

Energy Working Group Arbeitskreis Energie (AKE)

Hardo Bruhns
Meliesallee 5
40597 Düsseldorf
ake@bruhns.info

The programme of the Energy Working Group (Arbeitskreis Energie, AKE) provides a survey of major strands of energy R&D and technology based on physical chemical, biological and geological research. Furthermore, since energy R&D is linked to combatting the global climate change, the programme includes a symposium “Klimawandel – was nun?” (SYKW) jointly organized with the Environmental Physics Division.

For more than a decade the “Energiewende” is dominating the discussion of domestic energy research, supply and use, in particular regarding electricity (see e.g. the AKE/DPG-studies 2005 and 2010). With progress towards >30% of renewable electricity generation a “Wärmewende” (AKE 2) with massive improvements in the generation and use of heat must be addressed if a CO₂ reduction of 85% or more shall become feasible. It must, however, be kept in mind that the corresponding national economic effort will affect some 2% of the global green-house gas emission. This demonstrates the relevance of energy technology which can be implemented also in other parts of the world such as in the earth’s solar belt (AKE 1).

Wind and solar electricity generation suffer from massive intermittency requiring very large installed overcapacities, a backup generation capacity close to the load level and very large (electricity) storage systems in particular for seasonal balancing. Hence the development of improved batteries, of chemical conversion “storage” / alternative use as well as of “sector-coupling” technologies is highly important (AKE 8, 10) as is, on regional scales, the optimization of grid requirements and deployment concepts (AKE 9).

Wind and photovoltaic generation will become the dominating global electricity source. More efficient and versatile wind turbines (AKE 7) and novel classes of PV materials (AKE 5) are therefore of interest. However, nuclear generation continues to play a significant role in CO₂-free electricity generation in many parts of the world (AKE 14). Base-load electricity and caloric contributions are provided by biomass (AKE 6) and, in parts of the world, volcanic or enhanced geothermal resources can be expected to grow in relevance (AKE 11). The long-term development of fusion energy (with the international flagship project ITER) aims at clean and safe electricity generation and less problems of nuclear waste (AKE 13).

A long-term relevant issue is to secure the availability of raw materials for energy and other uses. Here, R&D on submarine resources moves into focus (AKE 12). Novel research concepts into both biological (AKE 3) and solid-state based (AKE 4) fixation methods of CO₂ may provide interesting pathways for green chemical feedstock production and new options for mitigating the CO₂ problem. The sequence of sessions is imposed to some extent by constraints in the availability of the speakers.

References:

http://dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien/energy_2011.pdf
http://dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien/energie_2010.pdf
http://dpg-physik.de/static/info/klimastudie_2005_eng.pdf.

Overview of Invited Talks and Sessions

(Lecture rooms RW HS and B 0.014)

Invited Talks

AKE 1.1	Mon	10:30–11:00	B 0.014	Strom und Gas aus der Wüste als Option für eine globale Energiewende — ●MICHAEL DÜREN
AKE 1.2	Mon	11:00–11:30	B 0.014	Aquifer thermal energy storage systems ensuring continuous cooling in arid climates compared to applications in Europe — ●FELINA SCHÜTZ

AKE 2.1	Mon	11:30–12:00	B 0.014	Wärmewende weltweit: Mit solider Physik kann das gelingen — •WOLFGANG FEIST
AKE 2.2	Mon	12:00–12:30	B 0.014	Die Rolle der Fernwärme bei der Energie- und Wärmewende — •MANUEL RINK
AKE 3.1	Mon	14:00–14:30	B 0.014	CETCH me if you can - Bringing inorganic carbon into life with synthetic CO₂ fixation — •TOBIAS ERB
AKE 4.1	Mon	14:30–15:00	B 0.014	Solid State Photoelectrochemical Devices for Artificial Photosynthesis: State-of-the-Art and Perspectives — •ROEL VAN DE KROL
AKE 5.1	Mon	15:00–15:30	B 0.014	Current developments and perspectives for polymer-based and metal-halide perovskite solar cells — •THOMAS KIRCHARTZ
AKE 6.1	Mon	15:30–16:00	B 0.014	(K)eine Wende ohne Bioenergie? - Die Rolle der Biomasse in unserer künftigen Energiewirtschaft — •JÜRGEN KARL
AKE 7.1	Mon	16:15–16:45	B 0.014	Neue Entwicklungen in der Windenergieforschung - warum Windenergie ein spannendes Feld für die Physik ist — •STEPHAN BARTH
AKE 8.1	Tue	16:15–16:45	RW HS	Performance analysis of Lithium-ion-batteries: status and prospects — •ELLEN IVERS-TIFFÉE
AKE 8.2	Tue	16:45–17:15	RW HS	Clean Energy Revolution in Sea Transport — •CHRISTOPH KANDZIORA
AKE 9.1	Tue	17:15–17:45	RW HS	Zum optimalen Zubau von Netzkapazität und Erneuerbaren Energien im liberalisierten Strommarkt — •VERONIKA GRIMM
AKE 10.1	Wed	14:00–14:30	RW HS	Sektorenkopplung - Potenziale und Optionen für die nächste Phase der Energiewende — •CYRIL STEPHANOS
AKE 10.2	Wed	14:30–15:00	RW HS	CO₂ to Value: Single Step Direct Electrocatalytic Reduction of CO₂ Toward CO and Hydrocarbons — •GUENTER SCHMID
AKE 11.1	Wed	15:00–15:30	RW HS	Geothermal energy - from conventional to unconventional resources — •EGBERT JOLIE
AKE 12.1	Wed	15:30–16:00	RW HS	Geophysikalische Untersuchungen von Rohstoffen im Meer - Exploration und Nutzungsperspektiven — •KATRIN SCHWALENBERG
AKE 13.1	Wed	16:15–16:45	RW HS	Progress in ITER construction and in the preparations for operation — •DAVID J CAMPBELL
AKE 14.1	Wed	16:45–17:15	RW HS	The Role of Nuclear Power in the World — •LUDGER MOHRBACH

Invited talks of the joint symposium Klimawandel – was nun?

