



// Schwerpunktbericht 2012

Focus Report 2012

Die Energiewende als Treiber für Innovationen

The Energy Revolution as a Driver for Innovations

// FOCUS

// Energie als Treiber für Innovation

Die Energieversorgung ist sowohl Treiber für Innovation als auch selbst Gegenstand von Innovation. Für Deutschland mit seiner reichen Forschungslandschaft, seinem innovativen Mittelstand, dem technologisch führenden Maschinenbau und seiner international vernetzten Industrie bietet die Energiewende eine große Chance für Innovation, Umsatz und neue Arbeitsplätze. Denn die Transformation zu einem Energiesystem, in dem erneuerbare Energien im Zentrum stehen, erfordert eine ganze Reihe neuer Technologien, Anlagen und Komponenten. Diese müssen einerseits die Anpassung der Infrastruktur für die Energiebereitstellung, andererseits die Nutzung von alternativ bereitgestellter Energie in effizienter und an die Verfügbarkeit angepasster Weise ermöglichen.

// Energy as a driver for innovation

Energy provision is both a driver and the subject of innovation. With its rich research landscape, innovative SME sector, technologically leading mechanical engineering and internationally networked industry, the energy revolution offers Germany an enormous opportunity for innovation, revenue and new jobs. This because the transformation to an energy system focussed on renewable energies requires a whole series of new technologies, systems and components that, on the one hand, enable the infrastructure to be adapted for providing energy and, on the other, enable the use of alternatively produced energy in an efficient manner that is adapted to its availability.

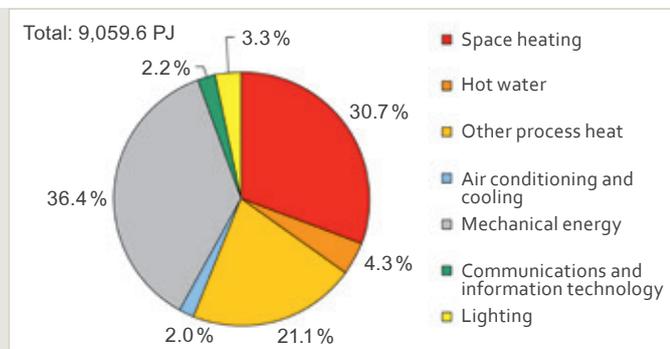


Energie wird in unterschiedlichen Formen, an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten benötigt, die nicht immer mit der lokalen Verfügbarkeit regenerativer Quellen korrelieren. Das gilt insbesondere für Wind und Sonne. Neben der effizienten Energie-wandlung gehören daher auch die Verteilung und Speicherung von Energie zu den größten technischen Herausforderungen der Energie-wende. Schon früh gab es den Ansatz, durch Sonnenlicht photo-voltaisch Strom zu erzeugen und ihn mittels Wasserelektrolyse in Form von regenerativem Wasserstoff zu speichern. Dies war 1988 Namensgeber des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW). Seither hat sich unser Themenspektrum erweitert, die Speicherung erneuerbarer Energien ist jedoch nach wie vor ein zentrales Forschungsfeld.

Vom gesamten Endenergiebedarf in Deutschland entfallen auf die Bereitstellung von Raum- und Prozesswärme rund 50 % und auf mechanische Energie rund 35 %. Die verbleibenden 15 % verteilen sich auf Beleuchtung, Kommunikation sowie Klimatisierung und Kälte (siehe Abb. 1). Bereitgestellt wird die Energie in Form von Strom, Wärme und Kraftstoff (siehe Tab. 1 und Abb. 2). Strom ist dabei die am vielseitigsten verwendbare Energieform und deckt gut 20 % des Endenergiebedarfs.

Energy is required in different forms, places and times that do not always correlate with the local availability of renewable sources. This particularly applies to the wind and sun. In addition to the efficient conversion of energy, the distribution and storage of energy are the greatest technical challenges of the energy revolution. The approach of photovoltaically generating electricity from sunlight and, by means of water electrolysis, storing it in the form of renewable hydrogen is not new. In 1988, this gave the name to the Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (Centre for Solar Energy and Hydrogen Research Baden-Württemberg, ZSW). Although we have now extended our range of interests, the storage of renewable energy is still one of our central research fields.

In terms of the total final energy demand in Germany, around 50% is used for providing space and process heating and around 35% is used for mechanical energy. The remaining 15% is used for lighting and communication as well as for air conditioning and cooling (Fig. 1). The energy is provided in the form of electricity, heat and fuel (Table 1 and Fig. 2), whereby electricity is the most versatile energy form and meets a good 20% of the energy demand.



// Abb. 1: Endenergiebedarf nach Anwendungsbereichen in Deutschland für das Jahr 2010.
// Fig. 1: Total delivered energy per field of application for Germany in 2010.

Quelle/Source: AGEB – Zusammenfassung Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren 2009–2010, <http://www.ag-energiebilanzen.de>

Anwendungsbereich Field of application	Energieform Form of energy		
Raumheizung und Warmwasser Space heating and hot water	Strom electricity	Brennstoff fuels	Wärme heat
Kommunikation, Beleuchtung, Klimatisierung Communications, lighting and air conditioning	Strom electricity		
Mobilität bzw. mechanische Energie Mobility and mechanical energy	Strom electricity	Kraftstoffe fuels	
Prozesswärme Process heat	Strom electricity	Brennstoff fuels	Wärme heat

// Tab. 1: Energieformen Strom, Wärme und Kraftstoffe/Brennstoffe für die verschiedenen Anwendungszwecke. Nicht gezeigt sind Sonderformen, wie z. B. Klimatisierung durch solare Wärme und Beleuchtung durch Gaslampen.
// Tab. 1: Electricity, heat and fuels as forms of energy used for different fields of applications. Not shown are special forms, e.g. air conditioning using solar heat or lighting through gas lamps.

// Zukünftige Optionen für Energiebereitstellung und Energienutzung

Die Herausforderungen der Energiewandlung, -speicherung und -verteilung beinhalten viele Lösungswege und Varianten, die sich gegenseitig beeinflussen. Sie müssen mit Blick auf den Strom-, Wärme- und Kraftstoffsektor angegangen werden, um alle Nutzenergieformen am richtigen Ort und zur richtigen Zeit bereitstellen zu können.

Erneuerbare Energien werden fossile Energien zunehmend ablösen. Für maximale Effizienz ist die direkte Nutzung als Strom und Wärme anzustreben. Die kurzfristige Speicherung mit Pumpspeicherkraftwerken, Batterien oder thermischen Speichern ist möglich. Zur langfristigen Speicherung von Strom können Prozesse wie Power-to-Gas oder Power-to-Liquid genutzt werden, die z. B. Wasserstoff oder Methan als Erdgassubstitut erzeugen können. Für die Rückverstromung können Brennstoffzellen zu einem wichtigen Element werden, da sie sehr effizient und gut skalierbar sind und sowohl in stationären (Kraft-Wärme-Kopplung) als auch mobilen Anwendungen eingesetzt werden können.

Neben der Bereitstellung geeigneter Energiewandler ist die zeitliche und räumliche Abstimmung der Energieströme notwendig. Dabei ist es hilfreich, die Energieformen Strom, Wärme und Kraftstoffe eng zu vernetzen, um das Verschiebungspotenzial maximal nutzen zu können (Abb. 2).

// Aktuelle Beiträge und Forschungsthemen des ZSW zur Energiewende

Das ZSW trägt mit seiner angewandten Forschung dazu bei, die Herausforderungen der Energiewende zu bewältigen, indem es in der Beratung politischer Entscheidungsträger gangbare Lösungswege erarbeitet, geeignete Technologien erforscht und entwickelt und diese mit Partnern in kommerzielle Produkte transferiert. Dafür arbeitet das ZSW mit seinen 220 Naturwissenschaftlern, Ingenieuren und Ökonomen auf den Themengebieten Photovoltaik, regenerative Energieträger, Batterie- und Brennstoffzellentechnologien an technischen und ökonomischen Analysen von Energiesystemen sowie der Entwicklung von Zukunftsszenarien und dem Monitoring der Energiewende. Im Einzelnen werden hier vorgestellt:

// Future options for providing and using energy

In meeting the challenges of transforming, storing and distributing energy, many different possible solutions and alternatives are available that mutually impact one another. They need to be addressed with regard to the electricity, heating and fuel sectors in order to be able to provide all types of useful energy at the right place and time.

Renewable energies will increasingly replace fossil fuels. For maximum efficiency, the aim should be to use these directly as electricity and heat. They can be stored in the short term using pumped storage power plants and batteries, or by using thermal storage. For the long-term storage of electricity, it is possible to use, for example, Power-to-Gas or Power-to-Liquid processes that can generate hydrogen or methane as substitute natural gas. Fuel cells could become a very important factor in converting the gas back into electricity since they are highly efficient and easily scalable and can be deployed in both stationary (combined heat and power) and mobile applications.

