



Teil 3 / Part 3

Schwerpunktbericht „Nachhaltige Mobilität“
und aktuelle Forschungsprojekte

Focus Report “Sustainable Mobility”
and Current Research Projects

Nachhaltige Mobilität

Sustainable Mobility



1

Vision emissionsfreien Fahrens

Vision of emission-free driving

Das Thema könnte nicht aktueller sein. Mobilität ist einerseits eine zentrale Voraussetzung für die Entwicklung moderner Industrie- und Dienstleistungsgesellschaften. Gleichzeitig gehen vom heutigen Verkehr erhebliche Belastungen für die Umwelt und die menschliche Gesundheit aus. Neben glo-

The subject couldn't be more current. On the one hand, mobility is a vital prerequisite for the development of modern industry- and service-based societies. At the same time, today's transportation pollutes the environment and affects people's health. Besides global climate change and local

balen Klimaänderungen und lokalen Belastungen durch Schadstoffe und Lärmemissionen wird die Begrenztheit fossiler Energiequellen immer deutlicher spürbar. In Verbindung mit der prognostizierten weltweit stark wachsenden Nachfrage nach Mobilität stellen diese Themen eine der großen Herausforderungen für Politik, Industrie und Forschung dar.

pollution and noise, the finite nature of fossil energy sources will increasingly affect us. Together with the increased demand predicted for mobility worldwide, these topics represent a dramatically growing challenge for politics, research, and industry.

Nachhaltige Mobilität

Wie kann der Begriff „Nachhaltige Mobilität“ definiert werden und wie ist das Thema mit den Aktivitäten des ZSW verknüpft? In einem der ganz spannenden Projekte des ZSW werden die Eigenschaften von Hochleistungsbatterien für die Formel 1 untersucht. Diese kommen im sog. KERS (Kinetic Energy Recovery System), dem Hybrid-system der neuen Formel 1 zum Einsatz. Die meisten von uns werden die Formel 1 nicht mit nachhaltiger Mobilität sondern eher mit High Tech und Emotionen verbinden. Eine der vielleicht treffendsten Definition von Nachhaltigkeit könnte hier weiterhelfen:

Maximale Effizienz und maximale Nutzung erneuerbarer Energien bei gleichzeitiger Minimierung des Energieverbrauchs

Sustainable Mobility

What is the definition of “sustainable mobility” and what does it have to do with the ZSW’s activities? In one of our many exciting projects, we are investigating the properties of high-performance batteries for Formula 1 racing cars. They are used in the so-called KERS (Kinetic Energy Recovery System), the hybrid system in the new Formula 1. Most of us associate Formula 1 racing with high tech and emotions, not with sustainable mobility. One of the possibly most accurate definitions of sustainability can be helpful in this context:

Maximum efficiency and maximum use of renewable energy while minimising energy consumption

The efficiency of combustion engines is limited by physical laws (Carnot cycle). Furthermore, emission control standards are becoming ever stricter. And last but not least, fossil fuels only have a limited availability. Worldwide, we have probably already arrived at the point in time known as “peak oil”, which describes the maximum oil production rate. The efforts required to access the remaining resources will increase continuously. The result: the costs for mineral oil products will noticeably increase for all of us.

Der Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren ist aufgrund physikalischer Gesetze (Carnot-Prozess) begrenzt. Darüber hinaus werden die Anforderungen an die Abgasreinigung immer größer. Und nicht zuletzt sind fossile Treibstoffe nur begrenzt verfügbar. Weltweit ist der als Peak Oil bezeichnete Zeitpunkt der maximalen Ölförderrate vermutlich schon erreicht. Der Aufwand, die noch verbleibenden Ressourcen zu bergen, wird immer größer. Die Folge davon: Die Kosten für Erdölprodukte werden für uns alle spürbar steigen.

Die Nachhaltigkeit elektrischer Antriebe kommt nur dann richtig zum Tragen, wenn der Strom aus erneuerbaren Energien stammt.

Electric drives are only then truly sustainable if the electricity originates from renewable sources.

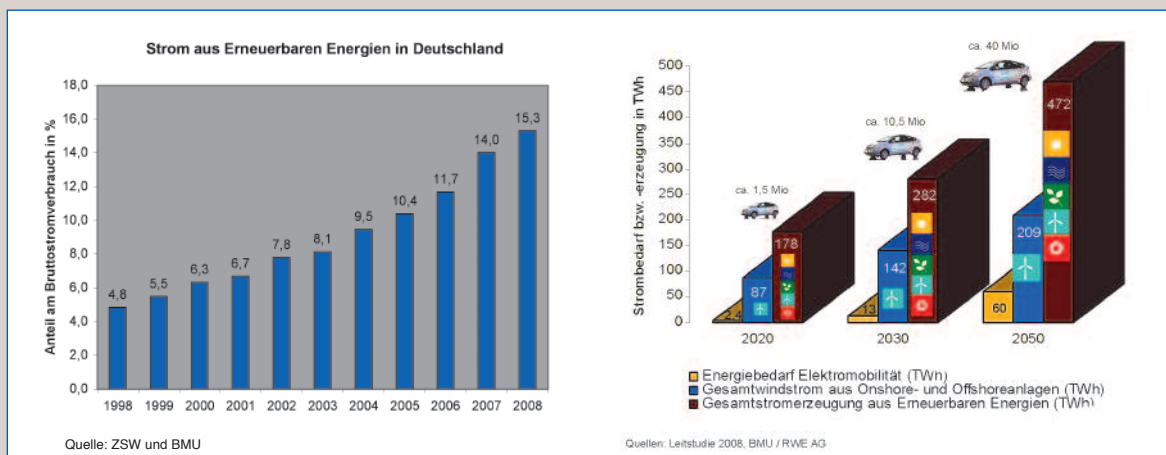


2

Emissionsfreier Tourismus

Das Ulmer Brennstoffzellen-Solarboot

The Ulm fuel cell solar boat - emission-free recreation



3

Anteil des Stroms aus erneuerbarer Energie in Deutschland und mögliche Stromversorgung für die Elektromobilität auf Basis der Ausbaustrategie Erneuerbare Energie der Bundesregierung

Share of renewable electricity in Germany and the possible power supply for electromobility based on the German government's plans for expanding renewable energy

Potenziale erneuerbarer Energien

Beim Einsatz von erneuerbaren Energien im Verkehrssektor stellen sich viele, zum Teil sehr komplexe Fragen: Wie sinnvoll sind alternative Kraftstoffe wie Erdgas, Biodiesel, Ethanol, Biokraftstoffe der zweiten Generation oder Wasserstoff? Wie ist deren Verfügbarkeit? Wie sieht es aus mit Wirkungsgraden und Ökobilanzen über die jeweiligen Herstellungs- und Nutzungspfade? Sind Elektromotoren gespeist mit Strom aus Batterien oder Brennstoffzellen die Lösung? Welchen Beitrag können erneuerbare Energien insgesamt zur

Renewable energy potentials

There are many, sometimes very complex, questions regarding the use of renewable energy in the transportation sector: Does it make sense to use alternative fuels like natural gas, biodiesel, ethanol, second-generation biofuels, or hydrogen? How can they be accessed and how abundant are they? What are the efficiencies and the carbon footprints for each production and use pathway? Are electric motors running on electricity from batteries or fuel cells the solution? How much can renewable energy contribute to mobility? Which

Mobilität leisten? Welche politischen Rahmenbedingungen und Instrumente sind erforderlich, um Alternativen den Weg zu ebnen?

Diese Fragestellungen sind eng mit den Arbeiten am **ZSW-Fachgebiet Systemanalyse** verknüpft. Die ZSW-Experten können damit wertvolle Empfehlungen für Technologien im Umfeld der Mobilität geben, die Nachhaltigkeitskriterien standhalten. So zeigen Analysen (Abb. 3), dass im Zuge des geplanten Ausbaus der erneuerbaren Energien auf Bundesebene auch Strom zur Versorgung einer erheblichen Zahl von Elektrofahrzeugen zur Verfügung steht. Letztere spielen zudem potenziell eine wichtige Rolle bei der zukünftigen Netzintegration von erneuerbaren Energien, wenn intelligente Ladestationen als Lastmanagement bei der Einspeisung von Strom aus fluktuierenden Quellen fungieren.

political conditions and instruments are necessary to pave the way for alternative solutions?

These questions are closely linked with the activities of the **ZSW department Systems Analysis**. The ZSW experts can provide valuable recommendations for technologies which meet the sustainability criteria and which find application in the mobility sector. For example, analyses indicate that enough electricity will be generated in the course of the planned expansion of renewable

energy on the national level to power a substantial number of electric vehicles (see Figure 3). These electric vehicles have also the potential to play an important role in the future integration of

renewable energy into the grid by using intelligent charging stations as part of the load management system to regulate the input of electricity from fluctuating sources into the power grid.

Fahren mit der Sonne im Tank: Photovoltaik

Die Sonne in den Tank – vielleicht eine der schönsten Visionen: Das eigene Elektroauto wird mit Strom aus der Solaranlage auf dem eigenen Hausdach betankt. Um die jährliche Fahrleistung eines typischen Pkw zu realisieren, genügt beispielsweise eine Fläche von etwa 20 m² Photovoltaik. Zum Vergleich: Für die Kombination Biodiesel und Verbrennungsmotor muss eine Fläche von etwa 5.000 m² bewirtschaftet werden – 250-mal soviel (Abb. 5).

alien oder organische Halbleiter zielen auf eine möglichst kostengünstige photovoltaische Stromerzeugung. Neben den Werkstoffen haben auch Nachführsysteme und Modultechniken zur Konzentration des Sonnenlichtes über Spiegelsysteme einen großen Einfluss auf Energieausbeuten und Kosten. Die Experten des **Fachgebiets Photovoltaik: Module Systeme Anwendungen** bringen hier ihre langjährige Erfahrung ein und können am ZSW auf einem der größten Solartestfelder Europas neue Technologien im realen Umfeld testen. Im Fokus der Arbeiten liegt hier zum einen die wichtige Fragestellung des Energieertrages der installierten Module, zum anderen die Lebensdauer der Solarmodule unter realen Bedingungen. Beschleunigte Alterung im Labor sowie exakte Vermessung im Freifeld erlauben Ertragsprognosen für die unterschiedlichsten klimatischen Bedingungen.

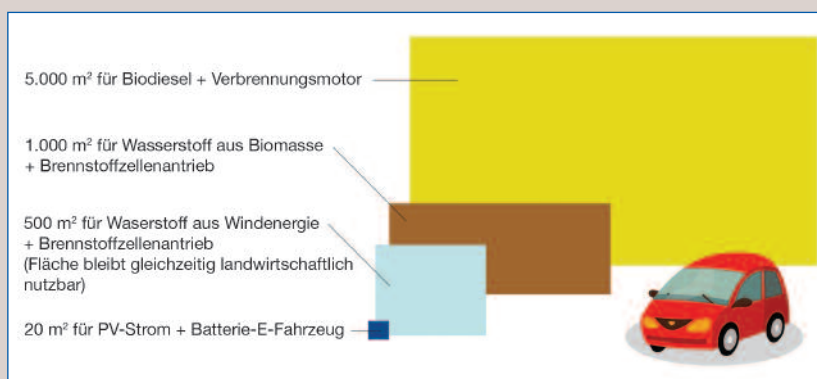


4

PV-Anlage mit Konzentratoren auf dem ZSW-Testfeld Widderstall

Solar module with concentrator at the ZSW solar test field Widderstall

Voraussetzung, um diese Vision Realität werden zu lassen, sind kostengünstige Materialien und Herstellprozesse, die mit möglichst hohem Wirkungsgrad das Licht der Sonne in elektrischen Strom umwandeln. Hier liegt das Kompetenzfeld des **ZSW-Fachgebietes Photovoltaik: Materialforschung**: CIS-Dünnschichttechnologien, kontinuierliche Herstellverfahren auf flexiblen Trägermateri-



5

Flächenbedarf für die Treibstoffversorgung aus erneuerbaren Energien mit unterschiedlichen Szenarien

Area required for fuel production from renewable energy sources according to various scenarios

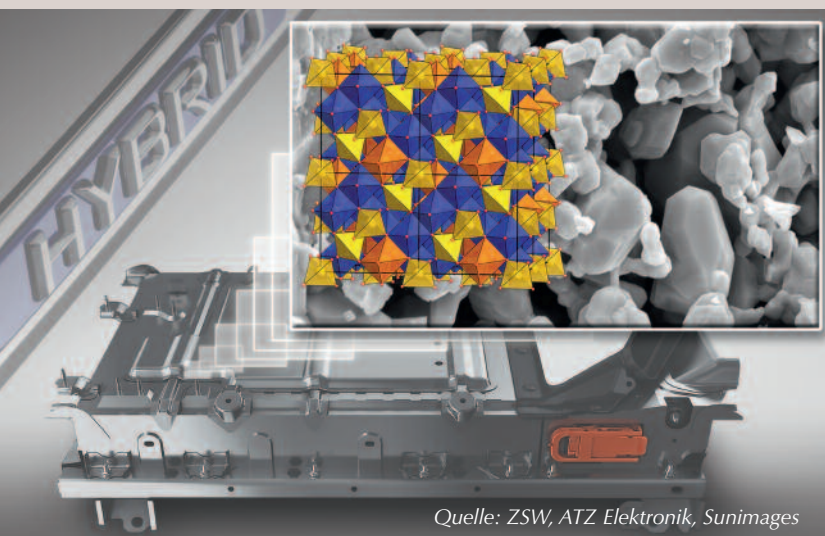
Driving with the sun in your tank – photovoltaics

Driving on sunlight – possibly one of the most beautiful visions of the future: to use electricity from the PV system on your roof to charge your electric vehicle. About 20 m² of photovoltaics would suffice to supply enough electricity for driving a typical passenger car over a year. For comparison: about 5,000 m² of land must be cultivated in order to produce enough biodiesel to drive the same distance using a combustion engine – 250 times more (see Figure 5).

The prerequisites for realising this vision are cost-efficient materials and production processes, along with the highest possible efficiency for converting sunlight into electrical power. The expertise of the **ZSW department Photovoltaics: Materials Research** focuses on exactly this goal. CIS thin-film technologies, continuous production techniques on flexible substrates, and organic semiconductors

aim to produce photovoltaic power in the most cost-efficient manner. Besides the materials employed, tracking systems and module technologies for concentrating sunlight with mirrors also have a large impact on the costs and energy yields. The highly experienced experts of the **ZSW department Photovoltaics: Modules Systems Applications** test new technologies under real conditions at the ZSW's outdoor testing site, one of Europe's largest.

Their activities focus on the important issues regarding the energy yield of the installed modules as well as on the lifetime of the solar modules under real conditions. Accelerated ageing in the laboratory and precise outdoor measurements enable yield predictions for very different climate conditions.



Quelle: ZSW, ATZ Elektronik, Sunimages

6

Batteriemodul für einen Hybridantrieb (Kristallstruktur und elektronenmikroskopische Aufnahme eines Speichermaterials für Lithium-Ionen-Batterien)

Battery module for a hybrid drive (crystal structure and electron microscope image of a storage material for lithium-ion batteries)

Vision Elektromobilität

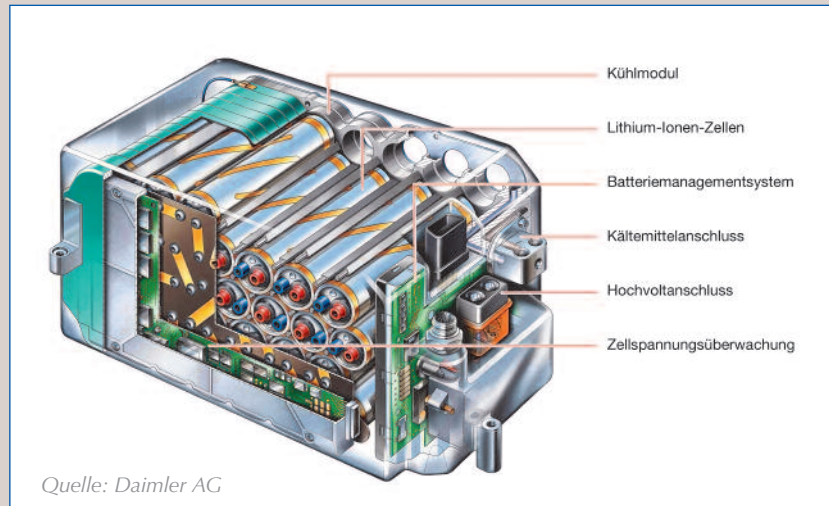
Elektromobilität – woher kommt die Euphorie, die wir derzeit erleben und ergibt sie Sinn? Elektroantriebe erreichen im Alltagsbetrieb einen Wirkungsgrad im Bereich von 75 % – ein riesiger Unterschied zu den etwa 25 %, die ein moderner Verbrennungsmotor von der wertvollen Fracht im Tank wirklich nutzt. Darüber hinaus hat der Gedanke, Bremsenergie in die Batterie zurückzuspeisen, um diese anschließend wieder nutzen zu können, viel Charme. Bei diesen Vorteilen müsste es eigentlich schon lange Elektroantriebe geben. Und in der Tat war schon im Jahr 1900 der von Lohner und Ferdinand Porsche entwickelte Elektrowagen (Lohner-Porsche) die Sensation der Weltausstellung in Paris und die AEG betrieb wenige Jahre später eine Serienfertigung von Elektrofahrzeugen in Berlin. Mit dem scheinbar im Überfluss vorhandenen Erdöl mit seiner unschlagbaren Energiedichte und durch das sich schnell ausweitende Fernstraßennetz kam allerdings das Ende von Elektrofahrzeugen, bevor der Anfang richtig gemacht war.

The vision of electromobility

Electromobility – what is so exciting about it, and does it really make sense? Electric drives in typical everyday use achieve efficiencies of around 75 % – much more than the 25 % of valuable fuel really used by a combustion motor. Moreover, there is the charming concept of feeding braking energy back into the battery for even more efficiency. With all of these advantages, we should have switched to electric drives ages ago. In fact, the Lohner-Porsche electric car developed by Ferdinand Porsche caused a sensation at the 1900 World's Fair in Paris and a few years later the AEG was running a series production line for electric cars in Berlin. However, the apparent abundance of mineral oil with its unbeatable energy density, together with the quickly expanding highway networks, brought about the end of the electric vehicles before they really got started.

Energiespeicherung und Hybridisierung

Heute bewegen wir uns hingegen auf das Ende des fossilen Zeitalters zu. Dies führt in Verbindung mit der sich immer weiter verschärfenden Umweltgesetzgebung zu einer Renaissance des Elektroantriebs. Die Herausforderungen, um mit heutigen verbrennungsmotorischen Antrieben in Bezug auf Reichweite, Lebensdauer, Kosten etc. mithalten zu können, sind allerdings enorm. Eine intelligente Lösung ist der so genannte Hybridantrieb, der die Vorteile des Verbrennungsmotors (wie z. B. hohe Reichweiten) mit denen des Elektroantriebs (hoher Wirkungsgrad und emissionsfreies Fahren) kombiniert. Hierzu gibt es eine ganze Palette von Hybridisierungsvarianten: Mikro- und Mild-Hybride mit einer relativ kleinen Batterie, die eine Start-Stop-Funktion und eine Optimierung des Energieverbrauchs der motorischen Nebenaggregate ermöglichen. Mit dem Full-Hybrid und einer Batterie mit 1-2 kWh Energieinhalt können kürzere Strecken elektrisch zurückgelegt werden. Der Plug-In-Hybrid schließlich kann im Innenstadtbereich elektrisch fahren und die Batterie an der Steckdose (Plug-In) aufgeladen werden.

