

Working Group on Energy Arbeitskreis Energie (AKE)

Karl-Friedrich Ziegahn
 KIT Distinguished Senior Fellow
 Karlsruhe Institute of Technology
 Hermann-von-Helmholtz-Platz 1 (Campus North)
 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
 ziegahn@kit.edu

Affordable, reliable and climate protecting energy supply is indispensable for a real sustainable development. Physics, engineering and many more sciences contribute to this objective. The following 3 sessions on concepts and technologies, energy supply, and perspectives for the future present three invited talks and 7 submitted contributions. They reflect needs for enhancing a sound energy system, including societal and political questions.

Overview of Invited Talks and Sessions

(Lecture hall GER/038)

Invited Talks

AKE 1.1	Mon	11:00–11:30	GER/038	Zellulare Energiesysteme – Zukunft der Energietechnik ? — •JOACHIM SEIFERT, PETER SCHEGNER
AKE 2.1	Mon	16:30–17:00	GER/038	The German primary energy consumption – status and trends — •LARISSA BREUNING, ALEXANDER VON MÜLLER, ANDJELKA KEREKEŠ
AKE 3.1	Tue	17:00–17:30	GER/038	Activation calculations for decommissioning planning of NPPs — •REUVEN RACHAMIN, JÖRG KONHEISER, MARCUS SEIDL

Sessions

AKE 1.1–1.6	Mon	11:00–12:45	GER/038	Konzepte und Technologien
AKE 2.1–2.2	Mon	16:30–17:30	GER/038	Energieversorgung
AKE 3.1–3.3	Tue	17:00–18:15	GER/038	Zukunftsperspektiven

AKE 1: Konzepte und Technologien

Time: Monday 11:00–12:45

Location: GER/038

Invited Talk

AKE 1.1 Mon 11:00 GER/038
Zellulare Energiesysteme – Zukunft der Energietechnik ? —
 ●JOACHIM SEIFERT¹ und PETER SCHEGNER² — ¹TU Dresden, Institut für Energietechnik — ²TU Dresden, Institut für Elektrische Energietechnik und Hochspannungstechnik

Energetische Systeme sind aktuell meist hierarchisch organisiert und bestehen aus großtechnischen Systemen die zentral unterschiedliche Primärenergien in Sekundärenergien wandeln, die dann den Verbrauchern über Leitungssysteme zugeführt werden. Durch die Energiewende wandeln sich diese unidirektionalen Systeme zu multidirektionalen Systemen. Consumer werden zu Prosumern, wodurch eine andere Systemarchitektur entsteht. Das Konzept der zellularen Energiesysteme besitzt zur Einbindung von dezentral erzeugten erneuerbaren Energien deutliche Vorteile, da auf lokaler Ebene schon versucht wird einen Ausgleich unterschiedlicher Verbrauchs- und Erzeugungswerte zu erreichen. Orientieren kann man sich hierbei an dem biologischen Konzept einer Zelle. Im energetischen Kontext ist die Zelle hierbei jedoch nicht scharf definiert. Sie kann als ein Gebäude, ein Quartier oder eine Region aufgefasst werden. Im Vortrag soll der Ansatz des zellularen Energiesystems detailliert erläutert werden. Die betrifft die systemischen Anforderungen, das Konzept von Energietrendbändern sowie die zum Betrieb notwendige Kommunikationstechnik. Abgerundet wird der Vortrag durch Praxisbeispiele.

AKE 1.2 Mon 11:30 GER/038

Numerical Simulation of the coating process for organic photovoltaics — ●FABIAN GUMPERT¹, ANNIKA JANSSEN^{1,2}, ANDREAS DISTLER², CHRISTOPH J. BRABEC², HANS-JOACHIM EGELHAAF², and JAN LOHBREIER¹ — ¹Nuremberg Institute of Technology, Nuremberg, Germany — ²Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Germany

In various industrial applications, the doctor blading process is a well-established technique to coat thin films. In the context of organic photovoltaics, functional layers like electrodes, active materials, and interfacial layers are printed using this technique. For the performance and lifetime of the final photovoltaic devices, the thickness precision and uniformity of the individual layers is crucial.

Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations and experiments are used to study the effect of various parameters on the film formation during doctor blading. For example, a numerically simulated correlation between coating speed and wet film thickness is established and found to match the experimental findings.

With the help of these CFD simulations, process parameters and resulting film thicknesses can be predicted based on simple fluid characteristics such as viscosity and surface tension. Furthermore, the observed decrease in the wet film thickness over printed distance, which relates to the decreasing volume in the meniscus, can be compensated by a calculated acceleration of the applicator during the coating process to drastically increase the distance range of homogeneous coating by doctor blading.

