



Erneuerbare Energien  
in Baden-Württemberg

# Results Ergebnisse 2008 2008



Zentrum für Sonnenenergie- und  
Wasserstoff-Forschung (ZSW)  
Baden-Württemberg

Das ZSW ist Mitglied im



Copyright:

Das Urheberrecht steht dem Herausgeber zu. Veröffentlichungen und auszugswise Verwendung sind ohne ausdrückliche Genehmigung des Herausgebers nicht zulässig. Zuwiderhandlung wird rechtlich verfolgt.

Wir danken den Firmen, die sich mit einer Werbeanzeige beteiligen. Für den Inhalt der Anzeigen sind die Firmen selbst verantwortlich.

## Impressum / Imprint

### Herausgeber

Zentrum für Sonnenenergie- und  
Wasserstoff-Forschung (ZSW)  
Baden-Württemberg

Industriestraße 6  
70565 Stuttgart  
Tel.: +49 (0)711 – 78 70-0  
Fax: +49 (0)711 – 78 70-100

E-Mail: [info@zsw-bw.de](mailto:info@zsw-bw.de)  
Internet: [www.zsw-bw.de](http://www.zsw-bw.de)



Der Jahresbericht des ZSW wurde auf  
FSC-zertifiziertem Papier gedruckt.

### Redaktion

Tiziana Bosa  
Claudia Brusdeylins  
Dr.-Ing. Theresa Friedlmeier  
Gudrun Scherg

### Koordination

Karl-Heinz Frietsch

### Gestaltung und Gesamtherstellung

Martin Fritz  
Marketing Kommunikation GmbH  
Ahaweg 6-8  
76131 Karlsruhe  
Tel.: +49 (0)721 – 1 30 86-0  
Fax: +49 (0)721 – 1 30 86-25  
[www.fritz-marketing.de](http://www.fritz-marketing.de)

### Fotografien

Jens Kramer, [www.designarmada.de](http://www.designarmada.de)  
Umschlag vorne und Seiten 3, 9, 11, 45  
Christoph Morlok, [www.morlok-fotografie.de](http://www.morlok-fotografie.de)  
Umschlag vorne und Seiten 9, 22, 23, 39, 49,  
54, 59, 67, 80, 83

**Inhalt****Content**

Vorwort	2	Foreword
Stiftung	4	Foundation
Mitglieder des ZSW-Kuratoriums	5	Members of the Board of Trustees
Partnerunternehmen	6	Cooperations with Commercial Enterprises
<b>Teil 1 – Öffentlichkeitsarbeit</b>		<b>Part 1 – Public Relations</b>
20 Jahre ZSW	10	20 Years ZSW
Internationale Kontakte und Besuchergruppen	12	International Contacts and Visiting Groups
Messen und Ausstellungen	14	Fairs and Exhibitions
Pressespiegel	20	Press Review
<b>Teil 2 – Die Teams</b>		<b>Part 2 – The Teams</b>
Photovoltaik: Materialforschung (MAT)	24	Photovoltaics: Materials Research
Photovoltaik: Module Systeme Anwendungen (MSA)	26	Photovoltaics: Modules Systems Applications
Systemanalyse (SYS)	28	Systems Analysis
Regenerative Energieträger und Verfahren (REG)	30	Renewable Fuels and Processes
Elektrochemische Materialentwicklung (ECM)	32	Electrochemical Materials Development
Elektrochemische Akkumulatoren (ECA)	34	Electrochemical Accumulators
Elektrochemische Wasserstofftechnik (ECW)	36	Electrochemical Hydrogen Technology
Elektrochemische Verfahren und Modellierung (ECV)	38	Electrochemical Processes and Modelling
Service Teams	40	Service Teams
<b>Teil 3 – Schwerpunktbericht „Nachhaltige Mobilität“ und aktuelle Forschungsprojekte</b>		<b>Part 3 – Focus Report “Sustainable Mobility” and Current Research Projects</b>
Schwerpunktbericht Nachhaltige Mobilität	46	Focus Report Sustainable Mobility
Aktuelle Forschungsprojekte:	62	Current Research Projects
Mobile und stationäre Anwendungen	62	Mobile and Stationary Applications
Photovoltaik	76	Photovoltaics
Systemanalyse	86	Systems Analysis
<b>Teil 4 – Haushalt, Dokumentation, Organisation</b>		<b>Part 4 – Budget, Documentation, Organisation</b>
Haushalt	92	Budget
Personal	94	Staff
Dokumentation	96	Documentation
Organisationsstruktur	104	Organisational Structure
Organigramm	105	Organisational Chart
So erreichen Sie uns	106	How to Find us
Abkürzungen	108	Abbreviations
Bestellformular „Jahrbuch Erneuerbare Energien“	109	Order Form “Jahrbuch Erneuerbare Energien”
Impressum	111	Imprint

## Vorwort

Das Jahr 2008 war durch Entwicklungen charakterisiert, die zuvor nicht für möglich gehalten worden wären – an den internationalen Finanzmärkten ebenso wie am Energiemarkt. In der Folge des Allzeithochs des Ölpreises stieg der Heizölpreis zeitweise auf etwa 1 Euro je Liter und Benzin kostete über 1,50 Euro. Unabhängig davon, in welchem Umfang dafür ressourcen-, nachfrageseitige oder spekulative Einflüsse eine Rolle spielten, wurde erneut die Dringlichkeit langfristig tragfähiger Alternativen deutlich.

Politik und Wirtschaft haben mit verschiedenen Maßnahmen reagiert. So folgte dem Anfang 2008 in Baden-Württemberg in Kraft getretenen Erneuerbare-Wärme-Gesetz im Sommer der Beschluss eines entsprechenden Bundesgesetzes. Gleichzeitig entstand ein regelrechter Boom der Ideen und Konzepte zu alternativen Antrieben für Fahrzeuge. Eines der großen Themen der Energieversorgung in den nächsten Jahren wird deshalb die nachhaltige Elektromobilität sein, die den Schwerpunkt des vorliegenden Jahresberichtes bildet. Denn das ZSW ist eines der wenigen Institute, das in diesem Bereich die Erfahrung aus 20 Jahren kontinuierlicher Forschung und Entwicklung einbringen kann. Aber auch in unseren anderen Themenfeldern sind im vergangenen Jahr wichtige und exzellente Ergebnisse erzielt worden, in die wir Einblick geben möchten. Daran wird auch deutlich, dass eine besondere Stärke des ZSW in den Synergien der Themenfelder liegt. Damit können wir beispielsweise die Vision greifbar machen, mit 20 Quadratmetern Photovoltaikmodulen auf dem eigenen Hausdach den Mobilitätsbedarf mit effizienten Elektrofahrzeugen zu decken.



*Vorstand / Board*

*v. l. n. r. / f. l. t. r.:*

*Dr.-Ing. Michael Powalla,*

*Prof. Dr. Frithjof Staiß,*

*Prof. Dr. Werner Tillmetz*

Unser Dank gilt dem Land Baden-Württemberg und unseren Partnern aus Unternehmen, der öffentlichen Forschungsförderung und wissenschaftlichen Einrichtungen. Vor allem aber gilt er unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die den unvermeidlichen Druck einer dynamischen Entwicklungsphase mit hohem persönlichem Engagement bewältigen. Wir danken den Mitgliedern des Kuratoriums und seinem Vorsitzenden, Herrn Prof. Hans Albrecht, für die unermüdliche Unterstützung unserer Arbeit. Nicht zuletzt gilt unser Dank Herrn Dr. Hansjörg Gabler, der als Mitglied des Vorstands und Leiter des Geschäftsbereichs Photovoltaik bis zum 31.3.2008 über neun Jahre hinweg den Erfolg des Instituts maßgeblich mitgestaltet hat.

Februar 2009

Prof. Dr. F. Staiß

Dr.-Ing. M. Powalla

Prof. Dr. W. Tillmetz

## Foreword

The year 2008 was characterised by developments which would not have been considered possible beforehand – both in the international financial markets and in the energy market. As a result of all-time highs in the price of oil, the price of heating oil temporarily rose to values around 1 Euro per litre and petrol cost more than 1.50 Euros. Regardless of the roles played by resource, demand, and speculation influences, the urgent need for long-term sustainable alternatives became apparent once again.

Politics and industry reacted to the crisis with different measures. Thus the national Renewable Energies Heat Act quickly passed in the summer of 2008 to succeed the Baden-Württemberg state resolution which took effect in the beginning of 2008. At the same time there was a literal boom in ideas and concepts for alternative vehicle drives. One of the major energy supply topics in the next years will therefore be sustainable mobility – which is also the focus of this annual report. The ZSW is one of few institutes with 20 years of experience gained through continuous research and development in the key technology of energy storage. Furthermore, with this report we would like to share insights into our other topics which have also achieved excellent and important results in the past year. It thus becomes apparent, that one of the ZSW's particular strengths lies in the synergies between our topics. For example, we can make tangible the vision of supplying one's mobility needs through efficient electric vehicles charged by 20 square metres of photovoltaics on the roof of one's own house.

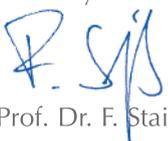


*Führungswechsel am ZSW:  
Als Nachfolger von Dr. Hansjörg  
Gabler (li.) wurde Dr.-Ing. Michael  
Powalla (re.) zum 1.4.2008 neues  
Vorstandsmitglied und Leiter des  
Geschäftsbereichs Photovoltaik.*

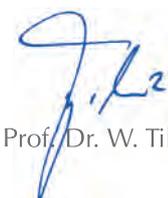
*Change in Leadership at the ZSW:  
Succeeding Dr. Hansjörg Gabler (l),  
Dr.-Ing. Michael Powalla joined the  
ZSW Board and became the new  
Director of the Photovoltaics  
Division on 1 April 2008.*

We would like to thank the state of Baden-Württemberg and our partners from industry, public research support, and scientific institutions for the fruitful collaboration. Most of all, however, we thank our employees who master the unavoidable pressure of a dynamic development phase with high personal dedication. We thank the Board of Trustees and their Chairman, Prof. Dr. Hans Albrecht, for their tireless support of our work. Last but not least, we thank Dr. Hansjörg Gabler, who until 31 March 2008, significantly shaped the success of the institute in his nine years as Member of the Board and Director of the Photovoltaics Division.

February 2009

  
Prof. Dr. F. Staiß

  
Dr.-Ing. M. Powalla

  
Prof. Dr. W. Tillmetz

## Stiftung / Foundation

Das ZSW wurde 1988 als gemeinnützige Stiftung des bürgerlichen Rechts gegründet.

ZSW was established in 1988 as a non-profit foundation under the civil code.

Stiftungszweck ist:

*„Forschung und Entwicklung im Bereich der Sonnenenergie und Wasserstofftechnologie, in Abstimmung mit der universitären und außeruniversitären Forschung sowie durch Umsetzung der erarbeiteten Ergebnisse in die industrielle Praxis, zu betreiben und zu fördern.“*

(Satzung vom 16. März 1988)

The goal of the foundation is

*„to conduct and promote research and development in the field of solar energy and hydrogen technology in co-operation with academic and applied research and by transferring the results into industrial application.“*

(Statutes of 16 March 1988)

### Stifter des ZSW / The founders are

Institutionen und Forschungseinrichtungen/  
Institutions and research establishments

- Land Baden-Württemberg
- Universität Stuttgart
- Universität Ulm
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Unternehmen/  
Commercial enterprises

- Aare-Tessin AG für Elektrizität
- Adolf Würth GmbH & Co. KG
- Daimler AG
- Dr. Hans-Jörg Mast
- EnBW Energie Baden-Württemberg AG
- Fichtner GmbH & Co. KG
- IN-TEC GmbH
- Martin Fritz Marketing Kommunikation GmbH
- Messer GmbH
- Robert Bosch GmbH
- Schlaich Bergermann und Partner
- Telefunken Electronic GmbH
- Verband der Elektrizitätswerke Baden-Württemberg e.V.

## Mitglieder des ZSW-Kuratoriums / Members of the Board of Trustees

### Vorsitzender/Chairman

**Prof. Dr.-Ing. Hans Albrecht**

### Stellvertreter/Vice Chairman

**Dr. Ulrich Alkemade**

#### Ministerien/Ministries

Ministerialrätin Susanne Ahmed,  
Ministerium für Wissenschaft, Forschung und  
Kunst Baden-Württemberg

Ministerialrat Stefan Gloger,  
Ministerium für Umwelt und Verkehr  
Baden-Württemberg

Ministerialrat Dr. Frank Güntert,  
Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

Regierungsdirektor Karl Wollin,  
Bundesministerium für Bildung und Forschung

#### Universitäten/Universities

Prof. Dr. Karl Joachim Ebeling,  
Präsident der Universität Ulm

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Ressel,  
Rektor der Universität Stuttgart

#### Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt/ German Aerospace Research Centre

Prof. Dr.-Ing. Hans Müller-Steinhagen,  
Institut für Technische Thermodynamik

#### Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. Dr. Eicke Weber,  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

#### Wissenschaft/Science

Prof. Dr.-Ing. Hans Albrecht

Prof. Dr. Achim Bubenzer,  
Rektor der Hochschule Ulm

Prof. Dr. Uli Lemmer,  
Universität Karlsruhe

Prof. Dr. Johann Löhn,  
Präsident der Steinbeis-Hochschule

#### Wirtschaft/Commercial Enterprises

Dr. Ulrich Alkemade, Robert Bosch GmbH

Rolf Bauer, Adolf Würth GmbH & Co. KG

Matthias Berz, Stadtwerke Ulm / Neu-Ulm

Dipl.-Ing. Peter Heinrich,  
Fichtner GmbH & Co. KG

Dr. Christian Mohrdieck, Daimler AG

Dr. Wolfram Münch,  
EnBW Energie Baden-Württemberg AG

Dr. Günter von Au, Süd-Chemie AG

## Partnerunternehmen des ZSW / Cooperations with Commercial Enterprises

Partnerunternehmen des ZSW, die einer Nennung im Jahresbericht zugestimmt haben, sind:  
These cooperating commercial enterprises agreed to be mentioned in the annual report:

- 3 Swiss Solar Systems AG
- Acta SPA, Italien
- Airbus Deutschland GmbH
- AIXTRON AG
- ALCOA Inc.
- Ambiente Italia srl
- ARUP
- AUDI AG
- Avancis GmbH & Co KG
- BASF AG
- BASF SE
- BAXI INNOTECH GmbH
- BMW AG
- Bürkert GmbH & Co. KG
- Buschjost Norgren GmbH + Co. KG
- Chemetall GmbH
- Chloride Group PLC
- CIS Solartechnik GmbH
- Colt International GmbH
- Continental Automotive Systems
- Daimler AG
- Degussa
- Dekont Vakuum Service GmbH
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
- Directa Plus, UK, Ltd.
- Dr. Klaus Heidler Solar Consulting
- Dräger Safety AG & Co. KgaA
- Dutch Space B. V.
- E.ON AG
- E.ON Ruhrgas AG
- EADS-ST
- eflox GmbH
- Électricité de France (EDF)
- Emerson & Cuming – ICI Belgium NV
- EnBW Energie Baden-Württemberg AG
- Energieversorgung Filstal GmbH & Co. KG
- Evonik Industries
- EWE AG
- Exide Technologies
- Fichtner GmbH & Co. KG
- Freudenberg
- FUMA-Tech GmbH
- Fundación Gaiker
- Gaia Akkumulatorenwerke GmbH
- Garrad Hassan Iberica S.L.U.
- GSS Gebäude-Solarsysteme GmbH
- Hexis AG
- Hilti Deutschland GmbH
- HNP Mikrosysteme GmbH
- Hoppecke Batterien GmbH & Co KG
- HTS GmbH
- Hydro Building Systems GmbH, Buildtec
- INASMET
- Isovolta AG
- Kärcher GmbH
- Lenhardt Maschinenbau GmbH
- Liebherr Aerospace
- Lightweight Energy GmbH
- LionTec
- li-Tec Battery GmbH & Co. KG
- Masterflex AG
- MTU CFC Solutions
- MTU Friedrichshafen
- MVV Energie AG
- NuCellSys
- Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal GesmbH
- P 21
- Permasteelisa S.P.A.
- Phocos AG
- Porsche AG
- Reinz-Dichtungstechnik GmbH
- RENETEC Co., Ltd.

- REPOTEC Renewable Power Technologies Umwelttechnik GmbH
- Robert Bosch GmbH
- Saft
- Saint Gobain Recherche SA
- SB LiMotive Co. Ltd.
- Schunk Kohlenstofftechnik GmbH
- SGL Carbon AG
- Solar Fuel Technology GmbH & Co KG
- Solarion AG
- Solibro Research AB
- Solvay GmbH
- Solvicore
- Steca GmbH
- Süd-Chemie AG
- Sulfurcell Solartechnik GmbH
- Sun Power Solartechnik GmbH
- TBM Technologieplattform Bioenergie und Methan GmbH & Co. KG
- Telsonic AG
- TENESOL
- Toda Kogyo Europe GmbH
- TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH
- Tyco Electronics
- Umicore Research
- Vaillant GmbH
- Varta Automotive Systems GmbH
- Varta Microbatterie GmbH
- Viessmann Werke GmbH & Co KG
- VNG – Verbundnetz Gas AG
- VOITH AG
- Volkswagen AG
- voltwerk electronics GmbH
- von Ardenne Anlagentechnik GmbH
- WS Reformer GmbH
- WS Wärmeprozestechnik GmbH
- Würth Elektronik Research GmbH
- Würth Solar GmbH & Co. KG
- ZF Antriebstechnik



# Teil 1 / Part 1

Öffentlichkeitsarbeit

Public Relations

## 20 Jahre ZSW



Höhepunkt der Öffentlichkeitsarbeit 2008 war die Festveranstaltung „20 Jahre ZSW“ am 11. April. Knapp 400 Gäste, darunter 250 aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik sowie ca. 150 Freunde und Mitarbeiter/innen waren der Einladung ins Stuttgarter Haus der Wirtschaft gefolgt.

Ministerpräsident Günther H. Oettinger würdigte als Schirmherr der Festveranstaltung die Leistungen des Instituts. „Man müsste das ZSW erfinden, wenn es dieses nicht schon seit zwei Jahrzehnten gäbe“, sagte der Ministerpräsident in seiner Gratulationsrede. Unter den Bemühungen, den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromproduktion in den kommenden Jahren auf 20 Prozent auszubauen, sei die Solarenergie der anspruchsvollste Bereich. „Technisch und volkswirtschaftlich ist es eine sinnvolle Investition“, so Oettinger.

Professor Hans Albrecht, der Kuratoriumsvorsitzende des ZSW, erinnerte an die Gründung des Zentrums im März 1988. Sie war unter dem Eindruck der Ölkrise in den 1970er Jahren und der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl von 1986 erfolgt. Eine weitere Motivation bildet der in den vergangenen Jahrzehnten immer dringender gewordene Klimaschutz. Deshalb sind, wie es der geschäftsführende Vorstand Professor Frithjof Staiß formulierte, „erneuerbare Energien, effiziente Nutzungstechniken und Speichermedien die Kernbausteine der zukünftigen Energieversorgung und damit auch die zentralen Arbeitsgebiete des europaweit renommierten Instituts“.

