

## Working Group on Energy Arbeitskreis Energie (AKE)

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

### Overview of Invited Talks and Sessions

(Lecture hall H8)

#### Invited Talks

AKE 1.1	Mon	13:30–14:00	H8	<b>Elektrische Energiespeicherung mit Flüssigmetallen und Salzschnmelzen</b> — •TOM WEIER, GERRIT M. HORSTMANN, STEFFEN LANDGRAF, MICHAEL NIMTZ, PAOLO PERSONNETTAZ, FRANK STEFANI, NORBERT WEBER
AKE 1.2	Mon	14:00–14:30	H8	<b>Hydrogen and e-fuels – energy systems, technology, and projects</b> — •ALEXANDER TREMEL
AKE 2.1	Mon	14:30–15:00	H8	<b>NOx und andere luftverunreinigende Stoffe in der Außenluft und in Innenräumen: Ursachen und Wirkung</b> — •TUNGA SALTHAMMER
AKE 2.2	Mon	15:15–15:45	H8	<b>Highly Efficient Monolithic Tandem Devices with Perovskite Top Cells</b> — •STEVE ALBRECHT
AKE 2.3	Mon	15:45–16:15	H8	<b>Limits to wind energy: From the physical basis to practical implications</b> — •AXEL KLEIDON
AKE 3.1	Tue	10:00–10:30	H8	<b>Zur Energiewende: Zweispeicher-Modell und Pumpspeicherkraftwerke im aufgelassenen Tagebauloch</b> — •GERHARD LUTHER, HORST SCHMIDT-BÖCKING
AKE 3.2	Tue	10:30–11:00	H8	<b>Bioenergy: Chances and Pitfalls</b> — •KATJA BÜHLER
AKE 3.3	Tue	11:15–11:45	H8	<b>Import options for chemical energy carriers from renewable sources to Germany</b> — •JOHANNES HAMPP, MICHAEL DÜREN, TOM BROWN
AKE 3.4	Tue	11:45–12:15	H8	<b>Geothermal Energy: Risks and benefits of utilizing hot fluids from the deep underground</b> — •HANNES HOFMANN, SIMONA REGENSPURG, ERNST HUENGES
AKE 3.5	Tue	12:15–12:45	H8	<b>Einsatz bildgebender Messverfahren und numerischer Modellierungswerkzeuge für die Verbesserung der Energieeffizienz industrieller Mehrphasenprozesse</b> — •UWE HAMPEL
AKE 4.1	Tue	13:30–14:00	H8	<b>Nukleare Entsorgung im Kontext der internationalen Nutzung der Kernenergie</b> — •THORSTEN STUMPF
AKE 4.2	Tue	14:00–14:30	H8	<b>Nuclear fusion on the way to ITER and beyond</b> — •THOMAS PÜTTERICH, THE ASDEX UPGRADE TEAM
AKE 4.3	Tue	14:30–15:00	H8	<b>Hochbelastbare Materialien für die Kernfusion: Entwicklungen und Perspektiven</b> — •CHRISTIAN LINSMEIER

#### Invited talks of the joint symposium **Climate and energy: Challenges and options from a physics perspective (SYCE)**

See SYCE for the full program of the symposium.

SYCE 1.1	Thu	13:30–14:00	Audimax 1	<b>The challenge of anthropogenic climate change - Earth system analysis can guide climate mitigation policy</b> — •MATTHIAS HOFMANN
SYCE 1.2	Thu	14:00–14:30	Audimax 1	<b>Towards a carbon-free energy system: Expectations from R&amp;D in renewable energy technologies</b> — •BERND RECH, RUTGER SCHLATMANN

SYCE 1.3	Thu	14:30–15:00	Audimax 1	<b>Decarbonizing the Heating Sector - Challenges and Solutions</b> — •FLORIAN WEISER
SYCE 1.4	Thu	15:15–15:45	Audimax 1	<b>A carbon-free Energy System in 2050: Modelling the Energy Transition</b> — •CHRISTOPH KOST, PHILIP STERCHELE, HANS-MARTIN HENNING
SYCE 1.5	Thu	15:45–16:15	Audimax 1	<b>The transition of the electricity system to 100% renewable energy: agent-based modeling of investment decisions under climate policies</b> — •KRISTIAN LINDGREN

