

ENERGY LAB 2.0

GAS & FUELS

HEAT

ELECTRICITY

INFORMATION- AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

SONDERSCHAU | SPECIAL EXHIBIT SMART RENEWABLE ENERGY  
31. MAI–2. JUNI 2017, MÜNCHEN  
MAY 31–JUNE 2, 2017, MUNICH, GERMANY



Energy Lab 2.0 –  
powered by the Helmholtz Association



Projektpartner | Project partners



Gefördert durch | supported by



on the basis of a decision  
by the German Bundestag

on the basis of a decision  
by the German Bundestag

# ENTDECKEN SIE MIT UNS DAS ENERGIESYSTEM DER ZUKUNFT JOIN US IN DISCOVERING THE ENERGY SYSTEM OF THE FUTURE

Die Energiewirtschaft befindet sich weltweit in einem dynamischen Wandel. Erneuerbare Energien haben mit 329 Mrd. USD vor zwei Jahren erstmals die Investitionssummen in fossile Energien übertroffen. Damit geht ein Wandel der Versorgungsstrukturen einher: Um das zeitlich variierende Angebot der regenerativen Energiequellen auszugleichen und so die Versorgungssicherheit zu gewährleisten brauchen wir eine moderne, intelligente und vernetzte Energie-Infrastruktur. Verschiedenste Technologien zur Energiespeicherung und -wandlung müssen darin integriert, gesteuert und geregelt werden.

Die Intersolar Europe 2017 und drei Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft präsentieren mit dem „Energy Lab 2.0“ neue Konzepte für den Transport, die Verteilung, Speicherung und Nutzung von erneuerbaren Energien. Diese Forschungsinfrastruktur ermöglicht als Reallabor die Untersuchung unterschiedlichster Komponenten von intelligent verknüpften Energienetzen der Zukunft und deren Zusammenspiel. Neue Netzarchitekturen, verschiedene Speichertechnologien sowie die Verknüpfung von Strom, Wärme und chemischen Energieträgern spielen dabei eine zentrale Rolle. Lassen Sie sich begeistern von dieser neuen Energiewelt.

Wir wünschen Ihnen einen informativen Rundgang und Inspiration für zukünftige Projekte!

The global energy industry is undergoing dynamic change. Two years ago, investment in renewable energies reached the sum of \$329 billion, surpassing investment in fossil fuels for the first time. This goes hand in hand with a transition in the structure of the energy supply: To offset temporal fluctuations in renewable sources and guarantee supply safety, we need a modern, smart, connected energy infrastructure. It must integrate, control, and regulate a wide range of technologies for energy storage and conversion.

With the “Energy Lab 2.0” Intersolar Europe 2017 and three centers of the Helmholtz Association are introducing new concepts for transporting, distributing, storing and using renewable energy. Functioning as a real-life laboratory, this piece of research infrastructure makes it possible to investigate different components and their interaction within future smart interlinked energy networks. New grid architectures, different storage technologies and the coupling of electricity, heat and chemical energy carriers all play a crucial role. Prepare to be amazed by the new energy world.

We wish you an informative visit and hope you find inspiration for future projects!

Markus Elsässer  
Geschäftsführer  
Solar Promotion GmbH  
CEO Solar Promotion GmbH



Daniel Strowitzki  
Geschäftsführer Freiburg Wirtschaft  
Touristik und Messe GmbH & Co. KG  
CEO Freiburg Wirtschaft  
Touristik und Messe GmbH & Co. KG



Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka  
Präsident des KIT  
President of the KIT





Luftbild des KIT Campus Nord  
Aerial view of the KIT Campus North



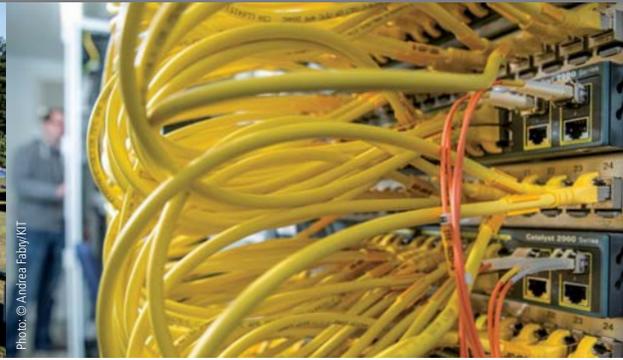
## ZUKUNFTSPERSPEKTIVE: ENERGIEWENDE FUTURE PROSPECTS: THE ENERGY TRANSITION

In Deutschland soll mit der Energiewende die Energieversorgung klima- und umweltverträglicher gestaltet werden. Ausgerufenes Ziel ist es bis 2050 den Anteil der „Erneuerbaren“ im Stromsektor auf 80% und im gesamten Bruttoenergieverbrauch auf 60% zu steigern, um so eine drastische Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erreichen (Ziel: -80% bis -95% im Vergleich zu 1990). Gleichzeitig soll und muss die Energieversorgung aber bezahlbar und verlässlich bleiben.

Um dies zu erreichen genügt es nicht, einfach immer mehr „grünen“ Strom ins Netz einzuspeisen, denn Wind- und Sonnenenergie liefern nicht zu jeder Tages- und Jahreszeit gleich viel Strom. Zudem unterliegt auch der Stromverbrauch starken Schwankungen und wird oft nicht dort benötigt wo er am effektivsten erzeugt werden kann, bedenkt man die ertragreichen Windkraftstandorte im Norden Deutschlands und die industrialisierten Ballungszentren im Westen und Süden. Dieses zeitliche und örtliche Ungleichgewicht zwischen der Erzeugung erneuerbarer Energie und deren Verbrauch verlangt nach neuen und effizienten Konzepten für Transport, Verteilung, Speicherung und Nutzung. Um die daraus resultierenden Fragestellungen zu beantworten, wird derzeit von den Helmholtz-Zentren Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) und Forschungszentrum Jülich (FZJ) eine großskalige Forschungsinfrastruktur aufgebaut – das Energy Lab 2.0.

In Germany, the energy transition aims to make the energy supply more sustainable for the environment and climate. The target is to increase the share of renewables to 80% of the electricity sector and 60% of the gross final energy consumption in Germany by 2050. This should lead to a significant reduction in CO<sub>2</sub> emissions (target: 80–95% decrease compared with 1990 levels). At the same time, the energy supply has to remain affordable and reliable.

In order to reach these objectives, it is not sufficient to merely feed increasing amounts of green energy into the grid, as wind and solar energy do not supply a constant amount of energy at any time of the day or year. In addition to this, energy consumption also undergoes considerable fluctuations and is often required in locations where it cannot be not generated so efficiently – for example, the productive wind farms on the north coast of Germany, and the industrialized conurbations in the west and south. The temporal and geographic disparity between generation and consumption of renewable energies highlights the need for new and efficient approaches to transport, distribution, storage and utilization. To answer the questions posed here, the Helmholtz Centres Karlsruhe Institute of Technology (KIT), German Aerospace Center (DLR) and Forschungszentrum Jülich (FZJ) are currently building a large-scale research infrastructure – the Energy Lab 2.0.