Die Arbeitsgebiete des ZSW wurden von drei Schülergruppen in Experimenten und kleinen Spielszenen anschaulich dargestellt. Sie zeigten, wie Strom aus Sonnenlicht entsteht, wie das Zusammenspiel der Moleküle in einer Brennstoffzelle Energie fließen lässt, und wie man aus Holz Biogas gewinnt. Die hoch motivierten Schülerinnen und Schüler des Ulmer Schubart-Gymnasiums, des Paracelsus-Gymnasiums Stuttgart-Hohenheim und des Ferdinand-Porsche-Gymnasiums Stuttgart-Zuffenhausen begeisterten das Publikum mit ihren gelungenen Experimenten und empfahlen sich nebenbei als wissenschaftliche Nachwuchskräfte.

In einem Kurzvortrag schilderte der Präsident der Universität Ulm, Professor Karl Joachim Ebeling, wie das ZSW in die Forschungsstruktur des Landes Baden-Württemberg eingebunden ist. Es folgte der Festvortrag von Professor Ortwin Renn, Universität Stuttgart, mit einem Überblick über Risikoversorge, Technologiepolitik und ihre Auswirkungen auf die Gesellschaft weltweit. Beide Vorträge betonten die Bedeutung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des ZSW für eine nachhaltige Energiewirtschaft.

Musikalisch begleitet wurde die Veranstaltung von der Gruppe „Talking Drums“, dem Percussion-Ensemble der Musikhochschule Stuttgart. Ihre außergewöhnliche und eindrucksvolle Darbietung wurde vom Publikum mit lang anhaltendem Beifall belohnt. Zum Ausklang lud das ZSW zu einem Imbiss mit angeregten Gesprächen bei Klaviermusik.

Die Festveranstaltung stieß bei den Gästen und in der Presse auf durchweg positive Resonanz.

### 20 Years ZSW

On 11 April 2008 we celebrated the 20th anniversary of our foundation with a commemorative event in Stuttgart. The Minister President of Baden-Württemberg, Günther H. Oettinger praised the ZSW's achievements and announced that the institute would need to be founded if it didn't already exist for two decades. The 400 guests enjoyed commemorative speeches by the chairman of the ZSW Board of Trustees Prof. Hans Albrecht, the ZSW managing director Prof. Frithjof Staiß, the president of the University of Ulm Prof. Karl Joachim Ebeling, and Prof. Ortwin Renn of the University of Stuttgart. The celebration was rounded out by theatrical representations of the ZSW's topics by school classes from Stuttgart and Ulm and accompanied by the exceptional performances by the percussion group "Talking Heads" from the Stuttgart Conservatory.



*Impressionen der Festveranstaltung  
Impressions from the celebration*



## Internationale Kontakte und Besuchergruppen

### Internationale Kontakte

Zeugnis der internationalen Ausrichtung des ZSW sind seine Kontakte zu Wissenschaftlern, Politikern und Industrieunternehmen aus aller Welt. Zahlreiche Delegationen informierten sich auch 2008 am ZSW über die Tätigkeitsfelder auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien und der Brennstoffzellen- und Batterietechnologie. Solche Veranstaltungen dienen dem Wissenstransfer auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien.

Januar 2008	Wirtschaftsdelegation, Thailand
Februar 2008	International Panel of Hydrogen Economy
Mai 2008	Study visit MEDSTAT II GTZ, Luxemburg
Mai 2008	Wirtschaftsdelegation, Dänemark
Juni 2008	Study visit Engineering in Global Context, University of Virginia, USA
Juni 2008	Delegation UECT 2008, Kanada
Juni 2008	Ambassadors Round Table, Kanada
Juni 2008	SERT, Thailand
Juni 2008	BLUEPRINT, Niederlande
Juni 2008	Wirtschaftsdelegation, Schweiz
Juli 2008	Fuel Cell Mission, Thailand
Juli 2008	Economic Affairs Counselors of the Arab Embassies, Arab
November 2008	TV of the state, Taiwan
Dezember 2008	Washington Office Konrad-Adenauer-Stiftung, USA

Die Schwerpunkte der Darstellungen lagen auf dem internationalen Vergleich der erneuerbaren Energien, der Photovoltaik-Dünnschichttechnologie (CIS), deren architektonischer Integration an Gebäuden und der Erklärung des Biomassevergasungsprozesses nach dem am ZSW entwickelten AER-Verfahren. Abgerundet wurde der Besuch jeweils mit einer Laborführung.

### Besuchergruppen

Folgende Besuchergruppen aus Deutschland informierten sich über die Themenschwerpunkte des Instituts:

Januar 2008	Die Grünen, Forschungsklimatour
April 2008	FDP-Bundestagsfraktion, Energietour
Juli 2008	FDP-Landtagsfraktion Baden-Württemberg
Juli 2008	Schülergruppe Kerschenstein-Schule
September 2008	Oberbürgermeister der Stadt Göppingen und Geislingen, Aufsichtsrat EVF

Insgesamt ist das Besucherinteresse an allen drei Standorten ungebrochen. Schulklassen, Vereine, Verbände, Vertreter der Kommunen und der Länder, der Stadtwerke und Repräsentanten aus Industrie und Politik informieren sich vor Ort über die neuen Forschungs- und Entwicklungsergebnisse auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien. Das ZSW erreicht damit im Land und darüber hinaus eine breite Öffentlichkeit.

### International Contacts and Visiting Groups

The ZSW is internationally oriented and attracts visitors and delegations from all over the world. The technically, economically, and politically oriented groups listed here visited the ZSW to learn about our topics like renewable energy, fuel cells, and batteries. German political groups like the Green Party and the FDP were here in 2008, along with other political and commercial representatives.

All three ZSW locations enjoy a steady interest in visits from school classes, clubs, associations, and representatives from German communities and states, public utilities, politics and industry. The ZSW topics are thus presented to the public locally, nationally, and internationally.

*Economic Affairs Counsellors of the Arab Embassies, Juli / July 2008*



*FDP-Landtagsfraktion Baden-Württemberg, Juli 2008 / FDP State parliament faction Baden-Württemberg, July 2008*

## Messen und Ausstellungen

Im Berichtszeitraum präsentierte sich das Institut mit seinen Forschungsschwerpunkten auf namhaften überregionalen Fachmessen mit innovativen Produkt- und Forschungsergebnissen. Mit der Beteiligung an lokalen, regionalen und internationalen Messen erfüllt das ZSW den Satzungsauftrag des Landes, die Öffentlichkeit über die Sonnenenergienutzung und die Wasserstofftechnologie zu informieren.

Professorentreff Schloss Reisenburg 16.1.2008

DESIGN&ELEKTRONIK  
Entwicklerforum, München 6.3.2008

Hannover Messe Industrie  
Ethanol-based Power-Generator  
21. - 25.4.2008

Materialien für die Dünnschicht-Photovoltaik  
Zelt des Bundespresseamts auf der Messe zur  
UN-Artenvielfaltskonferenz,  
Bonn 12. - 30.5.2008

Unterstützung von Karlsruher Hochschul-  
gruppen mit Exponaten zur Photovoltaik,  
Woche der Sonne 15. - 25.5.2008

11. UECT, Ulm 10. - 12.6.2008

Arbeitgeber Zukunft  
Job- und Bildungsmesse Clean Energy,  
Stuttgart 14.6.2008

Elektrochemische Materialforschung  
Umwelttag 2008, Ulm 18.6.2008

European Biofuel Congress 2008,  
Essen 24. - 25.6.2008

Photovoltaik/Elektrochemie Nobelpreis -  
trägertagung, Baden-Württemberg  
International, Lindau 7.7.2008

Energietag Baden-Württemberg,  
Stuttgart 13.9.2008

20 Jahre ISET, Kassel 26.9.2008

Wüstenrot Stiftung, Ludwigsburg 26.9.2008

MiNaT, VDI/VDE, Innovation und Technik,  
Stuttgart 7. - 9.10.2008

Esslinger Energieeffizienztag, KINET,  
Esslingen 9.10.2008

Farbige und semitransparente PV-Module  
glasstec, Düsseldorf 21. - 25.10.2008

Neue Energie Ulm,  
Deutschland – Land der Ideen 28.10.2008

Nationale Strategiekonferenz zur  
Elektromobilität, Berlin 25. - 26.11.2008

Neben diesen Aktivitäten hat sich das Institut an zahlreichen Tagungen mit Fachvorträgen beteiligt und solche auch selbst organisiert und ausgerichtet.

### Fairs and Exhibitions

Stands at local, regional, and international fairs gave us the opportunity to present our topics to the interested public.

Our most current results in research and development were presented at numerous specialist conferences and we also organised several large meetings and conferences.

## Neue Energietechnologie aus Ulm für Südafrika

Mit dem Ziel der Verstärkung der wissenschaftlichen Zusammenarbeit besuchte Bundesforschungsministerin Dr. Annette Schavan vom 5.-10. Februar 2008 anerkannte Universitäten und Forschungseinrichtungen in Südafrika und Namibia. Begleitet wurde sie von einer hochrangig besetzten Delegation mit Vertretern deutscher Forschungseinrichtungen. Mitreisender Experte zum Thema Neue Energietechnologien war Prof. Dr. Werner Tillmetz, Vorstand des Geschäftsbereichs Elektrochemische Energietechnologien des ZSW in Ulm.

The German Federal Research Minister Dr. Annette Schavan and ZSW Director Prof. Dr. Werner Tillmetz were among a delegation representing German research institutes which travelled through South Africa, visiting universities and research institutes with the goal of increasing scientific cooperation between the two countries.



*v. l. n. r. / f. l. t. r.:*

*Prof. Dr. Werner Tillmetz und Annette Schavan (Bundestagsabgeordnete für den Wahlkreis Ulm/Alb-Donau und Bundesministerin für Bildung und Forschung) auf gemeinsamer Bildungsreise in Südafrika.*

*Prof. Dr. Werner Tillmetz and the German Federal Research Minister Dr. Annette Schavan on a tour of research facilities in South Africa.*

## Ort im Land der Ideen – Übergabe der Ehrentafel im April 2008

Am 8. April wurde die Ehrentafel für die Auszeichnung des Ulmer Geschäftsbereichs Elektrochemische Energietechnologien als „Ort im Land

der Ideen“ der Initiative „Deutschland – Land der Ideen“ offiziell überreicht. Das Programm ist eine gemeinsame und überparteiliche Image- und Standortinitiative von Bundesregierung und deutscher Wirtschaft. Die Initiative wählt jedes Jahr 365 besonders zukunftsweisende Orte in Deutschland aus. Die Schirmherrschaft hat Bundespräsident Horst Köhler übernommen. Das Institut richtete am 28. Oktober 2008 ein Fest mit den Kollegen vom Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle Ulm e.V. (WBZU) aus.



*Offizielle Preisübergabe am 28.10.2008 im ZSW in Ulm  
Official awards ceremony on 28 October 2008*

*v. l. n. r. / f. l. t. r.:*

*Prof. Dr. Tillmetz, OB Ivo Gönner, Fr. Garske, Prof. Dr. Staiß*

The ZSW Electrochemical Energy Technologies Division in Ulm was selected as one of the 365 landmarks for the “Germany – Land of Ideas” initiative in 2008. They celebrated their special day, 28 October 2008, together with the Fuel Cell Education and Training Center Ulm (WBZU).



## Das ZSW auf der Hannover Messe 2008

Highlight des diesjährigen Auftritts war das Exponat „Ethanol-based Power-Generator“. Bei der Konzeptstudie handelt es sich um einen Stromgenerator auf Basis einer Brennstoffzelle zur Stromerzeugung mit einer elektrischen Leistung von 1 kW, welche mit flüssigem Ethanol betrieben wird.

The highlight of the ZSW's 2008 stand at the Hannover Messe industrial trade fair was the ethanol-based power generator prototype. The fuel cell system runs on liquid ethanol and has an electricity generation capacity of 1 kW.

*v. l. n. r. / f. l. t. r.:*

*Peter Sichler, Tiziana Bosa, Prof. Dr. Werner Tillmetz, Dr. Alexander Kabza, Dr. Marc-Simon Löffler,*

*Exponat: Ethanol-based Power Generator / Exhibit: Ethanol-based power generator*



*Besucherguppe am ZSW-Stand*

*Visitors at the ZSW stand*

## Wissenschaftspreis 2008 der Stadt Ulm für Dr. Christoph Hartnig



Übergabe Wissenschaftspreis 2008 von OB Ivo Gönner an Dr. Christoph Hartnig in Ulm

The Lord Mayor of Ulm, Ivo Gönner, presented Dr. Christoph Hartnig with the 2008 science prize

Für seine Forschungs- und Entwicklungsleistungen im Bereich Visualisierung des Wassermanagements in arbeitenden Brennstoffzellen hat der Ulmer Oberbürgermeister Ivo Gönner am Ulmer Schwörmontag den Diplom-Chemiker Dr. Christoph Hartnig vom ZSW mit dem Wissenschaftspreis 2008 der Stadt Ulm ausgezeichnet. Dr. Hartnig, Leiter des Fachgebiets Elektrochemische Verfahren und Modellierung, gelang es erstmals, Einblicke in die Entstehungs- und Transportvorgänge von flüssigem Wasser während des Brennstoffzellenbetriebs zu schaffen. Der Wissenschaftspreis ist mit 15.000 € dotiert und ging an insgesamt drei Wissenschaftler aus Ulm.

Dr. Christoph Hartnig received the 2008 special science prize from the city of Ulm, recognising his work studying the processes of water formation and transport in operating fuel cells.

## 11. UECT – Energie-Experten aus aller Welt tagen im Edwin-Scharff-Haus in Neu-Ulm



250 hochkarätige Energie-Profis aus Industrie und Wissenschaft aus 15 Ländern von Europa, Asien bis Nordamerika fanden am 11. und 12. Juni 2008 in Neu-Ulm zusammen, um sich bei mehr als 35 Vorträgen über die Batterie- und die Brennstoffzellentechnologie zu informieren. Die Konferenz wurde vom ZSW, der Daimler AG Ulm, der Universität Ulm sowie dem Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle Ulm e.V. (WBZU) ausgerichtet. Der begehrte UECT Award of Excellence würdigte dieses Jahr Dr. Norbert Schall von der SüdChemie AG für seine hervorragenden Leistungen auf dem Gebiet der Lithium-Ionen-Batterien. Die Gewinner des UECT Posterawards: Ata Roudgar (Simon Fraser University, Canada), 2. Preis Marielena Mancini (Universität Rom), 1. Preis Toby Astill (Simon Fraser University, Canada).

discussion of research and development in the fields of battery and fuel cell technologies.



Preisübergaben 11. UECT / Award ceremony at the 11th UECT v. l. n. r. / f. l. t. r.: Ch. Hartnig, N. Schall, W. Tillmetz, A. Roudgar, M. Mancini, T. Astill

The 11th Ulm ElectroChemical Talks provided an international platform for the presentation and

## ZSW Ulm nimmt neues Technologiezentrum für Hochleistungsbatterien und Brennstoffzellen in Betrieb – Batteriesymposium in Ulm

Hochleistungsbatterien und Brennstoffzellen sind Schlüsseltechnologien für Sprit sparende Fahrzeuge. Damit sie schneller zur Marktreife gelangen und ihre Produktion auch in Deutschland stattfindet, nahm das ZSW am 28. Oktober in Ulm ein neues Forschungs- und Entwicklungszentrum mit 1.000 m<sup>2</sup> Fläche in Betrieb. Im Beisein von Vertretern der deutschen Batterie- und Automobilindustrie und dem Oberbürgermeister der Wissenschaftsstadt Ulm, Ivo Gönner, eröffnete Nilgün Parker vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung das Technologiezentrum.

The new ZSW technology centre for high-performance batteries and fuel cells was inaugurated in October 2008 in Ulm. These key technologies are essential for the development of highly efficient vehicles.

*Einzelteststände im Technologiezentrum*

*Single cell test benches at technology centre*



*Blick auf das 1.000 m<sup>2</sup> große neue Technologiezentrum mit PV-Anlage*

*View of the 1,000 m<sup>2</sup> technology centre and the PV system installed on the roof.*



*Stack-Teststände im Technologiezentrum*

*Stack test benches at technology centre*







Frankfurter Rundschau, 18. April 2008

# Kleines Kraftwerk im Keller

Mit einem Blockheizkraftwerk wird man zum Selbstversorger und verkauft den Überschuss

Blockheizkraftwerke auf Basis der Brennstoffzelle produzieren hocheffizient Wärme und Strom. Politik und Forschung fördern den Einsatz für den kommenden kommerziellen Einsatz.

Modernisierungsmaßnahmen bei der Hausenergieversorgung bleiben das Top-Thema für Immobilienbesitzer. Nicht nur steigende Energiepreise fördern einen effizienteren Verbrauch und damit die Vermietbarkeit. Gute Argumente liefern auch Gesetze. Der in Deutschland ab 1. Juli 2008 vorgeschriebene Eigenverbrauch...

nung der Gebäudeteile. Sie reduziert den Wärmebedarf als größten Kostefaktor. Denn man kann dann effizient mit Solarwärme oder anderen Heizanlagen drehen.

### Ernergieversorgung selbstgemacht

Eine neue Technik geht noch einen Schritt weiter – Blockheizkraftwerke im Miniformat für Einzel- oder Mehrfamilienhäuser. Die kleinen Kraftpakete im Keller produzieren aus Öl, Gas, Holz oder Biogas Strom und Wärme gleichzeitig und nutzen an den Brennstoffzellen...

ber auch eine Reaktion an den Umgebungsversorger.

Diese Technik ist erprobt und erprobt immer noch. Man möchte sie. Sie basiert auf Verbrennungsmotoren. Die Forschung bereitet jedoch schon die nächste BHKW-Generation auf der Basis von Brennstoffzellen vor. Brennstoffzellen arbeiten lautlos und ohne bewegte Teile. Im ersten Schritt werden sie mit Erdgas betrieben. Später können regenerativen Brennstoffe wie pulverisiertes Biogas oder Ethanol das Erdgas ersetzen.

η [energie], Mai 2008

schwerpunkt solar interview

## Erneuerbare Energien als Säule einer nachhaltigen Versorgung des 21. Jahrhunderts

Interview mit Prof. Dr. Frithjof Staiß vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg [ZSW]

η(energie): Das ZSW hat gerade seinen 20. Geburtstag gefeiert. Auf welche Forschungsleistungen haben Sie sich am liebsten besinnen können?

Das solare Potenzial reicht aus, um den Weltenergiebedarf zu decken. Entscheidend ist jedoch die Frage, wie viel der Energie aus der Sonne kommt. Sie gibt die Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion zu vermeiden. Bisher hat man sich eher um die Nutzung von Biomasse bemüht.

Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion zu vermeiden. Bisher hat man sich eher um die Nutzung von Biomasse bemüht.

Esslinger Woche / Filderwoche, 25. April 2008

Aus dem Forschungslabor in die Industrielle Nutzung: Als Brücke zwischen Grundlagenforschung und Wirtschaft macht das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg innovative Technik zukunftsfähig.