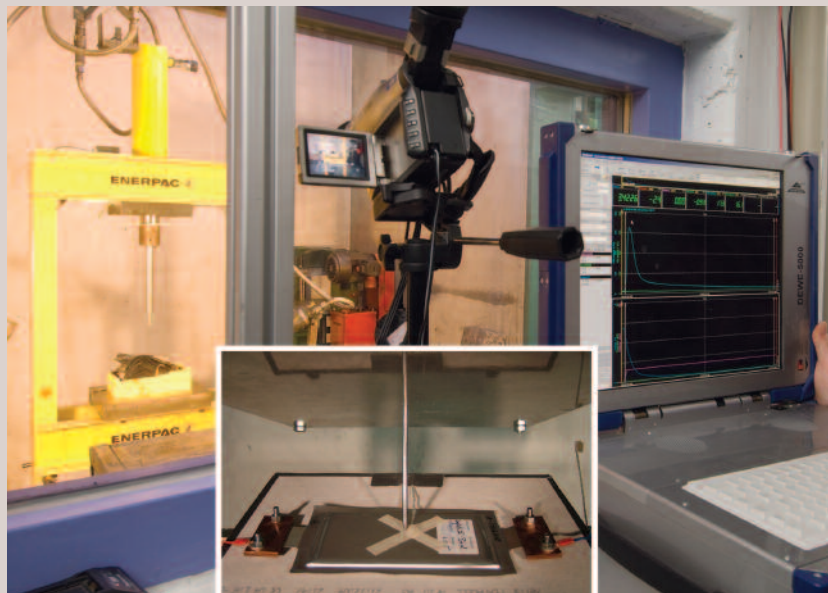


Quelle: Daimler AG

7

Aufbau eines Batteriemoduls für einen Mild-Hybrid-Antrieb

Design of a battery module for a mild hybrid drive



8

Sicherheitsuntersuchung (Nageltest) an einer Hochleistungs-Lithium-Ionen-Batterie

Safety testing (nail penetration test) of a high-power lithium-ion battery



Quelle: Fa. Evonik Industries AG

9

Hybridfahrzeug, umgerüstet auf Lithium-Ionen-Batterien mit Technologie der Fa. Evonik

Hybrid vehicle, converted for lithium-ion batteries with technology from the company Evonik

Energiespeicherung für Elektrofahrzeuge

Der Batterie, dem Energiespeicher an Bord, kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Abb. 10 zeigt anhand eines sogenannten Ragone-Diagramms, dass Lithium-Ionen-Batterien die attraktivsten Leistungs- und Energiedichten heute verfügbarer Technologien bieten. Je nach Hybridisierungsgrad kommen allerdings ganz unterschiedliche Typen von Lithium-Ionen-Batterien zum Einsatz: Hochleistungs- und Hochenergiebatterien. Bei rein batterie-elektrischen Fahrzeugen ist allerdings zu beachten, dass heute nur Stadtfahrzeuge mit einer Reichweite bis etwa 200 km sinnvoll realisiert werden können. Für größere Fahrzeuge mit Reichweiten von 500 km ist dies hingegen auf absehbare Zeit nicht möglich, denn dafür sind völlig neue Batterietechnologien erforderlich.

Energy storage and hybridisation

Today we are approaching the end of the fossil era. This fact, together with ever stricter environmental regulations, is giving rise to the renaissance of the electric drive. However, there are enormous challenges to be met in order to compete with today's combustion engines in terms of range, lifetime, costs, etc. An intelligent solution is the so-called hybrid drive which combines the advantages of the combustion engine (like high ranges) with those of the electric drive (high efficiency and emission-free driving). There is a wide range of hybrid variants. Micro- and mild hybrids have relatively small batteries which allow a start-stop function and optimise the energy consumption of the engine auxiliaries. The full hybrid has a battery with an energy capacity of 1 to 2 kWh for purely electric propulsion over short distances. The plug-in hybrid can cover inner-city driving distances entirely on electricity and recharges its battery by plugging in to the power grid.

Das **ZSW-Fachgebiet Elektrochemische Akkumulatoren** unterstützt mit seiner 20-jährigen Erfahrung zahlreiche Partner aus der Automobil- und Zulieferindustrie in allen Fragen der Batterieauslegung und Batterieüberwachung, der Lebensdauer- und Leistungstests unter allen klimatischen Bedingungen sowie einer umfangreichen Palette an Sicherheitstests. Beispielsweise wurde in einer umfassenden wissenschaftlichen Arbeit ein Modell für das optimale Hybridisierungskonzept ausgearbeitet. Aus der Kombination von Brennstoffzelle und Lithium-Ionen-Batterien unter Berücksichtigung des Alterungsverhaltens lässt sich eine Konfiguration entwickeln, die den Anforderungen der Fahrzeugentwicklung wie Dynamik, Kaltstart, maximale Leistung und Kosten am besten gerecht wird.

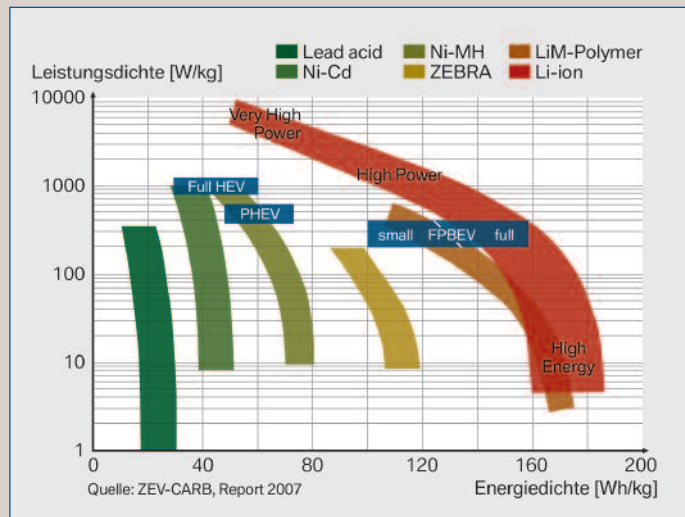
Energy storage for electric vehicles

The battery, the on-board energy store, plays a key role in electromobility. The Ragone chart in Figure 10 illustrates that lithium-ion batteries offer the most attractive power and energy densities of all battery technologies available today. Different types of lithium-ion batteries are employed in a vehicle, depending on its degree of hybridisation: high-power and high-energy batteries. However, one must bear in mind that today electric vehicles running entirely on batteries can only be realistically conceived as urban vehicles with a range of up to about 200 km. Larger electric vehicles with ranges up to 500 km are not possible in the near future, since they require completely new battery technologies.

The **ZSW department Electrochemical Accumulators** uses its 20 years of experience to support partners from the automotive industry and its components suppliers in all aspects of battery design and monitoring, lifetime and performance testing under all climate conditions, and a wide range of safety tests. For example, we developed an extensive scientific model for determining the optimal hybridisation concept. Based on the combination of fuel cells and lithium-ion batteries,

Materialentwicklung für Lithium-Ionen-Batterien

Die Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterien lassen sich, anders als bei allen anderen Batterietechnologien, durch die Variation der eingesetzten Materialien in einem weiten Bereich steuern. Das **ZSW-Fachgebiet Elektrochemische Materialentwicklung** hat sich schon Anfang der 90er Jahre mit den Eigenschaften von Lithium-Interkalationsverbindungen befasst. Dieses schnelle und reversible Einbringen von Lithium-Ionen in das Wirtsgitter (Abb. 11) von Metalloxiden oder Kohlenstoffverbindungen ist der Schlüssel zu den herausragenden Eigenschaften dieser Batterie. Abb. 12 gibt einen Hinweis auf die Vielzahl möglicher Materialkombinationen und deren Einfluss auf die Zellspannung. Verbesserte andere Eigenschaften hinsichtlich Kosten, Kapazität, Zyklenstabilität und Lebensdauer oder thermischer Stabilität sind ebenfalls die

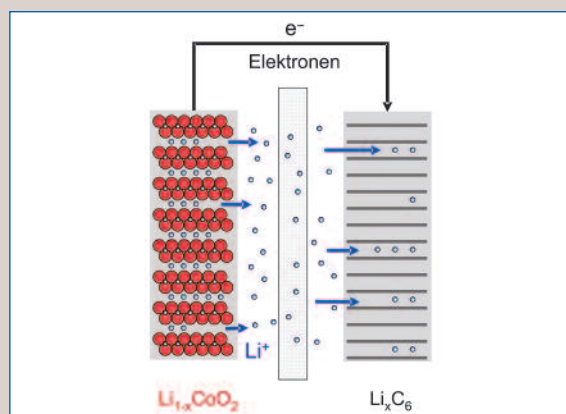


10

Vergleich der Leistungs- und Energiedichten verschiedener Batteriesysteme

Comparison of power and energy densities for various battery systems

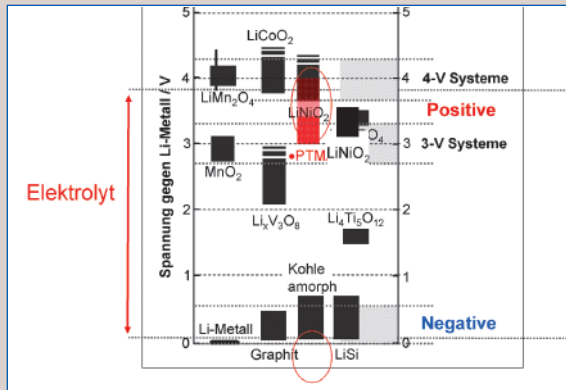
and considering ageing behaviour, a configuration can be developed which best satisfies the vehicle specifications like dynamics, cold start, maximum power, and cost.



11

Funktionsprinzip einer Lithium-Ionen-Batterie

Functional principle of a lithium-ion battery



12

Materialkombinationen für Lithium-Ionen-Zellen und deren Einfluss auf die Zellspannung

Material combinations for lithium-ion cells and their influence on the cell voltage



13

Analyse der Partikelstruktur von Speichermaterial am ZSW

Analysis of the particulate structure of a storage material

Materials development for lithium-ion batteries

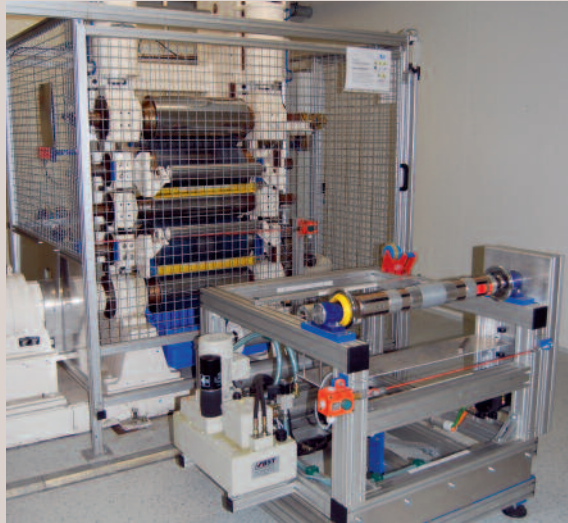
The properties of lithium-ion batteries, in contrast to other battery technologies, can be controlled over a wide range through the material properties. The **ZSW department Electrochemical Materials Development** has been studying the properties of lithium-based intercalation compounds since the early 1990s. The fast and reversible incorporation of lithium ions in the metal oxide host lattice (Fig. 11) is the key to the excellent properties of this battery type. Figure 12 indicates the wide variety

of possible material combinations and their influence on the cell voltage. Other properties like cost, capacity, cycle stability, lifetime, and thermal stability can also be improved. Today's market for rechargeable lithium-based batteries is dominated by the combination of lithium cobalt oxide (LiCoO₂) for the positive electrode and graphite for the negative electrode. This combination of active materials is commonly used for batteries in mobile telephones and laptop computers.

Im Hinblick auf Elektromobilität gelten Materialien mit Olivinstruktur in vielen Fachkreisen als attraktivste Materialklasse. Derzeit werden Verbindungen wie Lithiumeisenphosphat (LiFePO₄) und Lithiummanganphosphat (LiMnPO₄) favorisiert, die sich durch exzellente thermische und chemische Stabilität auszeichnen und ein hohes Sicherheitsniveau gewährleisten. Zudem erfüllen diese Materialien die wichtigen Kriterien „Wirtschaftlichkeit“ und „Verfügbarkeit“ des Rohstoffs. Der Nachteil von Lithiumeisenphosphat liegt in seiner begrenzten elektrischen und ionischen Leitfähigkeit. Dies liegt in der Struktur des Materials begründet, da es lediglich einen eindimensionalen Tunnel für die Lithiumdiffusion bereitstellt. Erfolgreiche Experimente konnten jedoch zeigen, dass Nanostrukturierung und entsprechende Beschichtungstechniken diesen Nachteil kompensieren können.

of possible material combinations and their influence on the cell voltage. Other properties like cost, capacity, cycle stability, lifetime, and thermal stability can also be improved. Today's market for rechargeable lithium-based batteries is dominated by the combination of lithium cobalt oxide (LiCoO₂) for the positive electrode and graphite for the negative electrode. This combination of active materials is commonly used for batteries in mobile telephones and laptop computers.

Materials with the olivine structure are considered by many experts as the most attractive for vehicle applications. Compounds like lithium iron phosphate (LiFePO_4) and lithium manganese phosphate (LiMnPO_4) are currently in favour, since they demonstrate excellent thermal and chemical stability and guarantee a high level of safety. Furthermore, their raw materials also satisfy the important criteria of "cost-efficiency" and "availability". The disadvantage of lithium iron phosphate is its very limited electric and ionic conductivity as a result of its structure which only provides a one-dimensional tunnel for lithium diffusion. However, experiments could successfully demonstrate that nanostructuring and proper coating techniques can compensate for this disadvantage.



14

Kalender zur Zellherstellung von Elektroden für Lithium-Ionen-Zellen

Calendar for manufacturing electrodes for lithium-ion cells

Batterien aus Deutschland

Batterieforschung und Batterieproduktion haben in Deutschland eine lange Tradition. Mit der Erfolgsgeschichte der Unterhaltungselektronik in Asien verschwand allerdings ein Großteil der deutschen Batterieindustrie. Die Gerätehersteller brauchten immer bessere Batterien für ihre Handys, Notebooks und Camcorder. Damit entstand in den 90er Jahren eine Batterie-Industrie in Asien, die heute mehr als 3,5 Milliarden Zellen pro Jahr für den Konsumerbereich produziert. Erst mit dem

jüngst wieder erwachten Interesse der Automobilindustrie an Batterien für Hybrid- und Elektrofahrzeuge beginnt sich langsam wieder eine Zulieferindustrie zu etablieren. Das ZSW unterstützt diesen Prozess, indem es begonnen hat, alle für die Fertigung von Lithium-Zellen erforderlichen Fertigungsanlagen aufzubauen. Damit können sowohl neue Fertigungsprozesse entwickelt, als auch Zellen mit neuer Zellchemie demonstriert und erprobt werden.

Batteries made in Germany

Battery research and battery production have a long tradition in Germany. However, the success of Asian consumer electronics also caused the German battery industry to disappear. The manufacturers needed better and better batteries for their mobile phones, notebooks and camcorders. As a result, a battery industry developed in Asia in the 1990s which now produces more than 3.5 billion cells per year for consumer products. Only with the recent renewed interest from the

automotive industry regarding batteries for hybrid and electric vehicles is the automotive supplier industry beginning to slowly take root again. The ZSW is supporting this process by establishing all of the production systems necessary for manufacturing complete lithium-based cells. With this equipment, new production processes can be developed and batteries with new cell chemistries can be demonstrated and tested.



15

Wasserstoffherzeugung aus Biomasse durch Vergasung über das AER-Verfahren (Foto: Güssing-Anlage in Österreich)

Hydrogen generation from biomass by gasification using the AER technique (Photo: Güssing plant in Austria)

Wasserstoff aus erneuerbaren Energien

Die direkte Nutzung von elektrischem Strom aus erneuerbaren Energien ist sicherlich die effizienteste Methode im Sinne nachhaltiger Mobilität. Die Speicherung in Batterien stößt allerdings sehr schnell an ihre physikalischen Grenzen. Sowohl

Hydrogen generation with renewable energy

The direct use of electricity from renewable energy is surely the most efficient method in terms of sustainable mobility. Unfortunately, the storage of electrical power in batteries quickly reaches its physical limits. Both energy storage in vehicles for larger ranges (e.g. 500 km) and storing excess power (e.g. from wind turbines) require an easily stored energy carrier. Hydrogen is emerging as the most attractive solution for the future. Hydrogen can be generated from very different primary energy sources and then stored as pressurised gas to fuel vehicles. The generation of hydrogen through the electrolysis of water using electricity from renewable energy sources offers the greatest potential. An interesting alternative is also its generation

die Energiespeicherung in Fahrzeugen für größere Reichweiten (z. B. 500 km), als auch die Pufferung von großen Strommengen z. B. aus Windenergie erfordern einen gut speicherfähigen Energieträger. Hierfür zeichnet sich Wasserstoff als Lösung der Zukunft ab. Wasserstoff kann aus vielen verschiedenen Primärenergien erzeugt, als Druckgas gespeichert und dann als Kraftstoff für Fahrzeuge eingesetzt werden. Die Erzeugung von Wasserstoff über die Wasser-Elektrolyse unter Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energien bietet das größte Potenzial (vergl. Abb. 3 und 5). Eine interessante Alternative ist auch die Wasserstoffherzeugung aus Biomasse. Entscheidend ist allerdings die Verwendung von so genannter Abfall-Biomasse, die nicht in Konkurrenz zur Lebens- oder Futtermittelerzeugung steht. Das kann zum Beispiel Stroh und Altholz aus der Biotoppflege sein.

Das **ZSW-Fachgebiet Regenerative Energieträger und Verfahren** hat hierfür ein konkurrenzfähiges thermochemisches Verfahren entwickelt, mit dem die Biomasse sehr effizient vergast wird (Absorption Enhanced Reforming, AER). Durch ein CO₂-absorbierendes Medium entstehen hochwertige Brenngase, die in Kraft-Wärme-Kopplung verstromt oder/und zu Wasserstoff oder synthetischem Erdgas umgewandelt werden können (so genannte Polygeneration).

from biomass – especially when so-called waste biomass is used as it does not compete with the production of food or feed. Examples are straw and old forest growth from biotope maintenance.

The **ZSW department Renewable Fuels and Processes** has developed a competitive thermochemical technique for the very efficient gasification of biomass (Absorption-Enhanced Reforming, AER). By employing a CO₂-absorbing medium, high-grade fuels are produced which can be used to generate electricity in cogeneration plants and/or converted into hydrogen or synthetic natural gas (so-called polygeneration).

Elektromobilität mit Brennstoffzellen

Elektromotoren in Kombination mit Brennstoffzellen sind der vielleicht attraktivste und vielseitigste Ansatz für eine nachhaltige Mobilität. Wasserstoff als Energieträger kann aus verschiedenen Primärenergiequellen einfach hergestellt und relativ gut gespeichert werden. Die Brennstoffzelle wandelt diesen Wasserstoff mit sehr hohem Wirkungsgrad emissionsfrei in elektrischen Strom um. Dabei entstehen hinreichende Wärmemengen, die ideal für die Heizung des Fahrgastraumes genutzt werden können.

Das **ZSW-Fachgebiet Elektrochemische Wasserstofftechnik** entwickelt Brennstoffzellensysteme für unterschiedlichste Anwendungen: für die Kleintraktion oder Bordstromversorgungen bis hin zu Systemen im Leistungsbereich bis 100 Kilowatt für Pkw- oder Nutzfahrzeugantriebe. Bei der Systemtechnik kommt es darauf an, die Hilfsaggregate für die Luftversorgung, Kühlung oder Druckregelung exakt auf die Brennstoffzelle abzustimmen und gleichzeitig die Anforderungen aus der Anwendung zu berücksichtigen.

Sehr häufig wird die Brennstoffzelle mit einer Hochleistungsbatterie gekoppelt (Hybridisierung). Kurze Leistungsspitzen liefert die Batterie, die dauerhafte Stromversorgung kommt aus der Brennstoffzelle. Durch die Rückspeisung der Bremsenergie in die Batterie lässt sich der Wirkungsgrad des Antriebs nochmals erhöhen.

Electromobility with fuel cells

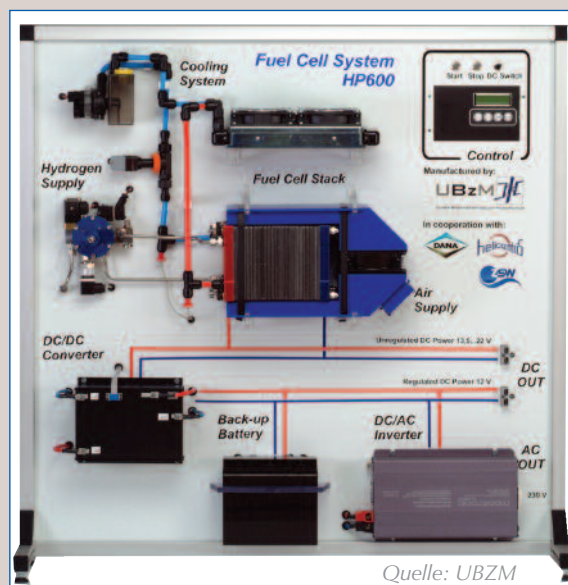
The combination of electric motors and fuel cells is possibly the most attractive and versatile approach to sustainable mobility. The energy carrier hydrogen can be easily generated from a variety of primary energy sources and has relatively good storage properties. The fuel cell converts hydrogen into electrical power with very high efficiency and no emissions. In the process, heat is produced which, e.g., can be used to heat the passenger compartment.