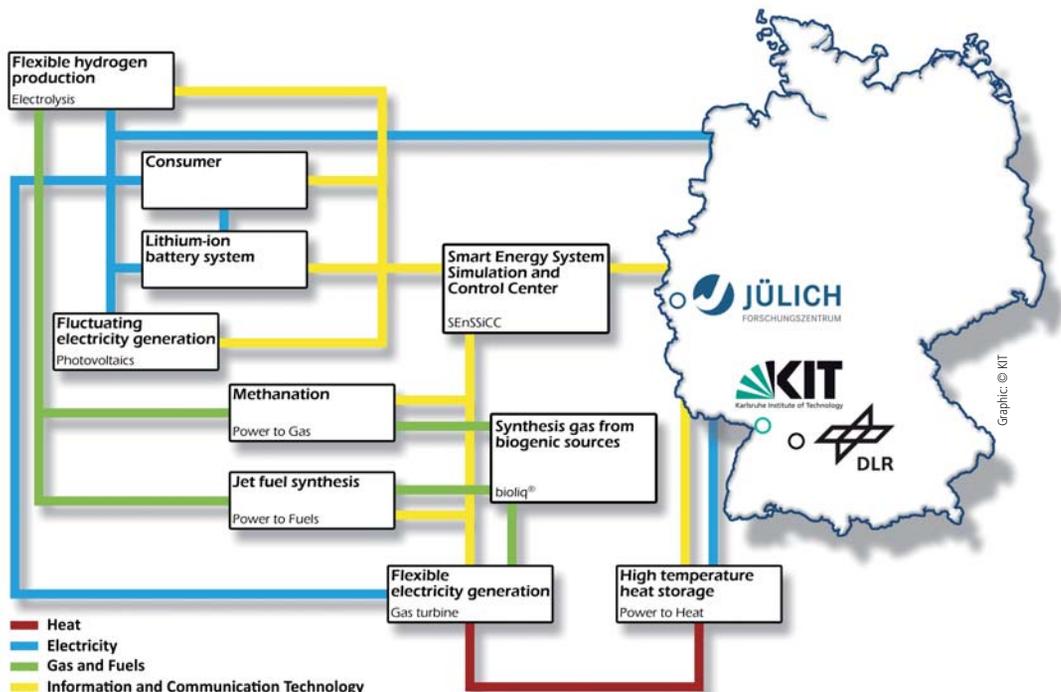
## DAS ENERGY LAB 2.0 – THE ENERGY LAB 2.0 POWERED BY THE HELMHOLTZ ASSOCIATION

Mit dem Energy Lab 2.0 entsteht eine Forschungsinfrastruktur als Reallabor und Simulationsplattform, mit dessen Hilfe das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) gemeinsam mit dem Forschungszentrum Jülich (FZJ) und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) das Zusammenspiel der Komponenten von intelligenten, verknüpften Energienetzen der Zukunft untersucht. Dabei werden neue Netzarchitekturen, die Integration verschiedener Speichertechnologien, neue Netzhardware und Regelstrategien sowie eine effiziente Verknüpfung von Strom, Wärme und chemischen Energieträgern zum Gelingen der Energiewende entwickelt.

Energy Lab 2.0 is a real-life laboratory and simulation platform, enabling the Karlsruhe Institute of Technology (KIT), the Forschungszentrum Jülich (FZJ) and the German Aerospace Center (DLR) to investigate the interplay of components in the smart, connected energy system of the future. This will see the development of new grid architectures, the integration of widely varying storage technologies, new grid hardware and strategies for monitoring and control, as well as the interlinkage of electricity, heat and chemical energy carriers; all of which contribute to ensuring the success of the energy transition.

Das Energy Lab 2.0 wird gefördert vom Land Baden-Württemberg sowie den Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBF) und für Wirtschaft und Energie (BMWi).

The Energy Lab 2.0 is funded by the Federal State of Baden-Württemberg as well as the Federal Ministries of Education and Research (BMBF), and Economic Affairs and Energy (BMWi).





## DIE WISSENSCHAFTLICHEN FRAGESTELLUNGEN THE SCIENTIFIC QUESTIONS

Damit die Energiewende gelingt, müssen Transport, Verteilung, Speicherung und Nutzung des Stroms an die Eigenschaften der erneuerbaren Energien angepasst werden, um trotz zeitlicher und örtlicher Schwankungen bei Energiebereitstellung und -verbrauch eine sichere Energieversorgung gewährleisten zu können.

Hierbei liegen die Forschungsschwerpunkte im Energy Lab 2.0 auf der intelligenten Verknüpfung von elektrischem Strom mit unterschiedlichsten Speichern und dem Verbraucher, der last- und brennstoffflexiblen Stromerzeugung sowie dem dazu benötigten sicheren Informations- und Datennetz und auf neuen Netztopologien und Methoden zur Netzstabilisierung.

Adapting energy transport, distribution, storage, and utilization to the characteristics of renewable sources is crucial for the success of the energy transition. This will guarantee a reliable energy supply in spite of temporal and geographical fluctuations in provision and consumption.

In the Energy Lab 2.0, research focuses on the smart interlinkage of electricity with different storage technologies and the consumer, as well as the safe information and data network which this requires. Other research topics include power generation with flexible loads and fuels, new grid topologies and methods for stabilizing the grid.





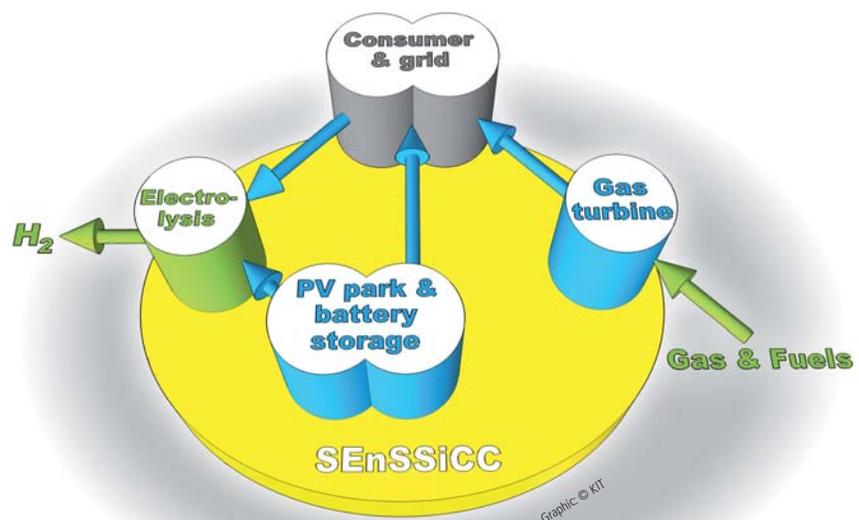
## INFORMATIONSTECHNOLOGIE IM ENERGY LAB 2.0 INFORMATION TECHNOLOGY IN THE ENERGY LAB 2.0

Das Energiesystem der Zukunft beruht auf der intelligenten Verknüpfung von fluktuierender Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, verschiedenen Speichertechnologien und optimierter Energienutzung.

The energy system of the future is based on the intelligent coupling of fluctuating power generation from renewable energies, different storage technologies and optimized energy utilization.

Um ein solches Zusammenspiel verstehen, kontrollieren und regeln zu können bedarf es neuer Simulations- und Analysemethoden welche im Rahmen des Energy Lab 2.0 im „Smart Energy System Simulation and Control Center“ (SEnSSiCC) entwickelt und erprobt werden. Das SEnSSiCC stellt die zentrale Plattform zur Untersuchung und Entwicklung intelligent verknüpfter Energiesysteme im Energy Lab 2.0 dar. So werden neben den Untersuchungen zur Informations- und Kommunikationstechnologie am SEnSSiCC auch neue Hardwarekomponenten in kritischen Betriebszuständen untersucht.

In order to understand and control such interactions, new methods for simulation and analysis are being developed and tested at the “Smart Energy System Simulation and Control Center” (SEnSSiCC) under the banner of the Energy Lab 2.0. The SEnSSiCC serves as a central platform for researching and developing smart interlinked energy systems in the Energy Lab 2.0. Alongside the investigations into information and communication technology at the SEnSSiCC, new hardware components are also tested in critical operating conditions.





## DIE SEKTORKOPPLUNG IM ENERGY LAB 2.0 SECTOR COUPLING IN THE ENERGY LAB 2.0

Der angestrebte hohe Anteil an „Erneuerbaren“ im Energiesystem der Zukunft erfordert einen Paradigmenwechsel: So wird die regenerativ erzeugte Elektrizität – vor allem aus Wind und Sonne – zunehmend die primäre Energieform darstellen. Bei einer ganzheitlichen Betrachtung des Energiesystems der Zukunft müssen jedoch neben der Elektrizität auch Wärme, Gas und Kraftstoffe in das Gesamtsystem integriert werden. Durch eine solche Sektorkopplung lässt sich über Power-to-Heat sowie Power-to-Gas bzw. Power-to-Fuel Technologien Wärme und chemische Energieträger aus erneuerbarem Strom herstellen, speichern und verteilen.

Im Energy Lab 2.0 wird dafür am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ein Anlagenverbund errichtet, in dem das Zusammenspiel von Strom, Wärme und chemischen Energieträgern untersucht wird. Darin findet der Strom über Wasserstoff, welcher durch Wasserelektrolyse mittels erneuerbarem Strom hergestellt werden kann, in Kombination mit CO<sub>2</sub> aus erneuerbaren Quellen oder mit biomassestämmigen Synthesegas, Eingang in die Herstellung von Gas und Kraftstoffen. Über last- und brennstoffflexible Mikro-Gasturbinen besteht in dem Anlagenverbund zudem die Möglichkeit der Rückverstromung um so ein intelligentes Energiesystem mit allen wichtigen Facetten der Sektorkopplung untersuchen zu können.