## Von Stroh zu Strom: Neues Verfahren zur Energiegewinnung

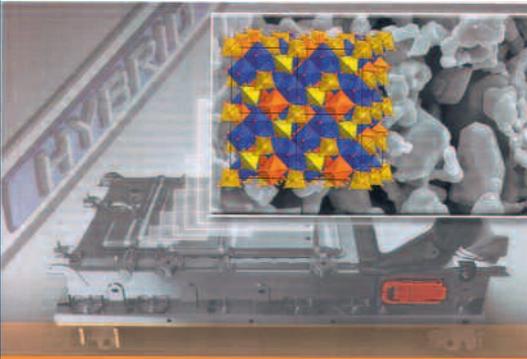
Stuttgart, Um die Energieversorgung in der Zukunft zu sichern braucht es einen „intelligenten Mix“, so Axel Yurman, Pressesprecher des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW). Die Gewinnung von Strom und Wärme aus Biomasse der Forst- und Landwirtschaft ist ein Feld, das vom ZSW neu entwickelte Verfahren.



### Erstmalige Umsetzung des Verfahrens

2010 soll eine erste Demonstrationsanlage, gefolgt von der Landesregierung, in Betrieb gehen. Der genaue Standort ist noch nicht bekannt. Der im AFB-Verfahren erzeugte wasserstoffreiche Trockengas kann industriell als syntetischer Erdgas oder Wasserstoff auch als Kraftstoff für Autos verwendet werden. (Quelle: www.zsw.uni-stuttgart.de)

ATElektronik, 5. September 2008



## Lithium-Ionen-Batterien Materialstrategie und Positionierung

Lithium-Ionen-Batterien stellen die derzeit verwendeten Nickel-Metalhydrid-Batterien bei Hybridfahrzeugen ab, um unter anderem größere Reichweiten von Elektrofahrzeugen zu erreichen. Zahlreiche Zell- und Systemkonstruktionen sowie Materiallösungen mit stark unterschiedlichen Fließpfaden werden in der derzeitigen Entwicklungsphase der Automobilbranche diskutiert. Das unabhängige Batterie- und Brennstoffzellenforschungsinstitut ZSW (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg) hält bei der Orientierung.

Sonne Wind & Wärme, Juni 2008

WISSENSCHAFT & TECHNIK ZSW

# 20 Jahre ZSW

Nach zwei Jahrzehnten erfolgreicher Arbeit an neuartigen Energietechniken gelang dem ZSW während seines Festaktes zum Jubiläum ein erfreulicher Statusbericht. Den Forschern und Entwicklern in Stuttgart, Ulm und Widderstall gehen neue Ideen nicht aus.

Erst Anfang April übernahm Michael Powalla (rechts) die Leitung des Geschäftsbereichs Photovoltaik von Hansjörg Gablec. Der 45-jährige promovierte Physiker und Dünnschichtexperte ist nunmehr auch Vorstandsvorsitzender am ZSW.



Auch wenn Kern- und Kohlekraftwerke vom Netz genommen werden, aus einem anvisierten 20 %-Anteil erneuerbarer Energien keine 100 %. So begrüßte der bayerisch-württembergische Ministerpräsident Günther Beckstein in seiner Rede zum 20. Jahrestag des ZSW...

Beste herauszuholen: Wir sind nahe daran, ein privates wirtschaftliches Forschungsunternehmen zu sein. Künftige Themenveränderungen allerdings seien bei sich beschleunigenden Grundpreisen weniger realisierbar als evolutionär.

Südwest Presse, 29. Oktober 2008

Der Ulmer ZSW-Chef Prof. Werner Tilmetz (links) nimmt die Urkunde der Initiative „365 Orte im Land der Ideen“ von Monika Garske von der Deutschen Bank entgegen. Rechts Prof. Frithjof Staiß, Geschäftsführer des ZSW in Stuttgart.

365 Orte im Land der Ideen

Ein Zentrum zum Forschen

ZSW von der Initiative „365 Orte im Land der Ideen“ ausgezeichnet

Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung hat sein neues Gebäude in Betrieb genommen. Gleichzeitig wurde es ausgezeichnet.

Ulm und Widderstall. In Ulm forscht das ZSW unter der Leitung von Prof. Werner Tilmetz an elektrochemischen Technologien für Batterien- und Brennstoffzellen. Die Erfolge können sich sehen lassen. Deshalb hat die Initiative „365 Orte im Land der Ideen“ die Ulmer ZSW wurde das Transferzentrum für Neurowissenschaften und Lernen der Öffentlichkeit derart publik gemacht, das Institut für Lasertechnologie in der Medizin und Messtechnik sowie das Kompetenzzentrum Automotive Elektronik und Informationssysteme.

Faktisch bezogen wurde das Gebäude bereits zu Jahresbeginn – zwölf ZSW-Mitarbeiter arbeiten darin. Unter anderem produzieren sie mit Hilfe von zwei Robotern Prototypen von neu entwickelten Hochleistungs-Batterien sowie Brennstoffzellen-Systeme für Hochleistungsanwendungen.

Stuttgarter Nachrichten, 11. November 2008

## Öko-Preis für Oettinger

### Land wird für Wärmegesetz ausgezeichnet – Bundesweit auf Rang zwei

Stuttgart – Erneuerbare Energien werden laut einer Studie in Baden-Württemberg besonders gut gefördert.

Anfang 2009 durch ein entsprechendes Bundesgesetz abgeleitet. Aber auch danach wird die Regelungen im Südwesten besonders ambitioniert. Ab 2010 müssen auch Heizungen in Altbauten, sofern sie ausgetauscht werden, einen Anteil von zehn Prozent regenerativer Energien haben.

Oettinger erhielt am Montagabend den erstmals verliehenen Preis Leibniz der Akademie der Wissenschaften.

StN ONLINE Ihre Meinung bitte!

Wie bewerten Sie die Förderung erneuerbarer Energien im Land?

www.stn-stuttgarter-nachrichten.de/meinung



# Teil 2 / Part 2

Die Teams

The Teams

# Fachgebiet

## Photovoltaik: Materialforschung (MAT)

### Unsere Motivation

Der Einsatz von Dünnschichttechnologie eröffnet hohe Kostensenkungspotenziale für photovoltaische Solarmodule. Speziell die auf Kupfer, Indium, Gallium und Selen basierende Technologie (CIS) ist mit hohen Wirkungsgraden und hoch entwickelter Fertigungstechnologie in die industrielle Serienproduktion gestartet.

### Unsere Aufgabenstellung

- Vertiefung des physikalischen Grundlagenverständnisses der CIS-Solarzelle
- Entwicklung von Produktionstechnologien für die CIS-Dünnschichtsolarzelle
- Optimierung der CIS-Technologie hin zu höheren Wirkungsgraden
- Entwicklung flexibler und damit leichtgewichtiger Dünnschichtmodule
- Entwicklung neuer Materialien und Herstellungsverfahren für Dünnschichtmodule
- Entwicklung neuer Verschaltungs- und Verkapselungsverfahren für Dünnschichtmodule
- Ausarbeitung von Recyclingverfahren für Dünnschichtmodule

### Unsere Schwerpunktthemen / Kernkompetenz

Das CIS-Technikum bildet den Schwerpunkt der apparativen Ausstattung von MAT. Es umfasst alle Maschinen und Anlagen, die erforderlich sind, um komplette Dünnschichtsolarmodule in allen Arbeitsschritten von der Vorbereitung der Glassubstrate bis hin zur Befestigung von Anschlusskabeln zu fertigen. Die Anlagen sind im Unterschied zum Laborbetrieb bereits weitgehend für Durchlaufprozesse ausgelegt, so dass eine große Nähe zu industriellen Verfahren gegeben ist (Arbeitsgruppe FACIS).

Für den Einsatz von flexiblen Substratmaterialien anstelle des Glassubstrates befindet sich ein zweites Technikum für eine Rolle-zu-Rolle-Beschichtung von flexiblen CIS-Modulen im Aufbau (Arbeitsgruppe FLEXIS).

Neue kostengünstige Depositionsverfahren wie z. B. Drucktechnologien werden für organische und anorganische, in der Photovoltaik neue Halbleitersysteme weiterentwickelt (Arbeitsgruppe NEMA).

### Motivation

The use of thin-film technology for photovoltaic solar modules enables a great potential for cost reduction. Especially the technology based on copper, indium, gallium, and selenium (CIS) has already entered series production with high efficiencies and highly developed manufacturing technology.

### Tasks

- Further the fundamental understanding of the physics of the CIS solar cell
- Develop production technologies for CIS thin-film solar cells
- Optimise the CIS technology to achieve higher efficiencies
- Develop flexible and lightweight thin-film modules
- Develop new materials and manufacturing processes for thin-film modules
- Develop new connection and encapsulation methods for thin-film solar modules
- Work out recycling strategies for thin-film modules

### Main Focus / Core Expertise

The in-house CIS pilot line is the heart of the MAT laboratory. It includes all of the machines and systems required to manufacture complete thin-film solar modules. All processing steps from glass substrate conditioning to connecting lead cables are available. The systems are already designed for in-line processing and are therefore very relevant for industrial processes. (FACIS group)

A second pilot line, designed for the roll-to-roll production of flexible CIS modules, is currently under construction. It uses flexible substrate materials instead of glass. (FLEXIS group)

New, low-cost deposition techniques like printing technologies are being further developed for organic and inorganic photovoltaic semiconductor systems and new materials are being studied. (NEMA group)

### Unser Team

Aktuell arbeiten im Fachgebiet Photovoltaik: Materialforschung Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Fachrichtungen Physik, Chemie, Mineralogie, Materialwissenschaft und Elektrotechnik, Fachhochschulingenieure der Fachrichtungen Erneuerbare Energien und Maschinenbau sowie technische Angestellte. Durch die Betreuung von Doktoranden und Diplomanden verschiedener Universitäten und Fachhochschulen wird auch die Ausbildungsaufgabe mit hohem Engagement wahrgenommen.

### Team

The MAT team consists of scientists, engineers, and technicians with expertise in physics, chemistry, mineralogy, materials science, electrical and mechanical engineering, and renewable energy. Our commitment to education is evidenced by the students from various universities and technical colleges whose dissertations and diploma theses are supervised by the MAT team.



### Ansprechpartner / Contact Person

Dr. Wiltraud Wischmann  
Telefon: +49 (0)711 – 78 70-256  
E-Mail: [wiltraud.wischmann@zsw-bw.de](mailto:wiltraud.wischmann@zsw-bw.de)

# Fachgebiet

## Photovoltaik: Module Systeme Anwendungen (MSA)

### Unsere Motivation

Im Bereich der Photovoltaik gibt es derzeit ein starkes Wachstum von Anlageninstallationen wie von Produktionskapazitäten. Neue Technologien insbesondere von Dünnschicht-Verfahren sind auf dem Vormarsch.

Hierbei ist es einerseits wichtig, die Markttransparenz für Käufer und Errichter von Solaranlagen durch verlässliche Aussagen über die Leistung und die Langzeitstabilität der Produkte zu verbessern. Andererseits benötigen die Hersteller neuer Produkte Unterstützung durch entwicklungsbegleitende Untersuchungen, um ihre Qualitätsziele zu erreichen.

Zugleich ist es von großer Bedeutung, dass bei allen Bemühungen zur Kostensenkung die hohe Energieausbeute der Anlagen und die lange Lebensdauer aller Komponenten gesichert bleiben. Neue Anwendungen wie die Kombination von netzverbundenen PV-Anlagen mit Energiespeichern erfordern die Entwicklung geeigneter Verfahren und Komponenten zur systemtechnischen Integration.

### Unsere Aufgabenstellung

- entwicklungsbegleitende Überprüfung der Stabilität von Dünnschicht-PV-Modulen
- Charakterisierung von PV-Modulen und -Systemen in Langzeitexperimenten
- Erhöhung der Akzeptanz von Solaranlagen durch Gebäudeintegration von PV-Modulen

### Unsere Schwerpunktthemen / Kernkompetenz

- Kompetenzzentrum für Untersuchungen zur Langzeitstabilität und Leistungscharakterisierung von PV-Modulen, insbesondere bei Dünnschichttechnologien (DS-Lab)
- systemtechnische Untersuchung an PV-Modulen unter Kombination verschiedener Belastungen (Temperatur, Feuchte, Systemspannung, Strahlung etc.)
- Überprüfung der Stabilität von PV-Modulen bei beschleunigter und normaler Alterung in Labor- und Freifeld-Testständen
- vergleichende Untersuchungen zu Leistung und Ertrag von PV-Modulen und -Systemen unter realen Betriebsbedingungen auf dem PV-Testfeld Widderstall

### Motivation

The photovoltaic sector is currently experiencing strong growth in both the numbers of system installations and in production capacity. New technologies, especially thin-film techniques, are on the rise.

It is important to improve the market transparency for buyers and installers of solar systems by providing reliable information about the performance and long-term stability of the products. Furthermore, the manufacturers of new products need support during the development phase in order to reach their quality goals. At the same time, it is extremely important to maintain a high energy yield and long lifetime of all components despite all efforts to reduce production costs.

New applications like the combination of grid-connected PV systems with energy storage necessitate the development of suitable methods and components for system integration.

### Tasks

- Stability testing during the development phase of thin-film PV modules
- Characterisation of PV modules and systems in long-term experiments
- Improve acceptance of solar systems through aesthetic building integration of PV modules

### Main Focus / Core Expertise

- Centre of excellence for long-term stability tests and performance characterisation of PV modules, especially for thin-film technologies (DS-Lab)
- Systems engineering investigations of PV modules under combined loads (temperature, humidity, system voltage, radiation, etc.)
- Stability tests of PV modules under accelerated and normal ageing in laboratory and open-field test benches
- Comparative investigations on the performance and yield of PV modules and systems under real operating conditions at the PV test field in Widderstall

- Netzeinbindung von PV-Systemen und Kraftwerken in Verbindung mit elektrochemischen Speichern
- Gebäudeintegration von PV-Modulen unter technischen und gestalterischen Aspekten
- Prospektprüfung von zu installierenden Großanlagen im Auftrag finanzierender Banken
- Standortbewertung, Auslegung von PV-Systemen, Ertragsprognosen, Qualitätskontrolle von PV-Anlagen
- Durchführung von Workshops zur Planung und Auslegung von PV-Großanlagen in Ländern des Sonnengürtels
- Grid integration of PV systems and generators in combination with electrochemical storage systems
- Building integration of PV modules with consideration of technical and design aspects
- Due diligence evaluations of planned large systems on behalf of financing banks
- Site evaluation, PV system design, yield forecasts, quality control of PV systems
- Workshop organisation on the planning and design of large PV systems in the Sun Belt countries

### Unser Team

Im MSA-Team arbeiten in Stuttgart und auf dem Testfeld Widderstall sieben Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker an den aktuellen Fragestellungen der PV-Systemtechnik. Darüber hinaus betreuen wir Studenten im Rahmen von Examensarbeiten sowie Praktikanten in Zusammenarbeit mit Universitäten, Hochschulen und Gymnasien.

### Team

The seven scientists, engineers, and technicians of the MSA team are working on the current issues in PV systems technology in Stuttgart and at the test field in Widderstall. We also supervise student theses and trainees in cooperation with universities, colleges, and high schools.



### Ansprechpartner / Contact Person

Dipl.-Phys. Hans-Dieter Mohring  
 Telefon: +49 (0)711 – 78 70-272  
 E-Mail: [hans-dieter.mohring@zsw-bw.de](mailto:hans-dieter.mohring@zsw-bw.de)

# Fachgebiet Systemanalyse (SYS)

## Unsere Motivation

- Erneuerbare Energien erlangen im Zuge des Klimawandels und der Verknappung fossiler Energieträger national und international immer stärkere Bedeutung.
- Um den weiteren Aufschwung der erneuerbaren Energien zu unterstützen, ist die regelmäßige Anpassung von Förderinstrumenten unverzichtbar.

## Unsere Aufgabenstellung

- Entwicklung von Konzepten und Strategien zum Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien und effizienter Energiewandler auf lokaler, regionaler, nationaler und internationaler Ebene.
- Bereitstellung von Daten und Analysen zu erneuerbaren Energien zur Unterstützung von öffentlichen und privaten Entscheidungsträgern.

## Unsere Schwerpunktthemen / Kernkompetenz

- Einsatzanalysen erneuerbarer Energien und innovativer Energiewandlungstechnologien.
- Entwicklung, Monitoring und Evaluierung von Instrumenten zur Förderung erneuerbarer Energien.
- Bereitstellung von Informationen und Statistiken zum Einsatz erneuerbarer Energien.

## Motivation

- In view of climate change and the scarcity of fossil fuels, renewable energies are becoming increasingly important, nationally and internationally.
- It is essential to regularly adjust promotion activities in order to support the further increase of renewable energy production.

## Tasks

- Develop concepts and strategies for extending renewable energy use and efficient energy conversion on the local, regional, national, and international levels.
- Assist public and private decision-makers regarding renewable energies by providing data and analyses.

## Main Focus / Core Expertise

- Feasibility studies about renewable energies and innovative energy conversion technologies.
- Development, monitoring, and evaluation of instruments for the promotion of renewable energies.
- Provision of information and statistics on the use of renewable energies.

### Unser Team

In einem interdisziplinären Team von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern (Wirtschaftsingenieure, Ingenieure, Ökonomen, Naturwissenschaftler) werden im Verbund mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft Projekte des Landes Baden-Württemberg, des Bundes, der EU und der Industrie bearbeitet.

### Team

A multidisciplinary team of scientists (engineers, industrial engineers, economists, natural scientists), together with partners in science and industry, work on projects for the state of Baden-Württemberg, the German Federal Government, the European Union, and private businesses.



### Ansprechpartner / Contact Person

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

# Fachgebiet

## Regenerative Energieträger und Verfahren (REG)

### Unsere Motivation

Die Motivation zur Erzeugung erneuerbarer Brennstoffe wie z. B. Wasserstoff ist:

- Erneuerbare Energie möglichst effizient in einen leicht transportablen, „tankbaren“ Energieträger zu überführen,
- Erneuerbare Energieträger wie Biomasse – aber auch fossile Energieträger wie Erdgas – über die Erzeugung von Wasserstoff bzw. eines wasserstoffreichen Gases hoch effizient zu verstromen.

### Unsere Aufgabenstellung

Im Fachgebiet REG werden neue Technologien – vor allem zur Herstellung von Wasserstoff und Synthesegas – entwickelt und im Labor erprobt. Neben der Brennstoffreformierung und der Erzeugung biomassestämmiger Synthesegase durch Vergasung/Pyrolyse sind die Gasreinigung, Gaskonditionierung sowie die Kraftstoffsynthese wichtige Aufgabengebiete. Zielsetzung bei der Gasprozesstechnik ist die Erzeugung eines brennstoffzellentauglichen Gases, eines Brenngases für die konventionelle Verstromung bzw. eines konditionierten Synthesegases zur Kraftstofferzeugung sowie die Gasaufbereitung zur Einspeisung in das Erdgasnetz.