See SYKW for the full program of the symposium.

SYKW 1.1	Tue	14:00–14:30	RW HS	Das Ende der Eis-Zeit? — •DIRK NOTZ
SYKW 1.2	Tue	14:30–15:00	RW HS	Dekarbonisierung des globalen Energiesystems: Optionen und kosteneffiziente Strategien — •THOMAS BRUCKNER
SYKW 1.3	Tue	15:00–15:30	RW HS	Retten die Klimaingenieure die Welt? — •JOST HEINTZENBERG
SYKW 1.4	Tue	15:30–16:00	RW HS	Anpassung an den Klimawandel: was kommt auf uns zu und wie müssen wir reagieren? — •DANIELA JACOB

Sessions

AKE 1.1–1.2	Mon	10:30–11:30	B 0.014	Energiewende in the Earth's Solar Belt
AKE 2.1–2.2	Mon	11:30–12:30	B 0.014	Energiewende - Konzepte zur Wärmewende
AKE 3.1–3.1	Mon	14:00–14:30	B 0.014	Pathways for Biological Photosynthesis and Carbon Fixation
AKE 4.1–4.1	Mon	14:30–15:00	B 0.014	Solid State based Artificial Photosynthesis
AKE 5.1–5.1	Mon	15:00–15:30	B 0.014	Photovoltaics: Novel Approaches
AKE 6.1–6.1	Mon	15:30–16:00	B 0.014	Biomass in a future Energy Supply
AKE 7.1–7.5	Mon	16:15–17:45	B 0.014	Wind Energy
AKE 8.1–8.2	Tue	16:15–17:15	RW HS	Energy for Mobility - High Performance Batteries for Vehicles and Clean(er) Marine Transport
AKE 9.1–9.3	Tue	17:15–18:15	RW HS	Renewable Electricity: Grid and Deployment Aspects in Liberalised Energy Markets
AKE 10.1–10.2	Wed	14:00–15:00	RW HS	Sector Coupling and Production of Chemical Feedstock by Electrocatalytic Reduction of CO₂
AKE 11.1–11.1	Wed	15:00–15:30	RW HS	Geothermal Energy from Unconventional (Volcanic) Resources

AKE 12.1–12.1	Wed	15:30–16:15	RW HS	Submarine Energy and Mineral Resources
AKE 13.1–13.1	Wed	16:15–16:45	RW HS	Nuclear Fusion - The ITER Project
AKE 14.1–14.1	Wed	16:45–17:15	RW HS	Nuclear Fission in the International Context

Annual General Meeting of the Working Group on Energy

The annual members' meeting of the AKE will be held during the AKE spring meeting in Bad Honnef on the late afternoon of April 19, 2018. No elections will be on the agenda.

AKE 1: Energiewende in the Earth's Solar Belt

Time: Monday 10:30–11:30

Location: B 0.014

Invited Talk AKE 1.1 Mon 10:30 B 0.014
Strom und Gas aus der Wüste als Option für eine globale Energiewende — ●MICHAEL DÜREN — Univ. Gießen, Germany

In einem zukünftigen erneuerbaren Energiesystem werden Solarenergie und Windenergie den Hauptbeitrag zur Energieversorgung liefern müssen. Die günstigsten Standorte zur Energieerzeugung werden dementsprechend die sonnenreichen Wüsten und die windreichen Meeres- und Küstengebiete sein, da dort der Ertrag größer und die Volatilität kleiner ist als an anderen Standorten. Die verbleibenden Leistungsschwankungen dieser beiden Hauptquellen müssen durch eine komplexe Kombination aus Biomasse, Wasserkraft, kurzfristiger und langfristiger Energiespeicherung, internationalem Energiehandel und Lastmanagement aufgefangen werden.

Eine kostengünstige Option für die Langzeitspeicherung erneuerbarer Energien stellen Gasspeicher dar. Das oft diskutierte DESERTEC-Konzept bekommt in diesem Zusammenhang wieder erhöhte Bedeutung: Die 2- bis 3-fach größere Solareinstrahlung in der Sahara macht die Energieverluste bei der Konversion der Energie zu Wasserstoff wieder wett, so dass neben einem Stromimport über neu zu schaffende HGÜ-Stromleitungen auch ein Gasimport über bereits existierende Gaspipelines sinnvoll erscheint. Schon heute sind Solarkraftwerke in vielen Wüstenregionen marktwirtschaftlich konkurrenzfähig [1].

[1] Michael Düren, Understanding the Bigger Energy Picture - DESERTEC and Beyond, SpringerBriefs in Energy, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57966-5>

Invited Talk AKE 1.2 Mon 11:00 B 0.014

Aquifer thermal energy storage systems ensuring continuous cooling in arid climates compared to applications in Europe — ●FELINA SCHÜTZ, GERD WINTERLEITNER, CHRISTIAN WENZLAFF, and ERNST HUENGES — GFZ Potsdam, Germany

About half of the electricity consumption in Oman is used for cooling. Therefore, low electricity consumption technologies are investigated with the components solar heating, absorption chiller, and heat storage systems. In an aquifer thermal energy storage (ATES) energy is stored in groundwater horizons via hot (or cold) water injection. In general, an ATES system is designed as a doublet consisting of a warm and a cold well which simultaneously inject and extract water, respectively. This storage system was successfully demonstrated at the German Parliament Buildings in Berlin. There, the ATES is charged with surplus heat in summertime. In wintertime, the ATES is discharged to supply the buildings with heat (45°C and 30°C for flow and return). In an aride climate such a storage system can be used to support thermally driven cooling comprising of an absorption chiller which requires driving temperatures of 70*140°C, provided by a solar thermal plant. The stored energy can be used as auxiliary energy during peak demand and night times when no solar energy is available. This requires daily charging and discharging cycles which is in contrast to seasonal ATES applications in Europe. A further special challenge in the harsh climate of Oman is the cold side of the absorption chiller. As part of the low electricity consumption chiller technology concept of this study we analyze heat rejection to the underground at the site in Oman.