The significant share of energy from renewable sources in the energy system of the future requires a paradigm shift: electricity generated from renewable sources – particularly from the sun and wind – will be the primary form of energy. When viewed as a whole, it becomes clear that heat, gas and fuels also need to be integrated into the energy system, alongside electricity. Coupling these sectors enables power-to-heat, power-to-gas and power-to-fuel technologies to convert renewable power into heat and chemical energy carriers, which can then be stored and distributed.

At the Karlsruhe Institute of Technology (KIT), a facility network is being built in the Energy Lab 2.0 to investigate the interplay between electricity, heat and chemical energy carriers. This shows how electricity is part of the production of gas and fuels via hydrogen, which can be produced through the electrolysis of water using renewable power either together with carbon dioxide from renewable sources or with synthesis gas from biomass residues. In the facility network, micro gas turbines flexible to loads and fuels present the possibility of reconverting these energy carriers back into electricity in order to investigate a smart energy system with all the important facets of sector coupling.

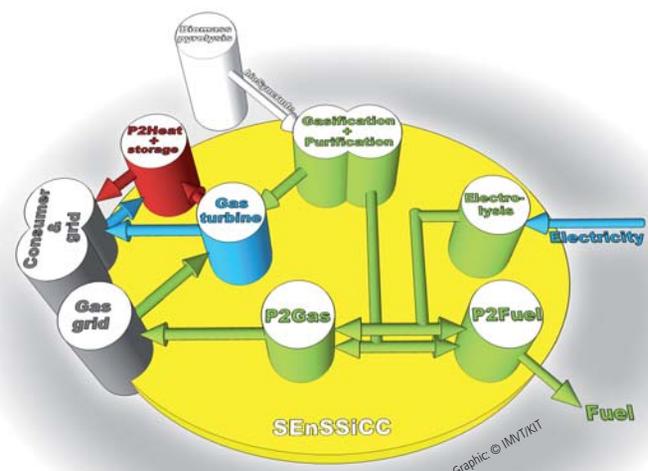




Photo © Andrea Fabry/KIT



Photo: © KIT



Photo: © Forschungszentrum Jülich

## WASSERSTOFF AUS DER NIEDERTEMPERATUR-ELEKTROLYSE HYDROGEN FROM LOW TEMPERATURE ELECTROLYSIS

Insbesondere für die Speicherung von erneuerbaren Energien in chemischen Energieträgern spielt Wasserstoff, welcher aus erneuerbarem Strom mittels Elektrolyse hergestellt wurde, im Bereich der Power-to-X Konzepte eine zentrale Rolle.

Especially for the storage of electricity from renewables in chemical compounds, hydrogen produced by electrolysis using renewable electricity plays a major role in the Power-to-X concepts.

Am Forschungszentrum Jülich untersuchen Wissenschaftler zweier Abteilungen (Elektrochemie Elektrolyse EEL & Verfahrenstechnik Elektrolyse VEL) Elektrolysetechnologien verschiedener Entwicklungsstadien. Dazu gehören Forschung und Entwicklung an der alkalischen Elektrolyse, der PEM-Wasserelektrolyse und der alkalischen PEM-Elektrolyse. Im Mittelpunkt aller Aktivitäten stehen die Kostensenkung, die Steigerung der Effizienz und die Verbesserung der Langzeitstabilität.

At the Forschungszentrum Jülich, researchers from two departments (Electrochemistry Electrolysis (EEL) and Process Engineering Electrolysis (VEL)) are investigating electrolysis technologies in various stages of development. This includes the research and development of alkaline electrolysis, PEM water electrolysis, and alkaline PEM electrolysis. The priorities of reducing costs, increasing efficiency, and improving the long-term stability remain at the center of all activities.

Im Rahmen des Energy Lab 2.0 soll in einem Wasserstoff-Technikum das Betriebsverhalten großflächiger Elektrolyseure in Untersuchungen mit dynamischen Lastprofilen validiert werden.

The operating behavior of large-area electrolyzers will be validated in the Energy Lab 2.0 by applying dynamic load profiles and monitoring the performance in a hydrogen test facility.



Graphic: © Forschungszentrum Jülich



Photo: © DOTT 2010 / alpha ventus - Foto: Matthias Iseler

Photo: © Laila Tkaczik/IT

## POWER-TO-MOLECULES POWER-TO-MOLECULES

Die Umwandlung von erneuerbarer elektrischer Energie in chemische Wertprodukte und Energieträger wird im Energiesystem der Zukunft eine zentrale Rolle spielen. Ausgangspunkt der sogenannten Power-to-Molecules Technologien ist die Sektorkopplung durch Prozesse, bei denen elektrochemische bzw. strombasierte Teilschritte in der Synthese von Wertprodukten beteiligt sind. Ein Beispiel ist die Kopplung der (Co-)Elektrolyse zur Erzeugung von Wasserstoff oder Synthesegas mit nachgeschalteten Prozessen zur Synthese von kohlenstoffbasierten Energieträgern.

Zusammen mit regenerativem Wasserstoff lässt sich beispielsweise Kohlenstoff über biogene Reststoffe, über CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre oder aus industriellen Punktquellen (z.B. Zementwerken) nachhaltig in die Prozesskette integrieren und so als Ausgangsmaterial der Power-to-Molecules Prozessketten zur Herstellung von Kohlenwasserstoffen wie synthetischem Erdgas (Power-to-Gas) oder flüssigen Treibstoffen (Power-to-Fuel, z. B. Kerosin) nutzen.

In allen diesen chemischen Energieträgern lässt sich so erneuerbarer Strom speichern und die CO<sub>2</sub>-Bilanz in Industrie und Verkehr verbessern oder gar ausgleichen.

The conversion of renewable electricity into valuable chemical products and energy carriers will play a major role in the energy system of the future. The starting point of the so-called Power-to-Molecules technologies is the sector coupling by processes where electrochemical resp. electricity-based process steps are involved. An example is the combination of (co-) electrolysis for the generation of hydrogen or synthesis gas with subsequent synthesis of carbon-based energy carriers.

Together with renewable hydrogen, carbon for example can be sustainably integrated into the process chain using biogenic residues, CO<sub>2</sub> from the atmosphere or from industrial point sources (e.g. cement plants) and, thus, can be used as the starting material for power-to-molecules process chains for the production of hydrocarbons such as synthetic natural gas (power-to-gas) or synthetic liquid fuels (power-to-fuel, e.g. jet fuel).

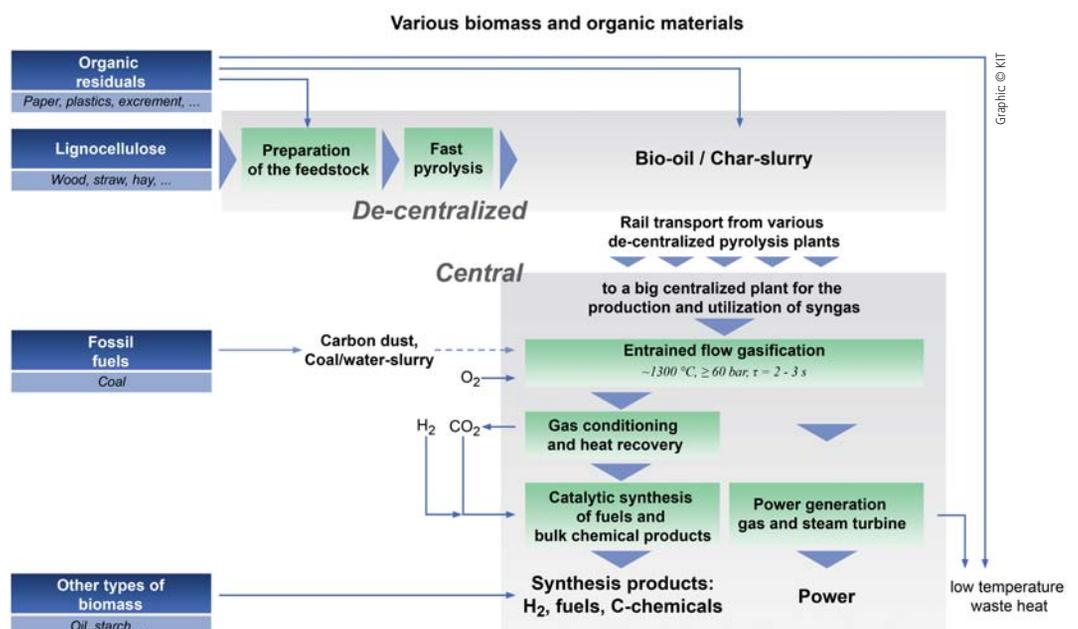
Hence, all these chemical energy carriers can serve as an energy storage system for renewable electricity, enabling the CO<sub>2</sub> footprint in industry and mobility to be reduced – or even completely be balanced.