### Unsere Schwerpunktthemen / Kernkompetenz

Die Schwerpunktthemen des Fachgebietes REG sind:

- thermochemische Konversion biogener Ressourcen
- Brennstoff-Reformierung und Brennstoffzellen-Gesamtsysteme

### Motivation

Our goals in the production of renewable fuels and hydrogen can be summarised as follows:

- to efficiently convert renewable energy into an easily transportable, “refuelable” energy carrier
- to generate electricity with high efficiency using hydrogen or hydrogen-rich gas produced from either renewable energy carriers like biomass or fossil energy carriers like natural gas.

### Tasks

REG develops and tests new technologies, especially for the production of hydrogen and synthesis gas. Our activities are focused around: fuel reforming, the production of synthesis gases from biomass using gasification/pyrolysis, gas cleaning and conditioning, and fuel synthesis. The gas processing objectives are to produce a suitable gas for fuel cells, a biogenic fuel gas for conventional electricity generation, a conditioned synthesis gas for fuel production, and a substitute natural gas to be distributed via the natural gas grid.

### Main Focus / Core Expertise

REG focuses on:

- Thermochemical conversion of biomass
- Fuel reforming and complete fuel cell systems

### Unser Team

Die Qualifikation der fünfzehn Mitarbeiter ist interdisziplinär und reicht von den Natur- und Ingenieurwissenschaften mit den Schwerpunkten Chemie / Physikalische Chemie, Energie-, Verfahrens- und Umwelttechnik bis zum Maschinenbau. Darüber hinaus sind in Zusammenarbeit mit Universitäten und Fachhochschulen permanent studentische Hilfskräfte, Diplomanden, Doktoranden und Praktikanten tätig.

### Team

The REG team is interdisciplinary with fifteen scientists and technicians from the natural and engineering sciences. Furthermore, we cooperate with universities and technical colleges in the employment and training of students aides, diploma students, Ph. D. students and interns.



### Ansprechpartner / Contact Person

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

# Fachgebiet

## Elektrochemische Materialentwicklung (ECM)

### Unsere Motivation

Neue Materialien für die Performance neuer Speichersysteme sind der Schlüssel für das Elektrofahrzeug. Neben der Leistung sind insbesondere die Anforderungen an Lebensdauer, Sicherheit und Kosten sehr hoch. Das ZSW arbeitet in enger Zusammenarbeit mit Materialherstellern, Batteriefirmen und Anwendern an der Entwicklung und Optimierung von Batteriematerialien. Dabei reichen die Arbeiten von materialwissenschaftlichen Grundlagenuntersuchungen bis hin zu Post-mortem-Analysen kommerzieller Systeme.

### Unsere Aufgabenstellung

Die Entwicklung und Charakterisierung neuer Materialien für Lithium-Ionen-Batterien für automobiler Anwendungen stehen im Mittelpunkt der Arbeiten. Eine zentrale Rolle für die Anwendung kommt Lebensdauer, Sicherheit und Kostenreduktion zu. Von Anfang an gehören Arbeiten zur Abschätzung von Synthese-Scale-up, Ermittlung von Alterungsprozessen und sicherheitsrelevante Untersuchungen zu unseren Aufgaben.

### Unsere Schwerpunktthemen / Kernkompetenz

Die Aktivitäten des Fachgebietes lassen sich in folgende Arbeitsschwerpunkte unterteilen:

- Entwicklung von Aktivmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien
- Materialevaluierung für Superkondensatoren
- Aufklärung von Struktur- / Eigenschaftsbeziehungen
- Ermittlung von Alterungsmechanismen
- Sicherheitsrelevante Untersuchungen an Komponenten
- Post-mortem-Analysen und Fehlersuche an kommerziellen Batteriezellen
- Patent- und Literaturstudien

### Motivation

New materials are the key to high performance of new energy storage systems for electric vehicles. These applications require high standards concerning safety, lifetime, and cost reduction. The ZSW develops new materials for new energy storage systems. We work closely together with material suppliers, the battery industry, and end users. The subjects range from basic materials science investigations to post-mortem analysis.

### Tasks

The “Electrochemical Materials” research group at ZSW focuses on the research and development of new materials for lithium-ion batteries and supercapacitors for automotive applications. Key issues of development are increased lifetime, safety, and cost reduction. Therefore, we work on the upscaling of economic synthesis processes, ageing mechanisms and safety-related studies from the very beginning of materials research.

### Main Focus / Core Expertise

The activities of the department can be classified as follows:

- Development of new materials for lithium-ion batteries
- Materials development for supercapacitors
- Study of structure / performance relationships
- Study of ageing mechanisms
- Study of component safety performance
- Post-mortem analysis and failure study of commercial batteries
- Patent and literature reviews

### Unser Team

Im Fachgebiet „Elektrochemische Materialentwicklung“ ist ein interdisziplinäres Team aus Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern der Fachrichtungen Chemie, Elektrochemie, Materialwissenschaften, Physik, Mineralogie und Verfahrenstechnik tätig. Es wird eine Reihe von Material- und Zellentwicklungsprojekten mit der Industrie bearbeitet. Hinzu kommen mehrere öffentlich geförderte Verbundprojekte mit industriellen und universitären Partnern. Die wissenschaftliche Weiterentwicklung und Nachwuchsförderung erfolgen über Diplom- und Doktorarbeiten.

### Team

An interdisciplinary team of scientists, engineers and technicians educated in chemistry, materials research, physics or mineralogy is currently working in the department of Electrochemical Materials Research.



### Ansprechpartner / Contact Person

Dr. Margret Wohlfahrt-Mehrens  
Telefon: +49 (0)731 – 95 30-601  
E-Mail: [margret.wohlfahrt-mehrens@zsw-bw.de](mailto:margret.wohlfahrt-mehrens@zsw-bw.de)

# Fachgebiet

## Elektrochemische Akkumulatoren (ECA)

### Unsere Motivation

Zuverlässige, langlebige und sichere Speichersysteme sind eine Voraussetzung für deren erfolgreichen Einsatz im Bereich von erneuerbaren Energiesystemen, Elektrofahrzeugen und mobilen Anwendungen. Als Entwicklungspartner bringen wir unsere Erfahrung in die Zusammenarbeit mit Industriepartnern und anderen Forschungsinstituten ein.

### Unsere Aufgabenstellung

Im Mittelpunkt der Untersuchungen und der Weiterentwicklung von Energiespeichersystemen stehen deren Charakteristik, das Verhalten unter verschiedenen Betriebsbedingungen, bei Fehlbedienung und in Unfallsituationen. Auch die Charakterisierung des Systemzustandes (Ladezustand, Alterung), die Prediktion der Systemleistungsfähigkeit und die analytische Untersuchung von Batterien und Batteriekomponenten sind unsere Aufgaben.

### Unsere Schwerpunktthemen / Kernkompetenz

Die Aktivitäten des Fachgebietes lassen sich in folgende Arbeitsschwerpunkte unterteilen:

- Batterietests
- Sicherheitstests von Batterien
- Batteriesystemtechnik
- Batterietechnologie und Analytik
- Weiterbildung

Eine sehr enge Zusammenarbeit wird mit den ZSW-Gruppen der elektrochemischen Materialien und der Brennstoffzellen gepflegt, so dass auch arbeitsteilig gemeinsame Projekte bearbeitet werden.

### Motivation

Renewable energy systems, electric vehicles, and mobile applications require energy storage systems that are reliable, long-lived, and safe. We are experienced partners for research and development, cooperating with industry and other R&D centres.

### Tasks

The main focus of our investigation and further development of energy storage systems is on basic characterisation as well as on their behaviour under different operation conditions and under abuse or accident conditions. We generate algorithms in order to characterise the status of the system (e.g. state of charge, state of health) and to predict the performance ability of a system. We also perform physico-chemical analyses for batteries and their components.

### Main Focus / Core Expertise

The department activities can be classified as follows:

- Battery testing
- Safety testing for batteries
- Power source systems engineering
- Battery technology and analysis
- Education and advanced training

We collaborate very closely with the ZSW groups for electrochemical materials and fuel cells and also cooperate in joint projects with them.

### Unsere Ausrüstung

Es stehen zahlreiche Prüfsysteme für Batterien zur Verfügung. Hierbei werden Ströme bis 1500 A, Spannungen bis 600 V und Leistungen bis 80 kW abgedeckt. Zur Temperierung stehen unterschiedliche Klimaschränke zur Verfügung. Für Sicherheitstests wurde ein spezieller Prüfbunker aufgebaut, in dem die heute üblichen Sicherheitstests durchgeführt werden können.

### Unser Team

Das Fachgebiet „Elektrochemische Akkumulatoren“ beschäftigt zur Zeit zehn Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker aus den Fachrichtungen Elektrochemie, Physik und Elektrotechnik/ Elektronik.

### Equipment

We have several battery test systems in our three battery laboratories. We can handle currents up to 1500 A, voltages up to 600 V and power up to 80 kW. We have different climate chambers available for temperature control. A special bunker was set up for safety tests and all conventional abuse tests can be done here.

### Team

The “Electrochemical Accumulators” department currently employs ten scientists, engineers, and technicians in the fields of electrochemistry, physics and electrical engineering / electronics.



### Ansprechpartner / Contact Person

Dr. Harry Döring  
Telefon: +49 (0)731 – 95 30-602  
E-Mail: [harry.doering@zsw-bw.de](mailto:harry.doering@zsw-bw.de)

# Fachgebiet

## Elektrochemische Wasserstofftechnik (ECW)

### Unsere Motivation

Brennstoffzellen werden eine wichtige Rolle für die Energieversorgung und Mobilität von morgen spielen. Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen (PEFC) wird dabei ein besonders hohes Marktpotenzial zugeschrieben. Das ZSW arbeitet in Kooperation mit Partnern aus Forschung und Industrie an der Entwicklung der PEFC-Technologie, beginnend bei materialwissenschaftlichen Grundlagen bis zur Integration von Stromerzeugungssystemen.

### Unsere Aufgabenstellung

Die Entwicklung und Charakterisierung von PEMFC-Komponenten und -Stacks in einem Leistungsbereich von 2 W bis 120 kW bilden den Schwerpunkt der Aktivitäten mit dem Ziel, wissenschaftlich-technische Erkenntnisse in die praktische Anwendung zu transferieren. Aus diesem Grund werden die Arbeiten zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen über umfangreiche Funktions- und Lebensdauertests bis zur Integration von Stromerzeugungssystemen als Funktionsmuster fortgeführt. Kostenreduktion ist eine ständige Herausforderung. Daher beschäftigen sich weiterführende Arbeiten mit Fragen zur Automatisierung der Herstelltechnik für PEFC-Komponenten, -Zellen und -Stacks.

### Unsere Schwerpunktthemen / Kernkompetenz

Die Aktivitäten des Fachgebietes lassen sich in folgende Arbeitsschwerpunkte unterteilen.

- Stackentwicklung für PEFC und DMFC
- Systementwicklung für stationäre Anwendungen und Fahrzeugantrieb
- Entwicklung von Aktivkomponenten
- Steuerungs- und Regelungstechnik
- Brennstoffzellen-Stack- und -Systemtest
- Automatisierung der Montage für PEMFC-Stacks
- Methanolkompaktreformer

Die Entwicklung von PEMFC-Komponenten, -Zellen, -Stacks und -Systemen wird in enger Zusammenarbeit mit den Fachgebieten ECA, ECV, ECM und REG durchgeführt.

### Motivation

Fuel cell technology will play an important role in tomorrow's energy supply and mobility. Polymer electrolyte membrane fuel cells (PEFC) have a particularly high market potential. ZSW is cooperating with partners from industry and academia in the development of PEFC technology, spanning the range from basic materials science to the integration of fuel cell systems for electricity generators.

### Tasks

Our work focuses on the development and characterisation of PEMFC components and stacks in the power range from 2 W up to 120 kW. The ZSW's main objective is to transfer scientific and technical know-how to practical applications. Therefore, our topics range from basic scientific investigations over extensive functional and lifetime testing activities to the integration of prototype power generators. Furthermore, cost reduction is a continuous challenge. Therefore, the ZSW is investigating ways to automatically manufacture PEFC components, cells, and stacks.

### Main Focus / Core Expertise

The department activities can be classified as follows:

- PEFC and DMFC stack development
- Fuel cell system integration for stationary applications and vehicle propulsion
- Development of active components
- Development of fuel cell controllers
- Testing of fuel cell stacks and systems
- Automatic assembly of PEMFC stacks
- High-power-density methanol fuel reformers

PEMFC components, cells, stacks, and systems are developed in close cooperation with the departments ECA, ECV, ECM, and REG.

### Unser Team

Im Fachgebiet „Elektrochemische Wasserstofftechnik“ sind gegenwärtig zwanzig Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker aus den Fachrichtungen Chemie, Physik, Maschinenbau und Elektrotechnik tätig.

### Team

The “Electrochemical Hydrogen Technologies” department currently has a staff of 20 scientists, engineers, and technicians with professional experience in chemistry, physics, and mechanical and electrical engineering.



### Ansprechpartner / Contact Person

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

# Fachgebiet

## Elektrochemische Verfahren und Modellierung (ECV)

### Unsere Motivation

Das Fachgebiet ECV beschäftigt sich mit der Modellierung und Simulation von Brennstoffzellenkomponenten, Stacks sowie kompletten Systemen und hilft somit, die komplexen Vorgänge in der Brennstoffzelle und Brennstoffzellensystemen grundlegend zu verstehen. Wir können somit unterschiedlichste Problemstellungen schnell und zielgerichtet lösen.

### Unsere Aufgabenstellung

Im Fokus von ECV stehen große Brennstoffzellen-Gesamtsysteme, die Brennstoffzelle als Einheit und natürlich die einzelnen High-Tech-Komponenten, aus denen eine Zelle aufgebaut wird. Neben der Modellierung und Simulation ist es wichtig zu wissen, wie das Innenleben und die Transportvorgänge in einer Brennstoffzelle im Betrieb aussehen. Ein weiterer Aufgabenschwerpunkt, der somit in den letzten Jahren immer mehr Gewicht bekam, ist die Untersuchung von flüssigem Wasser in PEM-Brennstoffzellen. Die Optimierung des Wasserhaushaltes ist immer noch eine Herausforderung und bestimmt im Wesentlichen die Effizienz einer Zelle. Hierfür werfen wir mit Hilfe von Neutronenstrahlung und Synchrotron-Röntgenstrahlung einen Blick direkt in die Zelle. So kann die Entstehung und auch der Transport des Wassers im Detail und vor allem ohne Verfälschung der Betriebsbedingungen untersucht werden.

Das ermöglicht es uns, optimale Lösungen zu finden für nahezu jeden Bereich in der Brennstoffzellenforschung; von den kleinen Einzelkomponenten bis hin zu großen Systemen. Industrieprojekte und öffentlich geförderte Projekte profitieren vielfach von dem daraus gewonnenen Know-how.

### Unsere Schwerpunktthemen / Kernkompetenz

Ein Themenschwerpunkt liegt in der in-situ- und ex-situ-Untersuchung des Wasserhaushaltes von PEM-Brennstoffzellen unter besonderer Berücksichtigung der porösen Gas-Diffusions-Schichten (GDL).

### Motivation

The ECV department models and simulates fuel cell components, stacks, and whole systems in order to acquire fundamental understanding of the complex processes in fuel cells and fuel cell systems. We can thus address a variety of questions and problems in a quick and purposeful manner.

### Tasks

The ECV department's focus is on the complete field of fuel cell research covering large fuel cell systems, individual cells, and single high-tech cell components. Besides fuel cell modelling and simulation, it is essential to gain some experimental information on the transport phenomena in a working fuel cell. The optimisation of the water management in PEMFCs is still a challenge which limits their efficiency. In-situ measurements with neutron and synchrotron X-ray radiation enable us to obtain detailed information on the evolution and the transport of liquid water in an operating PEMFC.

We are able to find solutions for nearly every field in fuel cell research from the single components up to large complete systems. Both industrial and public projects benefit from our tools and know-how.

### Main Focus / Core Expertise

Our main activities include in-situ and ex-situ investigations of the water management in PEM fuel cells regarding porous gas diffusion media and simulations of fuel cell stacks.

Weiterer Schwerpunkt ist die Stacksimulation. Es werden 3-D-Simulationen und Analysen von Stacks unter realistischen Betriebsbedingungen durchgeführt. Dadurch werden Fragestellungen beantwortet, welche durch Messungen nicht zu klären sind.

Ein weiteres Arbeitsgebiet umfasst die Analyse von Brennstoffzellen-Gesamt-Systemen mit Hilfe der Simulation. Die oben erwähnten aktuellen Forschungsergebnisse gehen in die Modellierung ein und tragen dazu bei, die numerischen Analysen und Simulationen effizienter sowie über weitere Bereiche aussagekräftig zu machen, und stellen gleichzeitig eine Datenbasis für die Verifikation der experimentellen Ergebnisse dar.

### Unser Team

Die Aufgaben von ECV bearbeitet ein Team von Wissenschaftlern der Fachrichtungen Physik, Chemie, Verfahrens- und Elektrotechnik, unterstützt von wissenschaftlichen Hilfskräften und Praktikanten. In enger Kooperation mit Spezialisten aus renommierten Forschungsinstituten wird der wissenschaftliche Transfer national und international intensiv praktiziert.

3-D simulations and analyses of fuel cell stacks are performed under realistic operations conditions. We can thus answer questions which are not otherwise accessible by standard measurements.

A further topic covers the simulation and analysis of fuel cell systems. Current research results are integrated in the modelling process to improve the significance of the numeric analyses and simulations. These results also serve as a database for the verification of experimental results.

### Team

The ECV team includes scientists specialising in physics, chemistry, process engineering, and electrical engineering. They are supported by student assistants and trainees. The transfer of scientific knowledge is practised intensively on a national and international basis through close cooperation with specialists of distinguished institutes.

### Ansprechpartner / Contact Person

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



## Service Teams

Eine wichtige Unterstützung für die wissenschaftlich-technischen Aufgaben in den Fachgebieten erfolgt durch die Leitungsteams der Geschäftsbereiche, die Informationstechnik, Werkstätten und Zentralen Dienste. Letztere gliedern sich in den Personalbereich, in den kaufmännischen Bereich mit Controlling, kaufmännischer Leitung, Rechnungswesen, Buchhaltung und in den Bereich Öffentlichkeitsarbeit.

Die Interessen der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer am Standort Ulm vertritt ein Betriebsrat.

The scientific-technical work in the research departments is supported by the service groups: Information Technology, the Workshops, and the Central Office. The administration and personnel areas, the commercial area and controlling, and public relations belong to the Central Office.

A works council represents the interests of the employees at our Ulm location.