## Sessions

AKE 1.1–1.2	Mon	13:30–14:30	H8	<b>Thermische und chemische Energiespeicher</b>
AKE 2.1–2.3	Mon	14:30–16:15	H8	<b>Technologien für die Energiewende und ihre Implikationen I</b>
AKE 3.1–3.5	Tue	10:00–12:45	H8	<b>Technologien für die Energiewende und ihre Implikationen II</b>
AKE 4.1–4.3	Tue	13:30–15:00	H8	<b>Herausforderungen bei nuklearen Energietechnologien</b>

## AKE 1: Thermische und chemische Energiespeicher

Time: Monday 13:30–14:30

Location: H8

### Invited Talk

AKE 1.1 Mon 13:30 H8

**Elektrische Energiespeicherung mit Flüssigmetallen und Salzschnmelzen** — ●TOM WEIER, GERRIT M. HORSTMANN, STEFFEN LANDGRAF, MICHAEL NIMITZ, PAOLO PERSONNETTAZ, FRANK STEFANI und NORBERT WEBER — Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf, Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden, Deutschland

Stationäre Elektroenergiespeicher können helfen, momentane Differenzen von Elektrizitätsangebot und -nachfrage zu balancieren. Mit zunehmender Nutzung volatiler Stromquellen wird diese Aufgabe wichtiger. Dabei stehen verschiedene Speichertechnologien untereinander, aber auch mit Alternativen im Wettbewerb.

Flüssigmetallbatterien sind Hochtemperaturspeicher. Sie basieren auf der stabilen Dichteschichtung eines Alkalimetalls, einer Salzschnmelze und eines Schwermetalls. Vermittelt durch die hohe Betriebstemperatur, die über den Schmelztemperaturen der einzelnen Phasen liegen muss, verlaufen Grenzflächenreaktionen und Transportvorgänge sehr rasch, was in hohen Strom- und Leistungsdichten resultiert. Der vollständig flüssige Zellinhalt ermöglicht einerseits eine konzeptionell einfache Skalierbarkeit auf Zellebene, die sehr günstige energiebezogene

Investitionskosten verspricht. Andererseits gewinnen durch den flüssigen Aggregatzustand strömungsmechanische Vorgänge, die eng an den Ladungstransport und -übergang gekoppelt sind, stark an Bedeutung.

Der Vortrag wird sowohl ausgewählte physikalische Phänomene in Flüssigmetallbatterien vorstellen, als auch ihre mögliche Rolle in einem zukünftigen Energiesystem diskutieren.

### Invited Talk

AKE 1.2 Mon 14:00 H8

**Hydrogen and e-fuels – energy systems, technology, and projects** — ●ALEXANDER TREMEL — Siemens Energy, New Energy Business, Erlangen, Germany

Electricity is traditionally the most valuable form of energy – from a thermodynamic and economic perspective. This paradigm is likely to erode in the coming years since renewable power generation will be among the lowest cost energy options in many countries of the world. Power-to-X technologies are suited for the conversion of fluctuating renewable electricity and provide hydrogen and e-fuels. The presentation will outline recent developments in energy systems and will focus on technology and projects in the Power-to-X value chain.

## AKE 2: Technologien für die Energiewende und ihre Implikationen I

Time: Monday 14:30–16:15

Location: H8

### Invited Talk

AKE 2.1 Mon 14:30 H8

**NOx und andere luftverunreinigende Stoffe in der Außenluft und in Innenräumen: Ursachen und Wirkung** — ●TUNGA SALTHAMMER — Fraunhofer WKI, Bienroder Weg, 38108 Braunschweig