## DIE BIOLIQ®-TECHNOLOGIE THE BIOLIQ®-TECHNOLOGY

Eine umweltverträgliche und bezahlbare Energieversorgung ist Grundvoraussetzung für unseren Lebensstandard. Da fossile Rohstoffquellen auf lange Sicht begrenzt sind, werden nachhaltige Alternativen und neue Technologien für eine umfassende Energieversorgung notwendig. Biomasse ist die einzige erneuerbare Kohlenstoffquelle und nachhaltige Alternative zum Erdöl. Im bioliq® Prozess wird Restbiomasse dazu verwendet, energiereiche Produkte zu erzeugen. Sie wird dabei durch das Verfahren vollständig energetisch und stofflich genutzt. Durch thermochemische Umwandlung wird aus der Biomasse zunächst Biosyncrude, ein Rohöl ähnliches Produkt. Durch Flugstromvergasung wird dieses anschließend zu Synthesegas. Aus Synthesegas können dann hochwertige Kraftstoffe und organische Chemikalien hergestellt werden. Effiziente Synthesegaschemie, so wie sie im bioliq® Prozess stattfindet, ist auch immer mit einer Stromerzeugung gekoppelt.

An environment-friendly and affordable energy supply is a basic requirement for our standard of living. Due to the fact that fossil raw materials are limited in the long run, it is essential to develop the sustainable alternatives and new technologies for a wide-reaching energy supply. The only renewable carbon source and sustainable alternative to crude oil is biomass. In the bioliq® process, residual biomass is used to generate high-energy products. The energy and matter of the biomass is completely used by the procedure. The first product created in the thermochemical conversion of biomass is biosyncrude, a product similar to crude oil. The biosyncrude subsequently is atomized in a high pressure entrained flow gasifier and converted to raw synthesis gas. High-quality fuels and organic chemicals can then be produced from synthesis gas. Efficient synthesis gas chemistry, as in the bioliq® process, is always coupled with power generation.



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



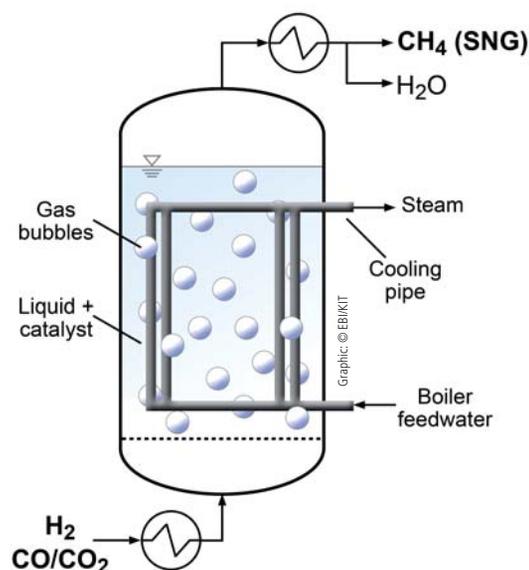
## KATALYTISCHE METHANISIERUNG CATALYTIC METHANATION

Der Methanisierungsteil des Syntheseverbundes im Energy Lab 2.0 besteht aus zwei unabhängig betreibbaren Containeranlagen. Die erste beinhaltet als Hauptprozesskomponente im Energy Lab 2.0 eine Dreiphasen-Methanisierung, die im Rahmen weiterer Projekte um einen mikrostrukturierten Reaktor erweitert wird. Die zweite Anlage nutzt metallische Wabenstrukturen als Katalysatorträger und wird von der DVGW-Forschungsstelle am KIT bereitgestellt. Die Versorgung der Anlagen mit Synthesegas erfolgt aus dem bioliq®-Prozess bzw. aus Lagertanks und einer Elektrolyse-Anlage, die ebenfalls Teil des Energy Lab 2.0 sind.

Die Methanisierung ist eine stark exotherme Reaktion. Eine möglichst effiziente Abfuhr und Nutzung der Reaktionswärme ist daher eine der Hauptaufgaben bei der Entwicklung neuer Verfahrenskonzepte. Beide Containeranlagen sind wärme-, mess- und steuerungstechnisch in den Anlagenverbund integriert und liefern so Prozessdaten für den SEnSiCC-Teil des Energy Lab 2.0.

The methanation section of the synthesis network in the Energy Lab 2.0 consists of two container modules operated independently of one another. One module contains a three-phase methanation system as the main process component in the Energy Lab 2.0, which will be extended in other projects with a microstructured reactor. The second module uses metallic monoliths with honeycomb structures as catalyst carriers and is supplied by the DVGW research station at KIT. The synthesis gas supply for both plants comes from the bioliq®-process or from storage tanks and an electrolysis module which are also part of the Energy Lab 2.0.

Methanation is a strongly exothermic reaction, which makes an efficient removal and utilization of heat mandatory for the development of innovative processes. Both container modules are fully integrated into the facility network in terms of heat, measuring and regulation, and thus produce valuable data for the SEnSiCC module in the Energy Lab 2.0.





## DEZENTRALE HERSTELLUNG FLÜSSIGER ENERGIETRÄGER DECENTRALIZED PRODUCTION OF LIQUID FUELS

Mit dezentralen und hocheffizienten Anlagen lassen sich aus CO<sub>2</sub> oder biomassestämmigem Synthesegas zusammen mit Elektrolysewasserstoff dezentral, direkt vor Ort flüssige synthetische Energieträger erzeugen. Im Energy Lab 2.0 wird für die Erzeugung von Kerosin eine containerbasierte Anlage als Baustein für ein intelligentes Energiesystem integriert um so die Sektorkopplung von Power-to-Fuel eingehend untersuchen zu können.

Dabei steht hier mit der KIT-Ausgründung INERATEC GmbH ein kompetenter Partner bereit um mit einer innovativen chemischen Reaktortechnologie im dezentralen Maßstab flüssige Energieträger oder chemische Wertprodukte herzustellen. Durch innovative Fertigungsmethoden und intelligentes Design steht eine Technologieplattform auf Basis kompakter chemischer Reaktoren zur Verfügung durch deren Kompaktheit der gesamte chemische Prozess in transportablen Containern umgesetzt werden kann. Die Technologie ermöglicht eine lastflexible, sichere und effiziente Durchführung stark exothermer chemischer Reaktionen. Im dezentralen Maßstab ergeben sich dadurch entscheidende Effizienzvorteile.

Using decentralized and highly efficient plants, synthetic liquid fuels are generated directly on site from carbon dioxide or biomass-based synthesis gas together with renewable hydrogen. In the Energy Lab 2.0, a container-based plant for the production of jet fuel is integrated as one of the components for a smart energy system in order to extensively investigate the sector coupling of power-to-fuel.

In the process of this, INERATEC GmbH, a spin-off company from the KIT, constitutes an experienced partner for the production of liquid fuels and other valuable chemical products through innovative chemical reactor technology on a scale suitable for decentralized applications. Due to innovative manufacturing and intelligent design, the commercially available technology platform allows for compact chemical reactors. Consequently, the entire chemical process can be realized in transportable containers. This technology enables highly exothermic reactions to be performed dynamically, safely and efficiently, creating significant advantages for process efficiency on a decentralized scale.