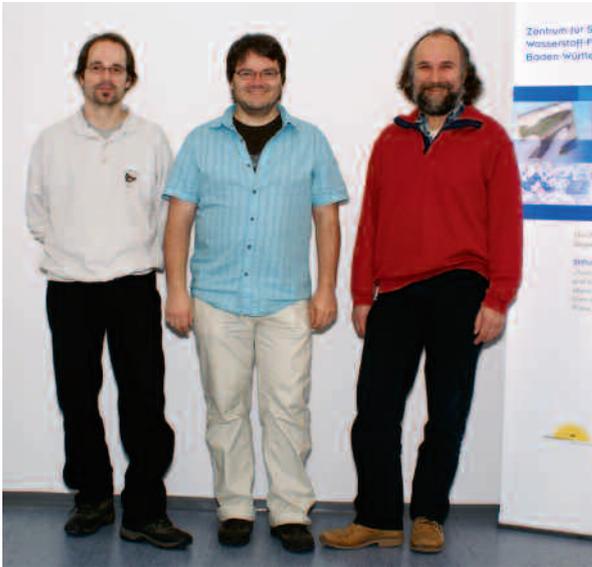


*Geschäftsleitung und Zentrale Dienste  
Administration and Central Office*

*Leitungsteam des Geschäftsbereichs Photovoltaik  
Management assistance for the  
Photovoltaics business division*



*Assistenz des Geschäftsbereichs Elektro-  
chemische Energietechnologien  
Management assistance for the  
Electrochemical Energy Technologies  
business division*

*IT Standort Stuttgart / IT Stuttgart**Mechanische Werkstatt Standort Stuttgart / Mechanical workshop Stuttgart**IT Standort Ulm / IT Ulm**Elektronik-Werkstatt Standort Ulm / Electronics workshop Ulm**Mechanische Werkstatt Standort Ulm / Mechanical workshop Ulm*

Bei einer Photovoltaik-Anlage mit ca. 120 m<sup>2</sup>  
ist nach einer Betriebsdauer von 20 Jahren  
ohne Einsatz von Eigenkapital ein Ertrag  
von bis zu 50.000,- Euro möglich.  
Basis für den möglichen Ertrag ist das Finanzierungsmodell der Sparkasse

## Von der Sonne finanziert.

Gut für Sie. Gut für die Umwelt. Gut für alle.

Durch eine eigene Photovoltaikanlage

- schützen Sie die Umwelt
- investieren Sie in die Zukunft
- müssen Sie kein eigenes Geld investieren
- und verdienen sogar noch Geld dabei!

 Sparkasse  
Ulm

Gerne zeigen wir Ihnen, wie Sie mit der interessanten Finanzierung der Sparkasse Ulm Ihre eigene Photovoltaikanlage realisieren können. Nähere Informationen erhalten Sie in Ihrer Geschäftsstelle oder über  direkt (Tel. 0731/101-101) oder unter [www.sparkasse-ulm.de](http://www.sparkasse-ulm.de).



## 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.

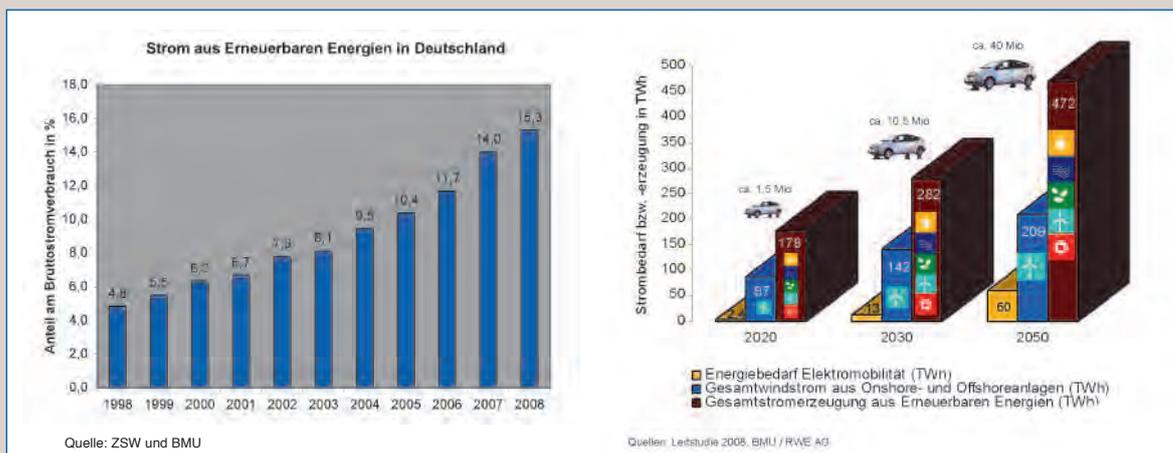
Electric drives are only then truly sustainable if the electricity originates from renewable sources.



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 m<sup>2</sup> Photovoltaik. Zum Vergleich: Für die Kombination Biodiesel und Verbrennungsmotor muss eine Fläche von etwa 5.000 m<sup>2</sup> 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.

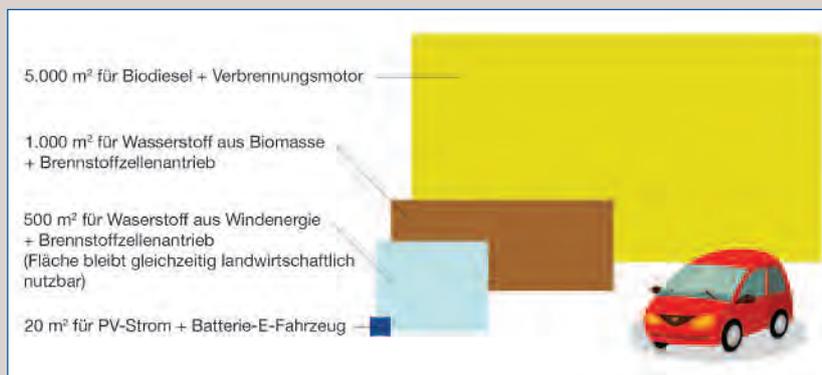


4

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

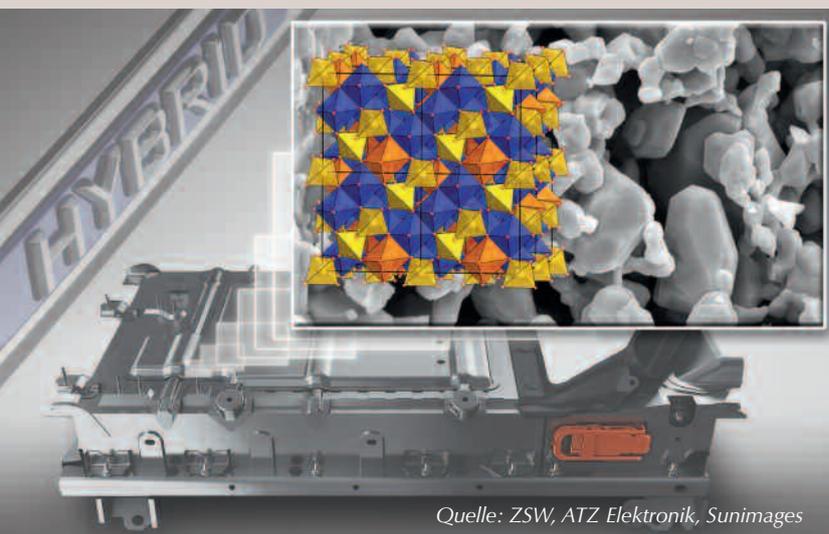
### Driving with the sun in your tank – photovoltaics

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 m<sup>2</sup> of photovoltaics would suffice to supply enough electricity for driving a typical passenger car over a year. For comparison: about 5,000 m<sup>2</sup> 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

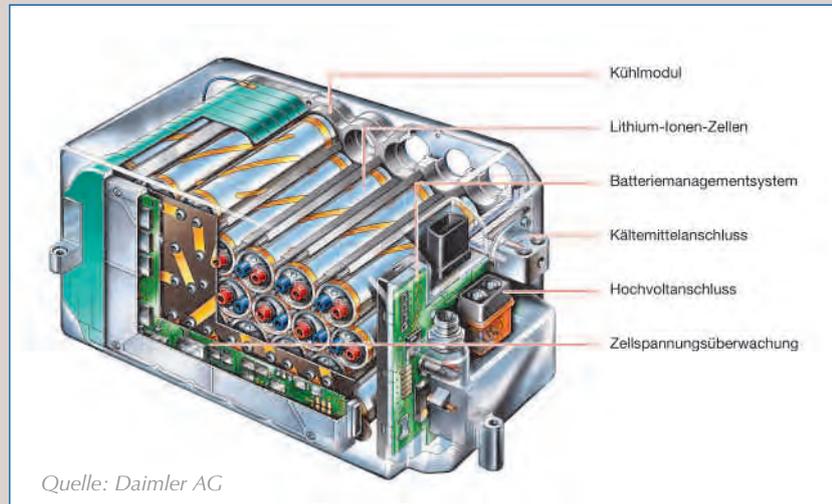
Elektromobilität – woher kommt die Euphorie, die wir derzeit erleben und ergibt sie Sinn? Elektroantriebe erreichen im Alltagsbetrieb einen Wirkungsgrad im Bereich von 75 % – ein riesiger Unterschied zu den etwa 25 %, die ein moderner Verbrennungsmotor von der wertvollen Fracht im Tank wirklich nutzt. 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

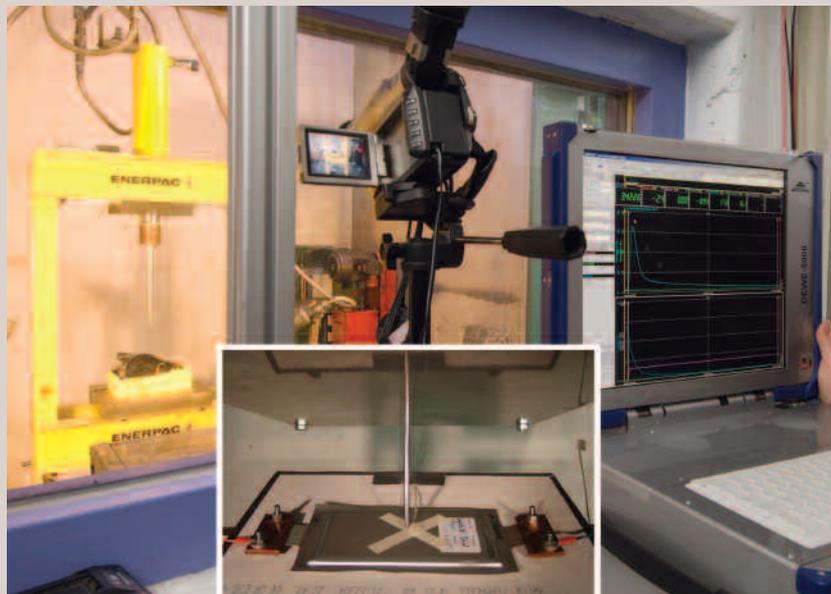
Heute bewegen wir uns hingegen auf das Ende des fossilen Zeitalters zu. Dies führt in Verbindung mit der sich immer weiter verschärfenden Umweltgesetzgebung zu einer Renaissance des Elektroantriebs. Die Herausforderungen, um mit heutigen verbrennungsmotorischen Antrieben in Bezug auf Reichweite, Lebensdauer, 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.



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.

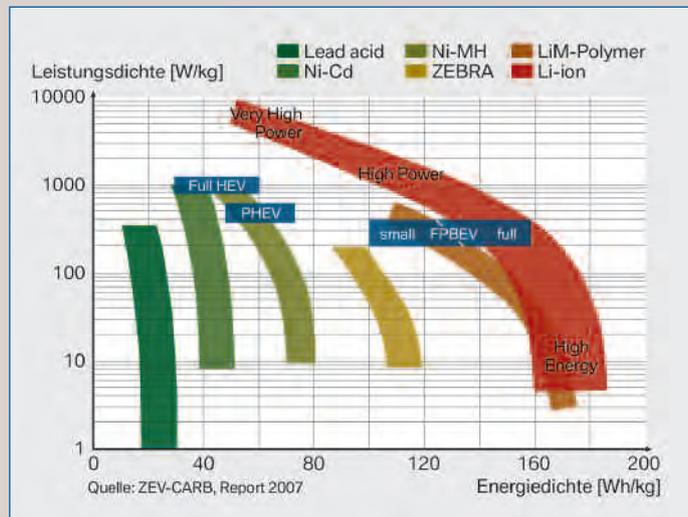
### Energy storage for electric vehicles

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

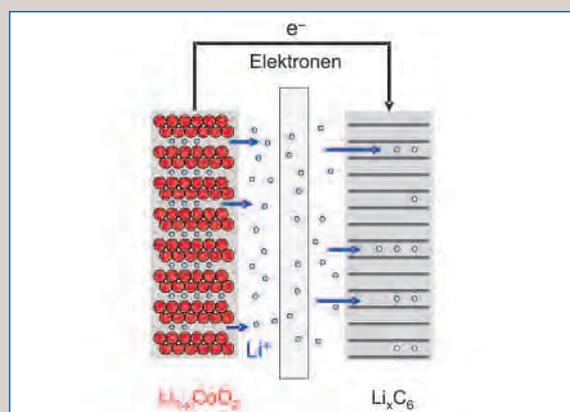


10

Vergleich der Leistungs- und Energiedichten verschiedener Batteriesysteme

Comparison of power and energy densities for various battery systems

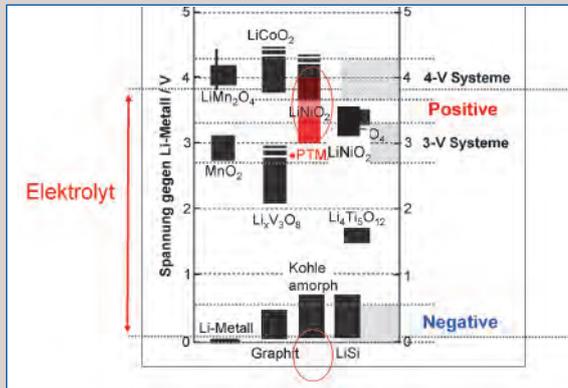
and considering ageing behaviour, a configuration can be developed which best satisfies the vehicle specifications like dynamics, cold start, maximum power, and cost.



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

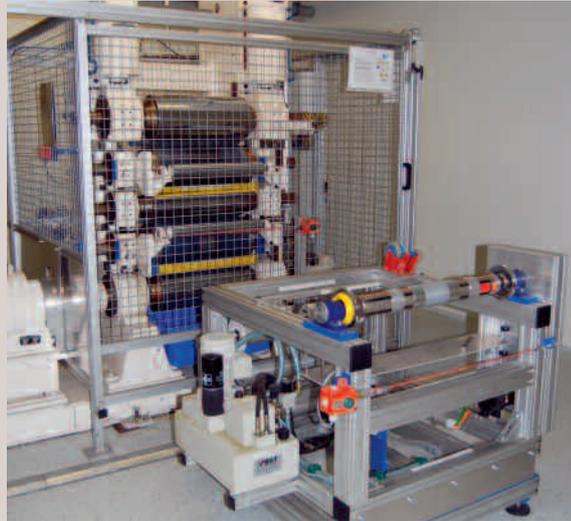
The properties of lithium-ion batteries, in contrast to other battery technologies, can be controlled over a wide range through the material properties. The **ZSW department Electrochemical Materials Development** has been studying the properties of lithium-based intercalation compounds since the early 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 (LiCoO<sub>2</sub>) 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 (LiFePO<sub>4</sub>) und Lithiummanganphosphat (LiMnPO<sub>4</sub>) 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 (LiCoO<sub>2</sub>) 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 ( $\text{LiFePO}_4$ ) and lithium manganese phosphate ( $\text{LiMnPO}_4$ ) 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

Wasserstoffzeugung 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 Wasserstoffzeugung 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 Druckregulierung 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

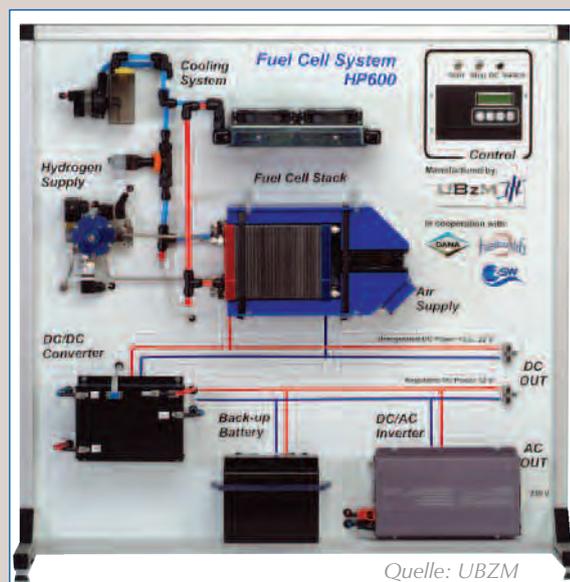
The combination of electric motors and fuel cells is possibly the most attractive and versatile approach to sustainable mobility. The energy carrier hydrogen can be easily generated from a variety of primary energy sources and has relatively good storage properties. The fuel cell converts hydrogen into 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

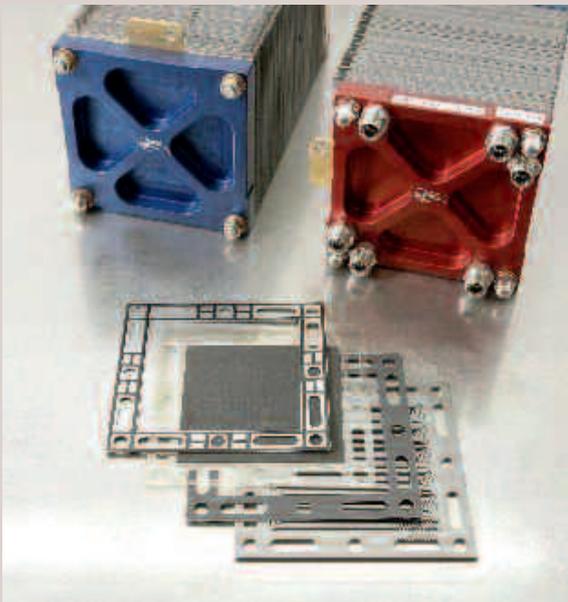
Komplettes Brennstoffzellen-System für die Aus- und Weiterbildung: vom Wasserstoff bis zum Wechselstromausgang

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.