AKE 1.3 Mon 11:45 GER/038

Multiphysical simulation of the temperature distribution in a PEM-Fuel Cell — ●LARA KEFER, FABIAN GUMPERT, SUSANNE THIEL, MAIK EICHELBAUM, and JAN LOHBREIER — Nuremberg Institute of Technology, 90489 Nuremberg, Germany

Polymer electrolyte membrane fuel cells (PEM-FC) are a key technology for converting chemical energy from - ideally green - hydrogen into electrical energy. However, the electrochemical processes in a fuel cell also generate heat, which is crucial for the cell's performance and difficult to detect by experiments.

The heat generated in these exothermic chemical reactions and the external heating for the operating temperature were numerically simulated. The temperature field affects the relative local humidity, which has a strong influence on the local and global performance of the cell. Therefore, the three-dimensional temperature distribution was modelled, and the resulting voltage-current curves were computed. The latter are commonly used to characterize the properties of a fuel cell as a source of electric power.

The simulations show a temperature increase of the inner layers of the fuel cell due to the electrochemical reactions. The temperature of the cooler working gases (H₂, O₂) approaches the externally de-

finied operating temperature of the fuel cell. This effect can also be seen in experimental data. The simulated U-I characteristics have the same overall shape as the experimentally determined characteristics and both reveal a decrease in the performance of the cell at higher temperatures.

AKE 1.4 Mon 12:00 GER/038

Photocatalytic conversion of carbon dioxide into methane for solar fuel production using a TiO₂ functionalized thin-film micro-reactor — ●SEBASTIAN THALHEIM — Fraunhofer ISE, Freiburg, Deutschland

The increasing concentration of greenhouse gases in the Earth's atmosphere is a major contributor to climate change. Carbon dioxide, a key greenhouse gas, is produced by fossil fuel combustion and industrial processes. The reverse combustion reaction offers a useful approach for converting carbon dioxide into hydrocarbons, such as methane, for use as a renewable fuel source and therefore contributing to a closed-carbon-dioxide cycle. However, the reverse combustion reaction requires significant amounts of energy for activation. Photocatalysis, which uses light to reduce the activation energy required, offers a potential solution to this challenge. By using renewable energy to drive the photocatalytic reaction, we can minimize the carbon footprint of the conversion process.

We propose a setup for the continuous conversion of carbon dioxide into methane using a photocatalytic TiO₂ functionalized thin-film micro-reactor. We aim to identify the most influential parameters and optimize the reactor design and photocatalytic material to maximize Solar-To-Gas efficiency. This approach has the potential to make the conversion process more efficient and scalable. A life-cycle analysis will be performed to assess ecological sustainability, economic scalability, and the potential for carbon capture and usage of this emerging technology.

AKE 1.5 Mon 12:15 GER/038

Development of a loss model for dynamic inductive charging — FABIAN GUMPERT¹, ●MICHAEL SCHMIDT^{1,2}, ARMIN DIETZ^{1,2}, and JAN LOHBREIER¹ — ¹Nuremberg Institute of Technology, 90489 Nuremberg, Germany — ²Institute ELSYS, Nuremberg, Germany

The electrification of vehicles is a promising approach to reduce the carbon footprint of the mobility sector. However, this approach still faces several challenges, for instance the limited range - or high battery weight - of electric vehicles. A possible solution to this limitation is an electrified road system (ERS) where coil segments are integrated into the road. An electric vehicle with a receiver module can charge inductively its battery while driving on these roads.

Analytical and numerical (Finite-Element-Method) simulations are used to model the ERS and the inductive charging of the vehicle to investigate the occurring losses. In detail, FEM simulations are used to investigate the efficiency of the power transfer from the transmitter coil within the ERS to the receiver coil, moving onboard the vehicle, under various conditions.

The coil segments in the ERS are supplied with a high-frequency square-wave voltage. To investigate all losses of the system it is necessary to develop a measurement device. The fundamental frequency of the voltage signal is roughly 90 kHz. The device can measure up to one MHz in order to detect high harmonics of the fundamental frequency. The concept of the measurement setup and first experimental results, which demonstrate the capability of the setup, are presented.

AKE 1.6 Mon 12:30 GER/038

Gigantisch große Hydrokavernenspeicher in Braunkohleabbaustätten zur nahezu verlustfreien Überbrückung von Kurzzeitschwankungen in Energieerzeugung und Verbrauch — ●HORST SCHMIDT-BÖCKING¹, GERHARD LUTHER² und JOACHIM SCHWISTER³ — ¹Institut für Kernphysik, Universität Frankfurt, Max-von-Laue Str.1, 60438 Frankfurt — ²FSt. Zukunftsenergie (FZE), Experimentalphysik - Bau E26, Universität des Saarlandes, 66123 Saarbrücken — ³Technischer Beigeordneter a.D., Berrenrath Str. 9, 50169 Kerpen