In addition to providing suitable energy converters, the energy flows need to be coordinated in both temporal and spatial terms, whereby it is helpful to closely link the electricity, heat and fuel energy forms in order to maximise the displacement potential (Fig. 2).

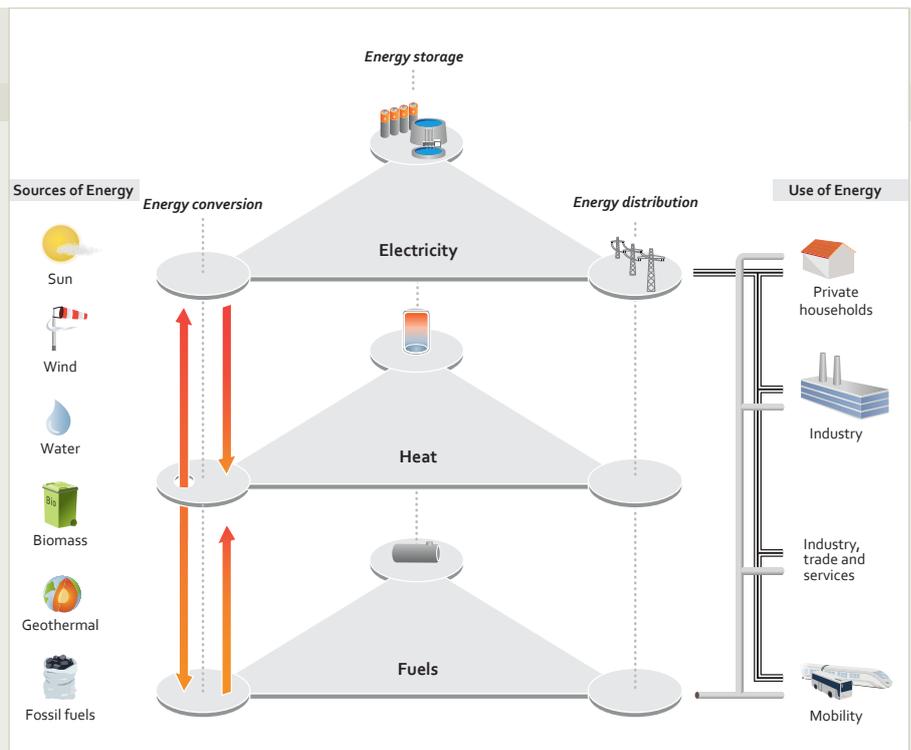
// ZSW's current projects and research topics on the energy revolution

With its applied research and as part of its consultancy services for policy makers, ZSW is helping to meet the challenges of the energy revolution by establishing viable solutions, researching and developing suitable technologies and transferring these into commercial products together with partners. With its 220 scientists, engineers and economists working in the fields of photovoltaics, renewable energy sources and battery and fuel cell technologies, ZSW provides technical and economic analyses of energy systems, develops future scenarios and monitors the energy revolution. The following fields will be described in detail in what follows:

// Focus

// Abb. 2: Von der Quelle zum Endverbraucher – Energiewandlung, Speicherung und Verteilung für die Energieformen Strom, Wärme und Brennstoffe/Kraftstoffe. Durch Kopplung entsteht Lastverschiebungspotenzial zur Anpassung an Erzeugungsschwankungen.

// Fig. 2: From the source to the end-user – energy conversion, storage and distribution shown for the energy sectors 'electricity', 'heat' and 'fuels'. Coupling of the sectors allows for demand side management to adapt to fluctuating generation.



- > Monitoring der Energiewende
- > Photovoltaik: Rolle im Energiemix
- > Elektrochemische Speicher für stationäre und mobile Anwendung
- > Regenerative Energieträger: vom Strom zum Brennstoff oder Kraftstoff
- > Brennstoffzelle: vom Brennstoff zu Strom und Wärme
- > Technologien für Verkehr und Mobilität

Daran wird deutlich, dass die Arbeiten vielfach vernetzt sind. Das ZSW trägt damit einer zentralen Herausforderung der Energiewende Rechnung: der Entwicklung von integrierten Systemen.

// Monitoring der Energiewende

Schon bevor die Bundesregierung mit ihrem Energiekonzept vom 28. September 2010 die Energiewende in Deutschland einleitete, wurde vom ZSW gemeinsam mit fünf weiteren Instituten aus dem Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) im Juni 2010 mit dem „Energiekonzept 2050“ ein Weg zur nachhaltigen Energieversorgung auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien aufgezeigt. Dieses Langfristszenario zeigt, dass es nicht nur möglich ist, Deutschlands Energieversorgung vollständig auf erneuerbare Energien umzustellen, sondern dass dies langfristig deutlich kostengünstiger sein wird, als weiterhin auf ein Energiesystem auf Basis konventioneller Energieträger zu setzen. Damit ging das ZSW mit seinen Partnern deutlich über die im Energiekonzept der Bundesregierung formulierten Ziele hinaus. Doch auch für die von der Bundesregierung gesetzten Ziele, bis 2050 mindestens 60 % des Bruttoendenergieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen zu decken sowie den regenerativ erzeugten Anteil am Stromverbrauch auf 80 % zu steigern, ist eine grundlegende Transformation des Energiesystems erforderlich. Das gilt nicht zuletzt, weil neben den Ausbauzielen für die erneuerbaren Energien

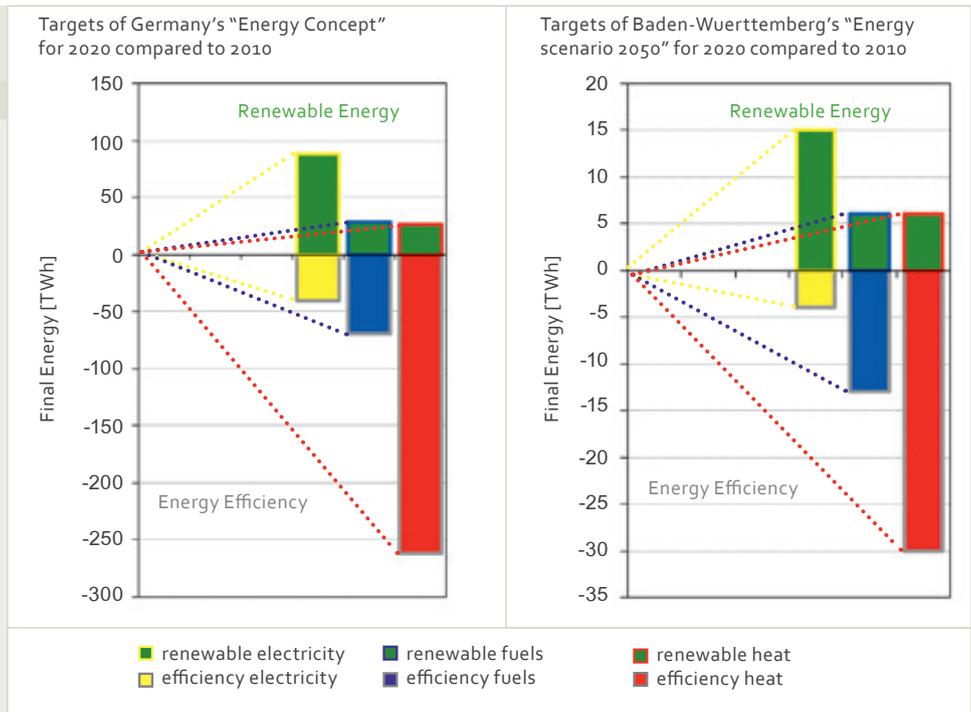
- > Monitoring the energy revolution
- > Photovoltaics: its role in the energy mix
- > Electrochemical storage systems for stationary and mobile applications
- > Renewable energy sources: from electricity to fuels
- > Fuel cells: from fuels to electricity and heat
- > Technologies for transport and mobility

This goes to show the considerable extent to which the different areas of work are interlinked. ZSW is therefore taking into account a central challenge of the energy revolution: the development of integrated systems.