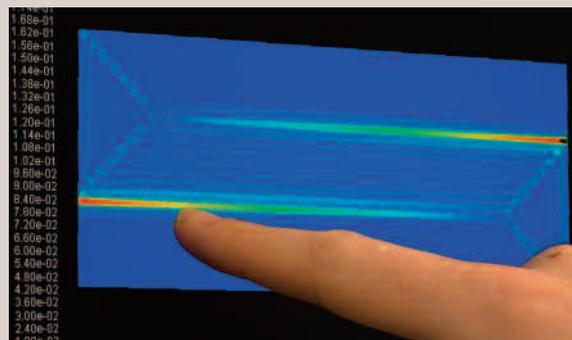
### Simulationsmethoden

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

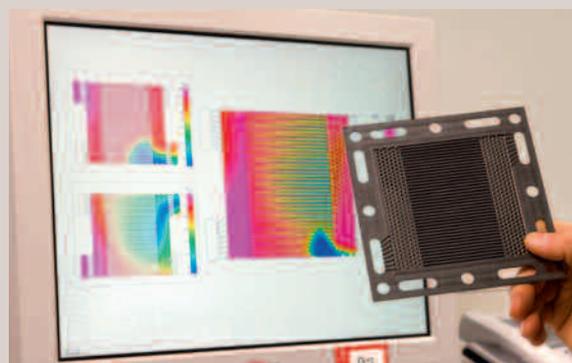
Are fuel cells competitive at all, and what is the status on lifetime, cost, and overall size? The development is advancing quickly on these issues. For example, modern simulation methods can optimise the geometries of the gas distribution structures for the air and water supply of the cell. In this 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

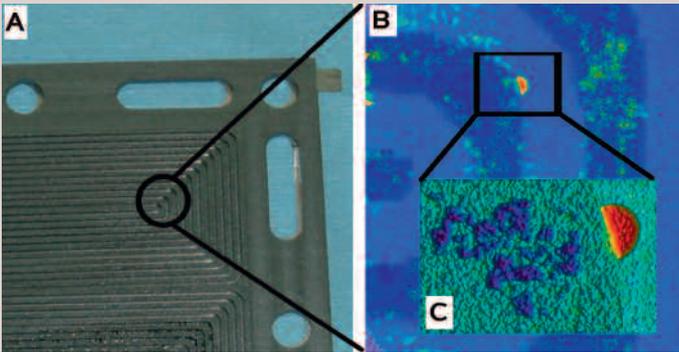
*Simulation der Transportvorgänge in einer Gasverteilerplatte  
Simulation of transport processes in a gas distribution plate*



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.



© Daimler AG

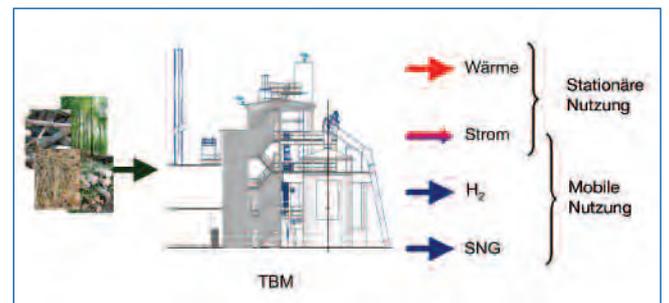
Mit Wasserstoff betriebener „Mercedes-Benz B-Klasse F-CELL“  
 Hydrogen-fuelled “Mercedes-Benz B-Klasse F-CELL”



© 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.

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

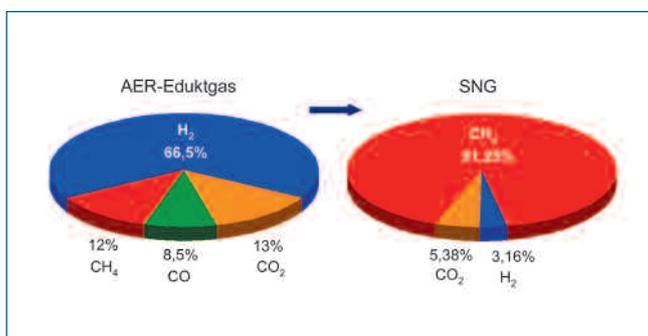
Poly-generation of heat, power and fuel gases (SNG, H<sub>2</sub>) through the gasification of biomass in the AER process

Aufgrund des lokal begrenzten Biomasseaufkommens ist die Leistung von dezentralen Vergasungsanlagen auf ca. 50 MW<sub>th</sub> 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 CO<sub>2</sub>- und Teer-Konzentrationen 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<sub>th</sub>-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 H<sub>2</sub> - 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. H<sub>2</sub>). While SNG can already be used in today's natural gas cars, H<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> sorbent in the fluidised bed gasifier. Based on the very promising results from AER research, a 10 MW<sub>th</sub> 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.

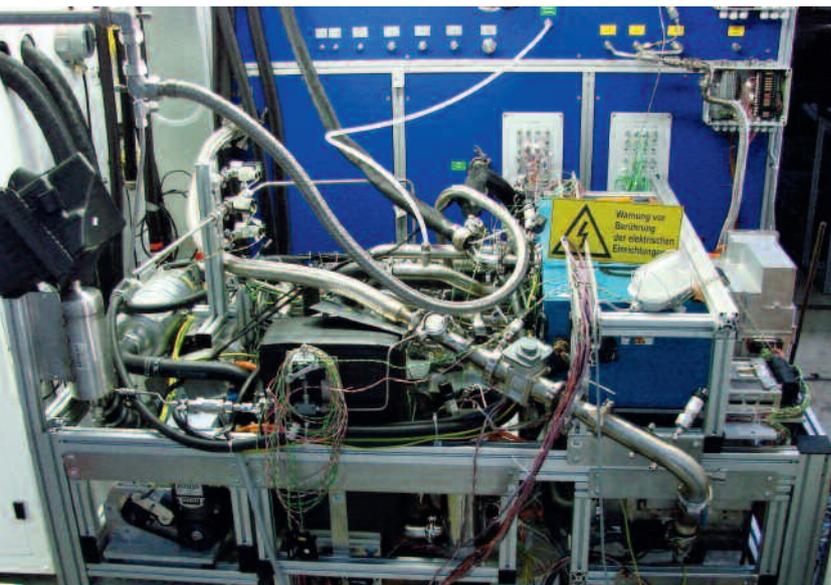
Ferner wurde das Brennstoffzellen-Gesamtsystem aufgebaut. Der Brennstoffzellen-Stack wurde innerhalb des Gesamtsystems in Betrieb genommen, bisher allerdings noch mit einem synthetischen Gasgemisch. Als nächster Schritt wird die Gaserzeugung in das Gesamtsystem integriert und nach der Fertigstellung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

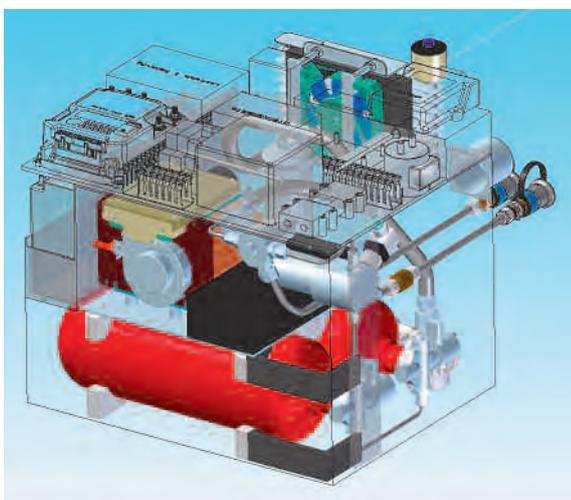
Ansprechpartner / Contact Person  
 Dr. Ludwig Jörissen  
 Telefon: +49 (0)731 – 95 30-605  
 E-Mail: ludwig.joerissen@zsw-bw.de

## 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<sub>e</sub>) 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.

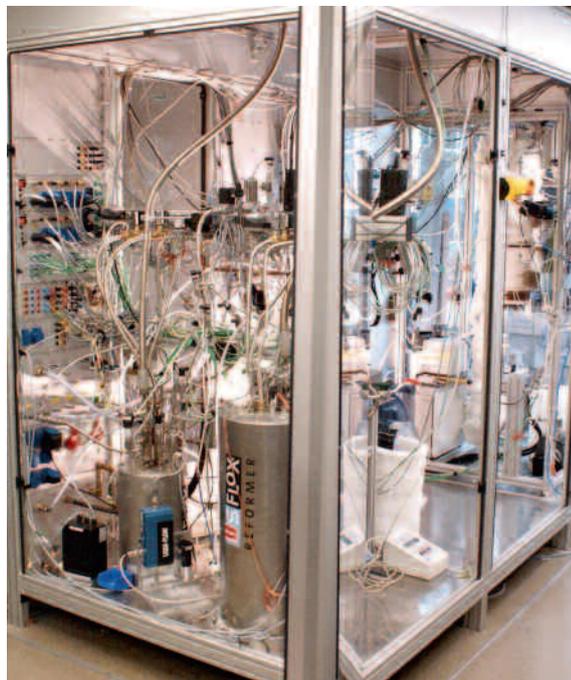
Die F&E-Plattform steht seit Fertigstellung im Frühjahr 2008 sowohl Systemherstellern als auch der Zulieferindustrie (insbesondere Klein- und Mittelständische Unternehmen) für Forschungs- und Entwicklungsaufträge zur Verfügung. Seither wurden bereits zahlreiche Industrieaufträge hinsichtlich Qualifizierung, 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<sub>e</sub>

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<sub>e</sub>

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 cm<sup>2</sup>, 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 cm<sup>2</sup> weiter entwickelt und erprobt. Ein Stackdesign mit einer Aktivfläche von 100 cm<sup>2</sup> 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 cm<sup>2</sup> wurden so weit entwickelt, dass eine Übertragung in ein Werkzeug zur verbilligten Herstellung dieser Stacks begonnen werden konnte.

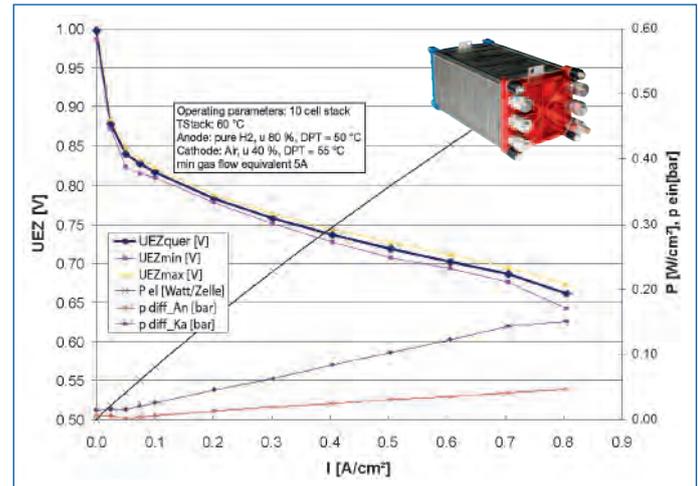
Die durchgeführten Verbesserungen ermöglichen eine deutliche Anhebung des Systemwirkungsgrads und führen zu einem stabileren Betriebsverhalten des Gesamtsystems.

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 cm<sup>2</sup> active area were developed which combine high specific power, low pressure drop, and good condensate removal. These stacks allow a broad operating range.

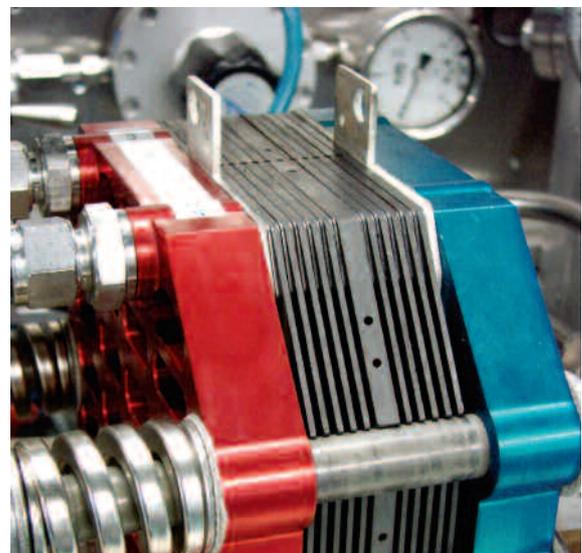
A high-power pressurised stack with 560 cm<sup>2</sup> active area was developed and tested in first prototypes.



Kennlinien des 100-cm<sup>2</sup>-Stacks mit hoher Leistungsdichte und verbessertem Kondensataustrag

Characteristics of the 100-cm<sup>2</sup> 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 cm<sup>2</sup> Aktivfläche und externer Kühlung

Externally cooled HT-PEMFC stack with 10 cells and an active area of 100 cm<sup>2</sup>

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.

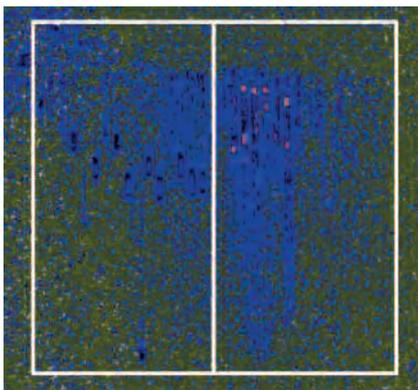
Mit Hilfe unserer Untersuchungen und Erkenntnisse ist es teilweise schon möglich, den Wasserhaushalt unter verschiedensten Betriebsbedingungen vorherzusagen. Somit wäre die größte Unbekannte in der Gleichung „Wasserhaushalt“ bestimmt, was es wesentlich vereinfacht, ein dynamisches System (Auto) effizienter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

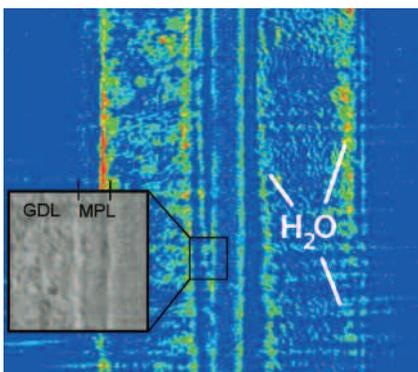
Neutronen-Radiographie zweier unterschiedlicher Gasdiffusionsanlagen in einer Zelle

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.

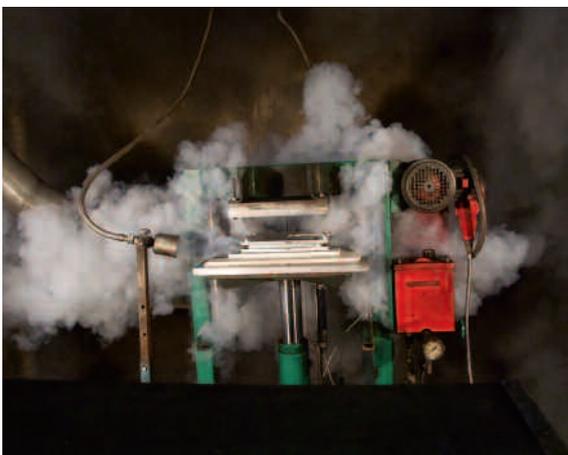
Ansprechpartner / Contact Person  
 Dr. Harry Döring  
 Telefon: +49 (0)731 – 95 30-602 / -801  
 E-Mail: [harry.doering@zsw-bw.de](mailto:harry.doering@zsw-bw.de)

## 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 (CO<sub>2</sub>-Pulslöschung und CO<sub>2</sub>-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](mailto: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.

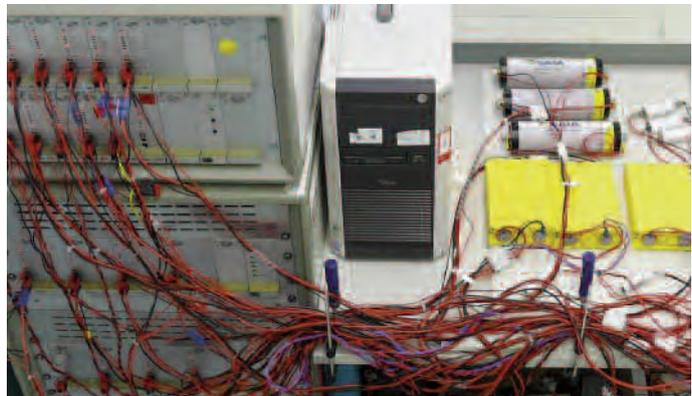
### Characterisation of Battery Systems

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*

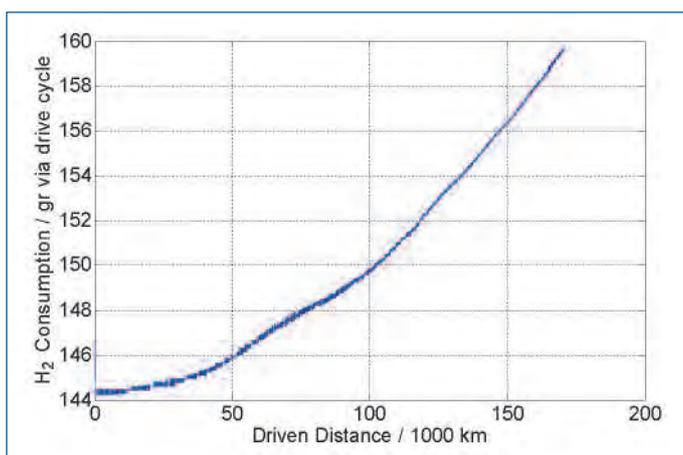
*Set-up for testing Li-ion batteries for photovoltaic applications*

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](mailto:alice.hoffmann@zsw-bw.de)

## Produktionstechnik für die Zellfertigung von Lithium-Ionen-Batterien

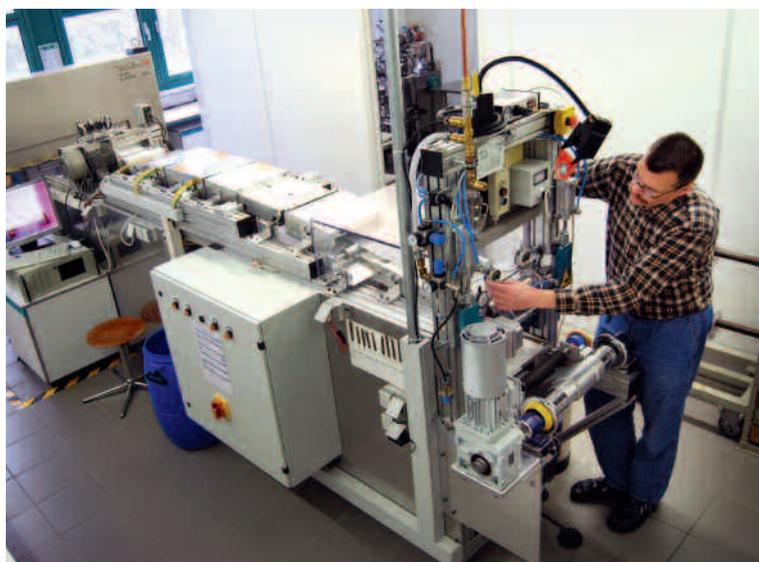
Die Speicherung elektrischer Energie ist eine Schlüsseltechnologie für neue Fahrzeugkonzepte und für die Zwischenspeicherung regenerativ erzeugter Energien. Hier können neue sichere und leistungsfähige Lithium-Ionen-Batterien für elektrische Antriebe einen entscheidenden Beitrag zur Kraftstoffeinsparung, Reduzierung von CO<sub>2</sub>-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

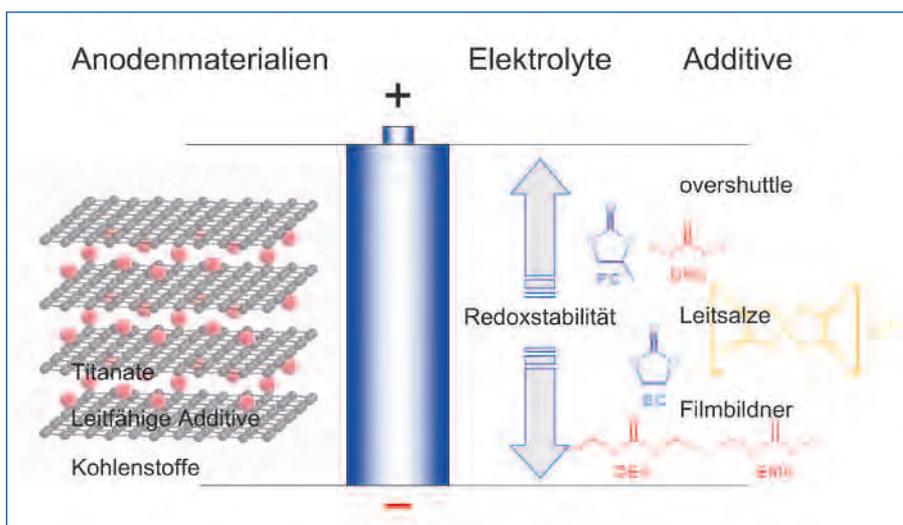
Das ZSW koordiniert ein vom BMBF gefördertes Netzwerk LISA zur Identifizierung und Erschließung neuer Aktivmaterialien und Elektrolyte für Lithium-Ionen-Batterien. Ziel des Verbundprojekts ist es, durch ein besseres Verständnis der Material- / Eigenschaftsbeziehungen einen entscheidenden Beitrag zur 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.