16

Entwicklung eines Brennstoffzellen-Systems für Busse im Auftrag der Georgetown University Washington (USA)

Development of a fuel cell system for Georgetown University in Washington, USA



Quelle: UBZM

17

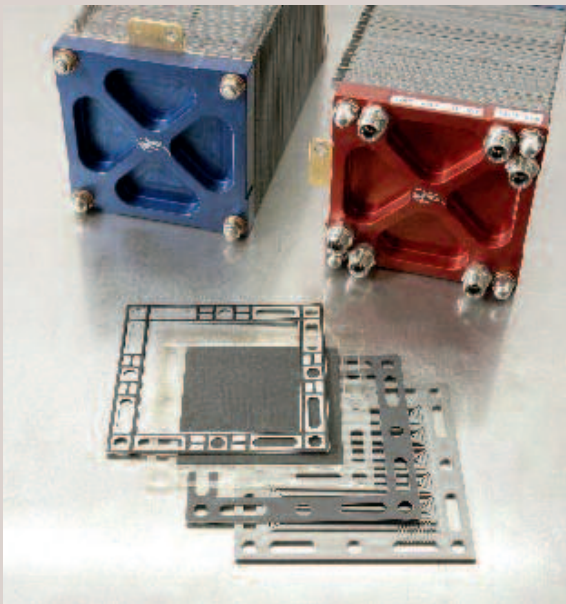
Komplettes Brennstoffzellen-System für die Aus- und Weiterbildung: vom Wasserstoff bis zum Wechselstromausgang

Complete fuel cell system for training purposes: from hydrogen to AC power



18

*Roboterunterstützte Montage einer ZSW-Brennstoffzelle
Robotic-supported assembly of a ZSW fuel cell*



19

*ZSW-Brennstoffzelle mit den Kernkomponenten
ZSW fuel cell with the main components*

The **ZSW department Electrochemical Hydrogen Technology** develops fuel cell systems for a variety of applications: for small-traction applications or on-board power supplies, up to systems with power levels up to 100 kilowatts for passenger car or commercial vehicle drives. It is important for the systems engineering to exactly match the auxiliary power units for the air supply, cooling, or pressure regulation to the fuel cell while considering the demands of the application at the same time. The fuel cell is frequently coupled with a high-power battery (hybridisation). Short power peaks are supplied by the battery; the continuous power supply comes from the fuel cell. The efficiency of the drive can be further increased by feeding braking energy back into the battery.

Brennstoffzellentechnologie

Wo steht die Brennstoffzelle auf dem Weg zur Kommerzialisierung? In einigen Märkten sind sie bereits heute für jedermann verfügbar: so werden Wohnmobile oder Segelyachten mit Brennstoffzellen für die leise, emissionsfreie und netzunabhängige Bordstromversorgung ausgerüstet. Für die Strom- und Wärmeversorgung im Einfamilienhaus haben die Unternehmen mit der Vorbereitung der Serienproduktion begonnen und die Automobilindustrie schreitet konsequent auf dem Weg in die postfossile Welt von der Kleinserie zur Großserienproduktion voran.

In diesem Zusammenhang gewinnen Fertigungstechnologien für Brennstoffzellen immer mehr an Bedeutung, die am ZSW entwickelt werden. Dazu gehören beispielsweise roboterunterstützte Montagevorgänge und automatisierte Füge-techniken zum Verbinden der Bauteile. Um die sehr große Anzahl an Einzelteilen – eine Fahrzeug-Brennstoffzelle besteht aus mehr als tausend Einzelteilen (Abb. 18) – fehlerfrei und mit minimalen Toleranzen zu einem sog. Stack zu verbauen, sind zudem ganz neue Methoden der Qualitätssicherung erforderlich.

Fuel cell technology

How far along is the fuel cell on the path to commercialisation? They are already readily available in some markets: mobile homes or sailing yachts are equipped with fuel cells for a quiet, emission-free, and grid-independent on-board power supply. Manufacturers are beginning preparations for the series production of fuel cells for supplying electricity and heat to single-family homes. And the automotive industry is consistently advancing along the path to the post-fossil world, moving from small series to mass production.

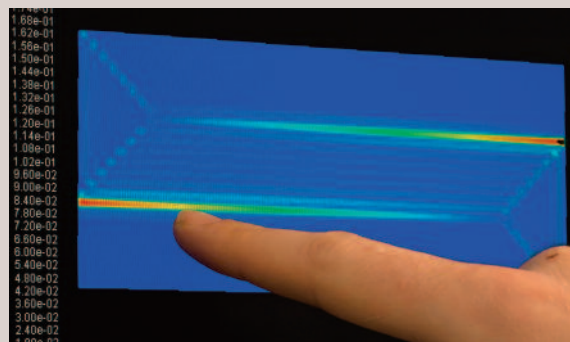
Simulationsmethoden

Sind Brennstoffzellen überhaupt konkurrenzfähig und wie steht es mit Lebensdauer, Kosten und Baugröße? Hier macht die Entwicklung schnelle Fortschritte. Beispielsweise können durch moderne Simulationsmethoden die Geometrien der Gasverteilerstrukturen für die Luft- bzw. Wasserstoffversorgung der Zelle optimiert werden. Dadurch können die spezifische Leistung der Zelle erhöht und Degradationsvorgänge reduziert oder sogar ganz verhindert werden. Diese Verbesserungen wirken sich direkt auf die Kosten aus. Inzwischen halten auch immer mehr kostengünstige Materialien wie Vliesstoffe als Elektroden Einzug in die Brennstoffzelle. Auch für diese Materialien ist eine Adaption der Geometrien erforderlich, um den veränderten mechanischen Eigenschaften gerecht zu werden.

Simulation methods

Are fuel cells competitive at all, and what is the status on lifetime, cost, and overall size? The development is advancing quickly on these issues. For example, modern simulation methods can optimise the geometries of the gas distribution structures for the air and water supply of the cell. In this way, the specific power of the cell can be increased and degradation processes can be decreased or even eliminated. These improvements directly affect the cost. In the meantime, more and more cost-efficient materials like non-woven fabric electrodes are finding application in the fuel cell. The geometries must also be adapted for these

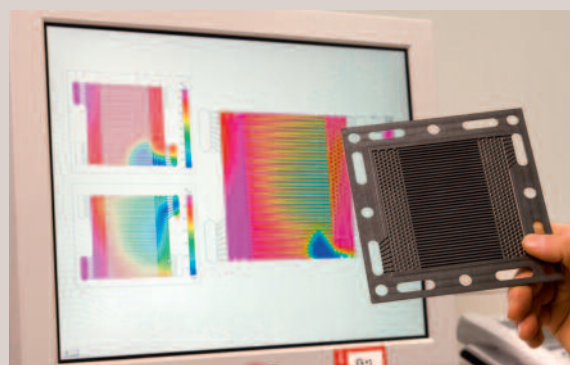
Within this context, the fuel cell production technologies that are being developed by the ZSW are gaining more and more importance. These include, e.g., robotics-supported assembly processes and automated joining techniques for connecting components. Furthermore, completely new methods for quality control are necessary for assembling the large number of components – a vehicle fuel cell consists of more than a thousand individual parts (Fig. 18) - into a stack with minimal tolerances and without any errors.



20

Simulation der Transportvorgänge in einer Gasverteilerplatte

Simulation of transport processes in a gas distribution plate

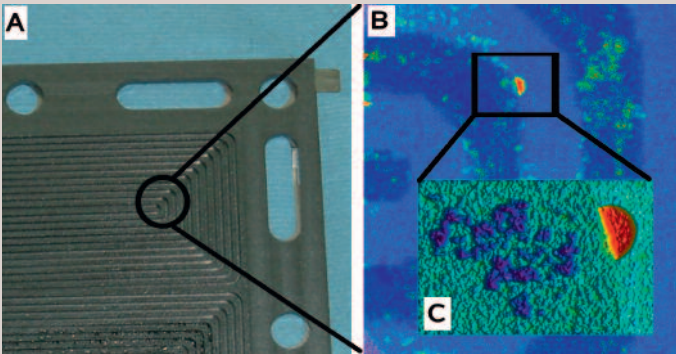


21

Mathematische Simulation der Temperaturverteilung in einer Brennstoffzelle

Mathematical simulation of the temperature distribution in a fuel cell

materials due to the changes in mechanical properties.



22

Visualisierung von flüssigem Wasser während des laufenden Betriebes der Brennstoffzelle

Visualisation of liquid water during operation of a fuel cell

Leistung und Lebensdauer von Brennstoffzellen

Eine Schlüsselrolle in Bezug auf Leistung und Lebensdauer kommt dem Wasserhaushalt der Brennstoffzelle zu. Denn bei der Stromerzeugung entsteht in der Brennstoffzelle reines Wasser, das zumeist über die Abluft ausgetragen wird. Für den optimalen Betrieb sollte die Balance zwischen erzeugtem und ausgetragenen Wasser stimmen. Wird zu viel Wasser ausgetragen, steigt der

Innenwiderstand und die Korrosion wird verstärkt, wird zu wenig Wasser ausgetragen, reduziert sich die maximal erzielbare Leistung der Zelle. Auch beim Kaltstart bei Minusgraden ist der Transport von Wasser in den Porensystemen der Elektroden von großer Bedeutung.

Das **ZSW-Fachgebiet Elektrochemische Verfahren und Modellierung** hat in Kooperation mit dem Hahn-Meitner-Institut eine weltweit einmalige Methode zur Visualisierung von flüssigem Wasser entwickelt. Mit Hilfe der Neutronentomographie kann flüssiges Wasser im ganz normalen Betrieb einer Brennstoffzelle sichtbar gemacht werden – und zwar in Echtzeit und dreidimensionaler Auflösung. Mit Hilfe der Synchrotron-Tomographie ist es sogar möglich, die Wasserverteilung in den Poren der Elektroden sichtbar zu machen: die Auflösung ist bis in den Mikrometerbereich möglich. Mit dieser Methode können die Transportvorgänge in einer bislang nicht machbaren Genauigkeit aufgeklärt werden und damit eine wesentliche Verbesserung der Leistung und Lebensdauer von Brennstoffzellen realisiert werden.



23

Analyse des Wassertransports in porösen Elektrodenstrukturen

Analysis of water transportation in porous electrode structures

Performance and lifetime of fuel cells

The water household plays a key role with regard to the performance and lifetime of the fuel cell. Water is generated in the fuel cell during electricity production and is usually removed with the outlet air. For optimal operation, the amount of water generated should equal the amount removed from the cell. If too much water is removed, then the internal resistance and the corrosion will increase. If too little water is removed, then the maximum power of the cell is reduced. The water transport in the porous systems of the electrodes is also very important with regard to the cold start at temperatures below freezing.

The **ZSW department Electrochemical Processes and Modelling**, together with the Hahn-Meitner Institute, has developed a worldwide unique method for visualising liquid water. With the neutron tomography method, liquid water can be visualised during the normal operation of a fuel cell –

in real time and resolved in three dimensions. With the synchrotron-tomography method it is even possible to visualise the water distribution in the pores of the electrodes – with a potential resolution in the micron range. This method enables the

clarification of transport processes with a previously impossible preciseness and can thereby significantly improve the performance and lifetime of fuel cells.

Ausblick

Auf dem Weg zur nachhaltigen Mobilität zeichnen sich klare technologische Tendenzen ab: Fossile Kraftstoffe – dazu gehört auch Erdgas – sind nur noch begrenzt verfügbar und Exploration, Aufbereitung und Transport werden immer aufwändiger. Die Nutzung hochwertiger Biomasse steht häufig in Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung. Deshalb kristallisiert sich die Elektromobilität als ein zentraler Lösungsansatz für eine nachhaltige Mobilität heraus: Die großen Potenziale erneuerbarer Energien sind ausreichend, Elektroantriebe haben einen sehr hohen Wirkungsgrad und sind emissionsfrei. Der Strom für den Elektromotor kommt aus modernen Batterien oder aus der mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff gespeisten Brennstoffzelle an Bord. Die Energiespeicherung über Wasserstoff verknüpft die fluktuierende Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit dem Bedarf an nachhaltig erzeugtem

Treibstoff. Batterien werden auch als dezentrale Energiespeicher in intelligenten Stromnetzen der Zukunft eine wichtige Rolle spielen.

Das ZSW hat eine international führende Rolle in der Forschung und Entwicklung von Technologien, die wesentlicher Bestandteil dieses Szenarios der nachhaltigen Mobilität sind: Strom aus Dünnschicht-Photovoltaik – intelligente netzgekoppelte und autarke Photovoltaik-Systeme – Lithium-Ionen-Batterien für Hochleistungs- und für Hochenergiebatterien – Wasserstoff aus Rest- und Abfallbiomasse – Brennstoffzellen, die für Fahrzeugantriebe oder den stationären Betrieb optimiert sind. Die Systemanalyse ist dabei das Bindeglied zwischen den einzelnen Technologiefeldern und unterstützt die Weiterentwicklung der bei Energietechnologien schon immer essenziellen politischen Rahmenbedingungen.

Future prospects

Clear technological tendencies are emerging along the way to sustainable mobility: fossil fuels – including natural gas – have only a limited availability and their exploration, processing, and transportation is becoming more and more expensive. The use of high-quality biomass often competes with the production of food and feed. For this reason electromobility is emerging as a central approach to achieve sustainable mobility: the large potentials for renewable energy are sufficient, electric drives are very efficient and emission-free. The power for the electric motor is provided by modern batteries or an on-board fuel cell running on hydrogen that was generated using renewable energy. Using hydrogen for energy storage links the fluctuations in electricity generation by renewable sources with the demand for sustainably generated fuel. As decentralised power

stores, batteries will also play an important role in the smart power grids of the future.

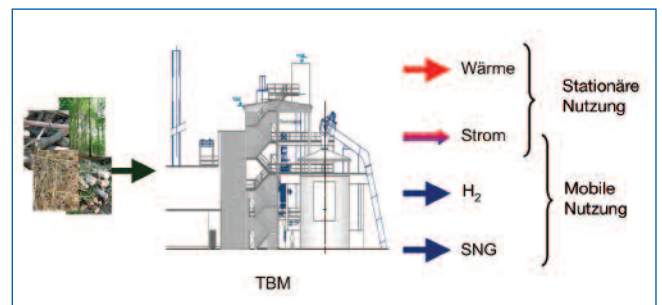
The ZSW is an international leader in the research and development of the technologies which are important elements in this scenario of sustainable mobility: electricity from thin-film photovoltaics – smart grid-connected and stand-alone photovoltaic systems – lithium-ion batteries for high-power and high-energy batteries – hydrogen from residual and waste biomass – fuel cells that are optimised for vehicle drives or stationary operation. Systems analysis functions as a link between the individual technological fields and supports the further development of the political conditions which were always essential for energy technologies.

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Michael Specht
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-218
 E-Mail: michael.specht@zsw-bw.de

Erdgassubstitut und Wasserstoff – biogene Kraftstoffe für die Mobilität

Sicher scheint, dass der Antriebsstrang von PKWs zunehmend elektrifiziert wird. Der reine batterieelektrische Antrieb gewährt jedoch nicht die von Benzin-/Diesel-Fahrzeugen gewohnte Reichweite. Die beiden gasförmigen Kraftstoffe Wasserstoff und SNG (Erdgassubstitut) sind interessante Optionen für zukünftige Fahrzeugkonzepte, z. B. für „Plug-In Hybrid Vehicles“, bei denen die Reichweite des batterieelektrischen Antriebs per „Range Extender“ erhöht wird. Während schon heute Erdgasfahrzeuge mit SNG betankt werden können, wird Wasserstoff für zukünftige Brennstoffzellen-Fahrzeuge benötigt, um on board Strom zu erzeugen.

Die nachhaltige Bereitstellung von SNG und Wasserstoff durch Vergasung von biogenen Ressourcen steht hierbei im Fokus des ZSW.



Poly-Generation von Strom, Wärme und gasförmigen Kraftstoffen durch Vergasung von Biomasse nach dem AER-Verfahren

Poly-generation of heat, power and fuel gases (SNG, H₂) through the gasification of biomass in the AER process



© Daimler AG

*Mit Wasserstoff betriebener „Mercedes-Benz B-Klasse F-CELL“
 Hydrogen-fuelled “Mercedes-Benz B-Klasse F-CELL”*



© GM Corp.

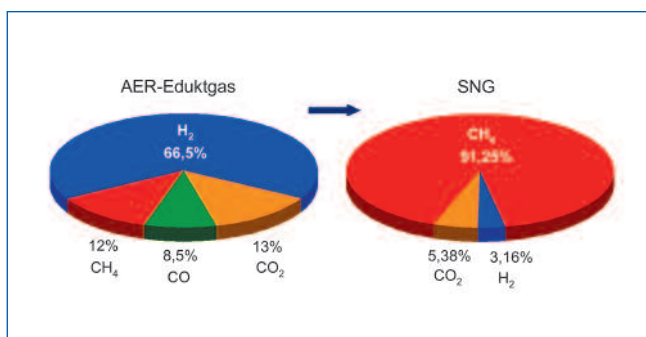
*Mit Strom / konventionellen Kraftstoffen bzw. Wasserstoff betriebenes Plug-In Hybrid Vehicle „Opel Flextreme“
 The plug-in hybrid vehicle “Opel Flextreme” runs on electricity, conventional fuels, or hydrogen.*

Aufgrund des lokal begrenzten Biomasseaufkommens ist die Leistung von dezentralen Vergasungsanlagen auf ca. 50 MW_{th} begrenzt. Durch prozessintegrierte Maßnahmen kann ein Verfahren vereinfacht werden, um die Wirtschaftlichkeit von diesen vergleichbar kleinen Anlagen zu verbessern. Daher konzentriert sich das Fachgebiet REG seit einigen Jahren auf die absorptionsunterstützte Biomassevergasung (AER-Prozess). Das erzeugte Gas zeichnet sich durch einen hohen Wasserstoffgehalt bei reduzierten CO₂- und Teerkonzentrationen aus. Aufgrund der günstigen Zusammensetzung des Vergasungsgases wird ein Methanisierungsreaktor für die Herstellung von SNG entwickelt, das ins Erdgasnetz eingespeist werden kann und somit vielen Nutzern zur Verfügung steht. Wegen des hohen Wasserstoffanteils des Vergasungsgases kann Wasserstoff effizient durch Gastrennung (Druckwechseladsorption) gewonnen werden. Das Restgas dient z. B. zur Stromerzeugung in einem Gasmotor mit Kraftwärmekopplung.

Die Markteinführung wird momentan im Rahmen eines Leuchtturmpromjektes „AER-Demonstrationsanlage“ vorangetrieben. Die Betreibergesellschaft TBM (Technologieplattform Bioenergie und Methan GmbH & Co. KG) unter Federführung der

Energieversorgung Filstal plant in Geislingen (Steige) eine 10 MW_{th}-Vergasungsanlage. Im ersten Schritt soll das Produktgas in einem Gasmotor verstromt werden. In 3-5 Jahren soll die SNG-Herstellung zur Einspeisung ins Erdgasnetz erfolgen. In der dritten Stufe soll mittelfristig Wasserstoff an der Vergasungsanlage bereitgestellt werden.

(Technology Platform Bioenergy and Methane) in Geislingen, South Germany.



Edukt- und Produktgaszusammensetzung des am ZSW entwickelten 2-stufigen Methanisierungsreaktors (Nach der ersten Stufe wird das Beiprodukt Wasserdampf abgetrennt, um in der zweiten Stufe ein einspeisefähiges Erdgassubstitut zu erhalten.)

Composition of feed and product gases for the two-stage methanation unit which was developed at the ZSW (The steam by-product is separated after the first step in order to obtain SNG suitable for feeding into the natural gas grid.)