Regional gesehen wirken sich die derzeitigen klimatischen Veränderungen sehr unterschiedlich aus, da neben den Treibhausgasen auch die Freisetzung von Luftschadstoffen wie Partikel, Ozon und NOx eine wichtige Rolle spielt. Für die in Deutschland herrschenden Verhältnisse sind mögliche Auswirkungen des Klimawandels bereits recht gut untersucht. Umso mehr überrascht es, dass Aussagen zu den möglichen Konsequenzen für das im Innenraum herrschende Mikroklima bislang weitgehend fehlen. Aber auch im Innenraum selbst sind viele potentielle Quellen vorhanden, die zur Bildung von Partikeln und NOx führen. Dies sind in der Regel diverse Verbrennungsprozesse, insbesondere Kerzen, Ethanolöfen, holzbefeuerte Öfen und nach wie vor das Rauchen. Ozon wird heute im Wesentlichen von Luftreinigern und andere elektrischen Geräten in die Raumluft freigesetzt. Darüber hinaus tragen die durch Reaktionen von NOx und Ozon mit ungesättigten Kohlenwasserstoffen entstehenden Abbauprodukte und gebildeten Nanopartikel ebenfalls zur Innenraumluftbelastung bei. Unter Berücksichtigung der Bildungsmechanismen von Partikeln, NOx, Ozon und weiterer luftverunreinigender Stoffe in Innen- und Außenluft, sowie unter Einbeziehung klimatischer Parameter, lassen sich zeitliche Trends analysieren und Annahmen über zukünftige Entwicklungen treffen, was ggf. Konsequenzen für Neu- und Bestandsbauten sowie für zukünftiges Wohnverhalten bedingt.

### 15 min. break

### Invited Talk

AKE 2.2 Mon 15:15 H8

**Highly Efficient Monolithic Tandem Devices with Perovskite Top Cells** — ●STEVE ALBRECHT — Helmholtz-Center Berlin, Young Investigator Group Perovskite Tandem Solar Cells

Integrating metal halide perovskite top cells with crystalline silicon

or CIGS bottom cells into monolithic tandem devices has recently attracted increased attention due to the high efficiency potential of these cell architectures. To further increase the tandem device performance to a level well above the best single junctions, optical and electrical optimizations as well as a detailed device understanding of this advanced tandem architecture need to be developed. In this talk, Prof. Albrecht will present the recent results on monolithic tandem combinations of perovskite with crystalline silicon and CIGS, as well as tandem relevant aspects of perovskite single junction solar cells. Finally, it will be shown how utilization of a self-assembled molecular monolayer (SAM) and fine tuning of the perovskite band gap in perovskite/silicon tandem solar cells further improved the efficiency to 27.5% and to 23.3% for perovskite/CIGS tandems, the latter being a certified world record efficiency.

### Invited Talk

AKE 2.3 Mon 15:45 H8

**Limits to wind energy: From the physical basis to practical implications** — ●AXEL KLEIDON — Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena

Wind energy plays an increasing role in the transition to a carbon-free sustainable energy system. In this talk, I first use thermodynamics to describe how and how much wind energy is generated by the atmosphere from differences in radiative heating. I then show that only a fraction of the kinetic energy can at best be used as renewable energy because the more wind turbines draw energy from the atmosphere at the regional scale, the lower the wind speeds, thus lowering power output and efficiencies of wind turbines. This results in much lower wind power potentials of about 0.5 Watt per square meter of surface area at the regional scale than estimates that are based on observed wind fields and that neglect the effects that wind turbines have on the atmosphere. I demonstrate the practical implications of this Earth system approach to wind energy by re-evaluating German energy scenarios for the year 2050, which rely on a substantial fraction of offshore wind energy.