AKE 2: Energiewende - Konzepte zur Wärmewende

Time: Monday 11:30–12:30

Location: B 0.014

Invited Talk AKE 2.1 Mon 11:30 B 0.014
Wärmewende weltweit: Mit solider Physik kann das gelingen — ●WOLFGANG FEIST — Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen Universität Innsbruck; Technikerstr. 13; A-6020 Innsbruck

Wärme- und Stofftransport können zuverlässig durch die bekannten Gleichungen (Fourier, Navier-Stokes, Fick) behandelt werden. Numerische Lösungen in komplexen Fällen stellen keine Hürde mehr dar. Es resultieren einsetzbare Systemlösungen, die den Bedarf an zugeführter Energie um Faktoren von über fünf reduzieren, wie z.B. das Passivhaus. Zehntausende Objekte solcher Qualität wurden inzwischen gebaut und werden genutzt. Eine aussagekräftige Anzahl wurde systematisch messtechnisch begleitet und auch das Nutzerverhalten erforscht. Im Beitrag werden neben Beispielen die Erkenntnisse der Begleitforschung präsentiert: Die physikalischen Ansätze erweisen sich als valide. Die entscheidenden Parameter sind im mitteleuropäischen Klima Wärmedämmung, Wärmebrückenreduktion, niedrigemittierende Beschichtungen, Luftdichtheit der Hülle und Wärmerückgewinnung. Die Einsparziele wurden im Neubau und bei der Sanierung regelmäßig erreicht,

wenn korrekt gerechnet, geplant und ausgeführt wurde. Zugleich werden die Langlebigkeit der Bausubstanz erhöht, der Wohnkomfort und die Luftqualität verbessert. Alle Maßnahmen lassen sich in die normalen Abläufe (Fertigung, Planung, Detaillierung, Hochbau, Bauerneuerung) integrieren. Dadurch lassen sich die Zusatzkosten gering halten. Die Lösungen haben sich weltweit verbreitet; sie können das Gelingen der Wärmewende sicherstellen, wenn die Kenntnisse an die Handlungsträger vermittelt werden.

Invited Talk AKE 2.2 Mon 12:00 B 0.014
Die Rolle der Fernwärme bei der Energie- und Wärmewende — ●MANUEL RINK — Stadtwerke Karlsruhe GmbH

Welchen Beitrag kann und muss Fernwärme insbesondere in Ballungsräumen leisten, um die Energie- und Wärmewende erfolgreich zu gestalten? Welche Anforderungen werden dabei an Fernwärmesysteme gestellt, damit sie die zukünftigen Aufgaben erfüllen können? Wo sind aus heutiger Sicht Grenzen für Fernwärme bzw. wo bieten sich andere Versorgungsvarianten an?

AKE 3: Pathways for Biological Photosynthesis and Carbon Fixation

Time: Monday 14:00–14:30

Location: B 0.014

Invited Talk AKE 3.1 Mon 14:00 B 0.014
CETCH me if you can - Bringing inorganic carbon into life with synthetic CO₂ fixation — ●TOBIAS ERB — Max Planck Institut for Terrestrial Microbiology

Carbon dioxide (CO₂) is a potent greenhouse gas that is a critical factor in global warming. At the same time atmospheric CO₂ is a cheap and ubiquitous carbon source. Yet, synthetic chemistry lacks suitable catalysts to functionalize atmospheric CO₂, emphasizing the need to understand and exploit the CO₂ mechanisms offered by Nature.

In my talk I will discuss the evolution and limitation of naturally existing CO₂ fixing enzymes and pathways, present strategies for the engineering and design of artificial CO₂ fixation reactions and path-

ways (Peter et al. 2015), and outline how these artificial pathways can be realized and further optimized to create synthetic CO₂ fixation modules (Schwander et al. 2016).

An example for such a synthetic CO₂ fixation module is the CETCH cycle (Schwander et al. 2016). The CETCH cycle is an in vitro reaction network of 17 enzymes that was established with enzymes originating from nine different organisms of all three domains of life and optimized in several rounds by enzyme engineering and metabolic proofreading. In its version 5.4, the CETCH cycle converts CO₂ into organic molecules at a rate of 5 nanomoles of CO₂ per minute per milligram of protein. This is slightly faster than the photosynthetic CO₂ fixation process in plants under comparable conditions and notably at 20% less energy per CO₂ fixed.

AKE 4: Solid State based Artificial Photosynthesis

Time: Monday 14:30–15:00

Location: B 0.014

Invited Talk AKE 4.1 Mon 14:30 B 0.014
Solid State Photoelectrochemical Devices for Artificial Photosynthesis: State-of-the-Art and Perspectives — ●ROEL VAN DE KROL — Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Berlin, Germany — Technische Universität Berlin, Institut für Chemie, Berlin, Germany

The direct photo-electrochemical conversion of water and or CO₂ into chemical fuels represents an exciting new pathway for the combined conversion and storage of solar energy. I will give a brief overview of the recent efforts on solar water splitting, and discuss three important challenges in the field. The first challenge is to find semiconducting light absorbers that are efficient, chemically stable, and easy to synthesize. Our efforts focus on complex oxide semiconductors, such

as BiVO₄ and CuBi₂O₄. I will discuss how novel doping strategies can be used to enhance the charge separation in these materials, and show how ultrafast time-resolved spectroscopy can help to improve our understanding of the carrier dynamics. The second challenge is to enhance the electrochemical reaction kinetics, which is typically done by modifying semiconductor surfaces with electrocatalysts. Our understanding of the semiconductor/electrocatalyst interface is, however, still far from complete. Operando photoemission techniques can help us to get better insights in how solid/liquid interfaces behave under illumination. A third challenge is scale-up to large(r) areas, which I will illustrate with results on a 50 cm² BiVO₄-based solar fuel device for water splitting that was recently developed within the EU project PECDEMO.