// Monitoring the energy revolution

In June 2010, even before the German government initiated the energy revolution in Germany with its Energy Concept of 28 September 2010, ZSW and five other institutes from the Renewable Energy Research Association (FVEE) outlined a path for providing a sustainable energy based on energy efficiency and 100% renewable energies with its “Energy Concept 2050”. This long-term scenario shows that it is not only possible to completely convert Germany’s energy provision to renewable energy but that this will be considerably cheaper in the long term than continuing to rely on an energy system based on conventional fuels. ZSW and its partners therefore went considerably further than the aims formulated in the German government’s Energy Concept. Nevertheless, the German government’s aims of meeting at least 60% of the gross final energy consumption from renewable sources by 2050 and increasing the renewable portion of the electricity consumption to 80% also require a fundamental transformation of the energy system. This is not least because, in addition to the development targets for renewable energies, ambitious energy efficiency targets have also been set in order to reduce greenhouse gas emissions by 40%

// Abb. 3: Vergleich der Leitstudie für Deutschland mit dem Energiekonzept für Baden-Württemberg.
 // Fig. 3: Comparison of the Energy Concept study for Germany with the Energy Scenario for Baden-Württemberg



anspruchsvolle Energieeffizienzziele gesetzt wurden, um bis 2020 die Treibhausgasemissionen um 40 % und bis 2050 um 80 bis 95 % gegenüber 1990 zu mindern. Hiermit erfüllt Deutschland seinen Beitrag zur weltweiten Begrenzung des Treibhausgasausstoßes. Durch den nach der Reaktorkatastrophe in Fukushima im Sommer 2011 beschlossenen beschleunigten Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie wird die Erfüllung der unverändert angestrebten Klimaschutzziele noch anspruchsvoller.

Die Bundesregierung hat zur Begleitung und Bewertung des Fortschritts der Energiewende in Deutschland eine vierköpfige Expertenkommission eingesetzt, die jährlich eine Stellungnahme zum Monitoringbericht der Bundesregierung erarbeitet. Der geschäftsführende Vorstand des ZSW, Prof. Dr. Frithjof Staiß, wurde von der Bundesregierung in diese Expertenkommission berufen. Entsprechend intensiv begleitet das ZSW die Energiewende. Seine langjährige Erfahrung fließt hier ebenso ein wie die Arbeit des Fachgebiets Systemanalyse und die hervorragende Datenbasis zu erneuerbaren Energien, die durch die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Statistik (AGEE-Stat) aufgebaut werden konnte, die für die Bundesregierung tätig ist und vom ZSW geleitet wird.

Umgesetzt wird die Transformation des Energiesystems jedoch nicht allein auf Bundesebene. In den Bundesländern, den Regionen sowie auf kommunaler Ebene finden zahlreiche Aktivitäten statt. Gerade die Bundesregierung beklagt immer wieder die mangelnde Abstimmung zwischen den einzelnen Ebenen. Da das ZSW auf sämtlichen Ebenen beratend tätig ist, bezieht es stets auch die übergeordneten Rahmenbedingungen mit ein. So ist beispielsweise das als Grundlage für das Integrierte Energie- und Klimakonzept der Landesregierung Baden-Württemberg erarbeitete Energie-szenario Baden-Württemberg 2050 sowohl kompatibel zu den Bundeszielen als auch zu den Zielsetzungen auf europäischer Ebene, bezieht aber gleichzeitig regionale Randbedingungen mit ein (Abb. 3). Die in regelmäßigen Abständen gemeinsam mit dem Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung erarbeitete Bundes-

by 2020 and by 80-95% by 2050 relative to 1990. In this regard, Germany is meeting its contribution to limiting the worldwide emissions of greenhouse gases. However, the accelerated phasing out of nuclear energy following the reactor disaster in Fukushima in summer 2011 is making it even more challenging to meet the climate protection goals that are still being targeted.

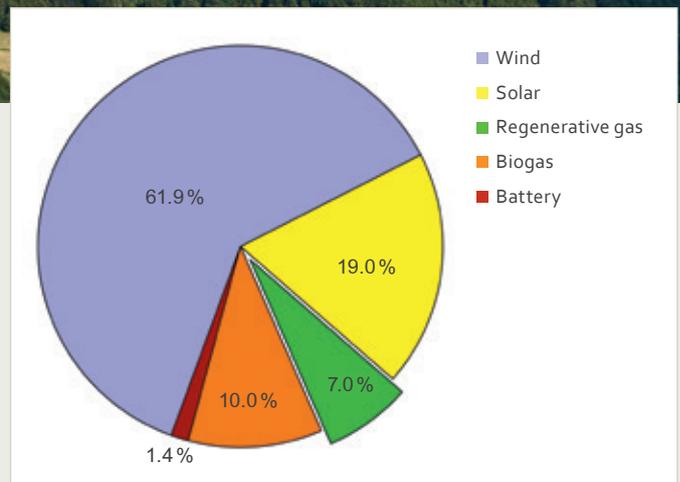
In order to monitor and assess the progress of the energy revolution in Germany, the German government has established a four-person commission of experts that each year delivers a statement on the German government's monitoring report. The Managing Director of ZSW, Professor Frithjof Staiß, has been appointed to this commission of experts by the German government. ZSW is therefore monitoring the energy revolution very closely. Not only is his many years of experience put to use here but also the work of the Systems Analysis research department and the excellent database on renewable energies developed by the Working Group on Renewable Energy – Statistics (AGEE-Stat), which works for the German government and is managed by ZSW.

However, the energy system is not just being transformed at the national government level. Numerous activities are also being undertaken in the federal states, regions and at the local community level. In this context, the German government constantly complains about the lack of coordination between the individual levels. Because, however, ZSW provides consultancy services at all levels, it always factors in the overarching framework conditions. For example, the Energy Scenario Baden-Württemberg 2050, which has been developed to provide the basis for the Baden-Württemberg government's integrated energy and climate concept, is compatible with both national goals and the targets at the European level, but, at the same time, takes into account regional circumstances (Fig. 3). The federal states comparison study that ZSW draws up at regular intervals with the German Institute for Economic Research (DIW) also provides ZSW with an insight into the progress made in other federal states with regard to the energy revolution.

// Focus



// Abb. 4: Optimaler Erzeugungsmix am Beispiel der ländlichen und windreichen Region Heubach (10.000 Einwohner), berechnet mit dem vom ZSW entwickelten Optimierungstool P²IONEER.
// Fig. 4: Optimal generation mix based on the rural and wind-abundant region of Heubach (10,000 inhabitants), calculated using the P²IONEER optimisation tool developed by ZSW.



ländervergleichsstudie erlaubt dem ZSW auch Einblicke in den Fortschritt der Energiewende in anderen Bundesländern.

Um die Energiewende nicht nur technisch, sondern auch ökonomisch effizient umzusetzen, bearbeitet das ZSW eine Reihe von Fragestellungen. Konzeptionelle Überlegungen lassen sich dabei anhand von Systemsimulationen unterlegen. So können mit dem Strommarktmodell REMO für Deutschland, das auch die Verknüpfungen der Märkte innerhalb Europas berücksichtigt, Schlüsse auf die zukünftige Entwicklung des Börsenstrompreises oder der zu erwartenden Stromüberschüsse aus erneuerbaren Energien gezogen werden, um daraus Empfehlungen für die Politik zur zukünftigen Gestaltung der Energiewende abzuleiten. Eine auf Baden-Württemberg zugeschnittene Weiterentwicklung des Modells ist aktuell in Bearbeitung. Sie soll die Landesregierung bei der Beurteilung der Versorgungssicherheit in Baden-Württemberg nach Wegfall der Kernenergie und gleichzeitig ambitioniertem Ausbau fluktuierender erneuerbarer Energien unterstützen.

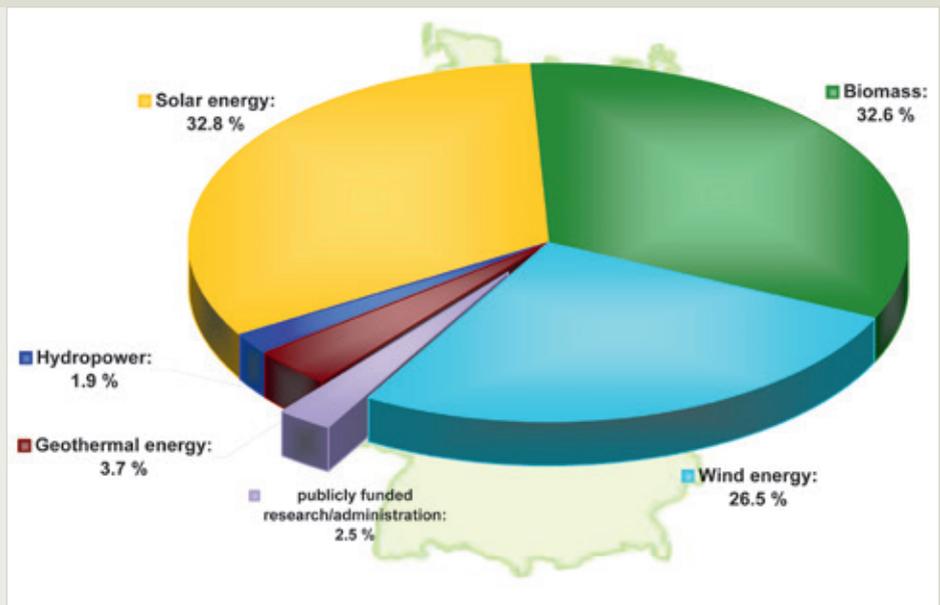
Auch für Kommunen, die die Energiewende mitgestalten wollen, bietet das ZSW mit dem Optimierungsmodell P²IONEER (Abb. 4) die Möglichkeit, eine bis zu 100 % auf erneuerbaren Energien basierende Energieversorgung mit dem an den jeweils örtlich gegebenen Potenzialen orientierten kostenoptimalen Energiemix abzubilden. Das soll den Fortschritt der Energiewende auch auf kommunaler Ebene unterstützen.