Photo: © DLR

## FLEXIBLE WÄRMEVERSORGUNG – EIN ZENTRALES ELEMENT DER ZUKÜNFTIGEN ENERGIEVERSORGUNG

### FLEXIBLE HEAT SUPPLY – A CENTRAL ELEMENT OF THE FUTURE ENERGY SUPPLY

Die sichere, bezahlbare und nachhaltige Energieversorgung der Zukunft wird wesentlich durch die effiziente Nutzung von Strom und Wärme sowie deren effiziente Speicherung bestimmt. Zentrale Bausteine in der Versorgungskette bilden dabei thermische Energiespeicher. Wesentliche Herausforderungen der Technologie beinhalten die Ausarbeitung von effizienten, kostengünstigen und skalierbaren thermischen Energiespeichern, die zusätzlich eine direkte Integration elektrischer Energie (Power-to-Heat) und somit eine Sektorkopplung ermöglichen.

Eine vielversprechende Speichertechnologie basiert dabei auf Feststoffen. Der Einsatz in Kraftwerksanwendungen erfordert im Vergleich zu heutigen Anwendungen deutliche Verbesserungen hinsichtlich thermischer Effizienz. Zusätzliche Maßnahmen zur Flexibilitätssteigerung sehen die Integration einer elektrischen Beheizung im Feststoff-Wärmespeicher vor. Überschüssige elektrische Leistungen im Netz lassen sich so mit einem hohen Wirkungsgrad in Hochtemperaturwärme umwandeln, effizient speichern und flexibel wieder in den Anlagenverbund einkoppeln.

A safe, affordable and sustainable future energy supply will be primarily determined by the efficient use and storage of electricity and heat. In particular, thermal energy storage systems will serve as central components in this energy supply chain. The major challenges currently facing this technology include the development of efficient, cost-efficient and scalable thermal energy storage systems, which additionally allow for the direct use of electrical energy (power-to-heat) and therefore enable sector coupling.

A promising storage technology for this scenario is based on solid materials. However, in comparison to its current uses, it will require considerable improvement in thermal efficiency before it can be deployed in power plant applications. The integration of electrical heating into solid media thermal storage systems is also being considered as an additional step for increasing flexibility. This enables surplus electrical energy in the grid to be efficiently converted into high-temperature heat, effectively stored and flexibly re-introduced to the facility network.



Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt

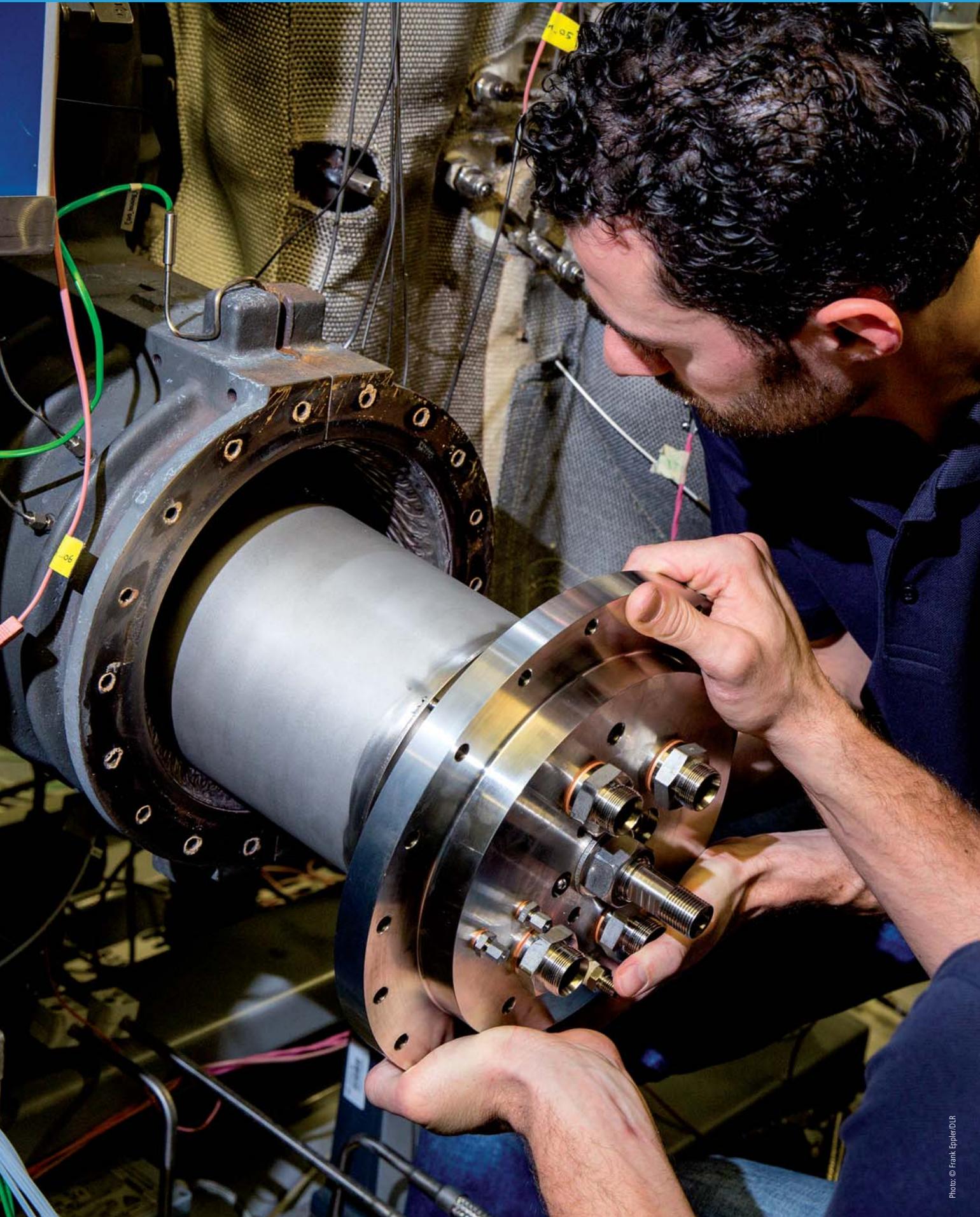




Photo: © Markus Brag/KIT



Photo: © Walter Fraas

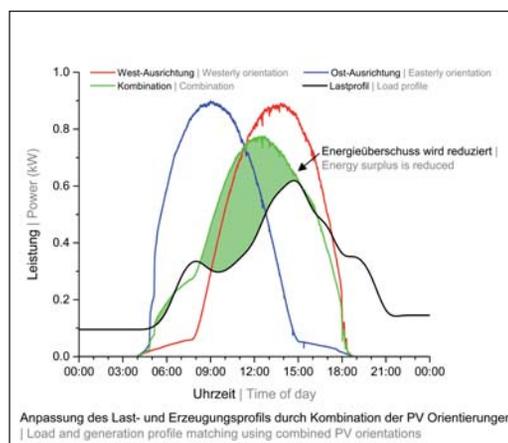
## SOLARSTROM-SPEICHERPARK FÜR DIE FORSCHUNG SOLAR POWER STORAGE PARK FOR RESEARCH

In der Forschungsanlage am KIT mit 1 MW Spitzenleistung sind mehr als 100 verschiedene Systemkonfigurationen aufgebaut, die sich in der Ost-West-Ausrichtung, Neigung oder technischen Bauteilen unterscheiden. Die Leistungsdaten werden laufend erfasst und analysiert. Das Zusammenspiel mit verschiedenen Speicher-Pilotanlagen ermöglicht umfangreiche Rückschlüsse auf die Gesamtsystemgestaltung und zeigt auf, welche Systemkonfigurationen netzdienlich und kostengünstig sind. Hieraus lässt sich die optimale Systemauslegung in Abhängigkeit von der Anwendung und den Standortgegebenheiten ableiten (Größe der einzelnen Komponenten und Ausrichtung der PV-Anlage). Zusätzlich werden die PV-Erzeugungsdaten für die Entwicklung von selbstlernenden Prognosealgorithmen verwendet, die Basis für eine intelligente Gesamtsystemsteuerung sind.