AKE 5: Photovoltaics: Novel Approaches

Time: Monday 15:00–15:30

Location: B 0.014

Invited Talk AKE 5.1 Mon 15:00 B 0.014
Current developments and perspectives for polymer-based and metal-halide perovskite solar cells — ●THOMAS KIRCHARTZ — IEK5 Photovoltaik, Forschungszentrum Jülich GmbH, 52428 Jülich — Faculty of Engineering and CENIDE, University of Duisburg-Essen, Carl-Benz-Str. 199, 47057 Duisburg, Germany

The talk summarizes recent developments in polymer and metal-halide perovskite based solar cells and gives an overview over future challenges in basic understanding and device engineering. The development of polymer-based solar cells for years has been focused on optimizing the donor molecule (typically a polymer) which was then blended with fullerenes that served as the electron accepting molecule. Optimizing

of the energy levels of the donor molecules lead to efficiencies of about 11% but also to a stagnation of progress in recent years. Variation and optimization of the acceptor molecule was frequently attempted but was successfully incorporated only within the last two years in the form of a new class of small molecule acceptors that have quickly lead to promising new efficiencies of ~ 13%. In the case of metal-halide perovskites the efficiency development was extremely fast with the high open-circuit voltages being a peculiar feature for which a multitude of explanations was presented and discussed in the literature. Here we discuss the possible impact that relatively heavy elements such as Pb and I may have on non-radiative recombination as opposed to the situation in organics where light elements (in particular C) control the energy of vibrational modes.

AKE 6: Biomass in a future Energy Supply

Time: Monday 15:30–16:00

Location: B 0.014

Invited Talk AKE 6.1 Mon 15:30 B 0.014
(K)eine Wende ohne Bioenergie? - Die Rolle der Biomasse in unserer künftigen Energiewirtschaft — ●JÜRGEN KARL — Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Die deutsche Energiewende steht in der Kritik. Insbesondere die energetische Nutzung von Biomasse wird aufgrund des Landverbrauchs, Nahrungsmittelkonkurrenzen und hoher Kosten zunehmend in Frage gestellt. Aufbauend auf eine energiewirtschaftliche Wertung der Energiewende wird der Beitrag die mögliche Rolle der Bioenergie in unserer künftigen Energiewirtschaft diskutiert.

Vorgestellt werden neben traditionellen technischen Optionen zur Nutzwärmeerzeugung, der Stromerzeugung und der Kraft-Wärme-Kopplung insbesondere Technologien zur Nutzung biogener Rohstoffe für die Speicherung anderer Erneuerbarer Energien wie Wind und Sonne und die Herstellung synthetischer Biotreibstoffe. Zur dauerhaften Speicherung dieser fluktuierenden Ressourcen in chemischen Energieträgern stehen Power-to-Gas oder Power-to-X Technologien zunehmend in Konkurrenz zur der Speicherung von reinem Wasserstoff. CO₂-frei wird diese Speicherung nur dann, wenn nicht nur der Wasserstoff, sondern auch der Kohlenstoff der chemischen Speicher aus erneuerbaren Quellen stammt.

AKE 7: Wind Energy

Time: Monday 16:15–17:45

Location: B 0.014

Invited Talk AKE 7.1 Mon 16:15 B 0.014
Neue Entwicklungen in der Windenergieforschung - warum Windenergie ein spannendes Feld für die Physik ist — ●STEPHAN BARTH — ForWind - Zentrum für Windenergieforschung

Windenergieanlagen haben sich von einzelnen einfachen Konstruktionen zu den größten drehenden Maschinen der Welt entwickelt, die unter herausfordernden und sehr komplexen externen Bedingungen effizient und zuverlässig als System operieren müssen. Die rasante Entwicklung dieser Technologie stößt dabei immer wieder an die Grenzen des bisherigen Wissens. So erreichen die Windenergieanlagen z. B. Höhen, in denen bisher nur ein unvollständiges Bild von der turbulenten Ressource Wind vorliegt. Auch das Wechselspiel der Rotoren untereinander mit der und durch die Ressource kann bisher nur durch einfache Modelle beschrieben werden.

Um die Entwicklung und den Betrieb von Windenergieanlagen und Windparks auch zukünftig weiter zu optimieren und durch Innovationen voranzubringen ist ein genaues Verständnis der zugrundeliegenden physikalischen Prozesse genauso wichtig, wie die Anwendungen von Verfahren und Methoden der Physik. Von intelligenten Rotorblättern bis zu schwimmenden Anlagen - der Vortrag zeigt anhand von verschiedenen Facetten der Windenergie, warum dies ein attraktives Forschungsumfeld für die Physik ist.