In order to enable an efficient implementation of the energy revolution not only in technical but also in economic terms, ZSW is focussing on a whole series of aspects, whereby conceptual considerations can be substantiated using system simulations. For example, the REMO electricity market model for Germany, which also takes into account the market links within Europe, enables conclusions to be drawn on the future development of the traded price of electricity or the expected surplus electricity from renewable energies in order to derive recommendations for the government on the future organisation of the energy revolution. A further development of the model tailor-made for Baden-Württemberg is currently in progress and is intended to help the state government assess the supply security in Baden-Württemberg with the phasing out of nuclear power and the simultaneous ambitious expansion of fluctuating renewable energies.

With its P²IONEER optimisation model (Fig. 4), ZSW also enables local communities that want to help shape the energy revolution to project energy provision based on up to 100% renewable energy that comprises a cost-optimised mixture of renewable energies oriented to their specific potential on location. This should help to advance the energy revolution at the local community level.

// Abb. 5: Anteilmäßige Verteilung der rund 381.600 Arbeitsplätze im Bereich der erneuerbaren Energien im Jahr 2011.
 // Fig. 5: Proportional distribution of the roughly 381,600 jobs in the renewable energy sector in 2011.

Quelle/Source:
 Zwischenbericht „Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt“, Stand März 2012
 www.erneuerbare-energien.de



Photovoltaik: Rolle im Energiemix

Die Photovoltaik (PV) leistet einen wichtigen Beitrag zur Energiewende. Mit mehr als 1,2 Mio. PV-Anlagen auf Privathäusern und landwirtschaftlichen Gebäuden haben ebenso viele Bürger die Rolle gewechselt und sind vom reinen Stromkonsumenten zum zeitweisen Stromproduzenten geworden. Im Jahr 2012 wurden 4,6 % der Bruttostromerzeugung in Deutschland mit Strom aus Photovoltaik bewerkstelligt – eine Steigerung gegenüber dem Vorjahr um 44 %. Rund ein Drittel der knapp 400.000 Arbeitsplätze im Bereich erneuerbarer Energien entfallen auf die Photovoltaik (Abb. 5).

Wissenschaft und Industrie haben mit großen technologischen Fortschritten und stark ausgeweiteten Produktionskapazitäten zu massiven Reduktionen der PV-Systemkosten beigetragen: allein über die letzten drei Jahre von 2010 bis 2012 um den Faktor zwei.¹ Von einer anfänglich noch teuren Art, Strom zu erzeugen, ist die Photovoltaik damit zu einer der großen nachhaltigen Stromerzeugungsformen geworden, die nach der traditionellen Wasserkraft und der Windkraft an Land heute bezüglich der Kosteneffizienz an dritter Stelle liegt. Die Kosten für PV-Strom lagen zum Anfang des Jahres 2013 bei 17 ct/kWh für Aufdachanlagen und gut 11 ct/kWh für große Freiflächenanlagen (Abb. 6) und damit auch ohne Mehrwertsteuer deutlich unter den Strombezugskosten für den Durchschnittshaushalt in Deutschland.

Einerseits unterstützt das ZSW mit seinen Arbeiten zu Dünnschicht-Solarzellen auf Glas und flexiblen Materialien sowie auf dem Gebiet gedruckter, vakuumfrei herstellbarer Solarzellen die weitere Optimierung und Kostensenkung bekannter Modultechnologien. Auch die Entwicklung von Fertigungsverfahren für die Solarzellen der nächsten Generationen zielen auf Kosten für den PV-Strom von weit unter 10 ct/kWh. Flankierend können mit den umfangreichen Messeinrichtungen im PV-Testlabor Solab die ge-

// Photovoltaics: its role in the energy mix

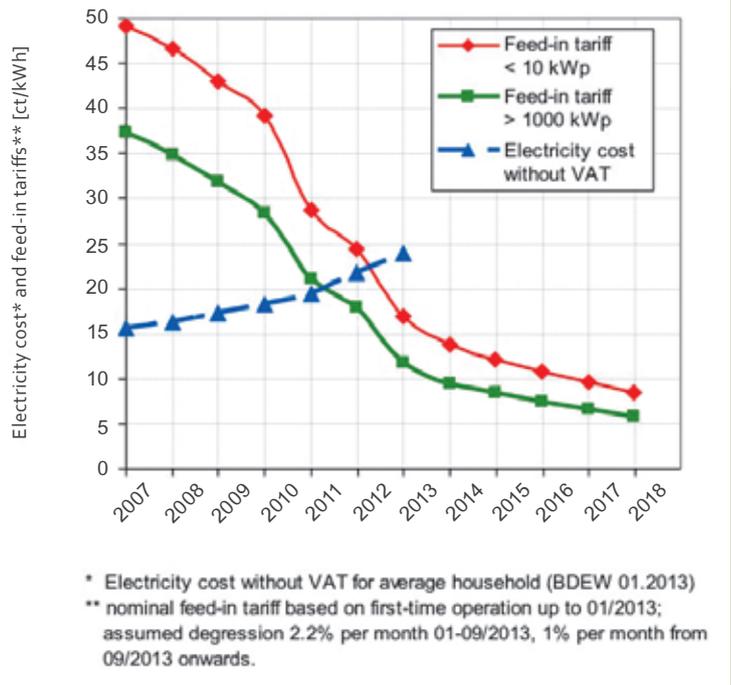
Photovoltaics (PV) is making an important contribution to the energy revolution. With more than 1.2 million PV installations on private houses and agricultural buildings, just as many citizens have swapped roles and have changed from being pure electricity consumers to part-time electricity producers. In 2012, 4.6% of the gross electricity generation in Germany was provided by electricity from photovoltaics – which represents a 44% increase on the previous year. Around a third of the almost 400,000 jobs in the renewable energy sector are related to photovoltaics (Fig. 5).

With considerable technological progress and significant expansion in production capacities, scientists and industry have helped contribute to a massive reduction in PV system costs: in the last three years alone, from 2010 to 2012, these have sunk by a factor of two.¹ From being initially an expensive way to generate electricity, photovoltaics has therefore become one of the major forms of sustainable electricity generation that, after hydropower and onshore wind energy, is now ranked third when it comes to cost efficiency. At the beginning of 2013, the costs for PV electricity were around 17 ct/kWh for rooftop systems and just over 11 ct/kWh for large-scale ground-mounted installations (Fig. 6) and therefore, even without the value added tax, considerably less than the electricity procurement costs for an average household in Germany.

With its work on thin-film solar cells on glass and flexible materials and on printed solar cells produced without a vacuum, ZSW is on the one hand supporting further optimisation and reduction in costs of established module technologies. The development of production processes for next-generation solar cells is also aimed at achieving costs for PV electricity that are far below 10 ct/kWh. On behalf of customers, the comprehensive measurement equipment in the Solab module test laboratory also enables the currently

¹ http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/Grafiken/pdf/BSW_Preisindex_1204.pdf

// Abb. 6: Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) als Indikator für die Kostenentwicklung von Solarstrom (Stand 1.1.2013).
 // Fig. 6: Feed-in tariff according to the EEG Act as an indicator for the cost development of solar power (as of 1 January 2013).



genwärtig verfügbaren Solarmodule im Kundenauftrag in Bezug auf Qualität, Langlebigkeit und Ertrag im Labor und Freifeld charakterisiert werden.

Andererseits widmet sich das ZSW der Rentabilität des PV-Stroms jenseits der Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und seiner Netzverträglichkeit. Eigenverbrauch von Solarstrom am Ort der Erzeugung ist schon heute wirtschaftlich interessant für den Anlagenbesitzer. Weiter erlebbar wird die Energiewende, wenn das Eigenheim neben der PV-Anlage einen zusätzlichen Batteriespeicher erhält und damit die Eigenversorgung mit Strom auf über 50 % des Jahresgesamtbedarfs erhöht werden kann. Diese Werte ergeben sich nicht nur in Simulationen zur geeigneten Auslegung der Systeme, sondern auch im Feldversuch mit Lithium-Ionen-Batteriesystemen bei Feldtestkunden im Rahmen des Sol-ion-Projekts.² Der Einsatz einer Wärmepumpe kann die Rentabilität der PV-Anlage weiter erhöhen. Schließlich wird gegenwärtig untersucht, inwieweit sich dezentrale Batteriesysteme zur Stützung bzw. Entlastung des Stromnetzes in Zeiten einer hohen Verfügbarkeit von PV-Strom eignen. Batteriesysteme mit intelligenten Ladestrategien ermöglichen dabei eine signifikante Steigerung der Aufnahmefähigkeit des Verteilnetzes für PV-Strom.