Die Energiespeicher-Technologie „Grüner Wasserstoff“ alleine ist nicht in der Lage, bei nahezu 100%iger Erzeugung von der in Deutschland für die Energiewende benötigten elektrischen Energie die soge-

nannten Spitzen in der Energieerzeugung am Tage (wenn Sonne und Wind überdurchschnittlich viel Energie liefern) verlustfrei zu speichern oder nachts verlustfrei Strom zu liefern. In diesen Nachtflauten muss man dann Wasserstoff rückverstromen, wobei der Wirkungsgrad für die nutzbare Rückverstromung bezogen auf den primären Strom bei nur ca. 30% liegt. Durch eine Kombination von „Grüner Wasserstoff Technologie“ mit einem Hydrokavernenspeicher (ca. 0,5 TWh pro Speicherzyklus oder größer) als Kurzzeitspeicher (Stunden, Tage), kann eine wesentlich verlustärmere Technologie zur Energiespeicherung in Deutschland aufgebaut werden, die die Verluste weitgehend eliminiert

und damit Elektrizität von hunderten TWh/pro Jahr zu sehr niedrigen Kosten für die Industrie und auch für den kleinen Verbraucher nachhaltig bereit hält.

In den zu flutenden Braunkohleabbaustätten (z.B. Hambach, Garzweiler, Schleenhain, Cottbus etc.) kann man Hydrokavernenspeicher von gigantischer Kapazität (z.B. Hambach bis zu 0,5 TWh pro Zyklus) errichten. Das Prinzip und der Aufbau eines solchen Kavernenspeichers auf dem Boden einer gefluteten Braunkohleabbaustätte wird im Vortrag besprochen.

AKE 2: Energieversorgung

Time: Monday 16:30–17:30

Location: GER/038

Invited Talk AKE 2.1 Mon 16:30 GER/038
The German primary energy consumption – status and trends — ●LARISSA BREUNING¹, ALEXANDER VON MÜLLER², and ANDJELKA KEREKES¹ — ¹Technical University of Munich (TUM), Lichtenbergstraße 4a, 85748 Garching, Germany — ²Max Planck Institute for Plasma Physics (IPP), Boltzmannstraße 2, 85748 Garching, Germany

Like the gross domestic product (GDP), the primary energy consumption (PEC) is a highly aggregated indicator. The primary energy consumption characterizes the energy content of all energy sources used domestically. Energy sources like lignite, hard coal, mineral oil, or natural gas, are either used directly or converted into so-called secondary energy sources such as fuels, electricity, or district heating. In the longer term, PEC will be influenced by technological progress and the associated improvements in energy efficiency, by sectoral and intersectoral structural changes, but also by price-driven substitution processes.

This presentation summarizes the composition of PEC in Germany, how cross-border trade of primary energy is structured and which challenges in the field of energy supply Germany is likely to face in the future. In this context, the year 2019 - before the COVID-19 pandemic and the Russia-Ukraine war - serves as a reference year against which the current energy consumption is compared in order to point out changes resulting from these recent and disruptive developments.

AKE 2.2 Mon 17:00 GER/038
Das Windenergiepotenzial Deutschlands: Grenzen und Konsequenzen grossräumiger Windenergienutzung — ●AXEL KLEIDON — Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena, Deutschland

Die Windenergienutzung in Deutschland soll bis 2050 mit bis zu 200 Gigawatt ausgebaut werden, was in etwa einer Vervierfachung im Vergleich zu heute entspricht. Diese Windturbinen werden der Atmosphäre dabei Windenergie entziehen, um Strom zu produzieren, und damit die Atmosphäre beeinflussen. Dies wirkt sich auf die Effizienz der Windenergienutzung aus, weil die Windgeschwindigkeiten in den Regionen, wo Windenergie genutzt wird, sinken müssen. Sie lassen sich mithilfe der Impulsbilanz und den damit verbundenen kinetischen Energieflüssen abschätzen. Dies zeigt, dass die durch die Windturbinen reduzierten Windgeschwindigkeiten bei 200 GW Ausbau den Stromertrag um etwa 10 - 15% verringern werden. Der Effekt ist geringer, wenn die Windturbinen gleichmäßiger über mehr Fläche besser verteilt sind. Trotz dieser Effekte lässt sich mit der Windenergie sehr viel Strom erzeugen, die betrachteten Szenarien würden mehr als die Hälfte des gegenwärtigen Strombedarfs damit decken. Die Auswirkungen auf die Atmosphäre sind aber sehr gering. Die erzeugte Windenergie beträgt lediglich 2.4% des Verlusts an kinetischer Energie, die ganz natürlich durch Reibung in der unteren Atmosphäre verloren geht.