AKE 7.2 Mon 16:45 B 0.014
Yaw-angle optimisation of wind farms based on a statistical meandering wake model — EMIL THOGERSEN¹, BO TRANBERG¹, JÜRGEN HERP², and ●MARTIN GREINER¹ — ¹Department of Engineering, Aarhus University — ²The Maersk Mc-Kinney Moller Institute,

University of Southern Denmark

The wake produced by a wind turbine is dynamically meandering and of rather narrow nature. Only when looking at large time averages, the wake appears to be static and rather broad, and is then well described by simple engineering models like the Jensen wake model (JWM). We generalise the latter deterministic models to a statistical meandering wake model (SMWM), where a random directional deflection is assigned to a narrow wake in such a way that on average it resembles a broad Jensen wake. In a second step, the model is further generalised to wind-farm level, where the deflections of the multiple wakes are treated as independently and identically distributed random variables. When carefully calibrated to the Nysted wind farm, the ensemble average of the statistical model produces the same wind-direction dependence of the power efficiency as obtained from the standard Jensen model. Upon using the JWM to perform a yaw-angle optimisation of wind-farm power output, we find an optimisation gain of 6.7% for the Nysted wind farm when compared to zero yaw angles and averaged over all wind directions. When applying the obtained JWM-based optimised yaw angles to the SMWM, the ensemble-averaged gain is calculated to be 7.5%. This outcome indicates the possible operational robustness of an optimised yaw control for real-life wind farms.

AKE 7.3 Mon 17:00 B 0.014

Windfinsternis als Ergebnis einer Sprungfunktion in der EEG-Vergütung — ●GUNNAR KAESTLE — Clausthal-Zellerfeld, Deutschland

Aufgrund der Vorgaben der europäischen Kommission (keine Förderung bei negativen Preisen) zur Genehmigung von staatlichen Beihilfen findet sich in §51EEG 2017 die Regel, dass bei einer Phase von 6 Stunden oder länger mit negativen Preisen am Spotmarkt die Förderung gestrichen wird.

Diese Regel entspricht einer Sprungfunktion in der Vergütung, die bei kleiner Veränderung des Systems - ablesbar am Marktpreis - eine substantielle Änderung der Vergütungsfunktion bewirkt. Ein erheblicher Teil von EE-Erzeugungsanlagen (aktuell sind rund 10 GW installierter Kapazität mit Inbetriebnahme ab Januar 2016 von dem §51 EEG betroffen) erhält den Anreiz, herunterzufahren. Zu Erhaltung der Systembilanz muss die gleiche Leistung hochfahren. Hierbei reicht es nicht, auf eine ausgeglichene Bilanz innerhalb der üblichen 15min-Abrechnungszeiträume zu achten, sondern das Herunter- und Hochfahren unterschiedlicher Marktakteure muss um Sekundenmaßstab synchronisiert erfolgen, um schädlichen Auswirkungen auf die Frequenzstabilität zu vermeiden.

Hierbei ist ähnlich wie bei der Sonnenfinsternis im März 2015 die Herausforderung für Übertragungsnetzbetreiber der hohe Leistungsgradient und weniger der Verlust an erzeugter Energie. Der Beteiligte soll die möglichen Auswirkungen der negative-Preise-Regel diskutieren, Lösungsmöglichkeiten aufzeigen und Akteure sensibilisieren.

AKE 7.4 Mon 17:15 B 0.014

Reduction of a finite electrical system to a two machine

model — ●MARIOS ZARIFAKIS^{1,2}, STEPHEN CARRIG^{1,2}, and WILLIAM COFFEY² — ¹Electricity Supply Board, Generation & Wholesale Markets, Dublin 3, Ireland — ²Department of Electronic and Electrical Engineering, Trinity College, Dublin 2, Ireland

The ever-present requirement to decarbonize energy generation, consequently the impetus to increase energy levels from sustainable sources means that wind turbines and solar photovoltaic installations have become major energy pool contributors. Invariably studies of isolated island grids (e.g. Ireland) indicate that increase of these sources weakens the ability of the frequency in the transmission and distribution system to remain stable after transient disturbances due to ensuing decreased inertia in the grid. Therefore, maximizing the renewable energy level on a transmission system when the grid inertia is low without compromising the safety and integrity of the existing generator assets is essential and must be examined. Hence a robust approach, which allows a solid understanding of low inertia grids based on dynamical models which may oscillate about a temporary equilibrium orientation, describing the response of the grid and the connected conventional generating assets to transient frequency changes, needs to be developed. These models are inspired by previous applications in statistical mechanics and classical electrical models. The governing nonlinear equations of motion are solved by adapting techniques similar to those developed for stochastic differential equations.

AKE 7.5 Mon 17:30 B 0.014

IT-Sicherheit für die vernetzten cyber-physikalischen Komponenten zukünftiger Energiesysteme — ●KATHRIN REIBELT, GHADA EL BEZ, OLIVER SCHNEIDER, JÖRG MATTHES und HUBERT B. KELLER — Institut für Angewandte Informatik, KIT, Karlsruhe

Im Zuge der Energiewende werden die großen Kraftwerksblöcke zunehmend ersetzt durch kleinere, verteilte Kraftwerke. Das bedingt eine Umstellung auf Remotesteuerung, die aufgrund der großen Zahl der Anlagen über das Internet realisiert wird. Die bisher verfolgte Strategie zur Absicherung kritischer Infrastruktur, die auf mechanische Abschottung der informationstechnischen Komponenten setzt, ist damit nicht mehr anwendbar. Die Verbindung mit den physikalischen Komponenten in den Kraftwerken, Transformatoren und anderen cyber-physikalischen Systemen eröffnet zusätzliche Angriffsvektoren. Deren Folgen reichen von wirtschaftlichen Schäden über mechanische Beschädigungen bis hin zur Zerstörung der Anlagen. Gleichzeitig ermöglicht die Verschmelzung von informationstechnischem und physikalischem Teil (z.B. Rotor eines Windrades) eine neue Form der Absicherung. Die physikalischen Komponenten gehorchen physikalischen Gesetzen, die in einem Modell der Anlage abgebildet werden können. Durch Redundanzen im System können Abweichungen zwischen in der IT abgebildeten Systemzuständen und normalem, physikalisch möglichem Systemverhalten erkannt und auf ihre Ursache untersucht werden. Das erstellte Modell erlaubt auch Analysen zu Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten mehrerer Fehler, zur Sicherheit des Systems und deren Verbesserung und zu Maßnahmen gegen Cyberangriffe.