// Elektrochemische Speicher für stationäre und mobile Anwendungen

Neben dem Bedarf für stationäre Speicher für die oben genannte Optimierung der Wertschöpfung dezentraler PV-Anlagen jenseits des EEGs wird langfristig, bei dann sehr hohem Anteil an erneuerbaren Energien, ein Bedarf für stationäre Speicher zur Netzdienstleistung entstehen. Dabei müssen Kurzfristspeicher den Wegfall von konventionellen Generatoren und deren rotierenden Massen kompensieren. Das ZSW beteiligt sich mit seiner umfangreichen

available solar modules to be characterised in terms of quality, durability and yield in the laboratory and outdoors.

On the other hand, ZSW is also focussing on the profitability of PV electricity beyond the remuneration provided by the German Renewable Energy Sources Act (EEG) and its grid compatibility. The self-consumption of solar power at the place where it is generated is already economically interesting for system owners. The energy revolution will become even more tangible when private houses receive an additional battery storage system in addition to their PV systems and can thus increase their self-provision of electricity to more than 50% of their total annual requirement. Such values have been produced not just in simulations of suitable system designs but also in field tests with lithium-ion battery systems on behalf of customers as part of the Sol-ion project.² The use of heat pumps can also further increase the profitability of PV systems. Finally, the extent to which decentralised battery systems are suitable for supporting or relieving the electricity grid at times when there is a high availability of PV electricity is also being investigated at the moment, whereby battery systems with intelligent charging strategies enable a significant increase in the ability of the distribution network to accept PV electricity.

// Electrochemical storage systems for stationary and mobile applications

In addition to the aforementioned need for stationary storage systems for optimising the added value of decentralised PV systems beyond the EEG Act, there will be a need for stationary storage systems for providing grid services in the long term when there will be a very high proportion of renewable energies. Here short-term storage systems will need to compensate for the loss of conventional generators and their rotating masses. With its compre-

² Verweise auf die entsprechenden Veröffentlichungen und Projektpartner finden sich in der Literaturliste ab Seite 84.

² References to the corresponding publications and project partners can be found in the bibliography on page 84.

Kompetenz in der Batteriecharakterisierung und Modellierung an entsprechenden Forschungsvorhaben.

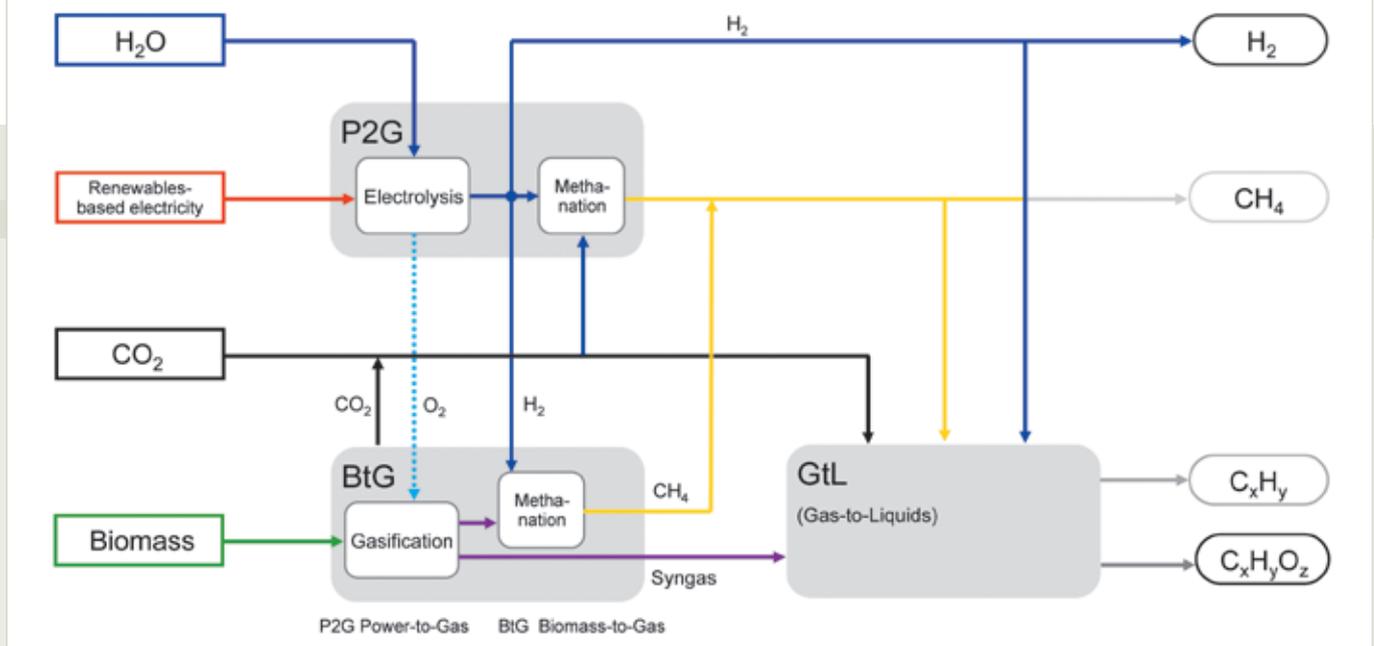
Angeschoben wurde die Entwicklung großformatiger Zellen, die auch für stationäre Anwendungen geeignet sind, jedoch durch den aktuellen Bedarf an elektrischen Speichern für die Elektromobilität. Lithium-Ionen-Batterien werden als diejenige Technologie betrachtet, die das Potenzial hat, die hohen Anforderungen an Energiedichte, Zyklenfestigkeit und Wirkungsgrad zu erfüllen. Die Forschungsaktivitäten am Institut fokussieren sich im Bereich der Technologieentwicklung zum einen auf Produktionsprozesse, um die Qualität der Zellen zu erhöhen und Kosten zu reduzieren, und zum anderen auf die Charakterisierung und Synthetisierung neuer Materialien. Zur Steigerung der Energiedichte werden Materialien wie Hochvoltspinelle untersucht, die zu einer höheren Zellspannung und einer höheren spezifischen Kapazität der Batterien führen. Andere Projekte widmen sich der verbesserten Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien, bei denen neuartige Elektrolyte und alternative Anodenmaterialien wie Titanat eingesetzt werden.

Für den Einsatz als elektrochemische Speicher in der Elektromobilität werden Lithium-Ionen-Batterien in unterschiedliche Richtungen optimiert. Für batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) werden Batterien entwickelt, die einen hohen Energiegehalt haben, womit sich die Reichweite steigern lässt. Bei Hybridfahrzeugen (HEV), die weiterhin über einen konventionellen Verbrennungsmotor verfügen, wird die Batterie im Wesentlichen zur Bremsenergierückgewinnung und für die Unterstützung von Beschleunigungsvorgängen eingesetzt. In diesen Anwendungsfällen steht weniger die Energie- als die Leistungsdichte im Vordergrund. Die Vorteile elektrochemischer Speichersysteme sind u. a. die geringe Selbstentladung, der hohe Wirkungsgrad, die Unabhängigkeit von Geographie und Geologie sowie ihr modulares Design mit adaptierbarer Speichergröße. Mit dem Labor für Batterietechnologie eLaB ist am ZSW 2011 ein modernes Batterieforschungszentrum entstanden, an dem insbesondere der Technologietransfer in die In-

hensive expertise on characterising and modelling batteries, ZSW is taking part in appropriate research projects.

The development of large-scale cells that are also suitable for stationary applications has been driven forward by the current need for electrical storage systems for electromobility. Lithium-ion batteries are considered to be the technology that has the potential to meet the considerable demands regarding energy density, cycle stability and efficiency. In the technology development field, the institute's research activities are focussed, on the one hand, on production processes to increase the cell quality and reduce costs and, on the other hand, on characterising and synthesising new materials. To increase the energy density, materials such as high-voltage spinels that increase the cell voltage and specific capacity of the batteries are being investigated. Other projects focus on improving the safety of lithium-ion batteries, whereby new kinds of electrolytes and alternative anode materials are being deployed such as titanates.

Lithium-ion batteries are being optimised in different ways for use as electrochemical storage systems for electromobility purposes. Batteries with a high energy content that extend the operating range of battery-powered vehicles (BEV) are being developed. With hybrid vehicles (HEV) that continue to use conventional combustion engines, the batteries are mainly used for recycling brake energy and for supporting the acceleration processes. With these applications, the focus is not so much on the energy density but on the power density. The advantages of electrochemical storage systems include their low self-discharge rate, high efficiency, independence from geographic and geologic conditions as well as their modular design with adaptable storage sizes. With the opening of the eLaB laboratory for battery technology in 2011, a modern battery research centre has been established at ZSW that particularly drives forward the transfer of technology into industry. The work there focusses on cell production, testing batteries of different sizes and performances classes, destructive safety tests and post-



// Abb. 7: Prozessketten zur Erzeugung von gasförmigen und flüssigen regenerativen Brenn- und Kraftstoffen aus Wasser, CO₂ und Biomasse unter Energieeintrag durch Strom; die gezeigten Prozesse sind Power-to-Gas (P2G[®]), Biomass-to-Gas (BtG) und Gas-to-Liquid (GtL).