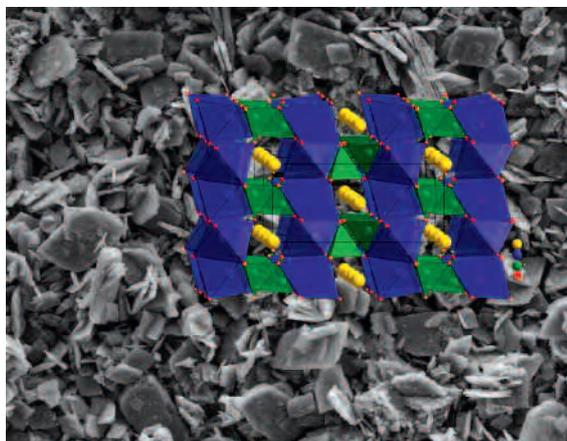
Arbeitsschwerpunkte sind:

- 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  $\text{LiFePO}_4$   
 Cathode materials with lithium iron phosphate  $\text{LiFePO}_4$

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<sub>p</sub> 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 cm<sup>2</sup>) 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<sub>p</sub>. 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 cm<sup>2</sup>) 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).

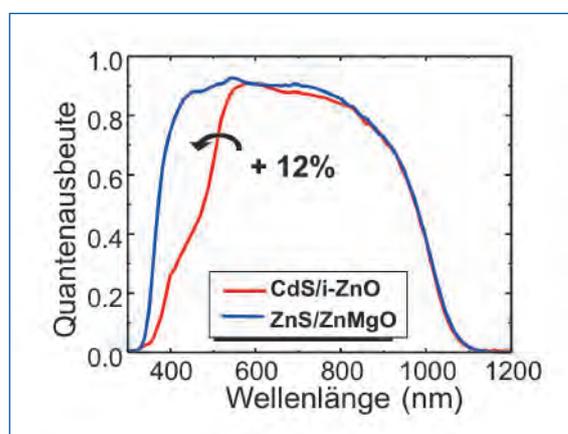
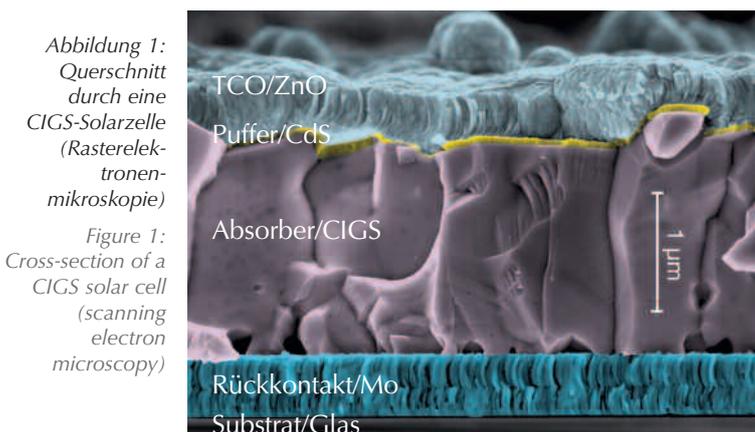


Abbildung 2: Verbesserte Nutzung des kurzwelligen Bereichs durch den Einsatz von ZnS/ZnMgO als Puffer

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 ( $\text{Cu(In, Ga)Se}_2$ , 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.

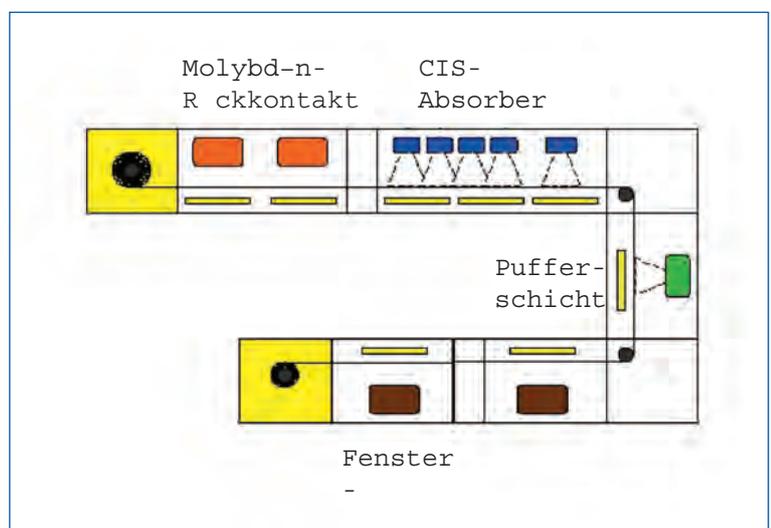
Die Rolle-zu-Rolle-Anlage ist als System ausgelegt, das bei Bedarf modular erweitert werden kann. So können unterschiedliche Prozess-Schritte zunächst einzeln untersucht und später weitere Prozesse hinzugenommen werden. Schließlich werden alle Prozess-Schritte gemeinsam optimiert. Bei Bedarf können später 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](mailto: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  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$  (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  $\geq 550$  °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.

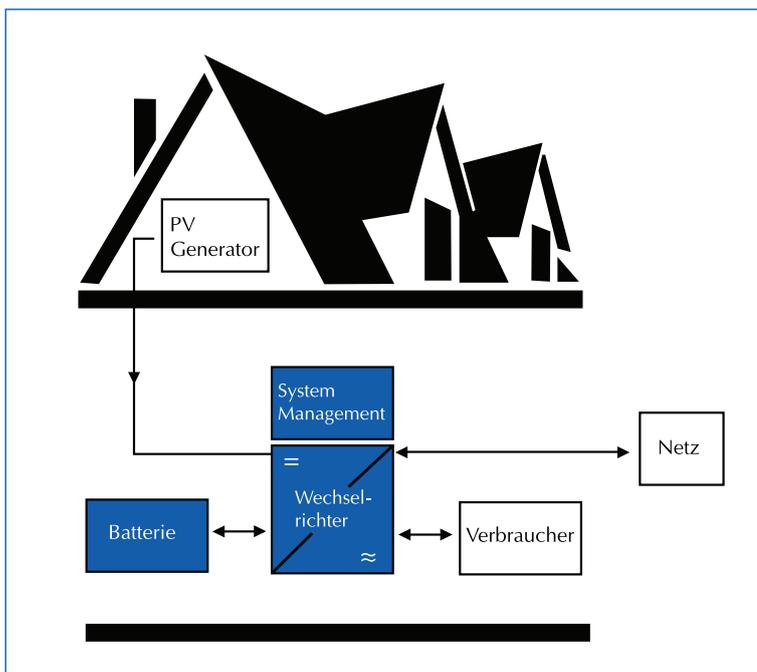
Die Systeme werden mit einer Speicherkapazität von 10 bis 12 kWh in Verbindung mit einer PV-Leistung von 2 bis 5 kW<sub>p</sub> und einer Wechselrichterleistung von 3 bis 8 kW ausgelegt. Die Batteriekapazität kann durch Parallelschaltung mehrerer Einheiten erweitert werden. Das SOL-ION-System kann neben 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.

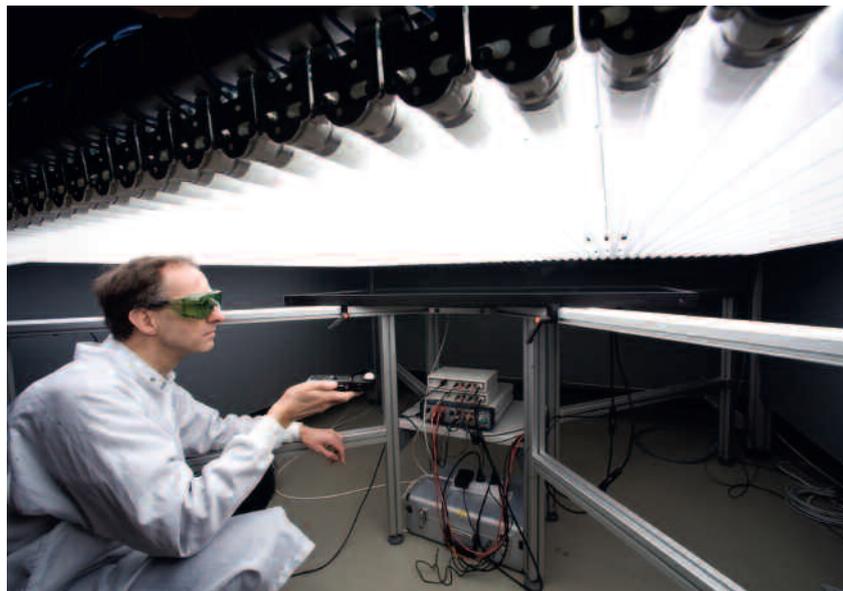
Das Leistungsverhalten der verschiedenen Dünnschichttechnologien wird unter Labor- und Freifeld-Bedingungen untersucht. Angestrebt wird die Entwicklung von Kalibriermethoden für Labor und Freifeld, mit denen die Leistung eines Dünnschicht-Solarmoduls mit einer Messungenauigkeit von weniger als  $\pm 5\%$  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](http://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 CO<sub>2</sub> und im Wärmebereich 9,2 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr zusätzlich zu den im Jahr 2006 erreichten Minderungen eingespart werden.

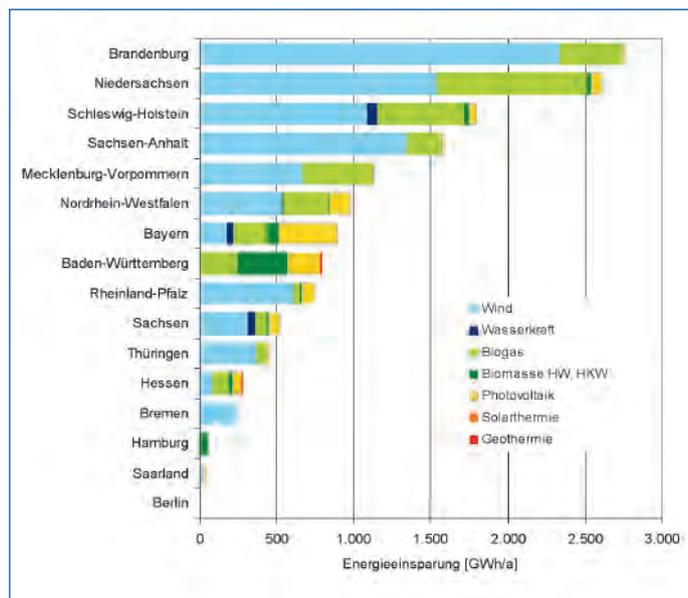
Ein wichtiger Baustein dieser Strategie sind die Förderaktivitäten der KfW Bankengruppe, in deren Rahmen sie zinsvergünstigte Darlehen für Investitionen in die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zur Verfügung stellt. Um die Effektivität und Bedeutung der Förderprogramme zu überprüfen, werden im Rahmen 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 CO<sub>2</sub> pro Jahr, was allein mehr als 7 % der oben genannten von der Bundesregierung angestrebten zusätzlichen CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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

„Koordination 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.

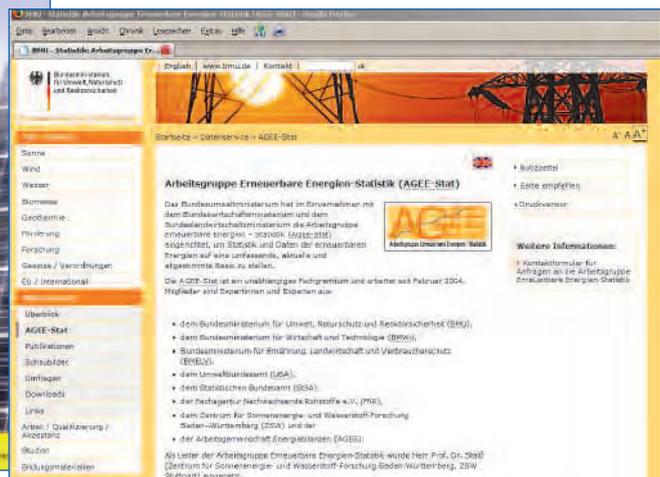
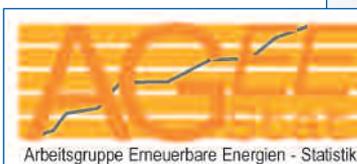
Schwerpunkt der Tätigkeiten der AGEE-Stat ist die Bereitstellung einer aktuellen, belastbaren und abgestimmten Datenbasis zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, um die Bundesregierung bei der Erfolgskontrolle und Weiterentwicklung politischer Maßnahmen und ihren vielfältigen nationalen, 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](http://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.

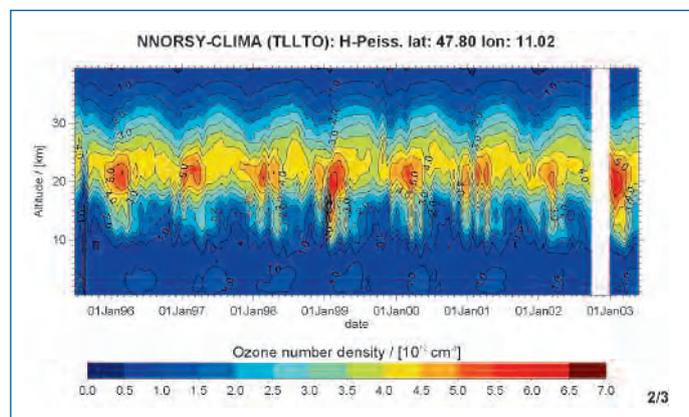
Ein wichtiges Ergebnis war die Erstellung einer neuen dynamischen Ozonklimatologie. Die Software basiert auf der Technik Neuronaler Netze und bestimmt für jeden gewünschten Ort und jedes Datum ein klimatologisches Ozonprofil. Klimatologische Ozonprofile werden u. a. für Chemische Transportmodelle (CTMs), 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>.



## Teil 4 / Part 4

Haushalt, Dokumentation,  
Organisation

Budget, Documentation,  
Organisation

## Haushaltsentwicklung

Das Einnahmenvolumen stieg im abgelaufenen Jahr um 6 % auf 19,0 Mio €. Deutlich zugenommen haben zuwendungsfinanzierte Investitionsprojekte, mit denen wichtige Voraussetzungen für die Technologieentwicklung am ZSW geschaffen wurden. Die Erträge aus der Auftragsforschung belaufen sich auf 6 Mio €. Dies entspricht einem Anteil von 39 % an den gesamten Drittmitteln. Die Anteilsfinanzierung des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg belief sich auf 3,5 Mio € und blieb damit nahezu unverändert.

Die erfolgreiche Akquisition des vergangenen Jahres führte über das gesamte Institut zu einer hohen Auslastung der Forschungskapazität und, bedingt durch eine gleichzeitig rationellere Bewirtschaftung, zu einer verbesserten Kostendeckung.

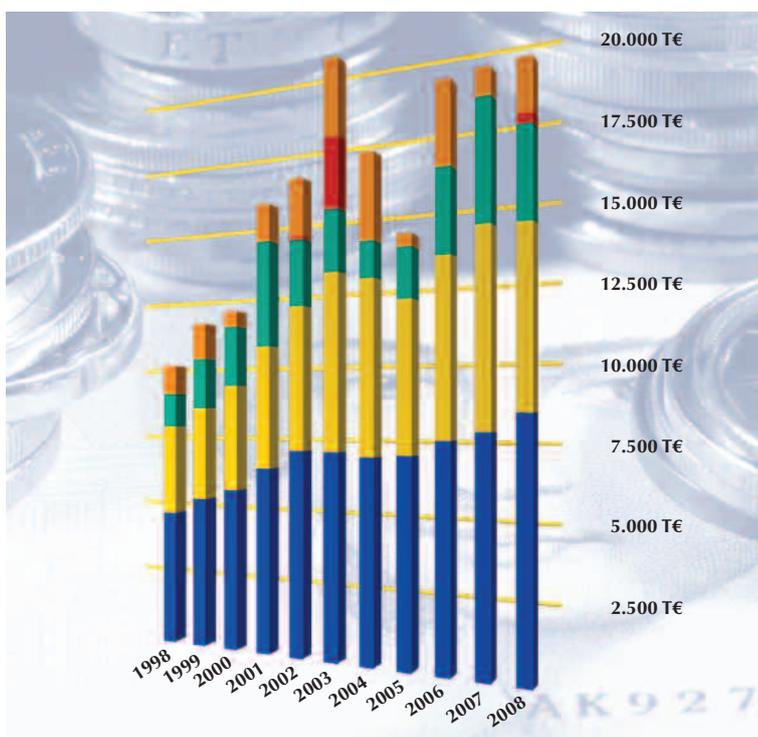
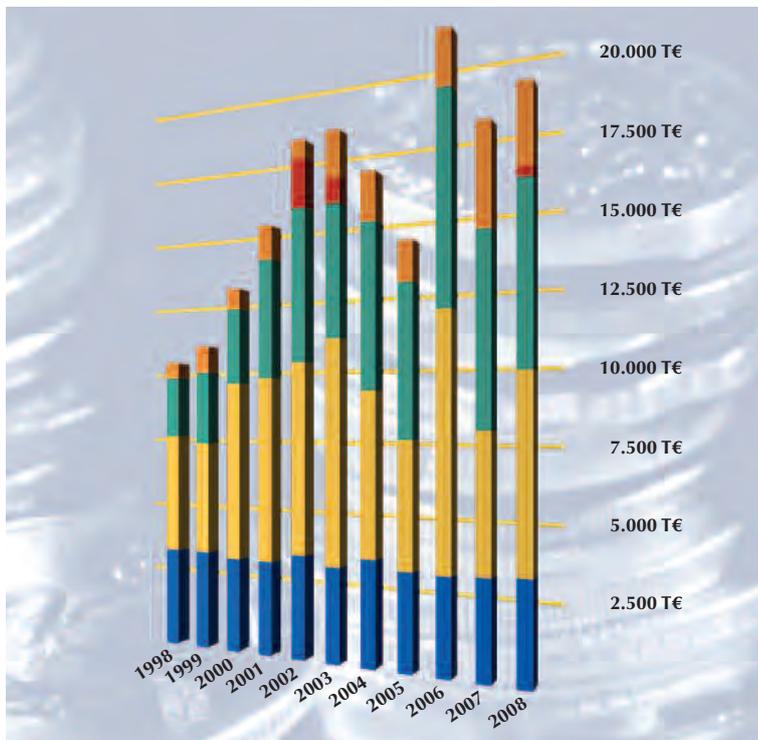
Die Gesamtausgaben lagen mit 19,5 Mio € im geplanten Rahmen. Die Personalausgaben stiegen aufgrund der projektbedingten Ausweitung der Beschäftigtenzahl an, konnten aber unter dem Planansatz gehalten werden.