*Mit Methan betriebener „Volkswagen Touran EcoFuel“
Methane-fuelled “Volkswagen Touran EcoFuel“*

SNG and H₂ - Renewable Fuels for Mobility

Fuels from renewable resources are one of the major components of sustainable mobility. In gasification processes, solid biogenic fuels are converted into fuel gases, which can be used for combined heat and power generation as well as for fuel production via synthesis (e.g. substitute natural gas, SNG) and gas separation (e.g. H₂). While SNG can already be used in today's natural gas cars, H₂ is needed for future fuel cell vehicles. ZSW concentrates on the AER process (absorption enhanced reforming) with downstream SNG production. This method simplifies the overall process by applying in situ gas conditioning using a lime-based CO₂ sorbent in the fluidised bed gasifier. Based on the very promising results from AER research, a 10 MW_{th} AER demonstration plant is currently being designed by TBM

Ansprechpartner / Contact Person
Dr. Alexander Kabza
Telefon: +49 (0)731 – 95 30-832
E-Mail: alexander.kabza@zsw-bw.de

Brennstoffzellen für Busse

Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein methanolbetriebenes Brennstoffzellensystem auf Basis der im NECAR 5 eingesetzten Reformier- und Brennstoffzellentechnologie wieder aufgebaut und für den Einbau in einen Hybridbus in den USA vorbereitet. Das Vorhaben wird im Rahmen des „Fuel Cell Transit Bus Program“ der Georgetown University (Washington DC) durchgeführt und von der U.S. Federal Transit Administration (FTA) finanziert.

Im bisherigen Verlauf des Vorhabens wurde die Gaserzeugung (Methanol-Kompaktreformer) in Betrieb gesetzt und erfolgreich getestet. Durch Optimierung der Betriebsparameter ist es gelungen, stabile Betriebspunkte zu identifizieren und geeignete Prozeduren zur In- und Außerbetriebnahme des Gaserzeugungssystems zu entwickeln.

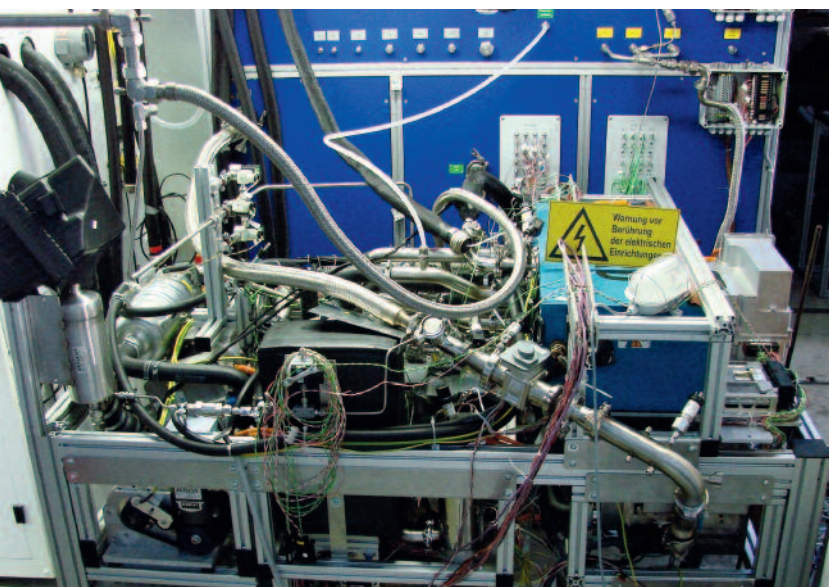
Ferner wurde das Brennstoffzellen-Gesamtsystem aufgebaut. Der Brennstoffzellen-Stack wurde innerhalb des Gesamtsystems in Betrieb genommen, bisher allerdings noch mit einem synthetischen Gasgemisch. Als nächster Schritt wird die Gaserzeugung in das Gesamtsystem integriert und nach der Fertigstellung ausgiebigen Prüfstandtests unterzogen.

Zusammen mit Busherstellern und Zulieferern (alle in den USA) wurde im Juni 2008 die Entwicklungsphase des Busses gestartet. Nach Abschluss dieser Phase wird das Brennstoffzellensystem in einen fahrzeugtauglichen Rahmen integriert und für den Einbau in den Hybridbus vorbereitet.

Fuel Cells for Buses

The objective of this project is to recommission a methanol-powered fuel cell system (FCS) based on the NECAR 5 technology. The project is carried out in the framework of the “transit bus program” of Georgetown University, sponsored by the U.S. Federal Transit Administration (FTA). So far, the compact gas processor has been successfully recommissioned and tested. The FCS has been assembled. The fuel cell stack was installed inside the FCS. As a next step, the gas processor is going to be integrated into the FCS. After completion, the FCS will be subject to thorough bench tests under realistic bus driving cycles.

The bus design phase started in June 2008 together with the bus integrator and component suppliers (all from USA). After completion, the FCS is going to be transferred into an automotive frame suitable for bus integration.



Brennstoffzellensystem für Busse

Fuel cell system for buses

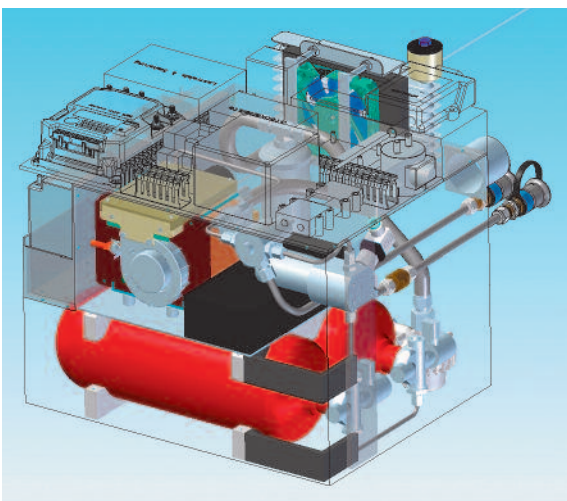
Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Ludwig Jörissen
 Telefon: +49 (0)731 – 95 30-605
 E-Mail: ludwig.joerissen@zsw-bw.de

Kleinsysteme – Brennstoffzellen für Boote

Modulares Brennstoffzellensystem im Leistungsbereich von 1 - 4 kW

Ziel des aktuellen Entwicklungsprojektes ist die Realisierung eines zertifizierungsfähigen, modularen Brennstoffzellensystems in der Leistungsklasse 1 - 4 kW. Mögliche Einsatzgebiete dieses Systems finden sich auf dem Bootsmarkt als Antrieb und für die Bordstromversorgung, im Sektor der industriellen Flurförderzeuge, im Bereich der Kleinelektrofahrzeuge sowie der netzfernen Stromerzeugung bzw. Notstromaggregate.

Im Besonderen liegt der Fokus des Projektes auf einem modularen Aufbau und der Erweiterbarkeit des Systems. Dem Anwender sollen, je nach Bedarf, durch skalierbare Moduleinheiten unterschiedliche System-Leistungsklassen zur Verfügung stehen. Dadurch können mit einer Systemarchitektur eine Vielzahl Anwendungsbereiche abgedeckt werden. Ein weiterer Vorteil des modularen Aufbaus der Einheiten besteht im großen Kostenreduktionspotenzial durch hohe Stückzahlen von wenigen gleichen Einzelkomponenten. Im bisherigen Projektverlauf wurde der technologische Reifegrad existierender Stack- und Systemkonzepte in Langzeitversuchen untersucht. Ferner wurden über eine Marktanalyse die kleinste skalierbare Systemeinheit definiert sowie Kosten- und Stückzahleffekte der Systemkomponenten betrachtet.



Brennstoffzellen-Systembox im ersten Demonstrator
 Fuel cell system in the first demonstrator

Parallel zur Entwicklung des Brennstoffzellenmoduls und der zugehörigen Systemkomponenten wird aktuell der Aufbau eines ersten Demonstrators in einer möglichen Zielanwendung vorangetrieben.

Zukünftige Arbeitspakete werden die Betriebsstrategieoptimierung zur Verlängerung der Lebensdauer sowie die Zertifizierung des Systems entsprechend den aktuellen Zulassungs- und Sicherheitsrichtlinien umfassen.

Small Fuel Cell Systems for Boats (Modular Fuel Cell System in the Range of 1 - 4 kW)

A certifiable modular fuel cell system will be developed and built as a prototype within this project. Possible applications for the system could be seen in the boat market for propulsion and on-board power supply, in the sector of materials handling, for small electric vehicles, and as an independent power supply.

The development focuses on the modularity of the system. Scaleable module units enable the user to select the system power ranges which best fit the application requirements. In this way, a wide application field could be covered.

So far, the maturity of existing stack and system concepts has been evaluated in long-term experiments. Furthermore, a market analysis was performed to define the smallest scaleable unit, and cost and economy of scale effects of the system components were investigated.

In parallel to the development of the system concept, a system prototype is currently being constructed and implemented in a first demonstrator. Future work will include optimisation of operating conditions in terms of durability and lifetime and the certification of the system within existing safety standards.

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Marc-Simon Löffler
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-233
 E-Mail: marc-simon.loeffler@zsw-bw.de

Koordination und wissenschaftliche Begleitung des Leuchtturmprojektes „Callux“: Brennstoffzellen in der Hausenergieversorgung

Im Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in Berlin fand am 23.9.2008 durch Herrn Minister Tiefensee der öffentliche Projektstart des Leuchtturmprojektes „Callux“ statt. „Callux“ (steht für calor: lateinisch für Wärme; lux: lateinisch für Licht) ist das zentrale Großdemonstrationsprojekt im Sektor „Hausenergieversorgung“ im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms „Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie“ (NIP) der Bundesregierung. Führende Energieversorger und Hersteller wie EnBW, E.ON Ruhrgas, EWE, MVV, VNG, BAXI Innotech, Hexis, Vaillant und Viessmann führen Feldtests von Brennstoffzellen für Eigenheime durch, um die Praxistauglichkeit der neuen Hausenergieversorgung zu testen und zu optimieren. Brennstoffzellen-Heizgeräte sorgen im Haus für umweltschonende Wärme und Strom. Die Vorteile der Geräte liegen zum einen in der dezentralen Stromproduktion, die mit vergleichsweise hohen Wirkungsgraden einhergeht. Zum anderen liefern Brennstoffzellen-Heizgeräte gleichzeitig Wärme, die für die Beheizung der Wohnräume zur Verfügung steht.

Ziel von „Callux“ ist es, durch Installation und Betrieb von mehr als 800 erdgasbetriebenen Brennstoffzellen-Heizgeräten deren Weiterentwicklung zu zuverlässigen und marktreifen Systemen voranzutreiben. Parallel wird durch die gemeinsame Bearbeitung sog. „Begleitender Maßnahmen“ (Entwicklung und Umsetzung von Schulungskonzepten für das Handwerk, Marktforschung, Monitoring, gemeinsame Öffentlichkeitsarbeit etc.) eine breite Markteinführung vorangetrieben. An dem Projekt beteiligt sind neben dem ZSW vier Hersteller von Heizgeräten und fünf Energieversorgungsunternehmen, welche die Heizgeräte im Zeitraum 2008-2015 deutschlandweit in Schwerpunktregionen installieren und betreiben.

Das ZSW übernimmt eine Doppelfunktion als zentraler Projektkoordinator des Gesamtvorhabens und zugleich als wissenschaftlicher Begleiter des Industriekonsortiums.

‘Callux’: A Large Field Test of Residential Fuel Cell Power Generation

The Federal Minister Tiefensee gave the go-ahead for the lighthouse project ‘Callux’ on 23 September 2008. Five energy suppliers, four manufacturers and the ZSW form the syndicate.

‘Callux’ is a field test for more than 800 German households, using fuel cells for residential combined heat and power generation. Different fuel cell systems running on natural gas will be installed throughout the country.

Besides concept demonstration and the further development of the systems to achieve reliable and marketable products, the project aims to improve public awareness, educate craftsmen and designers, validate customer and market requirements, and develop concepts to integrate fuel cells into the energy infrastructure. The ZSW coordinates the project and provides scientific monitoring for the syndicate.



Pressekonferenz zum Start des Leuchtturmprojektes „Callux“ mit Minister Tiefensee und Projektpartnern in Berlin (Foto: Callux)

Press conference at the public launching of the lighthouse project ‘Callux’. The Federal Minister Tiefensee and project partners in Berlin (Photo: Callux)

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Marc-Simon Löffler
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-233
 E-Mail: marc-simon.loeffler@zsw-bw.de

Modulare Testplattform für PEM-Brennstoffzellensysteme und Komponenten

Brennstoffzellensysteme zur Kraft-Wärme-Kopplung in der Hausenergieversorgung und zur dezentralen Stromerzeugung (Leistungsbereich 1-10 kW_e) befinden sich derzeit größtenteils noch im Prototypenstadium bzw. in der Erprobung im Rahmen von ersten Feldtests.

Das Hauptaugenmerk bzgl. der noch nötigen F&E-Aktivitäten auf dem Weg zur Markteinführung liegt im Wesentlichen auf der Erhöhung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Anwendungssysteme und somit auf der Weiterentwicklung und Optimierung verschiedener Teilkomponenten. Um bei der Untersuchung einzelner Komponenten (Reformer, Stack, Peripherieaggregate etc.), der Analyse von Verbesserungspotenzialen und der Umsetzung von Optimierungsschritten aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist es jedoch unerlässlich, die entsprechenden Komponenten möglichst praxisnah im Gesamtsystemverbund zu betrachten.

Hauptziel des Förderprojektes war es, eine für die Industrie effektiv zugängliche Dienstleistungsinfrastruktur auf Basis des vorhandenen ZSW-Know-hows zu schaffen. Durch den Aufbau einer modularen Testplattform wurde ein hinsichtlich unterschiedlicher industrieller F&E-Vorgaben leicht adaptierbarer Gesamtsystemteststand realisiert. Ein vereinfachter Komponentenaustausch ermöglicht die realitätsnahe Qualifizierung und Adaptionentwicklung von Teilkomponenten im Systemverbund. Die Prozesssteuerung und -regelung wurde dabei möglichst flexibel gestaltet, um eine einfache Demonstration und Analyse unterschiedlicher Systemverschaltungen auch im Parallelbetrieb zu gewährleisten.

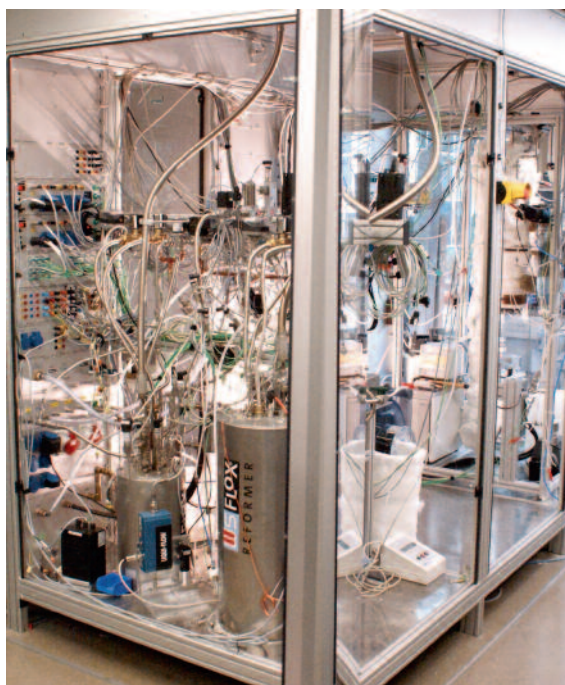
Die F&E-Plattform steht seit Fertigstellung im Frühjahr 2008 sowohl Systemherstellern als auch der Zulieferindustrie (insbesondere Klein- und Mittelständische Unternehmen) für Forschungs- und Entwicklungsaufträge zur Verfügung. Seither wurden bereits zahlreiche Industriaufträge hinsichtlich Qualifizierung, Adaption und Entwicklung insbesondere von Reformer- und Peripheriekomponenten erfolgreich abgewickelt.

Modular Test Facility for PEM Fuel Cell Systems and Components

PEM fuel cell systems offer a high potential for efficient and clean decentralised power generation. The main barriers towards market introduction of these systems are still reliability, lifetime, and costs.

Within the project, a modular testing facility was developed which allows tests and enhancements of system components (reformer, stack, peripheral components etc.) under real operation conditions and is easily adaptable to special industrial R&D demands.

Since its completion in the spring of 2008, the test facility is available for both system integrators and components suppliers for research and development commissions. Several component tests have already been performed in cooperation with industry partners.



Modulares Testsystem für PEM-Brennstoffzellensysteme zur Hausenergieversorgung und dezentralen Stromerzeugung im Leistungsbereich 1-10 kW_e

Modular test facility for PEM fuel cell systems for residential power supply and decentralised power generation in the capacity range from 1 to 10 kW_e

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Joachim Scholta
 Telefon: +49 (0)731 – 95 30-206 / 792
 E-Mail: joachim.scholta@zsw-bw.de

Optimierung von Brennstoffzellen-Stacks

Die Entwicklung von PEM-Brennstoffzellen-Stacks für Niedertemperatur (NT)- und für Hochtemperatur-Membranen wurde 2008 fortgesetzt. Im NT-Stackbereich (0 - 80 °C) lag der Schwerpunkt in der Verbesserung des Wassermanagements, vor allem im Hinblick auf den sicheren Austrag von Kondensat aus den Gasverteilerfeldern. Gleichzeitig wurde eine Verbesserung der Leistungsdichte und eine Minimierung des Druckabfalls über das Gasverteilerfeld angestrebt. NT-Stacks mit einer Aktivfläche von 560 cm², die im Druckbetrieb eine hohe Leistungsdichte aufweisen, wurden entwickelt und an ersten Prototypen erfolgreich getestet. Im HT-Stackbereich (100 - 180 °C) wurden Designs mit einer Aktivfläche von 100 und 200 cm² weiter entwickelt und erprobt. Ein Stackdesign mit einer Aktivfläche von 100 cm² wurde für eine externe Kühlung angepasst. Dadurch wurde die Betriebsfähigkeit des Stacks mit niedrig siedenden Kühlmedien ermöglicht sowie ein kompakter Aufbau mit dünnen Zelleinheiten.

Die Designs mit einer Aktivfläche von 100 cm² wurden so weit entwickelt, dass eine Übertragung in ein Werkzeug zur verbilligten Herstellung dieser Stacks begonnen werden konnte.

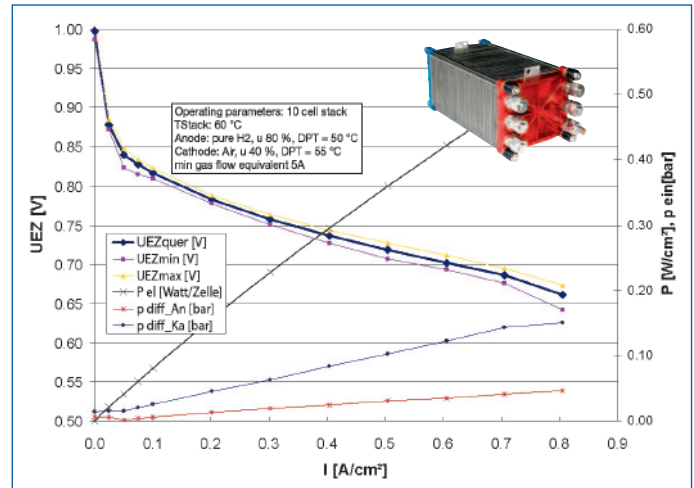
Die durchgeführten Verbesserungen ermöglichen eine deutliche Anhebung des Systemwirkungsgrads und führen zu einem stabileren Betriebsverhalten des Gesamtsystems.

Weiterhin wurden Stacks für Flüssig-Brennstoffe entwickelt und als Muster hergestellt. Hierbei wurden Lösungen erarbeitet, welche eine hohe elektrische Leitfähigkeit der Brennstofflösung bei geringen Nebenschlussströmen im Stack erlauben.

Fuel Cell Stack Optimisation

The PEMFC stack development continued with special emphasis on high-power stacks with compact dimensions and low pressure drop. Stacks with 100 cm² active area were developed which combine high specific power, low pressure drop, and good condensate removal. These stacks allow a broad operating range.

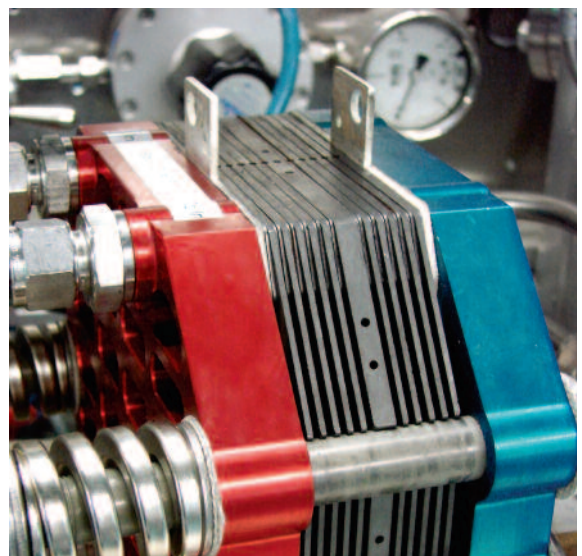
A high-power pressurised stack with 560 cm² active area was developed and tested in first prototypes.