// Fig. 7: Process chains for generating gaseous and liquid renewable fuels from water, CO₂ and biomass with the energy input as electricity; the processes shown are Power-to-Gas (P2G[®]), Biomass-to-Gas (BtG) and Gas-to-Liquid (GtL).

dustrie vorangetrieben wird. Schwerpunkte der Arbeit liegen dort auf der Zellfertigung, dem Batterietest auf unterschiedlichen Größen und Leistungsklassen, dem zerstörerischen Sicherheitstest, der Post-mortem-Analyse sowie der elektrischen und thermischen Batteriesystemtechnik.

// Regenerative Energieträger: vom Strom zum Brennstoff oder Kraftstoff

Die bisherige Stromversorgung folgt im Wesentlichen nur der „Einbahnstraße“ vom Energiesegment „Brennstoff“ zum Energiesegment „Strom“ über fossil betriebene Kraftwerke und Blockheizkraftwerke (Abb. 2). Auf diesem Weg der Stromerzeugung entsteht CO₂. Ein wesentlicher Anteil der Arbeiten am ZSW besteht in der Entwicklung von Verfahren und Anlagen, die den umgekehrten Weg eröffnen, also wieder Brenn- oder Kraftstoffe mit Hilfe von Energie aus dem Stromsektor erzeugen. Auf dem Weg vom Segment „Strom“ zum Segment „Kraftstoff“ wird ggf. CO₂ aus vorhandenen Quellen gebunden, das bei der Nutzung des Kraftstoffes wieder freigesetzt wird. Der Prozess ist somit CO₂-neutral. Der Schwerpunkt der Arbeiten am ZSW liegt auf einem regenerativen Gesamtsystem mit Biomasse als CO₂- bzw. Kohlenstoffquelle (Abb. 7).

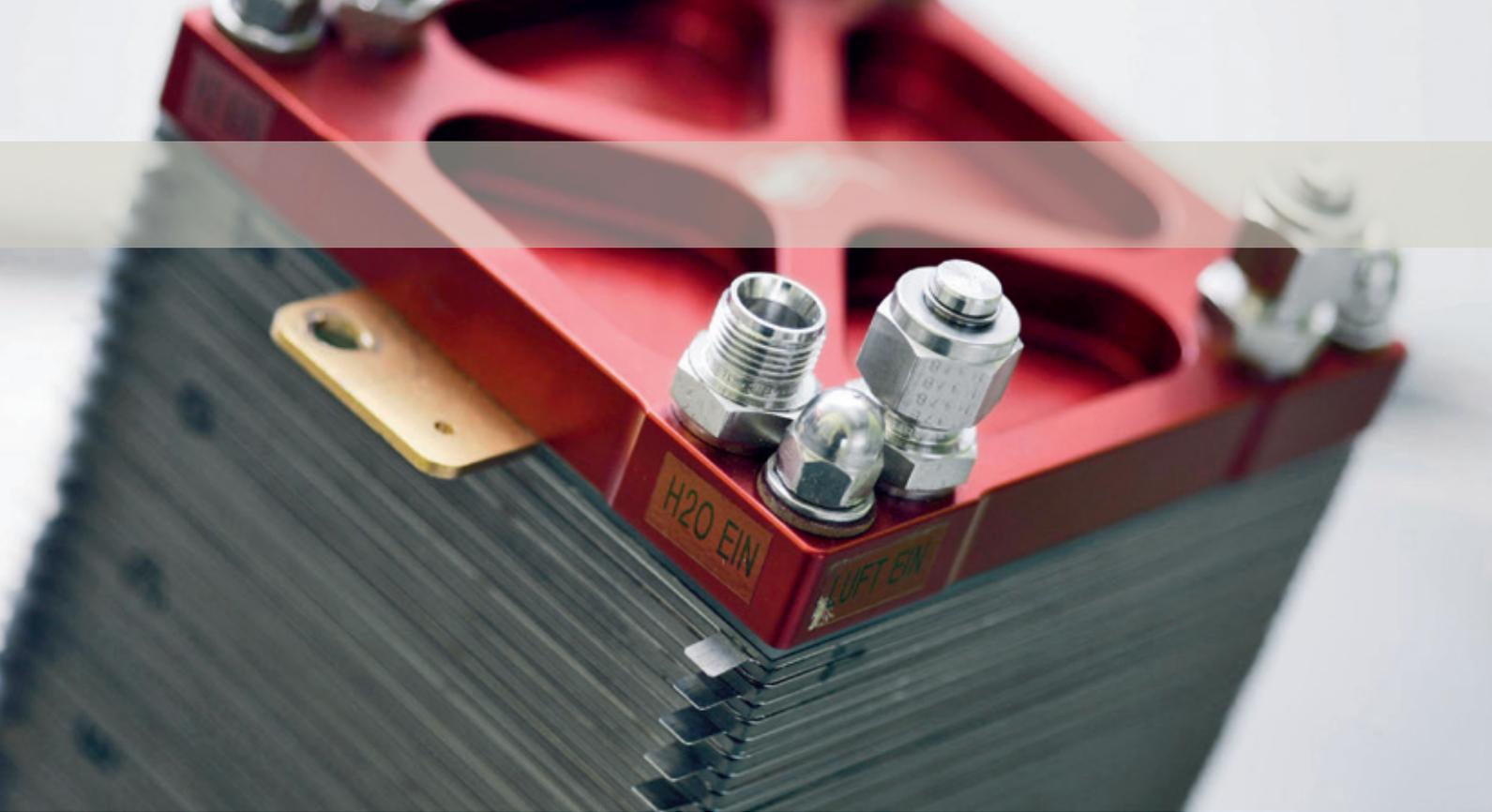
Bei der Power-to-Gas-Technologie wird durch Einsatz von regenerativem, fluktuierend anfallendem Strom etwa aus Wind- oder PV-Anlagen mittels Elektrolyse erneuerbarer Wasserstoff erzeugt. Dieser kann direkt genutzt oder in einem nachgeschalteten Prozessschritt unter Zugabe von CO₂ zu einem Erdgassubstitut (SNG: Substitute Natural Gas) umgewandelt werden. Das ZSW entwickelt hierfür sowohl Elektrolyseure als auch Synthesereaktoren. Zur Erzeugung gasförmiger Energieträger aus Biomasse (Biomass-to-Gas) kommen die anaerobe Vergärung und die thermochemische Konversion in Frage. Bei der thermochemischen Vergasung wird der Kohlenstoff der Biomasse nahezu vollständig in die Gasphase überführt. Um aus diesem Kohlenstoff möglichst viel Methan gewinnen zu können, muss in den Prozess Wasserstoff aus der

mortem analyses as well as on electrical and thermal battery system technology.

// Renewable energy sources: from electricity to fuels

The existing electricity supply is essentially a “one-way street” from the “fuel” energy segment to the “electricity” energy segment via fossil-fuel power stations and CHP plants (Fig. 2). This route for generating electricity creates CO₂. A substantial part of the activities at ZSW consists in developing processes and systems that open up the reverse route, i.e. generating fuels using energy from the electricity sector. CO₂ from existing sources is bound in on route from the “electricity” segment to the “fuel” segment, and is then released again when the fuel is used. The process is therefore CO₂-neutral. The work at ZSW is focussing on a renewable overall system with biomass as the CO₂ or carbon source (Fig. 7).

Power-to-Gas technology uses renewable, fluctuating electricity from, for example, wind or PV systems to generate hydrogen by means of electrolysis. This can be used directly or, with the addition of CO₂, converted into substitute natural gas (SNG) in a downstream process. For this purpose ZSW is developing both electrolyzers and synthesis reactors. The generation of gaseous fuels from biomass (Biomass-to-Gas) requires anaerobic digestion or thermochemical conversion. With thermochemical gasification, the carbon in the biomass is almost completely transferred to the gas phase. In order to gain as much methane as possible from this carbon, hydrogen needs to be coupled into the process from the electrolysis. By cleverly combining the Power-to-Gas process and biomass gasification it is possible to increase the fuel yield in view of methane production by a factor of three. Compared with biodiesel and bioethanol, this enables the fuel yields to be increased by up to ten times, which considerably extends the range of the limited biomass resources. This is even more important given that there is considerable competition for using biomass, whereby in addition to its use as food and as a building material, it is also required as a raw material for the chemical industry.