## AKE 3: Technologien für die Energiewende und ihre Implikationen II

Time: Tuesday 10:00–12:45

Location: H8

**Invited Talk**

AKE 3.1 Tue 10:00 H8

**Zur Energiewende: Zweispeicher-Modell und Pumpspeicherkraftwerke im aufgelassenen Tagebauloch** — ●GERHARD LUTHER<sup>1</sup> und HORST SCHMIDT-BÖCKING<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Universität des Saarlandes, Saarbrücken, Experimentalphysik, F.St. Zukunftsenergie — <sup>2</sup>Universität Frankfurt/Main, Institut für Kernphysik

Die \*Energiewende\* umfasst die nahezu vollständige Abdeckung der elektrischen Stromversorgung durch regenerative Energien (RE) und hier vor allem durch Wind und Photovoltaik (PV). Wegen des durch Wetter und Astronomie bedingten ungleichmäßigen Dargebotes der RE lässt sie sich nur mit dem Einsatz von Speichern durchführen. Das Speicherproblem in Deutschland wurde durch eine Kombination von Kurz- und Langzeitspeichern mit dem \*Zwei-Speichermodell\* modelliert. Es ergab sich, dass eine Kapazität des Kurzzeitspeichers von nur 0,20 bis 0,30 Volllasttage für Deutschland ausreicht.

Es wird ein Vorschlag gemacht, wie man diese Speicherkapazität durch geeignete Nachnutzung aufgelassener Tagebaulöcher bereitstellen kann, indem man den Rekultivierungs- Restsee sowohl als Oberals auch als Unterbecken einer großen Pumpspeicherkraftwerksanlage einsetzt.

**Invited Talk**

AKE 3.2 Tue 10:30 H8

**Bioenergy: Chances and Pitfalls** — ●KATJA BÜHLER — Helmholtz Center for Environmental Research, Leipzig, Germany

In times of climate change and severe pressure on the natural resources of our planet bioenergy is a very controversial discussed topic. Bioenergy covers a broad field, reaching from the production of biofuels like ethanol and diesel from crop-based sugars, to the conversion of lignocellulose and microalgae. All mentioned approaches rely on the exploitation of biomass for energy production. Although significant progress was achieved in those technologies in recent years, biofuels still have problems to become established in the market. One reason certainly is the current low oil price which is a negative incentive for this technology. However, another major point in this discussion is the environmental footprint of bioenergy. Issues connected to land use, low efficiencies, tedious product isolation and the low energy return of invest make it questionable whether bioenergy in its current form is able to make a contribution to sustainable, CO<sub>2</sub>-neutral energy production. This presentation will lead through the different generations of bioenergy, discussing potentials and drawbacks. The focus will be on the so-called fourth-generation fuels, for which microorganisms are utilized as light-driven cell factories for fuel production directly from carbon dioxide, in my opinion the only concept with the chance to become a true bioenergy technology one day.

**15 min. break****Invited Talk**

AKE 3.3 Tue 11:15 H8

**Import options for chemical energy carriers from renewable sources to Germany** — ●JOHANNES HAMPP<sup>1</sup>, MICHAEL DÜREN<sup>1,2</sup>, and TOM BROWN<sup>3,4</sup> — <sup>1</sup>Center for international Development and Environmental Research, Justus Liebig University Giessen — <sup>2</sup>II. Physikalisches Institut, Justus Liebig University Giessen — <sup>3</sup>Institute for Automation and Applied Informatics, Karlsruhe Institute of Technology — <sup>4</sup>Department of Digital Transformation in Energy Systems, Technische Universität Berlin

Ambitious climate targets and the need for a more sustainable energy system will require significant changes to the energy sectors of transport, heating and industry. Electrification will be the most sustainable option in many areas. Some applications however but certain applications will continue to require chemical energy carriers in future, especially long-distance aviation, shipping vessels and the chemical industry.

At present Germany is importing most of its primary energy (> 70%) in the form of fossil chemical energy carriers from foreign countries. Since Germany is lacking abundant potentials for renewable energy, it can be expected that Germany will continue imports of chemical energy carriers in the future.

We model potential energy supply chains for most prominent chemical energy carriers (hydrogen, methane, methanol, ammonia, Fischer-

Tropsch fuels) and different transport options (electrical transmission lines, pipelines, shipping). Thereby we obtain the cost of energy and hydrogen for each energy supply chain allowing us to compare potential future export partners.