Discussion

AKE 3: Zukunftsperspektiven

Time: Tuesday 17:00–18:15

Location: GER/038

Invited Talk AKE 3.1 Tue 17:00 GER/038
Activation calculations for decommissioning planning of NPPs — ●REUVEN RACHAMIN¹, JÖRG KONHEISER¹, and MARCUS SEIDL² — ¹Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Germany — ²PreussenElektra GmbH, Hannover, Germany

By the middle of 2023, all German nuclear power plants (NPPs) will have been shut down. The final shutdown is followed by a post-operational phase in which measures can be carried out to prepare for the NPPs dismantling and decommissioning. One of the essential tasks in planning and preparing an NPP for decommissioning is to obtain precise knowledge of the activation levels in its reactor pressure vessel (RPV), the biological shielding, and other internal components. In that regard, a novel method based on the combined use of two Monte Carlo codes, MCNP6 and FLUKA2021, was developed to serve as a non-destructive tool for evaluating the activation in an NPP. The presentation will give an overview of the methodology and demonstrate its application through the activation calculations of selected components of a German pressurized water reactor (PWR), which is the most common NPP type in Germany.

AKE 3.2 Tue 17:30 GER/038
Ist eine globale Energiekrise noch zu verhindern und wenn ja, wie? — ●MICHAEL DÜREN — Zentrum für internationale Entwicklungs- und Umweltforschung, Univ. Gießen, Germany

Die globalen Klimaveränderungen werden verheerende Folgen insbesondere für die Welternährung haben, möglicherweise bis hin zum Kollaps der Zivilisationen. Um fatale Klima-Kipppunkte sicher zu verhindern, fordert die Wissenschaft eine schnelle Reduktion der Netto-CO₂-

Emission herunter bis Null im Jahr 2040. Ein Herunterfahren der fossilen Emittenten hat unausweichlich eine globale Primärenergieklücke in der Größenordnung von 136 TWh/Jahr, also 15506 GW zur Folge.

Dazu kommen berechtigte Ansprüche der armen Länder ihren geringen pro-Kopf-Energieverbrauch in den kommenden Jahren dem unseren anzugleichen, sowie ein erhöhter Energieverbrauch durch die Produktion von neuen, nachhaltigen Kraftwerken, zur Reparatur von Klimaschäden und möglicherweise ein hoher Energiebedarf für das Einfangen von CO₂ aus der Atmosphäre.

Werden wir es schaffen können mit extremer Geschwindigkeit innerhalb von 18 Jahren so viele neue Kraftwerke zu bauen oder Energie massiv einzusparen? Gibt es global abgestimmte Roadmaps für die Energiewende und welche Ansätze gelten als erfolgversprechend?

AKE 3.3 Tue 17:45 GER/038
Die Zeitenwende erfordert eine ideologiefreie Energiewende: Von der Grundlastdeckung zur Lückenlastdeckung — ●HELMUT ALT — FH Aachen

Die am 08.12.2021 im Regierungsamt vereidigte erste Ampel-Bundesregierung will die Erneuerbaren Energien zielstrebig mit festen Zielvorgaben ausbauen. Dazu sind folgende Randbedingungen vorgegeben:

Der Beitrag zur Deckung unseres Brutto-Strombedarfs bis 2030 durch regenerative Energieerzeugung auf der Basis von Wasserkraft, Biomasse, Solar- und Windenergie soll sich auf 80% erhöhen und damit gegenüber derzeit in 2021 mit etwa 233,6 Mrd. kWh (39,7%) verdoppeln, um die Klimaerwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen. Bis 2050 werden 100 % Lastdeckung durch regenerative Energien angepeilt.

In diesem Beitrag wird auf die wetterabhängige Verfügbarkeit der

dem Anlagenzubau zuzuordnenden Leistung der installierten Solar- und Windenergieanlagen explizit hingewiesen. Es wird gezeigt, dass die vorgenannten Zielvorgaben auf Basis kumulierter Arbeitswerte nur bei alternativ vorhandenen Kraftwerken auf der Basis speicherbasierter Primärenergien, wie dies bei Kohle- oder Kernenergie der Fall ist, zu realisieren sind. Um die gesicherte Leistung in der bisherigen Größenordnung der Leistungsverfügbarkeit von bisher 99,99999 % d.h. mit 7 Neuerstellen zu gewährleisten, ist eine Reservekapazität von rd. 15 % über der zu ersetzenden Nennleistung vorzuhalten. Erwartungswerte

in der Größenordnung von 99 %, wie oft vorgetragen, sind nicht zielführend. Dem ist leider so, es sei denn, man ist bereit, die Versorgungssicherheit dem "wetterbedingten Zufall von Wind und Sonne" unterzuordnen, da wettbewerblich bezahlbare Stromspeicher in der Größenordnung von rd. 8 TWh nicht verfügbar sind und es auch in denkbarer Zukunft aus physikalischen Gründen auch nicht sein werden.

Discussion