Elektrolyse eingekoppelt werden. Durch eine geschickte Verfahrenskombination von Power-to-Gas und Biomassevergasung kann der Kraftstofftrag bei der Methanherzeugung um den Faktor drei erhöht werden. Im Vergleich zu Biodiesel und Bioethanol lassen sich auf diese Weise bis zu zehnfach höhere Kraftstoffträge erzielen, was zu einer deutlichen Reichweitenverlängerung der limitierten Biomasseressourcen führt. Das ist umso wichtiger, als die Biomasse einer starken Nutzungskonkurrenz unterliegt und neben der Ernährung und als Baumaterial auch als Rohstoff für die chemische Industrie benötigt wird.

Mit jedem weiteren Schritt von der Wasserstoffherzeugung über die Methanisierung bis hin zur Herstellung flüssiger Kraftstoffe aus Strom, Wasser, CO₂ bzw. Biomasse steigen der technologische Aufwand und die energetischen Verluste. Wann immer die Möglichkeit besteht, sollte daher zunächst regenerativer Wasserstoff genutzt werden. So kann Wasserstoff direkt in Brennstoffzellenfahrzeugen oder für die Wärme- und (erneute) Stromerzeugung verwendet werden. Es gilt, die heute hohen Kosten durch technologische Weiterentwicklungen und die Serienfertigung von Elektrolyseuren zu reduzieren. Darüber hinaus muss die fehlende Infrastruktur für den Transport, die Speicherung und Verteilung von Wasserstoff ausgebaut werden. Für das gleichzeitige Beschreiten des parallelen Pfads durch die oben beschriebene Methanisierung des Wasserstoffs, um eine bereits bestehende Infrastruktur nutzen zu können, spricht das deutsche Erdgasnetz mit seinen insgesamt rund 420.000 Kilometern Leitungen und der Speicherkapazität von 220 TWh.

// Brennstoffzelle: vom Brennstoff zu Strom und Wärme

Brennstoffzellen erlauben eine direkte und effiziente Wandlung der in Wasserstoff (reinem Wasserstoff oder aus CH₄ gewonnenem) gespeicherten chemischen Energie in elektrischen Strom. Entsprechend vielseitig ist das Einsatzspektrum von portablen

The technological effort and energy losses increase with every further stage from hydrogen generation and methanisation to the production of liquid fuels from electricity, water, CO₂ and biomass. Therefore renewable hydrogen should be used first of all whenever possible. For example, hydrogen can be used directly in fuel cell vehicles or for generating heat and (re)generating electricity. It is important to reduce the current high costs through further technological development and the series production of electrolyzers. In addition, the lacking infrastructure for transporting, storing and distributing hydrogen must be developed. Simultaneously taking the parallel path of methanising hydrogen as described above enables an already existing infrastructure to be used in the form of the German natural gas network, which has 420,000 kilometres of pipelines and a storage capacity of 220 TWh.

// Fuel cells: from fuels to electricity and heat

Fuel cells enable the chemical energy stored in hydrogen (pure hydrogen or derived from methane) to be directly and efficiently converted into electrical power. The range of possible uses is correspondingly large, ranging from portable and stationary systems for supplying electricity to drive systems for vehicles. Fuel cells are differentiated according to the electrolytes and the working temperature. The research work at ZSW is focussing on polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFC) that can be used in all aforementioned application areas.

A substantial driver for developing fuel cells is the requirement for energy saving, emission-free mobility. Electrical drive systems with fuel cells offer operating distances and refuelling times comparable with conventional vehicles. Although the use of fuel cells in vehicles poses considerable challenges in terms of the power density, robustness and costs, considerable progress has been made in these areas in the last few years, and the operability and reliability of the technology has been demonstrated with the vehicles undergoing testing.



Quelle: Callux
Source: Callux

über stationäre Systeme zur Stromversorgung bis zum Antrieb von Fahrzeugen. Brennstoffzellen werden nach den eingesetzten Elektrolyten und der Arbeitstemperatur differenziert. Die Forschungsarbeiten am ZSW konzentrieren sich auf die sogenannte Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle (PEMFC), die in allen genannten Anwendungsfeldern eingesetzt werden kann.

Ein wesentlicher Treiber der Brennstoffzellenentwicklung ist der Bedarf nach energiesparender, emissionsfreier Mobilität. Elektrische Antriebe mit Brennstoffzellen bieten Reichweiten und Betankungszeiten, die mit denen konventioneller Fahrzeuge vergleichbar sind. Der Einsatz von Brennstoffzellen im Automobil stellt erhebliche Anforderungen im Hinblick auf Leistungsdichte, Robustheit und Kosten. Auf diesen Gebieten konnten in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte erzielt werden und mit den im Feld befindlichen Fahrzeugen die Funktionsfähigkeit und Verlässlichkeit der Technologie gezeigt werden.

Die Erkenntnisse aus Grundlagenstudien und Modellrechnungen fließen in die Konstruktion von Brennstoffzellenstacks ein. Am ZSW stehen insgesamt drei Stackplattformen für die Anwendungsfelder Fahrzeugantrieb, Hausenergieversorgung und portable Stromerzeuger sowie eine Plattform zur Hochtemperatur-PEMFC zur Verfügung. Sie werden kontinuierlich verbessert und können als Basis für die Qualifikation neuer Materialien und Komponenten in Kooperation mit Partnern aus Industrie und Forschung eingesetzt werden. Kostenreduktion ist eine wesentliche Erfolgsvoraussetzung für den Einsatz von Brennstoffzellen. Hierzu tragen sowohl kostengünstigere Materialien als auch höhere spezifische Leistungen bei. Das ZSW untersucht dazu gemeinsam mit Partnern neue Kombinationen von Elektrolytmembranen und Katalysatoren. Die Integration von Brennstoffzellenstapeln zu Systemen sowie der anwendungsnahe Test von Brennstoffzellenstapeln und -systemen bilden einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten. Hierfür stehen umfangreiche Prüfeinrichtungen zur Verfügung.

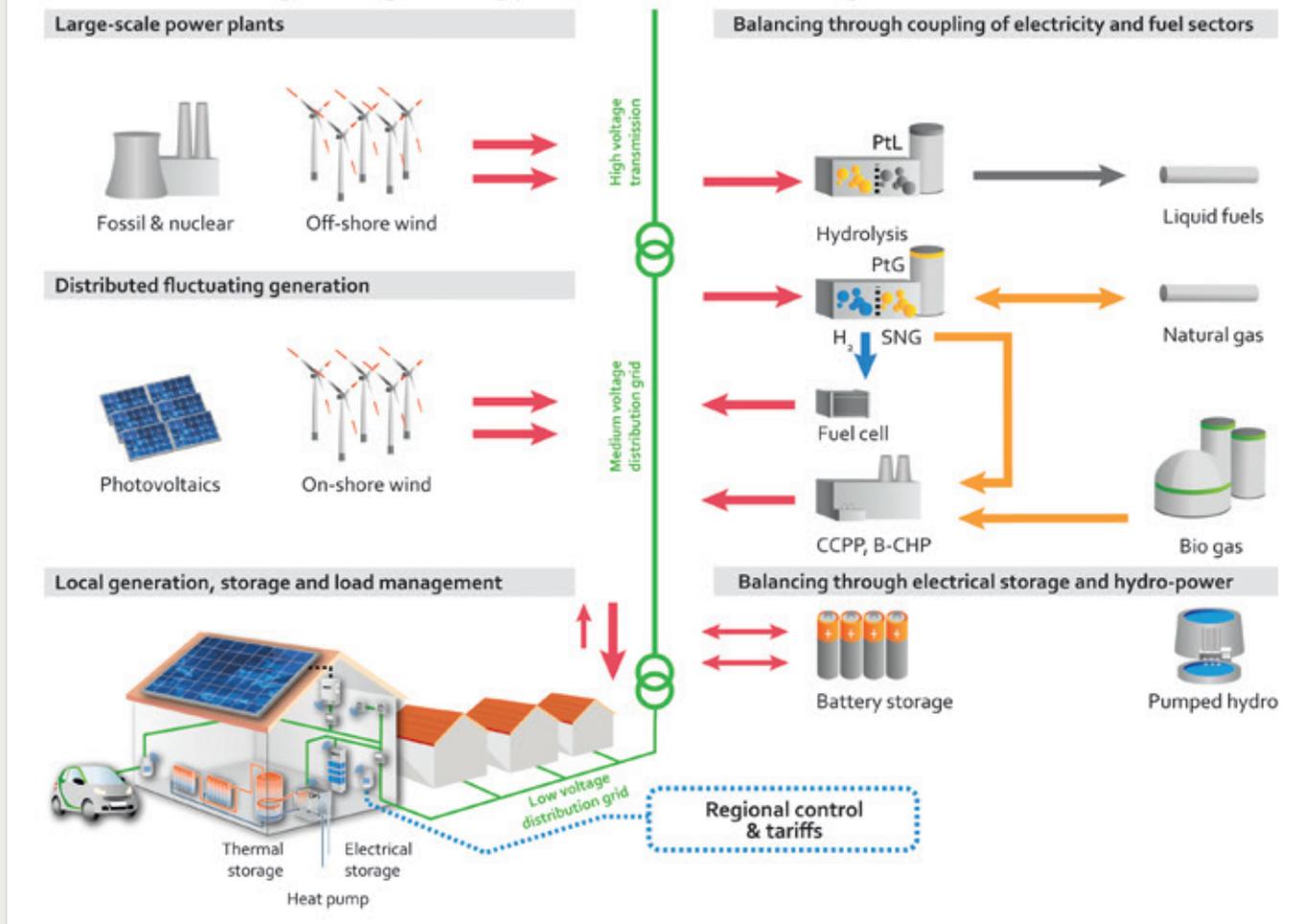
Den Einsatz von erdgasbetriebenen Brennstoffzellen zur Hausenergieversorgung begleitet das ZSW als Koordinator im Projekt „Callux“. Die seit Projektbeginn 2008 installierten mehr als 300 Brennstoffzellen-Heizgeräte sorgen im Haus hocheffizient und umweltschonend für Wärme und Strom. Das Projekt wird im Rahmen des „Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ (NIP) von der Bundesregierung gefördert.