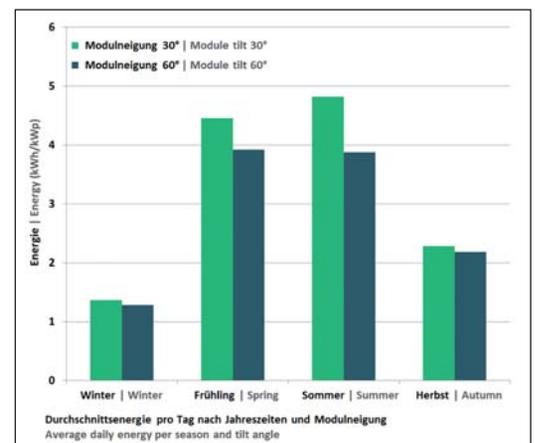
Neben den Forschungsarbeiten hat der Solarstrom-Speicherpark auch einen wirtschaftlichen Nutzen: Der erzeugte Strom wird auf dem Campus des KIT zu 100 % als Eigenverbrauch genutzt.

The research facility at the KIT has a peak power output of 1 MW, made up of more than 100 different PV array configurations with different east-west orientations, inclinations and electronic components. Performance data are continuously logged and analyzed. The interaction with different pilot storage systems offers wide-ranging insights into the overall system design, and reveals which system configurations are grid-supportive and cost-effective. The optimal system design (component size and PV installation orientation) can thus be determined, depending on the application and site conditions. The PV generation data can also be used to develop self-learning forecast algorithms which form the basis of a smart overall system control.

Alongside the above-mentioned research objectives, the solar power storage park offers additional economic advantages: up to 100 % of the electricity generated is consumed directly on the KIT campus.



Graphic: © KIT



Graphic: © KIT



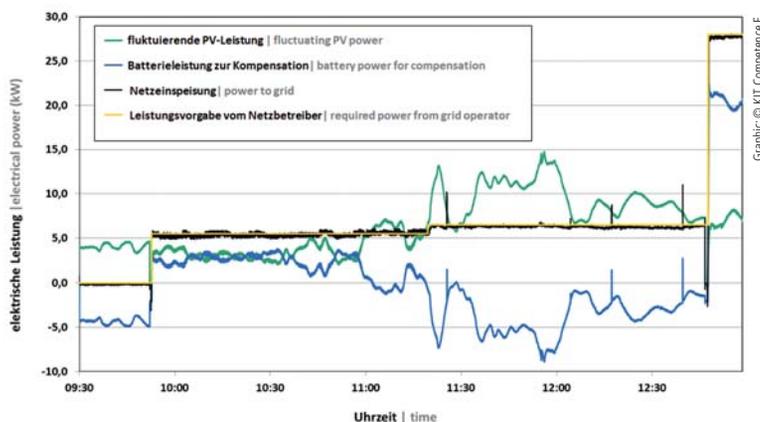
## INNOVATIVER GROSSSPEICHER INNOVATIVE LARGE-SCALE STORAGE SYSTEM

Im Rahmen des Energy Lab 2.0 wird ein seriennaher Prototyp eines 1,3 MWh Li-Ionen Großspeichers entwickelt. Im Fokus steht ein kostenoptimiertes Design in einer Betonfertigstation mit innovativem Kühlkonzept durch Flüssigkühlung und thermischer Bauteilaktivierung. Um höchste Sicherheitsanforderungen bei geringen Systemkosten zu erreichen, werden Batteriemodule aus der Serienproduktion verwendet. Die Betonfertigstation erlaubt minimale Bau- und Einrichtungszeiten. Durch seine hohe Flexibilität kann der Speicher für die Bereitstellung von Primärregelleistung, zum Tag-/Nacht-ausgleich oder für industrielle Anwendungen verwendet werden.

Hierfür wird eine intelligente Gesamtsystemsteuerung und Regelung entwickelt, die einen wirtschaftlichen und netzdienlichen Betrieb ermöglicht. Die Wirtschaftlichkeit des Systems wird durch selbstlernende Prognosealgorithmen der Energieerzeugung und des Energiebedarfs erhöht, in dem gleichzeitig die Batterielebensdauer maximiert und das Stromnetz so wenig wie möglich mit Leistungsspitzen belastet wird.

A prototype of a large-scale Li-ion battery system with 1.3 MWh of storage capacity is being developed in the Energy Lab 2.0. The focus is on an economical design using a pre-cast concrete structure with an innovative liquid cooling concept and thermal component activation. To attain the highest safety standards for low system costs, mass-produced battery modules are used. The pre-cast concrete structure allows for minimal construction and installation times. Due to its high level of flexibility, the storage system can be used to provide primary balancing power, as day/night compensation or in industrial applications.

To do this, an intelligent overall control system is being developed to ensure the economic and grid-supportive operation of the battery. The economic viability of the system is increased by self-learning forecast algorithms for energy generation and demand, which both maximize battery service life and reduce load peaks in the grid.



Ausgleich der Fluktuation von Photovoltaikleistung mittels intelligenter Batteriesystem-Steuerung  
Compensation of solar power fluctuations by an intelligent battery system control



## MIKROGASTURBINE MICRO GAS TURBINE

Aufgrund der hohen Fluktuation der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen wie Sonnen- und Windenergie verlangt das zukünftige Energiesystem eine äußerst flexible Möglichkeit Strom ins Netz zu speisen.

Unter den Randbedingungen der Energiewende sind zum einen eine konsequente Erhöhung der Effizienz der Energieumwandlung und die Nutzung alternativer Brennstoffe bei gleichzeitiger Minimierung des Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von entscheidender Bedeutung. Zum anderen müssen konventionelle Kraftwerke eine deutliche Erhöhung der Flexibilität in Bezug auf die Reduktion der minimalen Teillast und die Erhöhung der Laständerungsgeschwindigkeiten erreichen, um eine effiziente Einbindung der erneuerbaren Energieerzeugung zu gewährleisten.

Zur erfolgreichen Umsetzung dieser ambitionierten Ziele können hocheffiziente, hochflexible und schadstoffarme dezentrale gasturbinenbasierte Kraftwerksanlagen zur nachhaltigen und netzverträglichen Strom- und Wärmeerzeugung einen entscheidenden Beitrag leisten. Im Energy Lab 2.0 entwickelt das DLR deshalb ein Verbrennungssystem, das schnelle Lastwechsel ermöglicht und unterschiedliche Brennstoffe – von synthetischem Erdgas bis zu niederkalorischen Produktgasen aus der Biomassevergasung – effizient und umweltfreundlich nutzen kann. Zudem werden drei Mikro-gasturbinen mit je 100 kW<sub>el</sub> Leistung in den Anlagenverbund des Energy Lab 2.0 am KIT integriert um die Aspekte der last- und brennstoffflexiblen Rückverstromung im Reallabor zu untersuchen.

The extreme fluctuations in the amount of power generated by renewable sources, such as sun and wind, make it important to develop highly flexible options for the generation of electricity in order to balance these fluctuations.

Due to the constraints of the energy transition, it is crucial that the efficiency of energy conversion and the use of alternative fuels are constantly increasing, while minimizing pollution and carbon dioxide emissions. In addition to this, conventional power plants must become much more flexible by means of a reduction in minimum partial load and increasing the permitted load change rates, in order to guarantee the efficient integration of energy generated from renewable sources.

Highly efficient, flexible and low-emission decentralized power plants based on gas turbine technology can make a significant contribution to sustainable and grid-compatible electricity and heat generation. For this reason, as part of the Energy Lab 2.0, the German Aerospace Center (DLR) is developing a combustion system which allows for rapid changes in load and can efficiently be fed by a variety of renewable fuels – from synthetic natural gas to low calorific fuels from biomass gasification – in an efficient and environmentally-friendly manner. In addition to this, three micro gas turbines, each with an output of 100 kW<sub>el</sub>, are being integrated into the Energy Lab 2.0 plant network at the KIT to investigate certain aspects of power generation with variable loads and fuels under realistic conditions.





Photo: © Patrick Langer ITEP/KIT

## DAS SMART ENERGY SYSTEM CONTROL LABORATORY THE SMART ENERGY SYSTEM CONTROL LABORATORY

Die Energiewende kann weder allein auf Computern geplant, noch können alle neuen Ideen gleich im öffentlichen Netz erprobt werden. Es braucht Experimentierstätten, um Innovationen praktisch zu untersuchen.

The energy transition cannot be designed on computers alone, nor can all new ideas be tested immediately in the public grid. There is a need for experimental laboratories, where innovations can be investigated in practice.