AKE 8: Energy for Mobility - High Performance Batteries for Vehicles and Clean(er) Marine Transport

Time: Tuesday 16:15–17:15

Location: RW HS

Invited Talk

AKE 8.1 Tue 16:15 RW HS

Performance analysis of Lithium-ion-batteries: status and prospects — ●ELLEN IVERS-TIFFÉE, PHILIPP BRAUN, and MICHAEL WEISS — Institute for Applied Materials (IAM-WET), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), D 76131 Karlsruhe, Germany

The electrode microstructure, i.e., the distribution of active material, carbon black, and pore phase, as well as surface area and tortuosity strongly affects the overall performance of Lithium-ion-batteries. Contributions by ohmic resistance R_0 , contact resistance R_{CC} , charge transfer resistance R_{CT} and solid-state diffusion resistance R_{Diff} , which all occur with different time constants, have been quantified for various state-of-the-art Lithium-ion-batteries by a combination of (i) electrochemical impedance spectroscopy measurements (EIS) with (ii) time-domain measurements (TDM).

A newly developed one-dimensional model for Lithium-ion batteries is presented, which simulates battery performance by linking two phase transmission line models for both electrodes with an ohmic resis-

tance for the liquid electrolyte. Variations of (i) electrical parameters, i.e. ionic and electronic conductivity, (ii) electrochemical parameters, i.e. charge transfer resistance and solid-state diffusion, and, (iii) microstructure parameters, i.e. phase tortuosity and electrode thickness, indicate the most important material and design parameters for high-performance batteries.

Invited Talk

AKE 8.2 Tue 16:45 RW HS

Clean Energy Revolution in Sea Transport — ●CHRISTOPH KANDZIORA — Siemens AG, Erlangen

Since years the conflict between groups with focus on environmental protection and concerned residents versus the city of Hamburg on whether the excavation of the Elbe river to give bigger container ships access to the Hamburg port is in the news. These enormous ships cannot only carry more goods than their predecessors but also have to fulfill more and more strict regulations especially regarding air pollution. To compete with these regulations the shipbuilding industry

and their suppliers have to think about new propulsion systems. For example conventional diesel engines need to be enhanced with the possibility to run on LNG. Additionally new ways of power generation and

usage like fuel cells or additional efficiency measures need to be considered. Finally all these measures have big impact on the installation on board of vessels, e.g. on the power grid.

AKE 9: Renewable Electricity: Grid and Deployment Aspects in Liberalised Energy Markets

Time: Tuesday 17:15–18:15

Location: RW HS

Invited Talk

AKE 9.1 Tue 17:15 RW HS

Zum optimalen Zubau von Netzkapazität und Erneuerbaren Energien im liberalisierten Strommarkt — ●VERONIKA GRIMM — FAU Erlangen-Nürnberg, School of Business and Economics, Lange Gasse 20, 90403 Nürnberg, Germany

Der Vortrag basiert auf dem Gutachten "Regionalkomponenten bei der EE-Vergütung" für die Monopolkommission aus dem Jahr 2017. In dem Gutachten wird ein mehrstufiges Strommarktmodell genutzt, um die langfristigen Auswirkungen der Rahmenbedingungen am Strommarkt auf Investitions- und Produktionsanreize in Netz- und Erzeugungskapazitäten zu analysieren. Im Fokus stehen dabei verschiedene Szenarien für den regionalen Zubau von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien. Die Studie zeigt, dass verbrauchsnahe, dezentrale Standorte im Vergleich mit den aktuell avisierten, vornehmlich am Ertrag der Anlagen orientierten, Standorten zu einer höheren Systemeffizienz führen. Regional differenzierte Förderung erneuerbarer Energien kann lastnahe Standorte ermöglichen und den erforderlichen Netzausbau reduzieren. Die Monopolkommission hat die Vorschläge in ihrem Sondergutachten Energie2017 aufgegriffen und entsprechende Empfehlungen zur Anpassung der aktuellen Förderpraxis formuliert.

AKE 9.2 Tue 17:45 RW HS

Flow-tracing and nodal cost allocation in a heterogeneous highly renewable European electricity network — BO TRANBERG¹, LEON SCHWENK-NEBBE², MIRKO SCHÄFER¹, JONAS HÖRSCH³, and ●MARTIN GREINER¹ — ¹Department of Engineering, Aarhus University — ²DONG Energy — ³Frankfurt Institute for Advanced Studies

For a cost efficient design of a future renewable European electricity system, the placement of renewable generation capacity will seek to exploit locations with good resource quality, that is for instance onshore wind in countries bordering the North Sea and solar PV in South European countries. Regions with less favorable renewable generation conditions benefit from this remote capacity by importing the respective electricity as power flows through the transmission grid. The resulting intricate pattern of imports and exports represents a challenge for the analysis of system costs on the level of individual countries. Using

a tracing technique, we introduce flow-based nodal levelized costs of electricity (LCOE) which allow to incorporate capital and operational costs associated with the usage of generation capacity located outside the respective country under consideration. This concept and a complementary allocation of transmission infrastructure costs is applied to a simplified model of an interconnected highly renewable European electricity system. We observe that cooperation between the European countries in a heterogeneous system layout does not only reduce the system-wide LCOE, but also the flow-based nodal LCOEs for every country individually.

