolar).

Das führte zu einer stürmischen Entwicklung, zunächst vor Allem der

- Installation von Solar-Dächern und -Fassaden, inzwischen mehr als 1,7 MWp,
- der Ansiedlung von zahlreichen Photovoltaik-Firmen, vor Allem SOLON, Sulfurcell (Solteature), Younicos, Global Solar, greateyes, Dachland, und der Gründung des
- Kompetenz-Zentrums für Dünnschicht- und Nanotechnologie für die Photovoltaik Berlin (PVcomB).

Infolge einiger fachlicher und politischer Fehlentscheidungen sind in den letzten Jahren leider Rückschläge zu verzeichnen, die uns jedoch nicht entmutigen lassen, wie die nachfolgende Vorstellung des Zentrums für Photovoltaik und Erneuerbare Energien eindeutig zeigt.

Der Siegeszug der Photovoltaik wird, eingebettet in ein ganzes System der Erneuerbaren Energien, unaufhaltsam sein.

Bauen gegen den Trend: das ZPV in Adlershof

Bernd Ludwig
WISTA MANAGEMENT GmbH, Berlin

Mit dem Zentrum für Photovoltaik und Erneuerbare Energien (ZPV) bekommt nun auch das jüngste Technologiefeld im Wissenschafts- und Technologiepark Berlin Adlershof sein eigenes Gebäude für kleine und mittlere Unternehmen: Die 8.000 m² vermietbare Fläche setzen sich aus 2.000 m² Halle für Pilotproduktionen, ca. 3000 m² physikalische- und chemische Labore für Forschung und Entwicklung, 500 m² Werkstatt- und 1.800 m² Bürofläche zusammen. Darüber hinaus runden eine Kantine und Meetingräume für Kundentreffen und kleinere Firmenveranstaltungen die Vielseitigkeit des Gebäudes ab. Eine PV-Anlage über dem Eingangsbereich weist auf seine Bestimmung hin und auch das Dach ist für Technik-Installationen der Mieter bestimmt.

Wie in den Beiträgen von P. Ambrée und K. Thiessen dargestellt, hat sich das Technologiefeld Photovoltaik und Erneuerbare Energien (PV/EE) in Adlershof dynamisch entwickelt. Auch wenn einige der PV-Firmen aus Adlershof in den letzten beiden Jahren eine tiefe Krise durchzustehen hatten, zeichnet das starke Wachstum von Firmen der Erneuerbaren Energien eine positive Entwicklung vor, die zum Teil Folge der Energiewende ist.

Daher war es für die WISTA-MANAGEMENT GMBH folgerichtig, das bereits im Bau befindliche Zentrum für Photovoltaik auch für Firmen der Erneuerbare Energien zu öffnen und damit als PV/EE-Cluster weiter zu entwickeln. Mietanfragen kommen

derzeit aus den Bereichen PV, Netzintegration, Beschichtungstechnologie, Software-Entwicklung, Batterietechnologie, Laserstrukturierung für PV und der Wasserstoffproduktion.

POSTER

Neuartiges Phase Change Material (PCM) für die Speicherung und Nutzung von Prozesswärme

Flaurance Kenfack, Monika Bauer

Fraunhofer Einrichtung für Polymermaterialien und Composite, Teltow

Im Hinblick auf eine Effizienzsteigerung bei der Wärmespeicherung sind Latentwärmespeicher besonders geeignet. Sie erlauben, durch die Schmelztemperatur des eingesetzten Latentwärmespeichermaterials (Phase Change Material: PCM) im genau festgelegten Temperaturbereich möglichst viel Wärmeenergie bei möglichst geringer Masse bzw. Volumen mit vielen Wiederholzyklen zu speichern. Materialeitig handelt es sich dabei vorrangig um Paraffine und Salzhydrate, wobei letztere den Paraffinen durch eine nahezu doppelte Speicherdichte weit überlegen sind. Welches Material letztendlich eingesetzt werden sollte, hängt vorwiegend von den benötigten Temperaturbereichen ab. Das entwickelte salzhydratbasierte PYCO-PCM-1 eignet sich für die Speicherung und Nutzung von Prozesswärme für Temperaturen um 100°C.