Kennlinien des 100-cm²-Stacks mit hoher Leistungsdichte und verbessertem Kondensataustrag

Characteristics of the 100-cm² stack with high power density and improved condensate removal

Compact HT-PEMFC stacks with external cooling were built which allow the use of an aqueous coolant in HT-PEMFC applications. Stacks operating with liquid fuel were developed and successfully tested. These stacks allow operation with highly conductive fuel and show only low shunt currents.



10-zelliger HT-PEMFC-Stack mit 100 cm² Aktivfläche und externer Kühlung

Externally cooled HT-PEMFC stack with 10 cells and an active area of 100 cm²

Ansprechpartner / Contact Person
 Philipp Krüger
 Telefon: +49 (0)731 – 95 30-208
 E-Mail: philipp.krueger@zsw-bw.de

Aus dem Innenleben einer Brennstoffzelle – in-situ-Untersuchungen der Wasserentstehung in PEM-Brennstoffzellen

Nicht nur unser Teststand, den wir für die in-situ-Messungen verwenden, ist mobil, auch unsere Messergebnisse haben großes Potenzial, die Brennstoffzelle mobiler zu machen.

Ziel dieses Projektes ist die Optimierung der PEM-Brennstoffzellen bezüglich des Wasserhaushaltes, welcher wesentlich ihre Effizienz beeinflusst. Hierfür werfen wir mit Hilfe von Neutronenstrahlung und Synchrotron-Röntgenstrahlung einen Blick direkt in die Zelle. So können wir die Entstehung und auch den Transport des flüssigen Wassers im Detail und vor allem ohne Verfälschung der Betriebsbedingungen untersuchen. Gleichzeitig ist es mit diesen Methoden nicht erforderlich, den Aufbau der Zelle zu modifizieren, und man erhält unbeeinflusste Ergebnisse und eine störungsfreie Wiedergabe der ablaufenden Prozesse. In der automobilen Anwendung von PEM-Brennstoffzellen müssen z. T. Befeuchter eingebaut werden, damit die Brennstoffzelle immer „nass“ genug ist, um gut zu funktionieren. Diese Bauteile sind schwer in ein hoch dynamisches System wie ein Auto zu integrieren, da es meist kompliziert ist, immer den nötigen Wassergehalt zu erreichen.

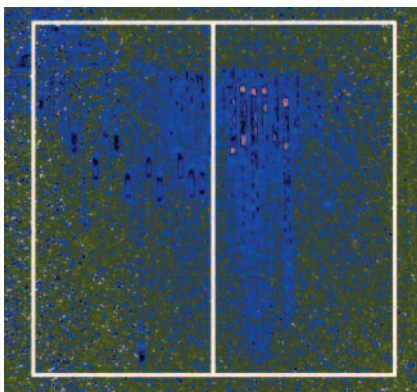
Mit Hilfe unserer Untersuchungen und Erkenntnisse ist es teilweise schon möglich, den Wasserhaushalt unter verschiedensten Betriebsbedingungen vorherzusagen. Somit wäre die größte Unbekannte in der Gleichung „Wasserhaushalt“ bestimmt, was es wesentlich vereinfacht, ein dynamisches System (Auto) effizienter zu gestalten.

Da wir auch in der Lage sind, eine Brennstoffzelle im Tieftemperaturbereich zu betreiben, können wir den Wassertransport und die Entstehung in einer Zelle bei gefrierenden Bedingungen betrachten, was beispielsweise einen „Anlassvorgang“ im Winter widerspiegelt. Gefrorenes Wasser kann die Zelle erheblich schädigen, daher ist es wichtig zu wissen, wo noch wie viel Wasser vorhanden ist. Mit unseren Methoden können kleinste Wassermengen im Bereich von wenigen Picolitern nachgewiesen werden.

Je nach Blickrichtung können damit Wasseransammlungen in den verschiedenen Komponenten der Zelle quantifiziert werden. Transportvorgänge vom Ort der Wasserentstehung hin zu den Kanälen, wo der Abtransport des Wassers erfolgt, können so verfolgt und abgebildet werden.

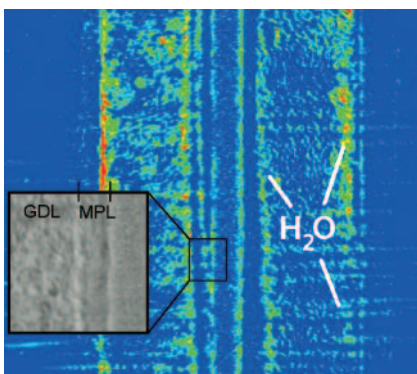
Neutronen-Radiographie zweier unterschiedlicher Gasdiffusionsanlagen in einer Zelle

Neutron radiography comparing two different GDLs in one cell



Hochauflösende Synchrotron-Radiographie eines Einkanals in Seitenansicht

High-resolution synchrotron radiography of a single channel in cross-section view



In-situ Visualisation of Liquid Water Evolution in PEM Fuel Cells

A well-balanced water management in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC) is one of the key issues to optimise the performance of state-of-the-art fuel cells. By means of neutron and synchrotron radiography, the liquid water in fuel cells can be imaged without distortion of the operation conditions. For highly dynamic systems, e.g., for an automobile, the feed gases must be humidified, leading to a huge interest in better understanding how liquid water evolves and accumulates in the fuel cell. Based on this insight, systems can be designed more efficiently and potential damage due to freezing start-up conditions can be avoided. With the methods applied here, extremely small volumes of liquid water in the picolitre range can be detected, so it is possible to observe and quantify the transport of water in the cell.

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Harry Döring
 Telefon: +49 (0)731 – 95 30-602 / -801
 E-Mail: harry.doering@zsw-bw.de

Sicherheitsaspekte der Batterie-Energiespeicher für mobile Anwendungen

Die Realisierung einer effizienten Mobilität auf Basis von Elektro- und Hybridfahrzeugen erfordert eine stetige Erhöhung der Leistungs- und Energiedichte der Batterien, was wiederum die Entwicklung neuer Batterietechnologien mit neuen chemischen Prozessen und Materialien hervorruft. Daraus können sich zusätzliche Probleme für die Betriebssicherheit der Batterie und die Gewährleistung der Sicherheit auch in abnormalen Betriebszuständen (z. B. Ausfall von Überwachungseinrichtungen) ergeben.

Aus diesem Grund ist es unabdingbar, für Batterien neben der Bestimmung der elektrischen Parameter der Batterie auch ihr Verhalten in Extremsituationen (mechanisch, elektrisch, thermisch) zu verstehen, um ein mögliches Gefahrenpotenzial abzuschätzen und entsprechende Gegenmaßnahmen zu realisieren. Wachsende Bedeutung gewinnen diese Untersuchungen insbesondere für die Realisierung der Elektromobilität, da hier Speicher mit einem deutlich größeren Energieinhalt (10 - 50 kWh) zum Einsatz kommen werden.

Sicherheitstests werden am ZSW nach entsprechenden Vorschriften und Standards durchgeführt oder unter spezifischen, mit dem Partner abgestimmten Testbedingungen. Die Ausführung der Tests dient der Qualifizierung eines fertigen Produktes ebenso wie auch in der Entwicklungsphase, um Schwachstellen frühzeitig aufzudecken.



Rauchemission bei Nagel-Penetrationstest für eine Li-Zelle für die EV-Applikation

Smoke emission during nail penetration test for a Li-cell for electric vehicles

Am ZSW Ulm wird ein geeigneter Testbunker betrieben, der über eine Feuerlöschanlage (CO₂-Pulslöschung und CO₂-Raumflutung), eine Absaugung mit Gaswäsche, die Möglichkeit der Videobeobachtung (optisches und thermisches Image) sowie die Datenaufzeichnung der elektrischen, mechanischen und thermischen Größen verfügt. Verschiedene Emissionen können über die Entnahme von Gasproben für die spätere Analytik erfasst werden.

Safety Aspects of the Energy Storage Batteries for Mobile Applications

The realisation of efficient mobility based on electric and hybrid vehicles requires a continuous increase in the power and energy density of batteries, which in turn requires new battery technologies with new chemical processes and materials. A consequence of this development could be additional problems in terms of battery safety aspects. The remaining risk must be reduced to an acceptable level even under abuse conditions (e.g. caused by the loss of control unit functionality).

Therefore, it is absolutely necessary to know how the battery behaves in extreme abuse situations (mechanical, electrical and thermal) in order to evaluate the risk and hazard potential and to minimise the remaining potential risk. This risk evaluation is especially important for electric mobility, because of the significantly larger energy content of the batteries (10 - 50 kWh).

Safety tests are carried out according to existing standards or according to a procedure agreed upon with the partner. In this way, not only the final product can be qualified but also useful results can be generated already during the system's development phase.

A test bunker was installed at the ZSW which is equipped with a fire extinguisher system, an exhaust system connected with a gas washer, and video observation with thermal image recording. The electrical, thermal and mechanical data are measured and stored. Furthermore, the emissions can be measured by sensors or via gas sampling and later analysis.

Ansprechpartner / Contact Person
Dr. Harry Döring
Telefon: +49 (0)731 – 95 30-602 / -801
E-Mail: harry.doering@zsw-bw.de

Charakterisierung von Batteriesystemen

Die Charakterisierung von Speicherbatterien spielt eine wichtige Rolle für die Entwicklung von Speichersystemen, systemtechnischen Komponenten und Batteriemodellen. Zuverlässige und langlebige Speichersysteme sind eine Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz in bestehenden und neuen Märkten, wie photovoltaischen Inselsystemen oder Elektrofahrzeugen.

Die Charakterisierung beinhaltet mehrere Aspekte, wie die Bestimmung der Performance, die Ermittlung der Lebensdauer oder messtechnische Untersuchungen zur Sicherheit.

Neben klassischen Aufgaben, wie normgerechten Lebensdaueruntersuchungen an Bleibatterien für Notstromversorgungsanlagen, zeigt sich ein starker Trend hin zu Lithium-Ionen-Batterien für Fahrzeugantriebe aber auch für stationäre photovoltaische Systeme. Stehen bei Fahrzeugbatterien Messungen mit großen spezifischen Leistungen im Mittelpunkt, so treten bei Photovoltaiksystemen in der Regel spezifische Leistungen auf, die etwa um den Faktor 100 kleiner sind.

Neben Untersuchungen zur Kapazität und zum Innenwiderstand bei unterschiedlichen Bedingungen, werden auch Wirkungsgradmessungen und Messungen zur Ruhespannungscharakteristik durchgeführt. Letztere liefert bei Lithium-Ionen-Batterien wichtige Parameter für Ladezustandsalgorithmen.

Mit Hilfe systematischer Alterungstests werden Lithium-Ionen-Batterien mit unterschiedlichen Elektrodenmaterialien untersucht. Durch die Variation von Betriebsparametern wird die Lebensdauercharakteristik analysiert. Ein Ziel ist es, aus den gewonnenen Ergebnissen unter anderem die sich in der Realität ergebenden Bedingungen zu ermitteln, was letztendlich zu Batterie-Alterungsmodellen führt.

Characterisation of Battery Systems

Proper characterisation methods are important for battery development, design of control strategies, and the development of battery models. Storage batteries must be reliable and have long lifetimes in order to guarantee their successful introduction in photovoltaic stand-alone systems or electric vehicles in new and existing markets.

The characterisation of storage batteries consists of different tasks, like performance testing, lifetime testing and safety investigations.

There is increasing interest in the testing of Li-ion batteries, especially for electric vehicles and for photovoltaic stand-alone applications.

Laboratory tests for investigating lifetime characteristics are time-consuming and require a high number of independent test channels.



Versuchsaufbau für die Untersuchung von Lithium-Ionen-Batterien für photovoltaische Anwendungen

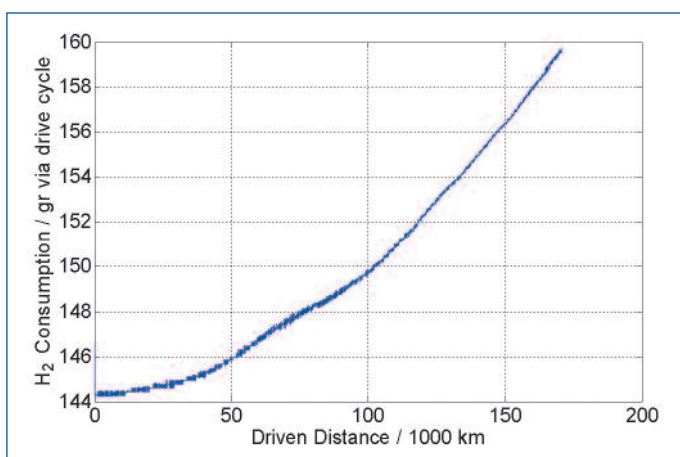
Set-up for testing Li-ion batteries for photovoltaic applications

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Andreas Jossen
 Telefon: +49 (0)731 – 95 30-823 / -825
 E-Mail: andreas.jossen@zsw-bw.de

Modellierung von Batteriesystemen

Brennstoffzellensysteme zeigen bei stark dynamischer Belastung und bei längeren Leerlaufphasen eine Reduktion der Lebensdauer. In Kombination mit einem Batteriespeicher entsteht ein Brennstoffzellen-Batterie-Hybridsystem. Durch eine geeignete Betriebsstrategie können die für die Brennstoffzelle ungünstigen Betriebszustände vermieden werden. Die hiermit für die Batterie einhergehende Zyklisierung führt zu einer beschleunigten Alterung der Batterie. Um die Gesamtkosten solcher Systeme niedrig zu halten, ist eine optimale Betriebsführung notwendig. Eine Optimierung ist aber nur möglich, wenn das Alterungsverhalten der Brennstoffzelle und der Batterie bekannt sind.

Mittels einer Versuchsmatrix von insgesamt 56 Batterien mit 14 unterschiedlichen Betriebsvarianten, wurde ein Alterungsmodell für eine Lithium-Ionen-Batterie erstellt. Dieses spiegelt die Alterung in Abhängigkeit des Betriebs wider. Hierbei gehen die Temperatur, der Ladezustand, die Zyklientiefe und die Stromstärke ein. Das Modell berücksichtigt sowohl die kalendarische als auch die Zyklenalterung.



Entwicklung des Treibstoffverbrauchs über die Lebensdauer eines Fahrzeuges

Development of fuel consumption over vehicle lifetime

Mit Hilfe des Batteriealterungsmodells wurden unterschiedliche Simulationsrechnungen durchgeführt, wie z. B. die Entwicklung des Wasserstoffverbrauchs über das Fahrzeugleben.

Für die Untersuchung der Alterung von Brennstoffzellen wurde ein mehrkanaliges Brennstoffzellentestsystem aufgebaut. Hier werden insgesamt 8 Brennstoffzellen mit unterschiedlichen Betriebszenarien hinsichtlich ihrer Lebensdauereigenschaften getestet. Basierend auf den hier gewonnenen Daten soll ein Alterungsmodell für Brennstoffzellen erstellt werden.

Mit Hilfe beider Alterungsmodelle erfolgt dann eine Optimierung der Betriebsstrategie

Modelling of Battery Systems

Fuel cells show a power degradation if they are operated at a high dynamic load or at idle conditions. The combination of a fuel cell and a storage battery result in a hybrid system. An energy control system can avoid operation conditions which degrade the fuel cell, thereby extending its lifetime. However, these fuel-cell-conserving operation conditions are hard on the battery, so that the complete system needs to be optimised. A control strategy must be developed to minimise the overall costs. Numerical models for the fuel cell and the battery are necessary to this end, and both models must take ageing into account. The battery model is already available; the fuel cell model is under development and will be available soon.

Ansprechpartner / Contact Person
Alice Hoffmann
Telefon: +49 (0)731 – 95 30-213
E-Mail: alice.hoffmann@zsw-bw.de

Produktionstechnik für die Zellfertigung von Lithium-Ionen-Batterien

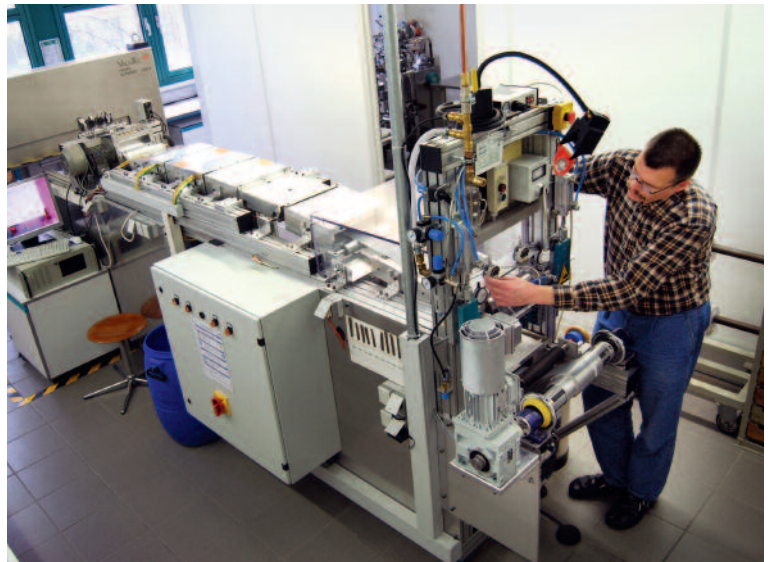
Die Speicherung elektrischer Energie ist eine Schlüsseltechnologie für neue Fahrzeugkonzepte und für die Zwischenspeicherung regenerativ erzeugter Energien. Hier können neue sichere und leistungsfähige Lithium-Ionen-Batterien für elektrische Antriebe einen entscheidenden Beitrag zur Kraftstoffeinsparung, Reduzierung von CO₂-Emissionen, Sicherheit und Wettbewerbsfähigkeit leisten. Die Herstellung und Charakterisierung kompletter Zellen in prismatischer oder in Wickeltechnik stellen, ebenso wie die Fertigung beschichteter Anoden- und Kathodenfolien, eine Schnittstelle zwischen der Materialforschung bzw. -Entwicklung auf der einen und der Systementwicklung auf der anderen Seite dar. Für neue Materialien und Materialkombinationen müssen Rezepturen entwickelt und auf das Zelldesign abgestimmte Anoden- und Kathodenfolien hergestellt werden. Anwendungsrelevante Eigenschaften wie Sicherheit und Lebensdauer lassen sich nur in kompletten Zellen unter realitätsnahen Bedingungen charakterisieren und erlauben letztlich Aussagen über den erzielten technisch-wissenschaftlichen Fortschritt und die potenzielle Leistungsfähigkeit neuer Zellkonzepte.

Im Rahmen von BMWi-geförderten Projekten hat das Fachgebiet ECM damit begonnen, ein Technikum für die Pilotfertigung von Lithium-Ionen-Zellen aufzubauen. Dabei wird die ganze Prozesskette abgebildet, die notwendig ist, um komplette Zellen in allen Arbeitsschritten von der Pulverdispergierung über die Elektrodenbeschichtung, Trocknung, Einhausung, Elektrolytbefüllung bis hin zur Ableiterkontaktierung und Formierung zu fertigen. Für die notwendige prozessbegleitende Analytik und Qualitätskontrolle werden Methoden entwickelt und soweit möglich in die Fertigungsschritte integriert.

Production Technology for Manufacturing Cells for Lithium-Ion Batteries

Electrical energy storage is a key technology for new vehicle concepts and the intermediate storage of renewable energy. Novel lithium-ion batteries with improved safety performance and power capacity can contribute significantly. New materials and material combinations must be tested and optimised in complete cells, which are also necessary for testing application-relevant properties like safety and lifetime.

A newly installed laboratory pilot line includes all process steps and machines which are necessary to produce complete lithium-ion cells: powder mixing – slurry preparation – electrode coating – cell assembly – electrolyte filling – sealing and contacting – electrical formation of cells. We are also developing analytical tools to ensure high reproducibility and quality control of each process step.