AKE 9.3 Tue 18:00 RW HS

Wie klimawirksam ist der PV-Zubau in Deutschland ? — ●NIKOLAUS VON DER HEYDT — Institut für Umweltphysik Göttingen - Physik zum Leben - , 37136 Landolfshausen

Neue Analysen der weltweit vernetzten Prozessketten zur Herstellung von Si-Photovoltaik-Anlagen (IEA 2011 bis 2016) ergeben, dass dabei global je kWp etwa 2,6 t CO₂eq in die Atmosphäre gelangen, bevor die Anlagen in Deutschland in Betrieb gehen. Danach können sie hier pro Jahr durchschnittlich 475 Kg/kWp vermeiden, indem sie den aktuellen deutschen Strommix ersetzen. Damit dauert es 5,5 Jahre, bis ein jedes Jahr gleicher PV-Zubau eine Kapazität aufgebaut hat, die pro Jahr hier eben soviel CO₂ vermeidet wie der Zubau global verursacht. Bis dahin wächst die CO₂-Menge in der Atmosphäre an, bei z.B. 6 GWp/a auf 43 Mt. Danach überwiegt die Vermeidung, und nach 11 Jahren ist die CO₂-Schuld getilgt. – Wirksamer Klimaschutz erfordert es, die CO₂-Last des deutschen Strommix in 10 Jahren auf ca. 100 g/kWh zu senken, z.B. durch Ersatz von Braunkohle durch Windkraft mit Gas-KWK. Dann könnten deutsche PV-Anlagen je kWp nur noch 84 Kg/a vermeiden, und eine konstant wachsende PV-Kapazität könnte erst nach 30 Jahren die jährliche globale Herstellungs-Emission gerade kompensieren. Soll danach die erreichte Kapazität erhalten werden, müsste die bis dahin in der Atmosphäre angesammelte CO₂-Menge für immer dort bleiben. Bei z.B. 6 GWp/a wären das 233 Mt. Mit Akkus und Freiland-Aufständerungen verdoppelt sich die Herstellungs-Emission mindestens, das bedeutet die 4-fache angesammelte CO₂-Menge. Im Beispiel sind das 932 Mt - die deutsche Jahresemission.

AKE 10: Sector Coupling and Production of Chemical Feedstock by Electrocatalytic Reduction of CO₂

Time: Wednesday 14:00–15:00

Location: RW HS

Invited Talk

AKE 10.1 Wed 14:00 RW HS

Sektorenkopplung - Potenziale und Optionen für die nächste Phase der Energiewende — ●CYRIL STEPHANOS — acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

Die Energiewende geht in die nächste Phase. War sie bisher vor allem auf die Stromerzeugung konzentriert, müssen nun in allen Sektoren die CO₂-Emissionen gesenkt werden. Dafür ist ein systemübergreifender Ansatz notwendig: die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr müssen verknüpft werden und zusammen wachsen. Die Arbeitsgruppe „Sektorenkopplung“ des Akademienprojekts „Energiesysteme der Zukunft“ hat die Potenziale und Herausforderungen eines integrierten Energiesystems untersucht. Ein klares Ergebnis: Strom aus erneuerbaren Energiequellen wird dabei zum wichtigsten Energieträger. Technologien wie Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen werden in Zukunft eine Schlüsselrolle einnehmen. Aber auch synthetische Brennstoffe und Kraftstoffe wie Wasserstoff und Methan werden voraussichtlich unverzichtbar sein. Ein kompletter Umbau zu einer annähernd CO₂-neutralen Energieversorgung ist jedoch mit erheblichen Kosten verbunden, wie systemübergreifenden Rechnungen zeigen. Gleichzeitig müssen aber auch die Chancen für Deutschland betont werden, wie die Entwicklung zukunftsfähiger Technologien und Beschäftigungseffekte. Klug gesetzte Rahmenbedin-

gungen sind notwendig, damit die Kosten nicht weiter steigen. Zentrales Steuerungselement dafür ist ein starker, einheitlicher CO₂-Preis über alle Sektoren hinweg. Dieser sollte durch zusätzliche Maßnahmen wie finanzielle Anreize oder die Kofinanzierung von Infrastrukturen ergänzt werden, um sektorspezifische Hindernisse zu überwinden.

Invited Talk

AKE 10.2 Wed 14:30 RW HS

CO₂ to Value: Single Step Direct Electrocatalytic Reduction of CO₂ Toward CO and Hydrocarbons — ●GUENTER SCHMID — Siemens AG, CT REE PXS, Guenther-Scharowsky-Strasse 1, 91058 Erlangen

Switching from fossil based to renewable power generation requires the installation of large overcapacities of wind and solar due to their intermittency. Storage or conversion possibilities are essential due to the volatility of electricity. Economic feasibility is difficult when considering the low fossil energy carrier prices and the physical efficiency limitations of the processes. Therefore, we choose to focus on high-volume chemical feedstock such as Ethylene or CO, where the chemical value exceeds by far its pure heating value.

Electrocatalysts facilitate the conversion of CO₂ to valuable base chemical feedstock. For selectivity improvements substantial advances

in electrode design are required and described.

CO could be obtained with faradaic efficiencies (FE) over 90% at current densities exceeding the industrially necessary level of several hundred mA/cm² with a total energy efficiency approaching 50%. Faradaic efficiencies up to 57% for ethylene at current densities

above 150 mA/cm² could be obtained using in-situ-deposited nanostructured copper based electro catalysts. Liquid product analysis of the electrolyte revealed a strongly pronounced formation of ethanol (> 20% FE) accompanied by a wide range of C1-C3 alcohols, carboxylates and ketones with yields up to 5%.