Das KIT baut dafür im Rahmen des Energy Lab 2.0 das Smart Energy System Control Laboratory (SESCL) auf. Dort werden Repräsentanten der wichtigsten Maschinen und Geräte von Stromnetzen und Wärmeversorgungsanlagen installiert. Weil Strom künftig im Wärmemarkt und für die Mobilität große Bedeutung haben wird, werden z.B. Batterieladestationen und Power-to-Heat Systeme wie Wärmepumpen implementiert. Natürlich können in einem Labor nur wenige Komponenten an ein Netz angeschlossen werden. Deswegen werden die Experimentatoren das Umfeld mit Power Hardware in the Loop Systemen (PHIL) simulieren. Dahinter verbergen sich schnelle Rechner und eine Elektronik, die einen berechneten Stromverbrauch oder eine Stromspeisung realisieren kann. Eine Besonderheit im SESCL wird die Möglichkeit sein, fernbedient und sehr schnell neue Experimente zu verschalten und durchzuführen.

For this reason, the KIT is setting up the Smart Energy System Control Laboratory (SESCL) as part of the Energy Lab 2.0. It will be installed with representatives of the most important machines and units from electrical grids and heating systems. As electrical power will be very significant for mobility and the heating market, battery charging stations and power-to-heat systems such as heat pumps will be implemented, to name but a few. Unfortunately, only a limited number of components can be connected to the experimental grid in a laboratory. This problem can be solved by simulating the environment using Power Hardware in the Loop Systems (PHIL). Behind this are fast computers and an electronic system which can realize a calculated power consumption or feed-in. The SESCL presents the unique option of wiring up and performing new experiments remotely and quickly.

Prinzip der Schaltanlage im SESCL Experimentierfeld.

An den Kreuzungspunkten der Matrix können Schütze die Komponenten mit Sammelschienen verbinden. Die Sammelschienen werden ihrerseits über Nachbildungen der Leitungswiderstände miteinander verbunden.

Principle of the SESCL switchboard. Electric contactors can link components to bus bars at all intersections of the matrix. The bus bars are connected via mockups of the line resistances.

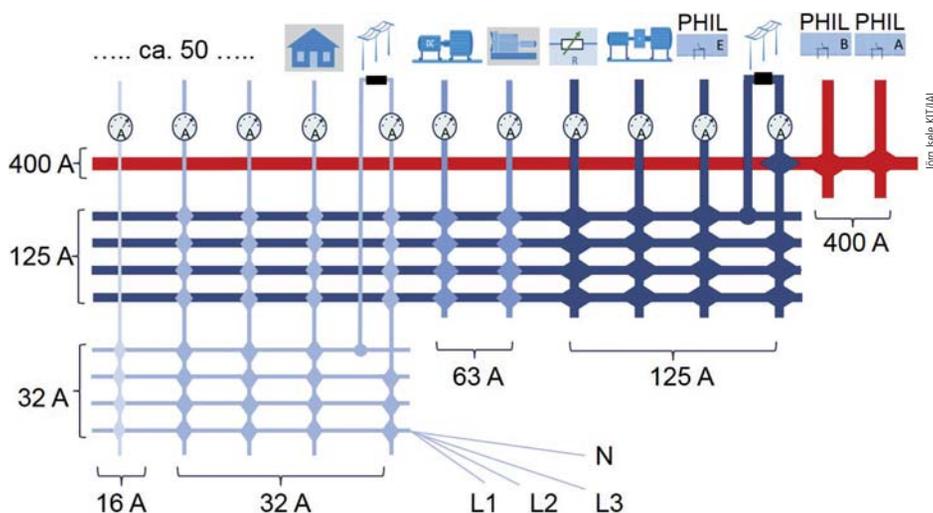




Photo: © Uwe Kühnapfel KIT/IAI

# DAS ENERGY GRIDS SIMULATION LABORATORY THE ENERGY GRIDS SIMULATION LABORATORY

Energienetze (Strom, Gas, Wärme, Kraftstoffe) verbinden Erzeuger, Speicher und Verbraucher. Das zukünftige Stromnetz spielt für die Integration aller Energieformen und -netze in der Energiewende eine zentrale Rolle. Die Planung, Simulation, Analyse und Optimierung des Verbundnetzes ist daher zwingend.

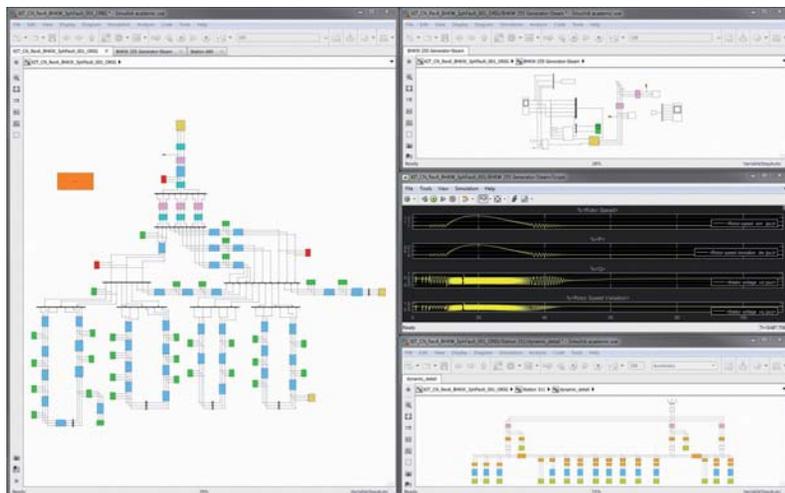
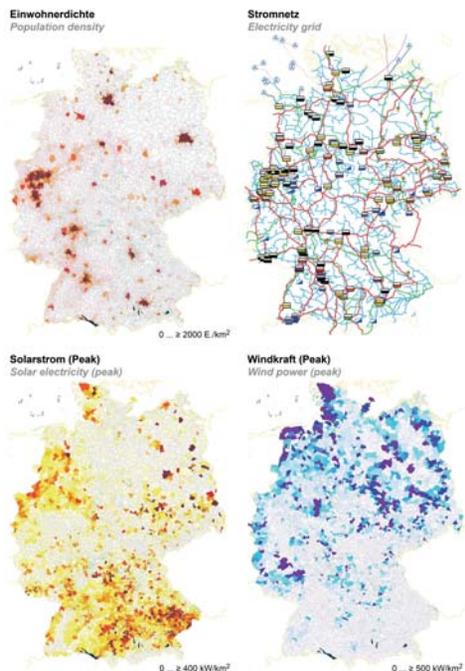
Energy grids (electricity, gas, heat, fuel) connect producers, storage systems, and consumers. For the energy transition, the power grid of the future plays a central role for the integration of all types of energy and energy grids, making it essential to plan, simulate, analyze and optimize the wide area synchronous grid.

In EGSL (Energy Grids Simulation & Analysis Lab) wird eine Hard- und Software-Infrastruktur in Form einer Toolbox zur Modellierung, multi-modalen Simulation und Analyse von Energienetzen realisiert. Es werden sowohl Micro-Grids (Hausnetze, Inselnetze) und das KIT Campus-Nord Grid, als auch Verbundnetze (Stadtnetz Karlsruhe, Transport- und 110 kV Netz Deutschland, Transportnetz Europa) untersucht. „State-of-the-Art“ Software und selbst entwickelte, neuartige Computerlösungen bilden dafür in EGSL die Grundlage.

In the EGSL (Energy Grids Simulation & Analysis Lab), hardware and software infrastructure is implemented in the form of a toolbox for modeling, multimodal simulation and analysis of energy networks. This investigates both microgrids (household grids and stand-alone grids) and the grid on the KIT north campus, as well as wide area synchronous grids (city of Karlsruhe grid, transport and 110 kV grid in Germany, European UCTE grid). State-of-the-art software and novel computer solutions developed in-house form the basis for research in the EGSL.