Produktionstechnik für Lithium-Ionen-Zellen im ZSW

Production technology for lithium-ion cells

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Corinna Täubert / Dr. Pierre Kubiak
 Telefon: +49 (0)731 – 95 30-401
 E-Mail: corinna.taubert@zsw-bw.de
 pierre.kubiak@zsw-bw.de

Materialentwicklung für Lithium-Ionen-Zellen – Anodenmaterialien und Elektrolyte

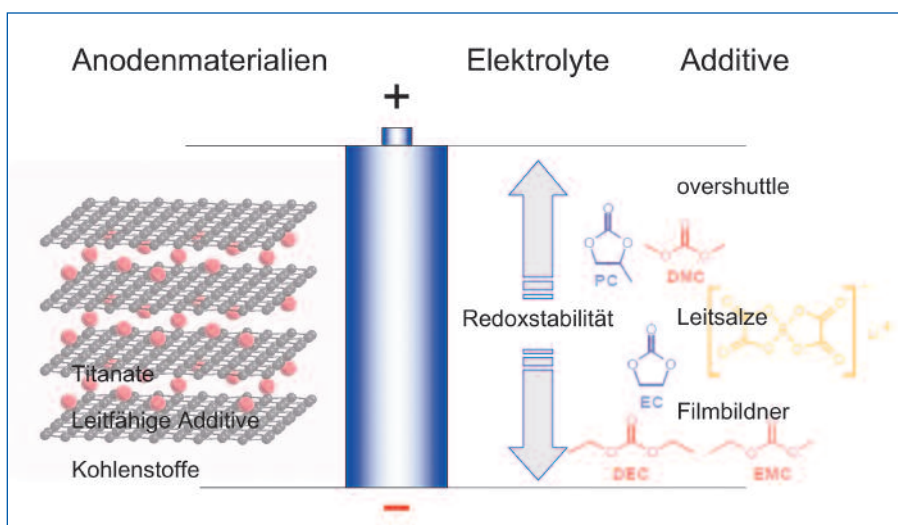
Das ZSW koordiniert ein vom BMBF gefördertes Netzwerk LISA zur Identifizierung und Erschließung neuer Aktivmaterialien und Elektrolyte für Lithium-Ionen-Batterien. Ziel des Verbundprojekts ist es, durch ein besseres Verständnis der Material- / Eigenschaftsbeziehungen einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung leistungsfähigerer Energiespeicher in Bezug auf Langzeitstabilität, Sicherheit und Temperaturstabilität zu leisten. Schwachpunkte heute verfügbarer Systeme sind Sicherheitsrisiken, Lebensdauerprobleme auf Grund von Degradationsprozessen an den Grenzflächen von Elektrode / Elektrolyt und ein eingeschränkter Temperaturbereich. Betriebstemperaturen oberhalb der Raumtemperatur führen zu einer beschleunigten Alterung der Zellen. Dagegen stehen Lithiumbatterien mit Festelektrolyt noch ganz am Anfang ihrer Entwicklung. Das bestehende Konsortium ermöglicht eine ausgeprägt interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Materialwissenschaftlern, Chemikern, Physikern und Mathematikern. Das gesamte Spektrum von der quantenmechanischen Modellierung von Defektstrukturen in den Insertionsverbindungen, der Synthese neuer Materialien über die strukturelle, elektrochemische und oberflächenanalytische Charakterisie-

rung bis hin zum Gesamtschichtaufbau und der numerischen Modellierung der Transportprozesse in einer kompletten Lithium-Ionen-Zelle wird abgedeckt.

Im Rahmen weiterer Projekte untersuchen wir umweltfreundlichere alternative Leitsalze und Elektrolytadditive, die die Zelle auch bei Überladung betriebssicher machen.

Materials Development for Lithium-Ion Cells – Anode Materials and Electrolytes

The ZSW coordinates a scientific network of materials research for lithium-ion batteries. The target of the project is to develop a deeper understanding of the interactions at the electrode / electrolyte interface in order to optimise lifetime, safety, and temperature range of the battery system. New ceramic anode materials and solid-state electrolytes with increased stability are under development. This project includes modelling and calculation of transport processes in insertion materials, synthesis and characterisation of innovative materials, as well as fabrication of a complete battery.



Anodenmaterialien und Elektrolyte für Lithium-Ionen-Zellen

Anode materials and electrolytes for lithium-ion cells

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Peter Axmann
 Telefon: +49 (0)731 – 95 30-404
 E-Mail: peter.axmann@zsw-bw.de

Materialentwicklung für Lithium-Ionen-Zellen – Kathodenmaterial

Sicherheit, Langlebigkeit, Hochstromverträglichkeit und Kosten sind wesentliche Faktoren, die die Einsetzbarkeit von Materialien in Fahrzeugbatterien bestimmen. In Lithium-Ionen-Batterien für portable Anwendungen werden derzeit nahezu ausschließlich Lithiumkobaltoxide als Kathodenmaterialien verwendet. Um die mittelfristigen Kostenziele für großformatige Batteriesysteme erreichen zu können, müssen deutlich preiswertere und breiter verfügbare Aktivmaterialien entwickelt werden. Eine Alternative bieten hier mangan- bzw. eisenbasierte Systeme. In enger Zusammenarbeit mit Material- und Zellherstellern arbeitet das Fachgebiet ECM an der Neuentwicklung und Optimierung verschiedener Kathodenmaterialien für den Einsatz in großen Lithium-Ionen-Batterien für Fahrzeuganwendungen.

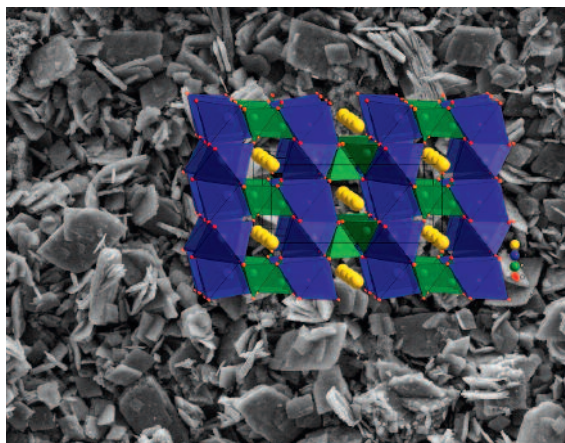
Arbeitsschwerpunkte sind:

- Entwicklung manganreicher Lithiumübergangsmetalloxide mit Schicht- oder Spinellstruktur mit verbesserter Langzeitstabilität und Sicherheit
- Entwicklung hochleistungsfähiger, hochtemperaturtauglicher und langlebiger Lithiumeisenphosphat- / Kohlenstoffkomposite
- Identifizierung und Charakterisierung neuer Lithiumübergangsmetallphosphate für Hochenergieanwendungen
- Untersuchung und Aufklärung von Alterungsmechanismen

Im Gesamtzellkonzept sind die Wechselwirkungen der Kathodenmaterialien mit dem eingesetzten Elektrolyten und den anodenseitig verwendeten Graphiten entscheidend für Langzeitstabilität und Sicherheit. Neben der Synthese und Charakterisierung neuer Materialien ist daher die Ermittlung von Struktur- / Wirkungsbeziehungen ein Schwerpunkt der Arbeiten.

Developing Cathode Materials for Lithium-Ion Cells

Safety, lifetime, high current tolerance, and costs are essential factors for assessing the applicability of materials in vehicle batteries. Currently, lithium-ion batteries for mobile applications use almost exclusively lithium cobalt oxides for the cathode material. These materials are too expensive to achieve the mid-term cost-reduction goals set for large battery systems. Alternative materials are based on manganese or iron. The ECM department is working closely with various material and cell producers to develop and optimise different cathode materials for use in large lithium-ion batteries for application in electric vehicles. They include manganese-rich lithium transition metal oxides with layered or spinel structures and improved long-term stability and safety; high-capacity, high-temperature, and long-lived lithium iron phosphate / carbon composites; and new lithium transition metal phosphates for high-power applications. We also investigate and explain ageing mechanisms and study the interactions between cathode materials, the electrolyte, and the graphite anodes in the context of the complete battery. Besides synthesising and characterising new materials we also concentrate on determining relationships between the structure and the properties of the materials.



Kathodenmaterial mit Lithium-Eisen-Phosphat LiFePO_4

Cathode materials with lithium iron phosphate LiFePO_4

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Wiltraud Wischmann
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-256
 E-Mail: wiltraud.wischmann@zsw-bw.de

Material- und Prozessentwicklung für die großflächige Modulfertigung von CIS-Dünnschicht-Solarzellen

Im Vergleich aller Dünnschichttechnologien weist das CIGS-Materialsystem (Kupfer-Indium-Gallium-Selen) die höchsten Wirkungsgrade auf. Diese Bestwerte beruhen auf Prozessen mit stationären Substraten (statische Prozesse). Diese Prozesse haben wir am ZSW in unserer Technikumlinie auf einer Fläche von 30 cm x 30 cm erfolgreich auf einen industriell relevanten Durchlaufprozess übertragen.

In diesem vom Bundesumweltministerium und der Firma Würth Solar geförderten Vorhaben unterstützt das ZSW als Forschungs- und Innovationspartner Würth Solar beim weiteren Ausbau der Fertigungskapazitäten am Standort Schwäbisch Hall. Bereits im zweiten Produktionsjahr der CISfab konnte so die Fertigungskapazität erfolgreich auf nunmehr 30 MW_p verdoppelt werden.

Da die Herstellung des CIGS-Absorbers einer der kostenbestimmenden Fertigungsschritte in einer Produktion ist, kommt der weiteren Steigerung des Wirkungsgrades eine große Bedeutung zu.

Im Rahmen dieses Projektes optimieren wir daher unseren CIGS-Durchlaufprozess, der auf der Koverdampfung der Elemente Cu, In, Ga und Se basiert, kontinuierlich weiter. Mit einer modifizierten mehrstufigen Prozessführung gelang uns 2008 eine Steigerung des Wirkungsgrades an Testzellen (0,5 cm²) von 17,8 % auf nunmehr 18,4 %. Im Vergleich hierzu liegt unser Bestwert an 30 cm x 30 cm großen Kleinmodulen bei 13,8 %. Die Einzelschichten einer mittels Koverdampfung hergestellten CIGS-Zelle zeigt Abbildung 1.

Eine weitere Steigerung des Wirkungsgrades um ca. 1 % kann durch eine bessere Ausnutzung des

Sonnenspektrums im kurzwelligen Bereich erzielt werden. Dies wird durch den Einsatz alternativer Materialien für den n-Kontakt wie z. B. Zinksulfid/ Zink-Magnesium-Oxid (ZnS/ZnMgO) erreicht. Die verbesserte Quantenausbeute von ZnS/ZnMgO im Vergleich zur Standard-Pufferschicht auf Basis von Kadmiumsulfid / i-Zinkoxid (CdS/i-ZnO) geht aus Abbildung 2 hervor.

CIS Thin-Film Solar Cells: Materials and Process Development for Large-Area Module Production

The CIGS (Cu-In-Ga-Se) material system exhibits the highest efficiencies of all thin-film technologies. The highest values were achieved for static laboratory processes. The ZSW could successfully transfer the technology to an industrially relevant in-line system for 30 cm x 30 cm substrates.

The research and innovation from ZSW assisted the doubling of the CIS production at Würth Solar in Schwäbisch Hall to 30 MW_p. Further increases in the conversion efficiency are vital for the economic viability of the CIS technology. Modification of the in-line CIS process at ZSW increased the efficiency of test cells (0.5 cm²) from 17.8 to 18.4 %. Figure 1 shows the individual layers of a cell with coevaporated CIGS. A further increase of 1 % point was possible through alternative contact and buffer materials with improved blue response (see Figure 2).

Abbildung 1:
 Querschnitt
 durch eine
 CIGS-Solarzelle
 (Rasterelektronen-
 mikroskopie)

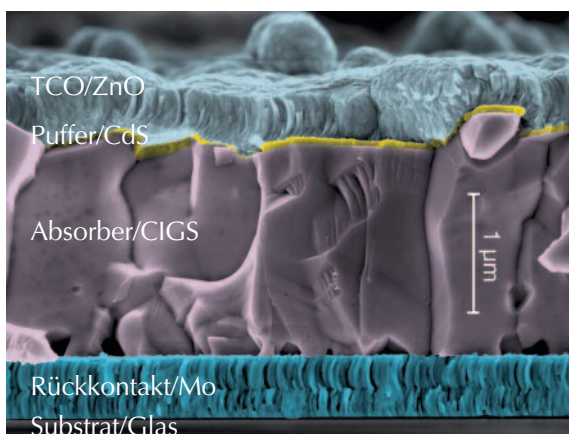


Figure 1:
 Cross-section of a
 CIGS solar cell
 (scanning
 electron
 microscopy)

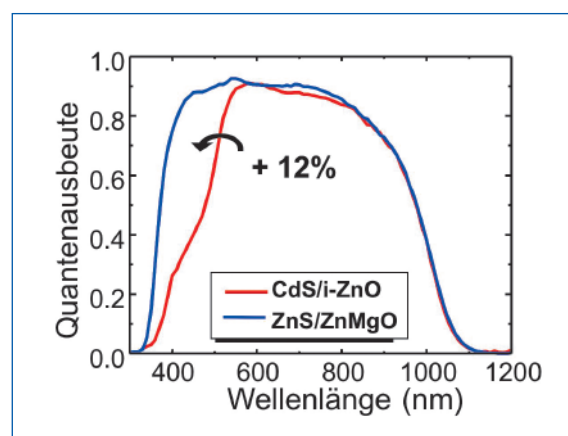


Abbildung 2: Verbesserte Nutzung des kurzwelligen Bereichs durch den Einsatz von ZnS/ZnMgO als Puffer

Figure 2: Improved performance in the short-wavelength region by using ZnS/ZnMgO buffer layers

ARBEITET IHR DACH AUCH FÜR SIE?



Eine Photovoltaik-Anlage ist nicht nur ein Beitrag zum Umweltschutz, sondern auch eine clevere Investition. Wir sind Hersteller innovativer Module in CIS-Technologie und gleichzeitig Anbieter kompletter PV-Systeme. So sorgen wir für die Sicherheit, die Sie für Ihre Investition brauchen: Eine individuell auf Ihr Haus maßgeschneiderte Photovoltaikanlage, fachgerechte Installation und verlässliche Gewährleistung – für viele sonnige Jahre.

Investieren auch Sie in eine gute Zukunft. Wir helfen Ihnen dabei.



Würth Solar GmbH & Co. KG

Alfred-Leikam-Straße 25
74523 Schwäbisch Hall · Germany
Tel. +49 (0) 791 946 00-0
Fax +49 (0) 791 946 00-119
wuerth-solar@we-online.de
www.wuerth-solar.de

Ansprechpartner / Contact Person
 Richard Menner
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-212
 E-Mail: richard.menner@zsw-bw.de

Hochentwickelte Dünnschicht-Technologie für kostengünstige Photovoltaik

ATHLET ist ein großes EU-Projekt mit 23 Partnern aus Forschung und Industrie. Ziel des Projekts ist es, die wissenschaftlichen und technologischen Grundlagen für eine kostengünstigere Massenproduktion von hocheffizienten, umweltfreundlichen, großflächigen Dünnschicht-Solarmodulen zu entwickeln.

Das ZSW arbeitet in den drei Unterprojekten I. Hocheffizienz-Solarzellen, II. Modultechnologie und III. Chalkopyrit-Heteroübergänge mit. Ein Schwerpunkt ist die Entwicklung von dünnen Barrierschichten, die das Eindringen von schädlichen Verunreinigungen in die Dünnschicht-Solarzellen bei den verwendeten hohen Herstellungstemperaturen von 600 °C verhindern sollen. So konnte z. B. die Eindiffusion von Eisenatomen aus dünnen Stahlfolien, welche als Trägermaterial für die Solarzellen verwendet werden, sehr stark reduziert werden. Dabei wurden vor allem zwei bis drei Mikrometer dicke Barrieren aus Siliziumoxid verwendet, die teilweise noch mit einer dünnen Chromschicht versehen waren.

Solarmodule werden mit Hilfe von Kontaktbändchen aus Kupfer oder Aluminium an den äußeren Stromkreis angeschlossen. Im Unterprojekt II wurde ein neues Verfahren zum Anbringen dieser Kontaktbändchen entwickelt: das Ultraschall-Schweißen. Durch dieses Verfahren kann der elektrische Leistungsverlust beim Übergang des Stroms vom Modul in die Kontaktbändchen um das Fünffache verringert werden. Zudem können erhebliche Kosteneinsparungen erzielt werden, weil der zuvor noch zum Anschließen der Bändchen verwendete Silberleitkleber nicht mehr nötig ist. Das Verfahren wurde so weit optimiert, dass es nahezu fehlerfrei funktioniert.

Im Unterprojekt III wird für das Aufbringen einer dünnen Zinkoxidschicht auf die Dünnschicht-Solarzellen ein preisgünstigeres Verfahren entwickelt. Dabei wird das Schichtmaterial von einem rotierenden Rohr aus metallischem Zink durch eine Gasentladung abgetragen und gleichzeitig oxidiert. Eine Kostenkalkulation ergibt, dass dadurch Kosteneinsparungen von 40 bis 50 % möglich sein sollten.

Advanced Thin-Film Technologies for Cost-Effective Photovoltaics

ATHLET is a large EU project with 23 partners from research and industry with the goal to develop the scientific and technological foundation for the cost-efficient mass production of highly efficient, environmentally compatible, large-area thin-film solar modules. The ZSW is working on high-efficiency solar cells, module technology, and chalcopyrite heterojunctions. One major topic is the development of thin barrier layers to prevent the diffusion of detrimental impurities from the substrate during the CIGS deposition at temperatures of ca 600 °C. An example is silicon oxide on steel. Cu or Al contact tapes are used to connect the solar modules to the external circuit. The ultrasonic welding method was developed to attach these tapes with greatly reduced electrical losses and high cost-reduction potential. Reactive sputtering of ZnO from a rotating tubular target should reduce costs by 40 to 50 %.



Ultraschall-Schweißen eines metallischen Kontaktbändchens auf ein Dünnschicht-Solarmodul

Ultrasonic welding of metallic contact tape on a thin-film solar module

Ansprechpartner / Contact Person
 Stephan Leh
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-281
 E-Mail: stephan.leh@zsw-bw.de

Solarzellen von der Rolle – Bandbeschichtungsanlage zur Herstellung von CIS-Dünnschichtsolarzellen

Zur Senkung der Herstellungskosten von Dünnschicht-Solarzellen gewinnen alternative Produktionsverfahren zunehmend an Bedeutung. Am ZSW wird deshalb eine Bandbeschichtungsanlage für die vorindustrielle Herstellung von Solarzellen aus den Materialien Kupfer, Indium, Gallium und Selen (Cu(In, Ga)Se_2 , kurz „CIS“) entwickelt. Dünne, auf Rollen gewickelte Metall- oder Polymerfolien, die als Band durch die Anlage geführt werden, dienen als Substrate für den CIS-Halbleiter. In dem vom Bundesumweltministerium geförderten Investitionsprojekt wird die Anlage in Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller entwickelt, gebaut und in Betrieb genommen. Parallel dazu entwickelt das ZSW spezielle Verdampferquellen, die sich besonders für eine Rolle-zu-Rolle-Bedampfung von unten nach oben eignen. Auch Substratheizungen für eine homogene und schnelle Absorberabscheidung entstehen am ZSW.

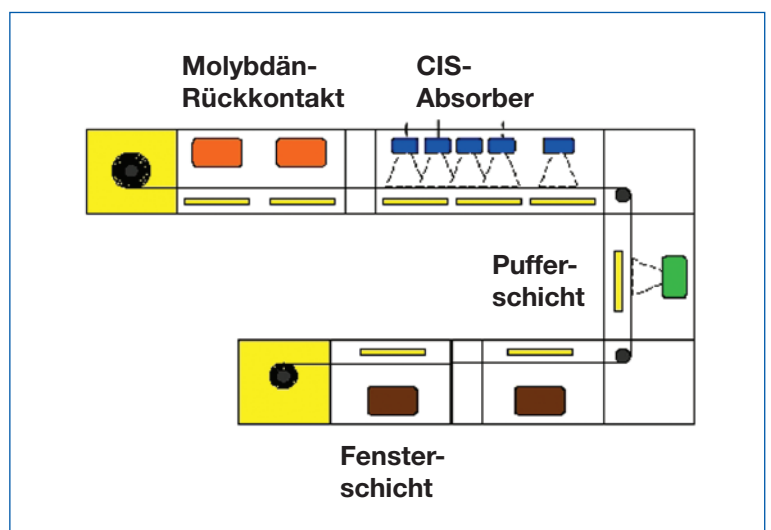
Die Rolle-zu-Rolle-Anlage ist als System ausgelegt, das bei Bedarf modular erweitert werden kann. So können unterschiedliche Prozess-Schritte zunächst einzeln untersucht und später weitere Prozesse hinzugenommen werden. Schließlich werden alle Prozess-Schritte gemeinsam optimiert. Bei Bedarf können später auch noch völlig neue Module eingefügt werden. Die Anlage erlaubt zudem die Inline-Aufdampfung eines in der Zusammensetzung gradierten CIS-Absorbers sowie die Abscheidung von Front- und Rückkontaktschichten mittels Kathodenzerstäubung.