The knowledge gained from baseline studies and model calculations is incorporated into the construction of fuel cells. At ZSW, three stack platforms are available for vehicle drives, residential heat and power supply and portable electricity generators as well as a platform for high-temperature PEMFCs. All of them are being continually improved and can be deployed as the basis for qualifying new materials and components in cooperation with partners from industry and research. Reducing costs will be a substantial prerequisite for the successful use of fuel cells, whereby cheaper materials and higher specific outputs will make an important contribution. Together with partners, ZSW is therefore investigating new combinations of electrolyte membranes and catalysts. A further focus of the work is on integrating fuel cell stacks into systems and the application-related testing of fuel cell stacks and systems. Comprehensive testing facilities are available for this purpose.

ZSW is monitoring the use of natural gas-operated fuel cells for supplying domestic energy as the coordinator of the “Callux” project. The more than 300 fuel cell heating devices that have been installed since the beginning of the project in 2008 provide highly efficient and environmentally friendly heat and electricity for households. The project is being funded by the German government as part of its “Hydrogen and fuel cell technology” (NIP) national innovation programme.

The energy suppliers as well as the equipment manufacturers are conducting comprehensive field tests in the Callux project to test the practicability of the domestic energy systems and push their further development to form reliable systems ready for the market. Parallel to this, the joint development of supporting measures is speeding up their widespread market introduction. These include the development of a uniform communication interface (including for operating the devices in future virtual power plants), testing training concepts for specialist trades and market research activities.

Power Balancing through Energy Conversion and Storage



// Abb. 8: Veranschaulichung der Lastflüsse im Energiesystem zur Angleichung der zum Teil fluktuierenden Erzeugung und des zeitabhängigen Verbrauchs durch Speicherung (SNG: Substitute Natural Gas/erneuerbares Methan, PtG: Power-to-Gas, PtL: Power-to-Liquid), Lastmanagement und schnell regelbare Stromerzeugung durch Gaskraftwerke (CCPP: Combined Cycle Power Plant = GuD) oder Blockheizkraftwerke (B-CHP: Block-type Combined Heat and Power = BHKW).

// Fig. 8: Diagram depicting the load flows and communication routes in the energy system for balancing the partly fluctuating generation and time-dependent consumption of electricity by means of storage (SNG: Substitute Natural Gas / renewable methane, PtG: Power-to-Gas, PtL: Power-to-Liquid), load management and rapid power balancing using CCPP (Combined Cycle Power Plant) and B-CHP (Block-type Combined Heat and Power) plants.

Die Energieversorger sowie die Gerätehersteller führen in Callux umfangreiche Feldtests durch, um die Praxistauglichkeit der Hausenergiesysteme zu erproben und ihre Weiterentwicklung zu zuverlässigen und marktreifen Systemen voranzutreiben. Parallel wird durch die gemeinsame Bearbeitung begleitender Maßnahmen eine breite Markteinführung forciert. Hierzu zählen u. a. die Entwicklung einer einheitlichen Kommunikationsschnittstelle (auch für einen zukünftigen Betrieb der Geräte in virtuellen Kraftwerken), die Erprobung von Schulungskonzepten für das Handwerk sowie Marktforschungsaktivitäten.

// Technologien für Verkehr und Mobilität

Am Beispiel der Mobilität wird die Bedeutung gespeicherter Energie aus regenerativen Quellen für die Energiewende besonders deutlich. Denn abgesehen vom Schienenverkehr kann nur gespeicherte Energie in Form von Kraftstoffen oder Batteriestrom zur Anwendung kommen. Die notwendige Umstellung auf regenerativ erzeugte Kraftstoffe und neue Antriebstechnologien bringt erheblichen Entwicklungsaufwand und Innovationsbedarf mit sich. Der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehr (2011: 5,5 %) basiert heute fast ausschließlich auf Biokraftstoffen der ersten Generation, vorrangig Biodiesel und Bioethanol. Deren Grenzen hinsichtlich

// Technologies for transport and mobility

The importance of stored energy from renewable sources for the energy revolution is particularly evident with regard to mobility. This is because, with the exception of rail transport, it is only possible to use energy that is stored in the form of fuels or battery power. The necessary conversion to renewably generated fuels and new drive technologies requires considerable development efforts and innovation. The proportion of renewable energies used in transport (2011: 5.5%) is currently almost solely based on first-generation biofuels, these being principally biodiesel and bioethanol. Their limitations in terms of protecting the climate and utilisation potential have been sufficiently discussed in recent years.

The development of electromobility is seen as providing an initial, highly promising route for increasing the proportion of renewable energies and the energy efficiency in transport. However, the restricted operating distance of purely electric battery-powered vehicles only enables a particular market segment to be developed. An alternative is provided by fuel cells in vehicles that can make efficient use of hydrogen generated from electricity as the energy source. With heavy goods transport, shipping and aviation, on the other hand, it is only possible to use liquid fuels with a high energy

// Focus



ihrer klimaentlastenden Wirkung und ihrer Nutzungspotenziale wurden in den letzten Jahren hinreichend diskutiert. Ein erster vielversprechender Pfad zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien und zur Erhöhung der Energieeffizienz im Verkehr wird in der Entwicklung der Elektromobilität gesehen. Die begrenzte Reichweite von rein batterieelektrischen Fahrzeugen erschließt jedoch nur ein bestimmtes Marktsegment. Als zweiter Pfad stellt die Brennstoffzelle im Fahrzeug eine Alternative dar, die mit hohem Wirkungsgrad aus Strom erzeugten Wasserstoff als Energiequelle verwenden kann. Im Schwerlast-, Schiffs- oder Flugverkehr kommen hingegen nur flüssige Kraftstoffe mit hoher Energiedichte in Frage. Angesichts der begrenzten Biomasseressourcen arbeitet das ZSW auch am Power-to-Liquid-Verfahren als dritter Option, um unter Mitwirkung von Strom als Energielieferanten (Abb. 7.) das Portfolio von regenerativen, flüssigen Kraftstoffen zu erweitern.

Durch die Verwendung des Stroms zur Kraftstoffherzeugung steigt der Bedarf an erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten aus Sonne und Wind deutlich über das Maß hinaus, das basierend auf dem heutigen Gesamtstrombedarf notwendig ist. Was heute gerne als „Überschussproduktion“ bezeichnet wird, bezieht sich auf die Stromerzeugung, die über die im heutigen Stromsektor benötigte elektrische Momentanleistung hinausgeht. Durch die Bedarfe im Wärme- und Kraftstoffsegment wird dieser „Überschuss“ zur Notwendigkeit. Die Kopplung des Strom-, Wärme- und Kraftstoffsegments liefert schließlich die Methoden zur Anpassung des augenblicklichen Strombedarfs an die fluktuierende Erzeugung von Strom aus Sonne und Wind (Abb. 8).

density. In view of the limited biomass resources, ZSW is also working on Power-to-Liquid processes as a third option in order to expand the portfolio of renewable liquid fuels by using electricity as an energy supplier (Fig. 7).

Through using electricity for generating fuels, the need for renewable electricity generation capacities from the sun and wind increases significantly beyond the extent that is necessary based on the current total electricity demand. What is often commonly known as “surplus production” refers to electricity generation that exceeds the electrical power instantaneously required in the current electricity sector. The demands in the heating and fuel segment will turn this “surplus” into a necessity. The coupling of the electricity, heat and fuel segments will ultimately provide the methods for adapting the instantaneous electricity demand to the fluctuating generation of electricity from the sun and wind (Fig. 8).

// Contact

Dr. Jann Binder

E-mail: jann.binder@zsw-bw.de

Phone: +49(0)711 78 70-209