Grundsatzuntersuchungen zur Hochdruck-Wasserstoffspeicherung in Glaskapillaren

¹Norbert Langhoff, ²Dirk Wallacher, ³Rudolf Herrmann, ³Detlef Krusche,

⁴Sigmar Mothes

¹ Institute for Scientific Instruments GmbH, Berlin

² Helmholtz-Zentrum für Materialien und Energie GmbH, Berlin

³ Institut für angewandte Photonik e.V., Berlin

⁴ Sigmar Mothes Hochdrucktechnik GmbH, Berlin

Die Untersuchungen zeigten, dass es möglich ist, Wasserstoff unter hohem Druck (500-1000 bar) in einem Volumen von 5-10 ml in Glaskapillaren, die zu Spulen gewickelt wurden, zu speichern. Schwerpunkt der Arbeiten war die Suche nach dem besten Glas, dem optimalen Verhältnis von Wandstärke zu Kapillardurchmesser und der Erreichung größerer Speichervolumina. Untersuchungen an Monokapillaren zeigten, dass bei konst. Verhältnis von A_d/W_d der Berstdruck mit fallendem A_d (800 bis 300 μm) oder fallender W_d (96-36 μm) von 408 bis 1281 bar steigt.

Der Übergang vom Ar-Glas zum beschichteten Kieselglas und das Wickeln von Glaskapillaren zu Spulen führte zu einem Speichervolumen von 5 cm^3 und einem Berstdruck bis 900 bar.

Eine Kleinleistungs-Brennstoffzelle (ca.10 W) wurde mit einer mit H_2 gefüllten Spule betrieben, die Strom/Spannungskennlinien aufgenommen und damit die Einsatzfähigkeit vom Kapillarspulenpeicher für Brennstoffzellen nachgewiesen.

ELBRUS – innovative und vielfältig einsetzbare Sensoren für prozessnahe Analytik

¹Aniouar Bjeoumikhov, ¹Norbert Langhoff, ¹Timo Trobitzsch-Ryll, ¹Renat Gubzhokov, ¹Markus Oesker, ¹Hans-Joachim Schreck, ¹ Andreas Günther, ¹Frank Tretner, ²Vladimir Arkadiev, ²Thomas Nitsche

¹ Institute for Scientific Instruments GmbH, Berlin

² Institut für angewandte Photonik e.V., Berlin

Das IFG hat mit seinen Sensoren der Familie ELBRUS ein flexibles Messsystem entwickelt, welches speziell für den prozessnahen Einsatz geeignet ist. Die Sensoren basieren auf den Prinzipien der Röntgenfluoreszenz (XRF) und Röntgenbeugung (XRD) und befinden sich bereits weltweit unter unterschiedlichsten Bedingungen im Einsatz. Neben dem ursprünglichen Anwendungsgebiet im PV-Sektor zur Charakterisierung dünner Chalkopyrit-Solarzellen werden die Sensoren bei der Aufbereitung (Urban-Mining), im Bereich der Umwelt- und Recycling-Industrie (Sorting) und zur Schichtdickenmessung verwendet. Neue Applikationen wie die Charakterisierung geologischer Proben im Bergbau oder die Messung an Material- und Stoffflüssen im Rohstoffsektor befinden sich in der Entwicklung.

Aufgrund der Erfahrung, der Kompetenz und des modularen Aufbaus der Messsysteme ist das IFG in der Lage kurzfristig individuelle analytische Sensoren für spezielle Einsatzbedingungen zu entwickeln. Damit bietet ELBRUS eine flexible Lösung für anspruchsvolle Messaufgaben in unterschiedlichen Prozessen.

* * *