AKE 11: Geothermal Energy from Unconventional (Volcanic) Resources

Time: Wednesday 15:00–15:30

Location: RW HS

Invited Talk AKE 11.1 Wed 15:00 RW HS
Geothermal energy - from conventional to unconventional resources — ●EGBERT JOLIE, ERNST HUENGENS, and DAVID BRUHN — GFZ German Research Centre For Geosciences, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Germany

Since conventional geothermal resources are successfully explored and utilized in various regions around the world, research activities started focusing on solutions for different, so far untouched resources. Therefore, unconventional geothermal systems such as Enhanced Geothermal Systems received more and more attention for geothermal exploitation during the past decades. In addition, the development and

exploitation of high-temperature geothermal fields with supercritical conditions are emerging as a new hot topic in various parts of the world. These resources provide a large potential for the future development of the geothermal sector; however, they require also extensive research efforts in the fields of exploration, resource assessment, reservoir characterization and development of exploitation and utilization concepts. Currently, several projects are targeting this type of renewable energy resource in Italy, Iceland, Japan, USA, Mexico, New Zealand and Kenya. As an example the GEMex project will be presented, which is a collaboration effort of a Mexican and European consortium on two unconventional geothermal resources in the Trans-Mexican Volcanic Belt.

AKE 12: Submarine Energy and Mineral Resources

Time: Wednesday 15:30–16:15

Location: RW HS

Invited Talk AKE 12.1 Wed 15:30 RW HS
Geophysikalische Untersuchungen von Rohstoffen im Meer - Exploration und Nutzungsperspektiven — ●KATRIN SCHWALENBERG — Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Viele Rohstoffe für den täglichen Gebrauch schlummern im Meer. Dazu gehören konventionelle Energierohstoffe wie Erdöl und Erdgas, unkonventionelle Energierohstoffe wie submarine Gashydrate, sowie mineralische Rohstoffe wie Manganknollen und sulfidische Erzkvorkommen, beide mit hohen Anteilen an wirtschaftlich relevanten Metallen. Geophysikalische Messmethoden helfen dabei, die Rohstoffe zu finden und ihr Potenzial abzuschätzen. Der Einsatz der physikalischen Messsysteme auf Forschungsschiffen im salzhaltigen Meerwasser in Wassertiefen von mitunter mehreren Kilometern stellt Wissenschaftler, Ingenieur

re und Schiffsmannschaft vor oftmals große Herausforderungen. Dazu kommen politische und Umweltaspekte: Jenseits der Ausschließlichen Wirtschaftszone (200 Meilenzone) der Küstenstaaten gelten die offenen Weltmeere als "Erbe der Menschheit". Die Regeln, nach denen hier nach mineralischen Rohstoffen unter welchen Bedingungen gesucht werden darf, beruhen auf den Regulierungen der UN-Konvention zum Seerecht und werden von der Internationalen Meeresbodenbehörde mit Sitz in Jamaika überwacht. In meinem Vortrag stelle ich Ihnen zwei Projekte vor, in denen geophysikalische Methoden zur Exploration submariner Rohstoffe beitragen: 1) Projekt SUGAR - Erkundung submarine Gashydrat-Vorkommen; und 2) Projekt INDEKX - Deutsche Explorationslizenz (für Massivsulfidvorkommen) im Indischen Ozean.

15 min. break

AKE 13: Nuclear Fusion - The ITER Project

Time: Wednesday 16:15–16:45

Location: RW HS

Invited Talk AKE 13.1 Wed 16:15 RW HS
Progress in ITER construction and in the preparations for operation — ●DAVID J CAMPBELL — (formerly) ITER Organization, Route de Vinon-sur-Verdon, F-13067 St-Paul-lez-Durance, France

The ITER project is a critical step in the development of fusion energy: its role is to confirm the feasibility of exploiting magnetic confinement fusion for the production of energy for peaceful purposes by providing an integrated demonstration of the physics and technology required for a fusion power plant. At the core of the facility, the ITER tokamak will confine a plasma heated to temperatures in the region of 100 - 200 million K, in which deuterium-tritium fusion reactions will produce up to 500 MW of fusion power for periods of at least several hundred seconds. Rapid progress is being made in on-site construction, in

producing components for the tokamak, plant and auxiliary systems, and in preparations for on-site installation. Recently, a major update of the ITER baseline schedule and resource estimate has been undertaken, which was endorsed by the ITER Council in November 2016. The revised schedule foresees an earliest technically achievable date for First Plasma of December 2025 (subject to the Members' budget approval) and a target date for the transition to D/DT operation of late 2035. The presentation will introduce the physics basis for the project, review the current status of construction, highlight the progress which is being made in manufacturing and supporting technology R&D activities, and outline the scientific research programme being planned to advance from First Plasma to significant fusion power production in DT plasmas.

AKE 14: Nuclear Fission in the International Context

Time: Wednesday 16:45–17:15

Location: RW HS

Invited Talk AKE 14.1 Wed 16:45 RW HS
The Role of Nuclear Power in the World — ●LUDGER MOHRBACH — VGB PowerTech e.V., Essen

Over now only one human generation lifetime, the image, role and ac-

ceptance of nuclear power seem to have u-turned from saviour to satan. With global warming now posing an unprecedented threat to civilization, sustainable solutions are urgently requested and required. While obviously renewable energies are playing a strongly increasing role, in

many parts of the world nuclear is part of a climate-relevant forward strategy with novel reactor types being under development from the present devices towards, inter alia, the so-called Generation IV aiming at enhanced safety and economical-operational qualities.

The presentation will outline major elements of the international situation of nuclear power and its development. As can be expected, key motivations for the implementation of nuclear power originate, in

particular, from the different availability of national or regional energy resources and national political perspectives but also from considerations that intermittent renewable energy will remain, in the foreseeable future, dependent on backup systems at power levels close to the demand. It will become apparent that controversies of some 70 years of nuclear history still continue to be elements of today's discussion.

The presentation is planned to be held in german language.