Stromnetz Deutschland – Erzeuger (EE, KW), Lasten und Netz  
The power grid in Germany – generation (renewable energy, power plants), loads and grid



Graphic: © Uwe Kühnapfel KIT/IAI

Graphic: © Uwe Kühnapfel KIT/IAI



Photo: © Fabry/KIT

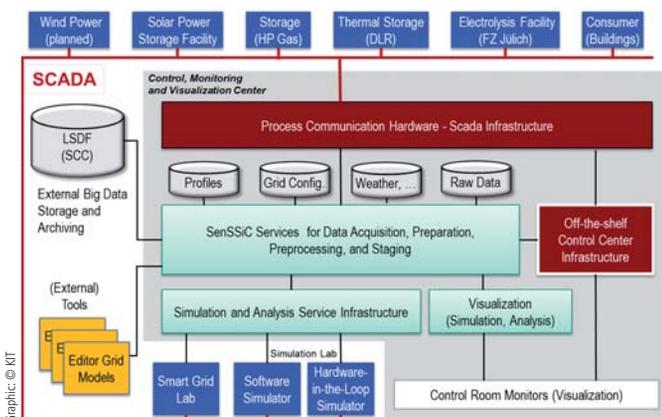
## DAS CONTROL, MONITORING AND VISUALIZATION CENTER THE CONTROL, MONITORING AND VISUALIZATION CENTER

Das „Control, Monitoring and Visualization Center“ (CMVC) des Energy Lab 2.0 ist eine forschungsorientierte Infrastruktur für die Konzeption, Entwicklung und Erprobung neuer Software für Planung und Betrieb smarter Energiesystemlösungen. Auf Basis eines Computerclusters mit Cloud- und „Big Data“-Technologien stellen innovative Dienste hoch skalierbare Datenmanagement-, Analyse-/Vorhersage-, Simulations-, Optimierungs- und Visualisierungsfunktionalitäten bereit, die sich direkt über das Web nutzen lassen. Eine SCADA-Instrumentierung (Supervisory Control and Data Acquisition) sorgt für die daten- und kontrolltechnische Anbindung der lokalen und entfernten Anlagen und Netze des Energy Lab 2.0.

Die Ko-Simulationsumgebung des CMVC erlaubt es, Modelle neuer Komponenten im Energiesystem sowie die SCADA-Schnittstellen existierender Anlagen in einem Gesamtmodell zu verknüpfen. Durch Hinzunahme von Datenvorhersagemodulen, Marktmodellen und Optimierungswerkzeugen zum Ermitteln von Betriebsfahrplänen können dann zukünftige Betriebsoptionen im Modell durchgespielt und evaluiert werden.

The “Control, Monitoring and Visualization Center” (CMVC) in the Energy Lab 2.0 is a research-oriented infrastructure for conceptualizing, developing and evaluating new software approaches for the planning and operation of smart energy system solutions. Based on a high performance computing cluster featuring cloud computing and big data technologies, innovative services provide highly scalable tools for data management, data analysis/forecasting, simulation, optimization, and visualization functionalities, which can be used directly over the web. A SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) instrumentation ensures the technical and regulatory connection to local and remote plants as well as to the energy networks in the Energy Lab 2.0.

The CMVC’s co-simulation platform enables models of new components in the energy system to be connected to SCADA interfaces of existing plants, forming a comprehensive model of future energy system solutions. By adding data forecasting modules, market models and optimization tools for determining operating schedules, future operation possibilities can be simulated and evaluated.



Graphic: © KIT



Graphic: © KIT

# INFORMATION- AND COMMUNICATION TECHNOLOGY



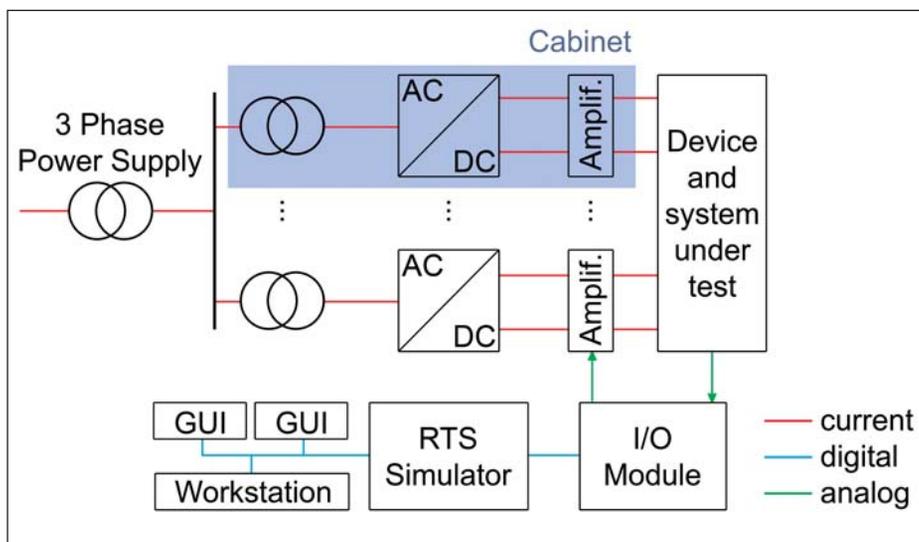
## POWER HARDWARE IN THE LOOP POWER HARDWARE IN THE LOOP

Power Hardware in the Loop (PHIL) ist eine virtuelle Echtzeit-Simulationsumgebung, die echte Leistungsbetriebsmittel integriert. Power Hardware in the Loop wird eingesetzt zur sicheren und wiederholbaren Prüfung neuer Netzkomponenten, -topologien und -technologien in jeder erdenklichen Betriebsituation, zur Senkung von Hardware-Entwicklungskosten, um die Zeitspanne von Design zur Marktreife zu verkürzen und um Deutschlands Stromnetz mit einem hohen Anteil an erneuerbarer Energie zukunftsfähig zu machen.

Das 1 MVA Power Hardware in the Loop Labor ist ein zentraler Bestandteil des Energy Lab 2.0. Es bietet die bedeutende Möglichkeit der Echtzeit-Systemintegration. Große Synergien ergeben sich aus dem kombinierten Betrieb und der Zusammenschaltung mit anderen Laboreinrichtungen, z.B. dem Micro-Grid, dem Photovoltaik-Testfeld, Power-to-X Anlagen und Co-Simulationen. So stellen wir sicher, dass alle Komponenten zukünftiger Energiesysteme in der Laborumgebung dargestellt werden.

Power Hardware in the Loop (PHIL) is a virtual real-time grid simulation environment that incorporates and exchanges power with real hardware. PHIL is used to safely and repeatedly test new power grid components, topologies and technologies in any imaginable operating scenario, in order to reduce hardware development costs, shorten time to market and to turn Germany's power grid into a sustainable one with a large share of distributed renewable energy generation.

The 1 MVA Power Hardware in the Loop Laboratory is a central element in the Energy Lab 2.0, as it opens up the important possibility of real-time system integration. Great synergies result from the combined operation and interconnection with other laboratory facilities, e.g. the microgrid, the photovoltaic test field, power-to-x facilities and co-simulations. This ensures that all components which will play a role in future energy systems are represented in the laboratory environment.



Medienpartner der Sonderschau | Media Partners of the Special Exhibit

**Energiekommune**

**ENERGIE & MANAGEMENT**  
ZEITUNG FÜR DEN ENERGIEMARKT

**photovoltaik**  
SOLARTECHNIK FÜR INSTALLATEURE · PLANER · ARCHITECTEN

**50,2**  
Das Magazin für intelligente Stromerzeugung

## SONDERSCHAU | SPECIAL EXHIBIT SMART RENEWABLE ENERGY

Intersolar Europe 2017  
31. Mai – 2. Juni 2017, München  
May 31 – June 2, 2017, Munich, Germany

### IMPRESSUM | IMPRINT

Herausgeber   Publisher	Solar Promotion GmbH
Redaktion   Editor	Prof. Dr.-Ing. Roland Dittmeyer, Karlsruher Institut für Technologie Michael Klumpp, Karlsruher Institut für Technologie
Mitarbeit   Contributions	Karlsruher Institut für Technologie: Dr.-Ing. Siegfried Bajohr, Christina Ceccarelli, Dr. Clemens Döpmeier, Dr. Jörn Geisbüsch, Dr. Jörg Isele, Michael Klumpp, Dr. Uwe Kühnapfel, Laura Silbernagel Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: Thomas Monz, Dr. Stefan Zunft Forschungszentrum Jülich: Dr.-Ing. Martin Müller Ineratec: Philipp Engelkamp
Layout   Artwork	Reinhold Burkart, Solar Promotion GmbH
Koordination   Coordination	Simone Fein, Solar Promotion GmbH Michael Klumpp, Karlsruher Institut für Technologie

Veranstalter | Organizers



Projektleitung | Project Management Energy Lab 2.0