Ein besonderes Augenmerk gilt der Kontrollierbarkeit des CIS-Prozesses, der aufgrund der relativ hohen Prozesstemperaturen von 450 - 600 °C eine besondere Herausforderung darstellt. Hierbei kommt ein kontinuierlich arbeitendes Monitoringssystem zum Einsatz. Zudem können zur Kontrolle des Schichtwachstums verschiedene Analyse-Einheiten an die Anlage angeschlossen werden.

In der Anlage wird es möglich sein, alle aktiven Schichten einer Zelle auf einer Bandbreite von 30 cm abzuschneiden. Sie erlaubt damit die Herstellung kompletter CIS-Solarzellen auf in Material und Dicke sehr unterschiedlichen Folientypen im vorindustriellen Maßstab.

Roll-to-Roll Web Coater for the Production of CIS Thin-Film Solar Cells

Alternative coating techniques on thin, flexible substrates will enable thin-film solar cells to realise their full cost-reduction potential. The ZSW is therefore developing a roll-to-roll system for coating 30-cm-wide coils of metal or polymer foils with the metal and semiconductor films that make up a CIS solar cell (see diagram). The ZSW is developing special thermal evaporation sources and substrate heaters for the fast and homogeneous deposition of CIS and buffer layers in the roll-to-roll system. The plant itself has a modular design in order to optimise each layer individually and then in combination. Changes in materials or methods are also possible, as well as additional processing steps. Various units are included for process monitoring and film growth analysis. This plant is very important for the pre-industrial development of the very cost-efficient roll-to-roll coating process for CIS solar cells.



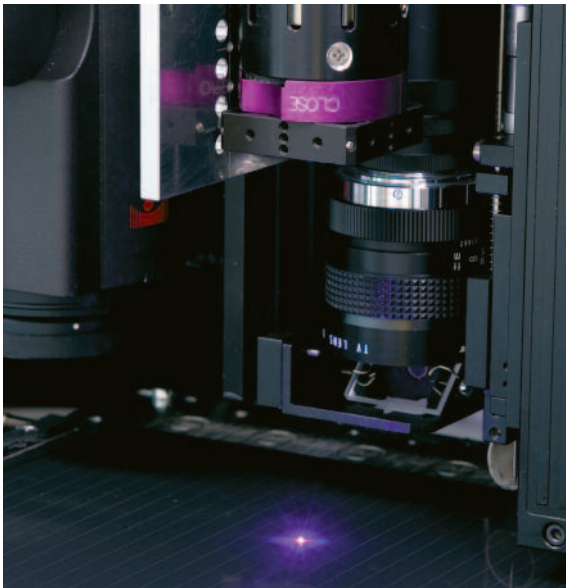
Konzept einer Bandbeschichtungsanlage zur Herstellung von CIS-Dünnschichtsolarzellen im „Rolle-zu-Rolle“-Verfahren

Conceptual design of a roll-to-roll coating plant for the fabrication of CIS thin-film solar cells

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Friedrich Kessler
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-201
 E-Mail: friedrich.kessler@zsw-bw.de

Flexible CIGS-Dünnschichtsolarzellen für die Raumfahrt

Im Weltraum sind Solarzellen als Stromquelle ideal, weil man durch sie auf den teuren Transport von Treibstoff zur Energiegewinnung verzichten kann und damit nicht nur Platz einspart, sondern auch keine Limitierung im Energieverbrauch hat. Mit dem steigenden Energiebedarf der modernen Raumfahrt muss freilich auch die Technik der Solarzellen weiter optimiert werden: so effizient wie möglich, nicht schwerer als nötig.



Strukturierung eines
 Solarmoduls mittels
 Picosekundenlaser
 Patterning of a solar
 module with a
 picosecond laser

Im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Forschungsprojekt „Flexible CIGS-Dünnschichtsolarzellen für die Raumfahrt“ arbeiten zwei Photovoltaik-Institute, ein Solarzellenhersteller und eine auf Weltraumprodukte spezialisierte Firma zusammen. Ziel ist es, Dünnschichtsolarzellen aus dem Materialverbund $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ (CIGS) auf einer ultradünnen Polymerfolie abzuscheiden und zu optimieren. So sollen effiziente und leichte Solarzellen und -Module mit einer hohen spezifischen Leistung (Watt pro Kilogramm) entstehen.

Die besonderen Herausforderungen entstehen dadurch, dass bei Verwendung von Polymersubstrat die maximal anwendbaren Prozesstemperaturen auf ca. 450 °C beschränkt sind. Die absorbierende CIGS-Schicht kann also nicht bei ihrer optimalen Temperatur von ≥ 550 °C hergestellt werden. Nachdem die Wirkungsgradziele von 11 % auf kleiner Fläche erreicht sind, konzentriert sich das

ZSW auf die Herstellung von Solarmodulen mit in Reihe verschalteten Einzelzellen. Dabei werden zwei Wege verfolgt: a) die sogenannte „monolithische“ Verschaltung einzelner Zellstreifen bereits während der Modulherstellung, b) die „quasi-monolithische“ Verschaltung nach Abschluss der Zellherstellung. Der Vorteil des zweiten Verfahrens ist, dass bei einer zukünftigen Rolle-zu-Rolle-Herstellung der Beschichtungsprozess nicht unterbrochen werden muss. Allerdings ist das Verfahren aufwändiger und erfordert mehr Prozessschritte.

Für die Durchführung der monolithischen Verschaltung sind drei Schritte erforderlich. Speziell für den dritten Strukturierungsschritt, also die elektrische Auftrennung des leitfähigen ZnO-Frontkontaktes, wurde ein im Rahmen des Projektes beschaffter Kurzpuls-Laser (Picosekundenlaser) erfolgreich in Betrieb genommen. Die bisher durchgeführten Versuche zeigen, dass bei geeigneter Parameterwahl die ZnO-Schicht selektiv vom Absorber abgelöst werden kann. Ein so verschaltetes Kleinmodul auf Glassubstrat mit 10 Zellen hat einen Wirkungsgrad von 12,7 %.

Flexible CIGS Thin-Film Solar Cells for Space Applications

Solar cells are ideal power sources for space applications, since they do not require expensive and limiting fuel to be transported to space. However, the cells need further optimisation of specific power (W/kg): as efficient as possible, not heavier than necessary. The most effective approach to weight reduction for CIS solar cells is to use thin polymer film substrates. The temperatures required for optimal CIS growth are too high for polymer films, so the CIS coating process must be adjusted for temperatures under 450 °C. Patterning methods for the interconnection of cells into modules must also be adapted to the thin and flexible substrate. The third patterning step for monolithic interconnection could be successfully adapted using a picosecond laser purchased for this project. A small module with 10 cells on glass and patterned with the picosecond laser delivered 12.7 % efficiency.

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Erik Ahlswede
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-247
 E-Mail: erik.ahlswede@zsw-bw.de

Sonnenenergie wie gedruckt: Anorganische Solarzellen

Eine große Herausforderung bei der Produktion von Solarzellen ist es, die Kosten des Herstellungsprozesses zu verringern. Dazu eignen sich gerade bei Dünnschichtsolarzellen Prozesse, wie sie aus dem Tintenstrahldruck bekannt sind. Als Spezialisten für die CIS-Technologie entwickeln wir daher neben konventioneller Beschichtungstechnik auch Verfahren für den Druck von CIS-Solarzellen und deren Charakterisierung.

Im Gegensatz zu bisher üblichen Prozessen benötigen Druckverfahren bei der Herstellung der Solarzellen kein Hochvakuum. Die Vakuumkammern, die normalerweise die Anfangsinvestitionen stark erhöhen, können also eingespart werden. Außerdem ist die Materialausbeute bei diesen Methoden deutlich höher, da kein Material an die Wände gedampft wird, sondern alles direkt auf die Substrate gedruckt wird. Darüber hinaus sind Druckprozesse in der Industrie weit verbreitet und können vergleichsweise leicht hochskaliert werden.

Meist werden gedruckte Solarzellen in einem zweistufigen Verfahren hergestellt: Eine Ausgangsschicht wird unter Hitzeeinwirkung in das eigentliche Halbleitermaterial umgewandelt. Zunächst ist es daher wichtig, eine Druckpaste zu entwickeln,

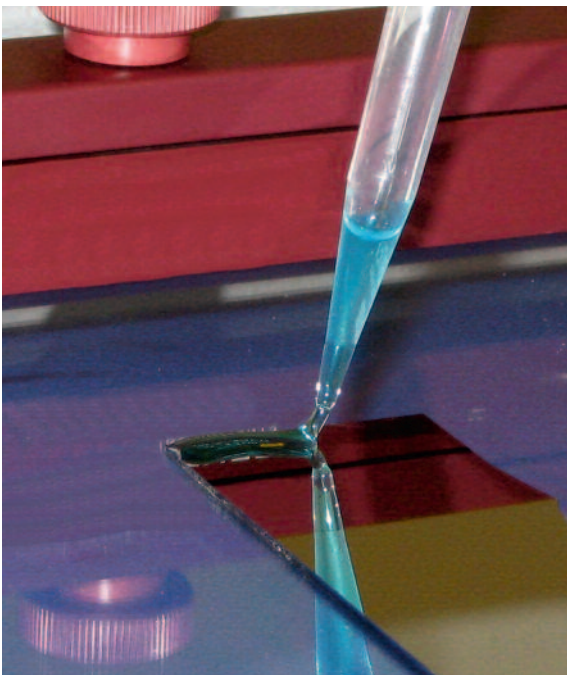
die als Ausgangsschicht auf das metallisierte Substrat aufgebracht werden kann (ein vereinfachtes Verfahren zeigt die Abbildung). Dazu werden Lösungen oder Suspensionen verwendet, die die benötigten Elemente Kupfer, Indium und Gallium enthalten.

Danach wird die metallische Ausgangsschicht in einem Ofen in Selendampf chemisch in eine polykristalline Schicht aus dem erwünschten Halbleiter $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ umgewandelt.

Anschließend bringen wir mittels der ZSW-Standardprozesse die restlichen Kontaktschichten auf und erhalten so eine funktionierende Solarzelle. Zukünftig sollen diese weiteren Schichten auch aufgedruckt werden können, doch ist dazu noch weitere Forschungsarbeit zu leisten.

Printable Inorganic Solar Cells

The absorber for standard CIS solar cells is produced using high-vacuum coating plants for thermal evaporation. They involve high initial investment and operating costs and material losses since the walls of the system are also coated. Printing techniques like inkjet printing are common for industrial applications and are relatively easy to upscale. They do not require vacuum and only the substrate is coated. Printing CIS involves applying a paste precursor containing a solution or suspension of the metallic elements Cu, In, and Ga on a Mo-coated substrate. Heating removes the solvent and a selenisation step converts the precursor to a polycrystalline $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ film. The standard ZSW processing steps (CdS, ZnO) then complete the solar cell. In the future, these layers could also be deposited with a non-vacuum printing technique.



Aufstreichen einer Cu-, In- und Ga-haltigen Ausgangspaste auf das Substrat

Application of a precursor paste containing Cu, In, and Ga on the substrate

Ansprechpartner / Contact Person
 Hans-Dieter Mohring
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-272
 E-Mail: hans-dieter.mohring@zsw-bw.de

Netzgekoppelte Photovoltaik-Systeme mit Lithium-Ionen-Speichern

Im Projekt „SOL-ION“ werden netzgekoppelte PV-Systeme mit Lithium-Ionen-Batterien zur Verbesserung der Integration erneuerbarer Energien in das öffentliche Stromnetz entwickelt und erprobt. Das Projekt wird parallel zu einem französischen Vorhaben durchgeführt. Beide Projekte sind von den Ansätzen vergleichbar und werden eng aufeinander abgestimmt.

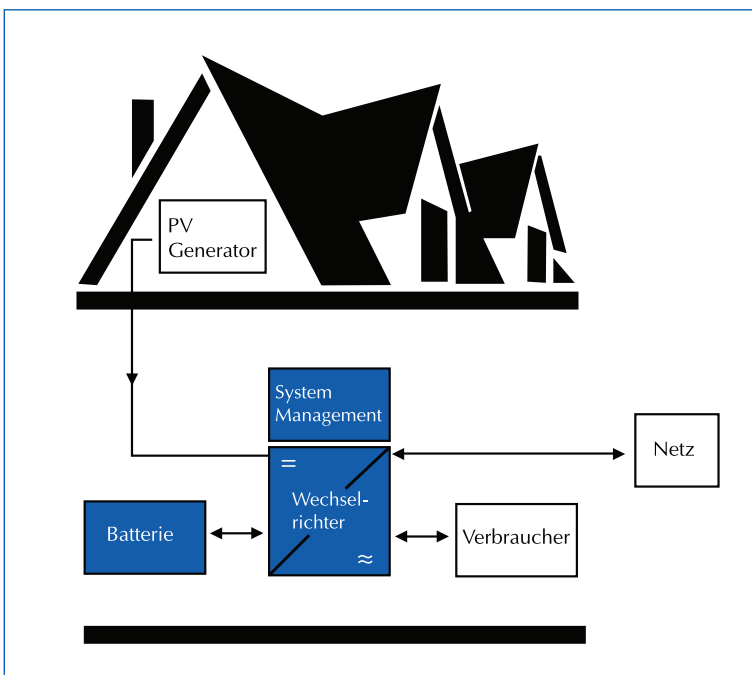
Die Systeme werden mit einer Speicherkapazität von 10 bis 12 kWh in Verbindung mit einer PV-Leistung von 2 bis 5 kW_p und einer Wechselrichterleistung von 3 bis 8 kW ausgelegt. Die Batteriekapazität kann durch Parallelschaltung mehrerer Einheiten erweitert werden. Das SOL-ION-System kann neben der Wirkleistungseinspeisung auch zur Spannungsverbesserung, als unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) für einen abgegrenzten Netzbereich und auch zur Abdeckung von Spitzenlasten genutzt werden. Darüber hinaus ermöglichen diese Systeme eine höhere Dichte dezentraler Einspeiser ohne zusätzlichen Netzausbau.

Basierend auf gemeinsam definierten Anforderungen wird ein Prototyp-System entwickelt, das in jeweils 25 Anlagen in Deutschland und in Frankreich erprobt wird. Die Ergebnisse der beiden Projekte berücksichtigen eine breite Palette von Netz- und Anschlussbedingungen und den Einfluss unterschiedlicher gesetzlicher und technischer Rahmenbedingungen.

Betrieb, Überwachung, Vermessung und Datenauswertung der in Deutschland installierten Systeme liegen in der Verantwortlichkeit des ZSW. Außerdem werden am ZSW technische Modelle der Komponenten für eine optimale Systemauslegung entwickelt und speziell das Alterungsverhalten der Batterien untersucht.

Renewable Energy Systems Including Energy Storage with Li-Ion Batteries

Grid-connected PV systems and lithium-ion batteries are developed and tested within the “SOL-ION” project with the goal of improving the integration of renewable energy in the public grid. A parallel project is underway in France. The SOL-ION system enables grid feed in, but also voltage improvement, an uninterrupted power supply (UPS) for a limited grid area, and peak load support. These systems also enable a higher density of decentralised power suppliers without additional grid expansion. After defining the specifications, 25 prototype systems designed to fit the range of grid and connection requirements, as well as local legal and technical conditions, will be constructed in Germany and France. The ZSW is responsible for the operation, monitoring, measurement, and data analysis of the systems installed in Germany. The ZSW is also developing components and studying battery ageing.



SOL-ION System (blau) in schematischer Darstellung.
 Die Pfeile zeigen die Richtung der Energieflüsse an.

SOL-ION system (blue) in a schematic diagram.
 The arrows indicate the direction of energy flow.

Ansprechpartner / Contact Person
 Dieter Geyer
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-272
 E-Mail: dieter.geyer@zsw-bw.de

Was leisten Dünnschichtmodule wirklich? Zur Langzeitstabilität und Leistungscharakterisierung von Dünnschicht-Solarmodulen

Die Hersteller von Dünnschicht-Solarmodulen weiten gegenwärtig ihre Fertigungskapazitäten in erheblichem Umfang aus. Zugleich werden in schnellem Tempo neue Produktionstechnologien eingeführt. Die ursprünglich für kristalline Module entwickelten Messverfahren sind nicht immer auf die neuen Technologien übertragbar. Darum etabliert das ZSW ein auf Dünnschichtmodule spezialisiertes Kompetenzzentrum zur Leistungscharakterisierung und für Stabilitätsuntersuchungen. Hier werden an die jeweilige Technologie angepasste Methoden und Verfahren entwickelt. Der PV-Industrie wird zudem ausreichend Testkapazität für entwicklungsbegleitende Untersuchungen zur Verfügung gestellt.

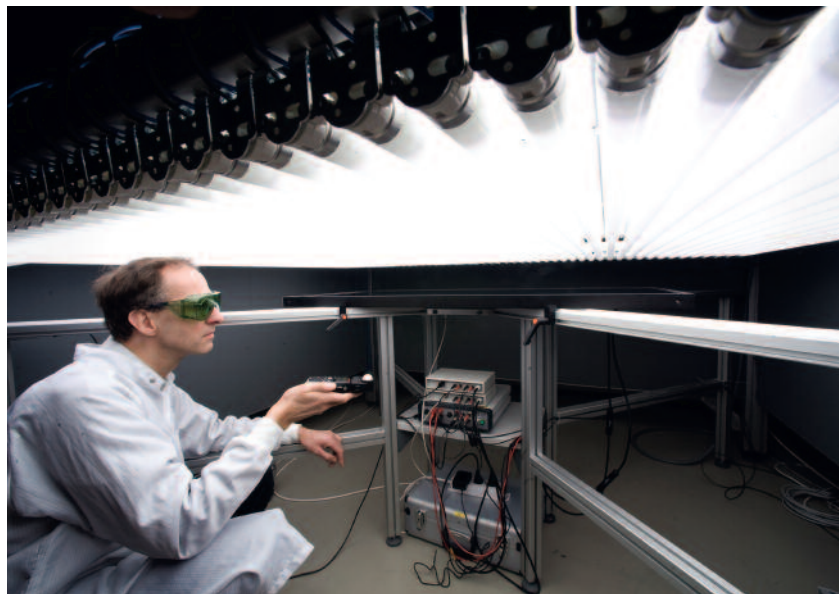
Das Leistungsverhalten der verschiedenen Dünnschichttechnologien wird unter Labor- und Freifeld-Bedingungen untersucht. Angestrebt wird die Entwicklung von Kalibriermethoden für Labor und Freifeld, mit denen die Leistung eines Dünnschicht-Solarmoduls mit einer Messungenauigkeit von weniger als $\pm 5\%$ bestimmt werden kann. Eine hohe Bedeutung hat dabei die Konditionierung der Module vor der Leistungsmessung im Sonnensimulator. Besonderes Augenmerk wird zudem auf die Entwicklung von Messverfahren gelegt, die industriellen Ansprüchen genügen und die innerhalb des Produktionsablaufs angewendet werden können.

Zur experimentellen Absicherung der Langzeitstabilität werden geeignete Testverfahren entwickelt. Dabei gilt es, Alterungsprozesse der unterschiedlichen Dünnschicht-Technologien zu identifizieren, sowohl durch Stabilitätsuntersuchungen unter Freifeld-Betriebsbedingungen als auch durch beschleunigte Alterungstests. Test- und Prüfprogramme sollen mögliche Schwachstellen der verschiedenen Module frühzeitig identifizieren.

Der Jahresenergieertrag unterschiedlicher Technologien ist ein viel diskutiertes und wissenschaftlich nicht abschließend behandeltes Thema. In Freifeldmessungen vergleicht das ZSW deshalb Stärken und Schwächen sowohl der verschiedenen Dünnschicht-Techniken untereinander als auch im Verhältnis zu kristallinen Modulen.

The True Performance of Thin-Film Modules: Long-Term Stability and Performance Characterisation

Manufacturers of thin-film solar modules are currently expanding their production capacities on a large scale. At the same time, they are quickly introducing new production technologies. The testing methods developed for crystalline silicon modules are not always applicable for the new technologies. For this reason, the ZSW established a centre of excellence with performance characterisation and stability tests especially developed for thin-film modules. Enough testing capacity is available to the PV industry for investigations during the development phase. The performance behaviour and accelerated ageing of various thin-film technologies is tested under laboratory and open-field conditions. Calibration and conditioning methods are being developed in the laboratory and the annual yield of the different thin-film and crystalline technologies are compared through field testing.