For example, Denmark makes for a good export partner with a combination of large offshore wind potentials and its close proximity to Germany. The Danish export volume however is limited. Thus, it is necessary to consider other potential exporters for larger import volumes within the EU (e.g. Spain), across the Mediterranean Sea (e.g. Morocco, Egypt, Saudi Arabia) or even worldwide (e.g. Argentina or Australia).

Depending on the individual chemical energy carrier and mode of transport, different export partners show different techno-economic potentials for exports to Germany.

**Invited Talk**

AKE 3.4 Tue 11:45 H8

**Geothermal Energy: Risks and benefits of utilizing hot fluids from the deep underground** — ●HANNES HOFMANN, SIMONA REGENSPURG, and ERNST HUENGES — Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences Section 4.8 Geoenergy Telegrafenberg, D-14473 Potsdam, Germany

In a geothermal fluid loop, formation water is pumped from a deep reservoir through a production well to the surface, where the heat is extracted and used for heating or electricity production. The cooled fluid is injected through another well back into the reservoir. The geological formations that are suitable for geothermal energy exploitation need to show two main characteristics: High temperature and high permeability. Typically, geothermal energy is exploited in areas with high geothermal gradient which are mainly located along tectonic plate boundaries. However, nowadays, the exploitable geothermal resources are found throughout the world and are utilized in 83 countries. Because of the lower temperatures in German geothermal plants, here most geothermal wells provide heat (about 1.49 GWh/a; source: www.Geotis.de). One of the main challenges when operating a geothermal plant is the correct handling of the geothermal fluids that carry the heat from the deep reservoirs to the surface. The high salinity and high amount of dissolved gasses of formation waters results in a variety of chemical reactions during fluid processing such as mineral precipitation and corrosion. However, these risks may be mitigated with different reservoir engineering methods and fluid chemistry might also represent a benefit if the dissolved components are of economic value.

**Invited Talk**

AKE 3.5 Tue 12:15 H8

**Einsatz bildgebender Messverfahren und numerischer Modellierungswerkzeuge für die Verbesserung der Energieeffizienz industrieller Mehrphasenprozesse** — ●UWE HAMPEL — Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Bautzner Landstraße 400, 01328 Dresden, Germany — Technische Universität Dresden, 01062 Dresden, Germany

Stoff- und Energieumwandlungsprozesse in technischen Apparaten sind oft an Mehrphasenströmungen gekoppelt. Beispiele dafür sind Chemiereaktoren, Stoffaustauschapparate, Kraftwerksanlagen oder Abwasserbehandlungsanlagen. Für die Modellierung der Strömungsvorgänge wurden in der jüngeren Vergangenheit numerische Berechnungsverfahren der Computational Fluid Dynamics entwickelt. Für diese besteht immer wieder die Aufgabe, sie mit realen Messdaten aus Strömungsexperimenten unter prozessähnlichen Bedingungen zu validieren bzw. aus solchen Messdaten Modelle und Korrelationen abzuleiten.

Der Vortrag gibt einen Einblick in die Nutzung innovativer schneller Bildgebungsverfahren für Mehrphasenströmungen für diesen Zweck. Vorgelegt werden die Gittersensortechnik sowie die ultraschnelle Röntgentomographie, welche am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf entwickelt wurden. Mit beiden Bildgebungsverfahren ist die tomographische Analyse von Mehrphasenströmungen mit Bildraten von mehr als 1000 Bildern pro Sekunde sowie einer räumlichen Auflösung im Millimeterbereich möglich. Ihre Anwendung wird anhand verschiedener Beispiele für die Optimierung energieintensiver Prozesse, wie etwa Destillation und Abwasserbehandlung, exemplarisch diskutiert.

## AKE 4: Herausforderungen bei nuklearen Energietechnologien

Time: Tuesday 13:30–15:00

Location: H8

### Invited Talk

AKE 4.1 Tue 13:30 H8

**Nukleare Entsorgung im Kontext der internationalen Nutzung der Kernenergie** — ●THORSTEN STUMPF — Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.

Im Jahr 2022 wird das letzte deutsche Kernkraftwerk abgeschaltet werden. Die bis dahin angefallenen hochradioaktiven Abfälle warten auf ihre Entsorgung. Zu diesem Thema hat im Juli 2016 die \*Kommission zur Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe gemäß \* 3 Standortauswahlgesetz\* ihren Abschlussbericht veröffentlicht. Auf Basis dieses Berichtes der Endlagerkommission wurde im März 2017 eine Novelle des Standortauswahlgesetzes durch Bundestag und Bundesrat beschlossen. Das Gesetz schreibt nun eine mehrphasige Suche nach einem Standort mit bestmöglicher Sicherheit vor. Die damit verbundene Diskussion um mögliche zukünftige Standorte zur Errichtung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle in Deutschland rückt auch die Endlagerforschung in den öffentlichen Fokus. Die wissenschaftlichen Grundlagen zur Unterstützung des Auswahlverfahrens werden in dem Vortrag vorgestellt und diskutiert. Zudem wird ein Blick auf den aktuellen Stand zur Forschung, zur Planung und zum Bau eines Endlagers im Ausland geworfen.

### Invited Talk

AKE 4.2 Tue 14:00 H8

**Nuclear fusion on the way to ITER and beyond** — ●THOMAS PÜTTERICH and THE ASDEX UPGRADE TEAM — Max Planck Institute for Plasma Physics, Garching, Germany

One of the paths to achieving nuclear fusion on earth is the confinement of hot plasma in a magnetic device, called tokamak. In the largest one, ITER, which is currently being built in the south of France, a burning deuterium-tritium plasma will require core ion temperatures above 10 keV (100 Mio °C) at densities around  $10^{20} \text{ m}^{-3}$ . In the core of a tokamak plasma turbulence is the dominant transport mechanism limiting the temperature gradient length. Therefore, the plasma edge acts as boundary condition to the core, and its temperature value is a crucial quantity which determines the performance of a tokamak

plasma. In steady state conditions, all heat, that is deposited or produced in the centre, is transported across the plasma edge towards the wall. It is therefore crucial to tailor the plasma edge in a way to provide conditions for safe operation without damaging the plasma facing components. In this talk the most important ingredients of the physical properties of the tokamak plasma will be explained. The status of knowledge will be shown together with possible options for the operation in ITER, and the path to a demonstration power plant is illustrated.

### Invited Talk

AKE 4.3 Tue 14:30 H8

**Hochbelastbare Materialien für die Kernfusion: Entwicklungen und Perspektiven** — ●CHRISTIAN LINSMEIER — Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, 52425 Jülich

Wolfram ist derzeit das bevorzugte Wandmaterial für zukünftige Fusionsreaktoren. Es verbindet eine geringe Tritiumrückhaltung für sicheren Betrieb mit sehr geringen Erosionsraten und einem hohen Schmelzpunkt für eine lange Lebensdauer der Wandkomponenten. Darüber hinaus erlaubt die hohe Wärmeleitfähigkeit eine gute Energieabfuhr und das relativ schnelle Abklingen der neutroneninduzierten Radioaktivität ein Recycling nach Stilllegung des Reaktors ohne geologische Lagerung. Sprödigkeit und die hohe Oxidationsrate bei hohen Temperaturen sind jedoch große Herausforderungen an die Fertigung und mechanische Belastbarkeit der Komponenten sowie den sicheren Umgang im Falle eines Kühlmittelverlusts.

Wir beschreiben in diesem Beitrag neue Konzepte zur Weiterentwicklung von Wolfram auf der Basis von faserverstärkten Verbundwerkstoffen und Legierungen, die den Einsatzbereich des Wandmaterials deutlich erweitern. Für die zügige Entwicklung dieser Konzepte zu fertigen Komponenten ist die Qualifizierung dieser neuen Materialkonzepte unter fusionsrelevanten Lastbedingungen notwendig. Bestehende und derzeit im Forschungszentrum Jülich neu gebaute Testanlagen werden vorgestellt, die auch den Einfluss von Neutronenschäden untersuchen lassen.