Vorbelichtung eines Dünnschichtmoduls mit Leuchtstoffröhren zur Konditionierung vor der Leistungsmessung

Pre-illumination of a thin-film module using fluorescent lamps as a conditioning step prior to the efficiency measurement

Ansprechpartner / Contact Person
 Hans-Dieter Mohring
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-272
 E-Mail: hans-dieter.mohring@zsw-bw.de

Solar-Großanlagen für Länder des Sonnengürtels

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau fördert im Rahmen des „United Nations Environment Programme“ (UNEP) das Projekt „Consulting Services for EMPower Program, Phase II“. Für Energieversorger in Ländern mit hoher Sonneneinstrahlung sollen darin das Potenzial und die Einsatzmöglichkeiten von Solar-Großanlagen (> 1 MW für PV und > 50 MW für solarthermische Anlagen) ermittelt werden. Basierend auf den Resultaten der Phase I werden an ausgesuchten Standorten in mehreren Entwicklungsländern in Zusammenarbeit mit den lokalen Energieversorgern und Behörden die technischen und wirtschaftlichen Potenziale für eine Einbindung von Solarkraftwerken in das lokale Stromnetz evaluiert.

Das ZSW identifiziert geeignete Verfahren und Werkzeuge für die technische und ökonomische Bewertung von PV-Großanlagen und vermittelt diese an Entscheidungsträger und Anwender durch Workshops in den entsprechenden Ländern. Wesentliche Gesichtspunkte dabei sind Auswahl, Verfügbarkeit und geeignete Aufbereitung von meteorologischen Daten sowie die Erstellung von Vorgaben und Empfehlungen zur Auslegung von PV-Großanlagen mit öffentlich zugänglichen Simulationsprogrammen.

Large Solar Systems for Sun Belt Countries

The project “Consulting Services for EMPower Program, Phase II” assists power suppliers in countries with high solar irradiation to determine the potential and applicability of large solar systems (>1 MW for PV and >50 MW for solar thermal). Based on the results from phase I of the project, the technical and economical potential for integrating solar power into the local grid at selected sites in several developing countries is evaluated together with the local power suppliers and public authorities. The ZSW’s task is to identify suitable methods and tools for the technical and economic evaluation of large PV systems and to communicate them to decision makers and users through local workshops. Important aspects include the selection, availability, and proper processing of meteorological data and developing guidelines and recommendations for the design of large PV systems.



Photovoltaik-Anlagen und konzentrierende solarthermische Anlagen zur Energieversorgung in Ländern des Sonnengürtels

Photovoltaic and concentrating solar thermal systems for supplying energy in the sunbelt countries



Full House

Die Nutzung von Sonnenenergie ist kein Glücksspiel.

Verlassen Sie sich auch in Zukunft nicht auf den Zufall. Mit dem Einsatz der leistungsstarken Silizium-Solarzellen von ersol, einem Tochterunternehmen der Robert Bosch GmbH, profitieren auch Sie vom Erfolg der Sonnenenergie.

www.ersol.de

ersol. Von Anfang an.

Ansprechpartner / Contact Person
 Antje Vogel-Sperl
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-229
 E-Mail: antje.vogel-sperl@zsw-bw.de

Studie Vergleich der Bundesländer: Best Practice für den Ausbau Erneuerbarer Energien – Indikatoren und Ranking

Zum Vergleich der Anstrengungen und Erfolge der Bundesländer im Bereich erneuerbarer Energien ist im Auftrag der Agentur für Erneuerbare Energien e.V. ein umfangreiches Indikatorensystem für ein Ranking entwickelt worden. Gleichzeitig wird an Hand dieser Studie die Informationsgrundlage bezüglich erneuerbarer Energien in den Bundesländern verbessert. Das Konzept der Studie zielt darauf ab, mit Hilfe von Indikatoren das politische Engagement und den Erfolg bei der Nutzung erneuerbarer Energien sowie den technologischen und wirtschaftlichen Wandel in den Bundesländern zu bewerten.

Dementsprechend werden vier Indikatorengruppen betrachtet:

- (1A) Input-Indikatoren zur Nutzung erneuerbarer Energien: politische Anstrengungen der Bundesländer für einen verstärkten landesspezifischen Ausbau erneuerbarer Energien (insbes. Ziele und Maßnahmen, ggf. aber auch Hemmnisse)
- (2A) Output-Indikatoren zur Nutzung erneuerbarer Energien: erreichte Erfolge beim Ausbau erneuerbarer Energien in den Bundesländern (allgemeine und technik- bzw. spartenbezogene Indikatoren)
- (1B) Input-Indikatoren zum technologischen und wirtschaftlichen Wandel: programmatische Ansätze und Maßnahmen der Bundesländer z. B. in der Forschungsförderung und Ansiedlungspolitik
- (2B) Output-Indikatoren zum technologischen und wirtschaftlichen Wandel: im Bereich erneuerbarer Energien tätige Unternehmen, Beschäftigte, Infrastruktureinrichtungen, Patente

Es werden insgesamt 49 Einzelindikatoren herangezogen und unter Normierung und Gewichtung den vier Indikatorengruppen zugeordnet. Im Gesamtranking geht das Bundesland Brandenburg als Sieger hervor, gefolgt von Baden-Württemberg, Bayern und Schleswig-Holstein.

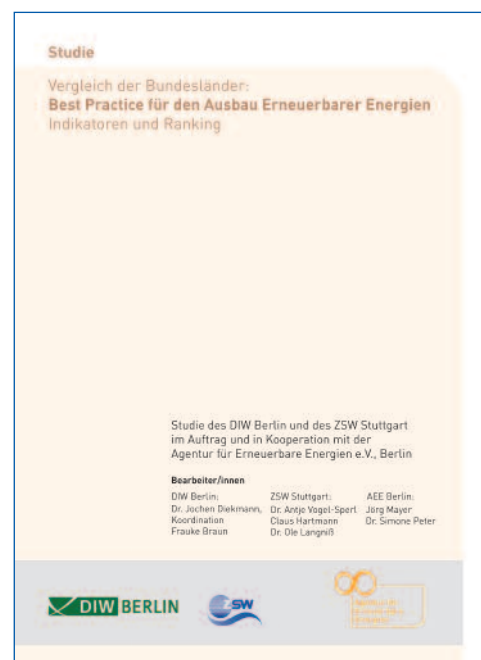
Auf Basis der Studie wurde im November 2008 erstmals der Preis „Leitstern 2008“ verliehen. In der Gesamtbewertung erhielt ihn das Land Brandenburg, in der Kategorie B „Technologischer und wirtschaftlicher Wandel“ Schleswig-Holstein und

in der gesonderten Kategorie „Erneuerbare Wärme“ Baden-Württemberg, das außerdem in der Kategorie A „Nutzung erneuerbarer Energien“ knapp führt.

Comparison of Status and Development of Renewable Energy Sources in the Federal States – Indicators and Ranking

A comprehensive set of performance indicators was developed for comparing the success of renewable energy (RE) expansion on the level of the federal states (“Bundesländer”). The conceptual design of the study aims to evaluate political commitment and achieved successes as well as technological and economic change. Four groups of indicators encompassing a total of 49 individual indicators were surveyed.

Based on this study, the “Leitstern 2008” prize was awarded for the first time in November 2008 to Brandenburg for overall achievement, to Schleswig-Holstein in the category of “Technological and Economic Change” and in the separate category of “Renewable Heating” to Baden-Wuerttemberg, which also closely leads the category of “RE Utilisation”.



Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Peter Bickel
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-244
 E-Mail: peter.bickel@zsw-bw.de

Evaluierung der KfW-Förderung für erneuerbare Energien im Inland

Kernstück der Klimapolitik der Bundesregierung ist das Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP). Ein darauf basierendes Ziel ist es, den Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch auf mindestens 30 Prozent und am Wärmeverbrauch auf mindestens 14 Prozent im Jahr 2020 anzuheben. Konkret sollen mit dem IEKP durch den Ausbau der erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2020 im Strombereich 54,4 Mio. t CO₂ und im Wärmebereich 9,2 Mio. t CO₂ pro Jahr zusätzlich zu den im Jahr 2006 erreichten Minderungen eingespart werden.

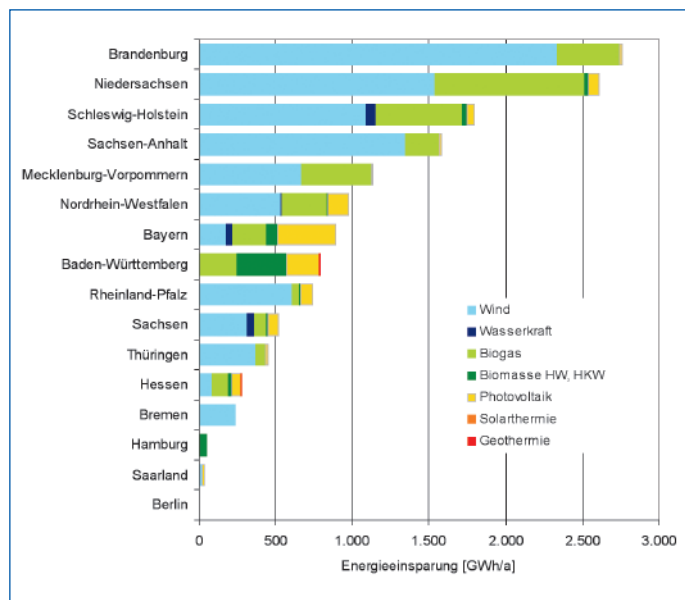
Ein wichtiger Baustein dieser Strategie sind die Förderaktivitäten der KfW Bankengruppe, in deren Rahmen sie zinsvergünstigte Darlehen für Investitionen in die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zur Verfügung stellt. Um die Effektivität und Bedeutung der Förderprogramme zu überprüfen, werden im Rahmen dieses Projektes die von der Förderung ausgehenden Effekte in den Bereichen Treibhausgasminderung und Einsparung fossiler Energieträger und damit vermiedener Importe an fossilen Energieträgern sowie Beschäftigungseffekte jeweils für die Förderjahrgänge 2007, 2008 und 2009 ermittelt. Die KfW-Förderung im Jahr 2007

- unterstützte rund 45 % der 2007 in Deutschland getätigten Investitionen in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien,
- führte zu vermiedenen Energieimporten im Gegenwert von jährlich rund 250 Mio. EUR und annähernd 5 Mrd. EUR über die Nutzungsdauer der Anlagen von 20 Jahren,
- resultiert in der Vermeidung von rund 4,6 Mio. t CO₂ pro Jahr, was allein mehr als 7 % der oben genannten von der Bundesregierung angestrebten zusätzlichen CO₂-Einsparungen durch den Ausbau erneuerbarer Energien im Strom- und Wärmebereich bis 2020 entspricht,
- induzierte über Produktion und Bau von Anlagen eine Beschäftigung von rund 16.000 direkten und 27.000 indirekten Arbeitsplätzen. Hinzu kommen jährlich weitere 2.000 Arbeitsplätze durch Betrieb und Wartung der Anlagen.

Evaluation of KfW Renewable Energy Promotional Activities in Germany

The renewable energy (RE) promotional activities of the KfW Bankengruppe represent an important component of the German climate protection strategy. To review their effectiveness and significance, the study investigates the reductions generated by these promotional programmes in greenhouse gases, fossil fuel consumption and imports, and also the impacts on employment for each of the years 2007 to 2009.

In 2007 approx. 45 % of the investments made in the construction of facilities using RE in Germany were supported through KfW programmes. Thus each year the support saves approx. 250 million Euros worth of energy imports and reduces CO₂ emissions by approx. 4.6 million tonnes. Manufacturing and construction of the facilities financed in 2007 generated around 16,000 direct and 27,000 indirect jobs, plus 2,000 jobs per year for operation and maintenance.



Durch KfW-Förderung erneuerbarer Energien im Jahr 2007 ausgelöste jährliche Einsparung fossiler Energieträger

Annual savings in fossil fuel consumption triggered by KfW renewable energy promotional activities in 2007

Ansprechpartner / Contact Person
 Dr. Frank Musiol
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-217
 E-Mail: frank.musiol@zsw-bw.de

Informationen zum Stand und der Entwicklung Erneuerbarer Energien

„Koordinierung der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Statistik (AGEE-Stat) im Zeitraum 2007-2009 sowie Beratungsleistungen für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zu Erneuerbaren Energien“

Grundlage aller strategischen Entscheidungen auf politischer Ebene aber auch in der Wirtschaft und Wissenschaft sind belastbare Informationen. Am ZSW werden verschiedene Vorhaben sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene durchgeführt, mit dem Ziel, die für die politischen Entscheidungsprozesse der Auftraggeber relevante Datenbasis im Bereich der erneuerbaren Energien bereitzustellen.

Besondere Bedeutung kommt der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Statistik (AGEE-Stat) zu, die als unabhängiges Fachgremium durch das Bundesumweltministerium (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) sowie dem Bundeslandwirtschaftsministerium (BMELV) im Frühjahr 2004 eingesetzt wurde. Die erfolgreiche Zusammenarbeit von Fachleuten aus acht Bundesministerien, Bundesämtern und weiteren Institutionen wird bereits im fünften Jahr durch das Fachgebiet Systemanalyse koordiniert. Die Leitung der Arbeitsgruppe wurde Prof. Dr. Frithjof Staß (ZSW) übertragen.

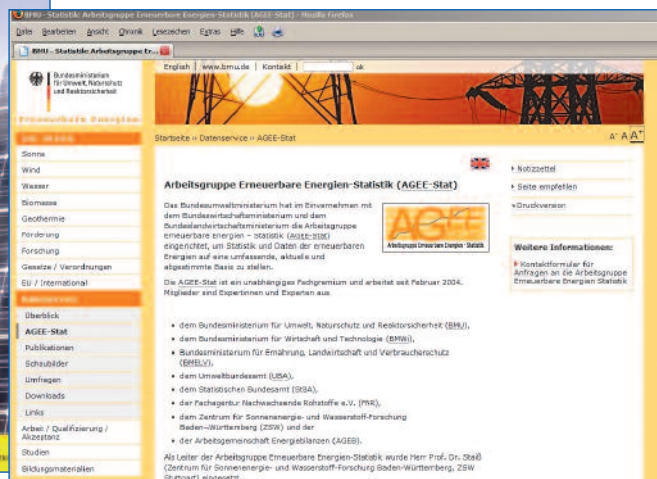
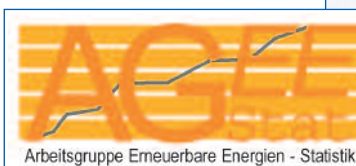
Schwerpunkt der Tätigkeiten der AGEE-Stat ist die Bereitstellung einer aktuellen, belastbaren und abgestimmten Datenbasis zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, um die Bundesregierung bei der Erfolgskontrolle und Weiterentwicklung politischer Maßnahmen und ihren vielfältigen nationalen, EU-weiten und internationalen Berichtspflichten zu unterstützen.

Im Rahmen des Abstimmungsprozesses der Daten durch die Mitglieder der Arbeitsgruppe werden auch methodische Fragestellungen und verschiedene Fachfragen zu den erneuerbaren Energien erörtert und Datendefizite identifiziert. Eigene Forschungsarbeiten, die Vergabe von Studien sowie die Durchführung von Fachveranstaltungen unterstützen dabei die Erkenntnisfortschritte.

Die AGEE-Stat informiert direkt und über Publikationen der Ressorts auch die interessierte Öffentlichkeit. Dazu zählen vor allem die zweimal jährlich vom ZSW erstellte BMU-Informationsbroschüre „Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung“ sowie verschiedene Informationen im Internet unter www.erneuerbare-energien.de in der Rubrik „Datenservice“.

Status and Development of Renewable Energy Sources

Reliable and current statistical data regarding renewable energies as well as their future prospects are increasingly important for political decision-making. Therefore, the Working Group on Renewable Energies – Statistics (AGEE-Stat) was initiated under the guidance of Prof. Dr. Frithjof Staß. Its main purpose is to provide the German Government with a consistent data base covering the renewable energy sector in Germany.



Ansprechpartner / Contact Person
 Anton Kaifel
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-238
 E-Mail: anton.kaifel@zsw-bw.de

Climatology of Height-resolved Earth Ozone and Profiling Systems for GOME (CHEOPS-GOME)

Ozon ist eine besondere Form des Sauerstoffes. Während Ozon in der Stratosphäre (ca. 12 km - 50 km) durch die Absorption sehr kurzwelliger, gefährlicher UV-Strahlung für alle Lebewesen auf der Erde notwendig ist, kann zu viel Ozon in Bodennähe gesundheitsschädigend wirken.

Die anthropogenen Aktivitäten in den letzten 150 Jahren haben den Ozonhaushalt sowohl in Bodennähe als auch in der Stratosphäre stark beeinflusst, denn durch den zunehmenden Verkehr erhöht sich besonders in den Sommermonaten die Ozonkonzentration am Boden während v. a. FCKWs die Ozonschicht über Antarktis und Arktis schädigen.

Die ZSW-Arbeitsgruppe „Meteorologie und Klimatologie“ konnte in den letzten Jahren ein Verfahren zur Ozonbestimmung aus Satellitendaten mittels Neuronalen Netzen etablieren (NNORSY). Diese Methode wurde auf verschiedene Satelliteninstrumente angewandt, wobei u. a. die vertikale Ozonverteilung zwischen 0 km und 61 km bestimmt wurde. Aus den resultierenden Daten der globalen Ozonverteilung wurden weitere Datenprodukte entwickelt.

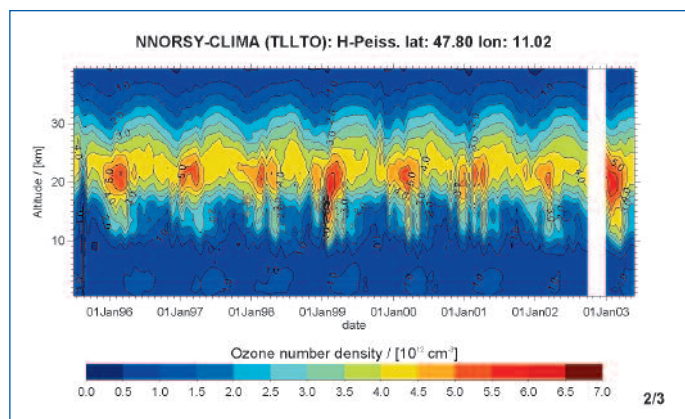
Ein wichtiges Ergebnis war die Erstellung einer neuen dynamischen Ozonklimatologie. Die Software basiert auf der Technik Neuronaler Netze und bestimmt für jeden gewünschten Ort und jedes Datum ein klimatologisches Ozonprofil. Klimatologische Ozonprofile werden u. a. für Chemische Transportmodelle (CTMs), für Datenassimilierung (DA) in Klimamodellen und für die Verbesserung von Wettervorhersagemodellen eingesetzt. Neu an dieser Ozonklimatologie ist, dass die klimatologischen Profile erstmals durch eine Software generiert werden, die leicht in bestehende Modelle eingebunden werden kann und die die aktuelle dynamische Situation (z. B. Temperaturprofil) berücksichtigt.

NNORSY wird im Rahmen eines Folgeprojekts für die synergistische Nutzung mehrerer Satelliteninstrumente (GOME-2 und IASI) weiterentwickelt.

Climatology of Height-resolved Earth Ozone and Profiling Systems for GOME (CHEOPS-GOME)

Within the ESA-funded CHEOPS project, NNORSY was applied to different satellite data. The resulting data sets were used to derive new ozone profile climatology products based on the neural network technique. This type of climatology is needed e.g. for trace gas retrievals, chemical transport, and forecast models for climate and weather. For the first time, a dynamic ozone profile climatology based on neural network techniques is available as a comprehensive software package. It can be easily integrated into existing models and provides high-quality ozone profile data by using different combinations of static and dynamic input parameters.

Current developments for NNORSY are focusing on the synergistic use of different satellite instrument data from the MetOp-1 satellite for environmental monitoring.



Mit NNORSY-Ozonklimatologie erstellte Zeitreihe des Ozonverlaufes für DWD-Station Hohenpeissenberg unter Berücksichtigung des Gesamt Ozons und Temperaturprofils; Weitere Informationen und Datenverfügbarkeit unter <http://nnorsy.zsw-bw.de>.

Time series of climatological ozone profiles retrieved from the NNORSY-CLIMATLOGY for the DWD station Hohenpeissenberg; Further information and data available at: <http://nnorsy.zsw-bw.de>.