Die Attraktivität der am ZSW bearbeiteten Themen bietet eine gute Basis für den weiteren Ausbau der Kooperationen mit Wissenschaft und Wirtschaft.

Aufgrund der begrenzten Basisfinanzierung des Instituts liegt mittelfristig das Augenmerk auf der Sicherung der Drittmittelquote bei gleichzeitig weiter wachsender Industrienähe.

### **Budget Development:**

In 2008 the ZSW closed with a total of 19.0 Mio € in turnover, including 15.5 Mio € of third-party financing. With an acquired volume of 6.0 Mio €, the share of industrial contracts represents 39 % of the total third-party financing.



## Personalentwicklung

Der mittelfristigen Finanzplanung und dem Wirtschaftsplan 2008 entsprechend, hat sich der Wachstumstrend beim Personal 2008 weiter fortgesetzt. Die Mitarbeiterkapazität erreichte zum 31.12.2008 mit 134,5 Vollzeitstellen den höchsten Wert seit Bestehen des Instituts. Dies entspricht über 150 Mitarbeiter/innen. Mit einem Anteil von 84 % des wissenschaftlich-technischen Personals an der gesamten Personalkapazität ist nach wie vor eine hohe Produktivität gegeben und dies trotz einer Umorganisation im Leitungs- und Verwaltungsbereich.

Die Quote der unbefristeten Arbeitsverträge ist 2008 gegenüber 2007 leicht gesunken und liegt bei 59 % aller Beschäftigten. Im wissenschaftlich-technischen Bereich ist der Anteil der unbefristeten Arbeitsverträge mit 48 % weiterhin relativ hoch.

Im Berichtsjahr arbeiteten am Institut 16 Doktoranden an ihrer Dissertation. Weiterhin sind am ZSW etwa 100 Studenten und Praktikanten beschäftigt (entspricht 13,5 Vollzeitstellen).

Drei Auszubildende werden in einer dreieinhalb-jährigen Ausbildung in der mechanischen Werkstatt Stuttgart zum Industriemechaniker ausgebildet. Zwei Auszubildende haben inzwischen die praktische Prüfung mit sehr gutem Erfolg abgeschlossen und bilden sich weiter bzw. haben eine Tätigkeit im Handwerk angenommen. Seit Herbst 2008 wird am ZSW die erste Kauffrau für Bürokommunikation ausgebildet. Das Ausbildungskonzept wurde in Kooperation mit der Universität Stuttgart zusammengestellt.

Von besonderer Bedeutung für das Institut ist die Vernetzung mit Hochschuleinrichtungen und die Möglichkeit, Lehraufträge zu übernehmen und Vorlesungen zu halten.

In 2008 waren dies:

Lehrstuhlinhaber an der Fakultät für Naturwissenschaften der Universität Ulm

- Prof. Dr. Werner Tillmetz  
Vorlesung: Angewandte Elektrochemie

Honorarprofessur im Fachbereich Rechts- und Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Darmstadt

- Prof. Dr. Frithjof Staiß  
Vorlesung: Energieversorgung und Umweltschutz  
Seminar: Innovative Energieversorgung

Lehraufträge an Hochschulen

- Dr.-Ing. Michael Powalla (Universität Karlsruhe)  
Vorlesung: Photovoltaik
- Prof. Dr. Werner Tillmetz (Verbund süddeutscher Universitäten)  
Vorlesung: South German Catalysis Course: Electrocatalysis
- Dr. Michael Specht (Universität Stuttgart)  
Vorlesung: Regenerative flüssige und gasförmige Brenn- und Kraftstoffe
- Dr. Ludwig Jörissen (Hochschule Ravensburg-Weingarten)  
Vorlesung: Alternative Energietechnik (Erneuerbare Energiesysteme)
- Dr. Alexander Kabza (Hochschule Esslingen)  
Vorlesung: Grundlagen Brennstoffzelle und Brennstoffzellensysteme
- Dr. Joachim Scholta / Dr. Andreas Jossen (Hochschule Ulm)  
Vorlesung: Elektrochemische Energietechnik – Batterien und Brennstoffzellen für Fahrzeuge
- Dr. Joachim Scholta (Hochschule Offenburg)  
Vorlesung: Fuel Cells

Das ZSW leistet damit einen wesentlichen Beitrag zur akademischen Ausbildung in innovativen und fachübergreifenden Themenfeldern.

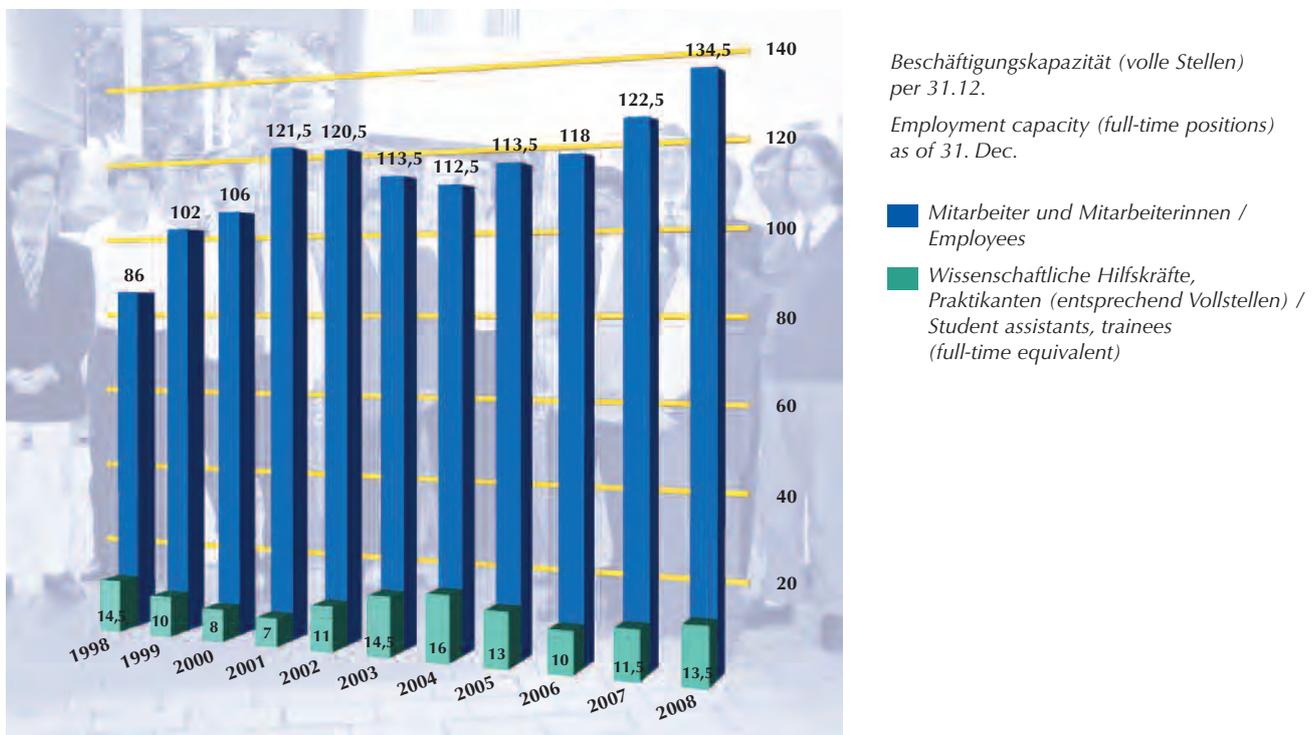
## Staff Development

In accord with our mid-term financial and economic plan for 2008, we could continue to increase our staff. The staff capacity was 134.5 full-time equivalent positions (150 employees) at the end of 2008, which represents the highest capacity since the institute's founding. With 84 % of the staff active in the scientific-technical areas, we can guarantee a high level of productivity, despite the reorganisation of the management and administration areas.

The ratio of permanent contracts dropped slightly in 2008 as compared to 2007 and is now 59 % of all employment. The share of permanent contracts in the scientific-technical area continues to be relatively high at 48 %.

In 2008 a total of 16 PhD students were working on their theses. 100 students and trainees are also employed by the ZSW (corresponding to 13.5 full-time positions). We are also training three apprentices in industrial mechanics in our workshop and an office communications clerk in Stuttgart.

Networking with universities and basic research is very important for our institute. A number of ZSW scientists teach classes and hold seminars at several universities and colleges. In this way the ZSW contributes to the academic education of future generations in our innovative and interdisciplinary subjects.



## Veröffentlichungen in Büchern und Zeitschriften

### Publications in Books and Journals

- Ahlswede E., Mühleisen W., Moh Wahi M., Hanisch J., Powalla M.; **Highly efficient organic solar cells with printable low-cost transparent contacts**; Applied Physics Letters 92 (2008) 143307
- Eicke A., Spiering S., Dresel A., Powalla M.; **Chemical characterisation of evaporated  $\text{In}_2\text{S}_x$  buffer layers in  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  thin-film solar cells with SNMS and SIMS**; Surface and Interface Analysis 40 (3-4) (2008) 830-833
- Gabler H., Bopp G. (FhG-ISE), Haugwitz F. (EU Manager China); **PV-Dorfstromsysteme in China – netzferne solare Elektrifizierung**; Photovoltaik, Strom aus der Sonne, C. F. Müller (eds.), 2008, 101-109
- Hartnig C., Manke I. (HMI), Kardjilov N. (HMI), Hilger A. (HMI), Grünerbel M., Kaczerowski J., Banhart J. (HMI), Lehnert W.; **Combined neutron radiography and locally resolved current density measurements of operating PEM fuel cells**; Journal of Power Sources, 176 (2008) 452-459
- Hartnig C., Kuhn R., Krüger Ph., Manke I. (HMI), Göbbels J. (BAM), Müller B. (BAM), Riesemeier H. (BAM); **Die Bedeutung von hochauflösenden zerstörungsfreien Untersuchungsmethoden**; MP Materials Testing, 50 (2008) 609-614
- Hanisch J., Ahlswede E., Powalla M.; **All-sputtered contacts for organic solar cells**; Thin Solid Films 516 (2008) 7241-7244
- Hartnig C., Jörissen L., Kerres J. (Univ. Stuttgart), Lehnert W., Scholta J.; **Polymer electrolyte membrane fuel cells**; in: M. Gasik (Ed), Materials for Fuel Cells, 2008
- Hartnig C., Jörissen L., Lehnert W., Scholta J.; **Direct methanol fuel cells**; in: M. Gasik (Ed), Materials for Fuel Cells, 2008
- Hartnig C., Manke I. (HMI), Kuhn R., Kardjilov N. (HMI), Banhart J. (HMI), Lehnert W. (FZJ); **Cross-sectional insight in the water evolution and transport in PEM fuel cells**; Applied Physics Letters, 92 (2008) 134106
- Hubert C. (IRDEP), Naghavi N. (IRDEP), Eteberry A. (CNRS), Roussel O. (IRDEP), Hariskos D., Powalla M., Kerrec O. (IRDEP), Lincot D. (IRDEP); **A better understanding on the growth mechanism of  $\text{Zn}(\text{S},\text{O},\text{OH})$  chemical bath deposited buffer layers for high efficiency  $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S},\text{Se})_2$  solar cells**; Physica Status Solidi (A) 205 (10) (2008) 2335-2339
- Kelm T., Langniß O., Reichmuth M. (IE Leipzig); **PV-Freiflächenanlagen in Deutschland**; ep Photovoltaik aktuell, 7/8 2008
- Kessler F.; **Neue Substrate für CIS-Dünnschichtsolarzellen**; Photovoltaik, Strom aus der Sonne, C. F. Müller (eds.), 2008, 127-138
- Lian F., Axmann P., Wohlfahrt-Mehrens M., Liu Q. G. (Univ. of Science and Technol. Beijing); **Comparative studies of the preparation and electrochemical performance of  $\text{LiNi}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}\text{O}_2$  electrode materials for rechargeable lithium battery**; Journal of Applied Electrochemistry, 22 Jan. 2008
- Manke I. (HMI), Hartnig C., Kardjilov N. (HMI), Hilger A. (HMI), Lehnert W., Banhart J. (HMI); **Neutronen-Radiographie und -Tomographie in der Brennstoffzellenforschung**; ZfP-Zeitung 109, April 2008
- Manke I. (HMI), Hartnig C., Kardjilov N. (HMI), Messerschmidt M., Hilger A. (HMI), Strobl M. (HMI), Lehnert W. (FZI), Banhart J. (HMI); **Characterization of water exchange and two-phase flow in porous gas diffusion materials**; Applied Physics Letters, 92 (2008) 244101
- Scholta J., Messerschmidt M., Jörissen L., Hartnig C.; **Externally cooled high temperature polymer electrolyte membrane fuel cell stack**; Journal of Power Sources (2008) doi:10.1016/j.jpowsour. 2008.10.124, in press
- Scholta J., Zhang W., Jörissen L., Lehnert W.; **Conceptual design for an externally cooled HT-PEMFC stack**; ECS Trans. 12 (1) (2008) 113-118
- Staiß F., Linkohr Ch., Zimmer U., Musiol F., Ottmüller M., Böhme D. (BMU), Dürrschmidt W. (BMU); **Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung**; Hg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Stand Juni 2008
- Staiß F., Linkohr Ch., Zimmer U., Musiol F., Ottmüller M., Böhme D. (BMU), Dürrschmidt W. (BMU); **Renewable energy sources in figures – national and international development**; Hg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Status: June 2008
- Witte W., Hariskos D., Kniese R., Powalla M.; **Short-circuit current improvement of  $\text{CuGaSe}_2$  solar cells with a  $\text{ZnS}/(\text{Zn,Mg})\text{O}$  buffer combination**; Physica Status Solidi (RRL), 2 (2) (2008) 80-82
- Witte W., Kniese R., Powalla M.; **Raman investigations of  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  thin films with various copper contents**; Thin Solid Films 517 (2008) 867-869

## Veröffentlichungen auf wissenschaftlichen Konferenzen, Workshops und Symposien

### Publications at Scientific Conferences, Workshops and Symposia

- Abou-Ras D. (HZB), Kaufmann C.A. (HZB), Schöpke A. (HZB), Stephan C. (HZB), Schorr S. (FU Berlin), Eicke A., Döbeli M. (PSI), Gade B. (TFS), Nunney T. (TFS), Hoffmann V. (IFW), Klemm D. (IFW), Efimova V. (IFW), Bergmaier A. (UNIBW), Dollinger G. (UNIBW); **Comparison of elemental distribution profiles across Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar-cell absorbers acquired by various techniques**; Microscopy & Microanalysis Meeting 2008, Albuquerque, 3-7 Aug. 2008
- Abou-Ras D. (HMI), Kaufmann C. (HMI), Schöpke A. (HMI), Stephan C. (HMI), Schorr S. (Univ. Berlin), Eicke A., Döbeli M. (PSI), Gade B. (Thermo Fisher Scient.), Nunney T. (Thermo Fisher Scient.), Hoffmann V. (IFW), Klemm D. (IFW), Efimova V. (IFW), Bergmaier A. (Univ. München), Dollinger G. (Univ. München); **Elemental distribution profiles across Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar-cell absorber acquired by various techniques**; 14<sup>th</sup> European Microscopy Congress, Aachen, 1-5 Sept. 2008
- Ahlsvede E., Mühleisen W., Moh Wahi M., Reinhardt Y., Hanisch J.; **Printable low-cost transparent contacts for organic solar cells**; E-MRS 2008 Spring Meeting, Strasbourg, 26-30 May 2008
- Brazel H., Kasper M., Döring H., Wohlfahrt-Mehrens M.; **Safety aspects of lithium ion materials**; 11<sup>th</sup> Ulm Electrochemical Talks (UECT), Ulm, 11-12 June 2008
- Caballero R. (HMI), Kaufmann C.A. (HMI), Eisenbarth T. (HMI), Cancela M. (HMI), Hesse R. (HMI), Unold T. (HMI), Eicke A., Klenk R. (HMI), Schock H.W. (HMI); **The influence of Na on low T growth of CIGS thin film solar cells on polyimide substrates**; E-MRS 2008 Spring Meeting, Strasbourg, 26-30 May 2008
- Eicke A., Würz R., Kessler F.; **Untersuchung der Fe-Diffusion in Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>-Dünnschichtsolarmodulen auf Stahlfolien mit SIMS und SNMS**; 15. Arbeitstagung Angewandte Oberflächenanalytik, Soest, 8.-10.9.2008
- Gabler H.; **Photovoltaik zur netzfernen Elektrifizierung**; 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 5.-7.3.2008
- Gabler H.; **Germany: Research and technology for PV manufacturing**; SNEC 2<sup>nd</sup> (2008) International Solar and PV Conference and Exhibition, International Solar and PV Industry Summit, PV Industrial Technology Forum, Shanghai, 9 May 2008
- Gabler H.; **The future of photovoltaics: Thin films and concentrated sunshine?**; German American Chamber of Commerce, San Francisco, 27 May 2008
- Gabler H.; **Renewable energy policy in Germany**; Clean Energy Development, Workshop and Exhibition, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 10-12 Dec. 2008
- Gabler H.; **The future of photovoltaics: Thin films and concentrated sunshine?**; Clean Energy Development, Workshop and Exhibition, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 10-12 Dec. 2008
- Geyer D., Springer J.; **CIS-Dünnschicht-Solarmodule bei hoher Systemspannung**; 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 5.-7.3.2008
- Geyer D., Stellbogen D., Mohring H.-D., Rexroth S. (FHTW Berlin), Schäffler R. (WS); **Integration of photovoltaic systems into existing buildings – PV modules with modified appearance**; 23<sup>rd</sup> EU-PVSEC, Valencia, 1-5 Sept. 2008
- Günnewig D. (Bosch & Partner), Reichmuth M. (IE Leipzig), Kelm T.; **Photovoltaik-Freiflächenanlagen – Entwicklungen, Planungsstand und Berücksichtigung von Umweltbelangen**; 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 5.-7.3.2008
- Händel F. (FEP), Morgner H. (FEP), Metzner C. (FEP), Würz R., Eicke A.; **SiO<sub>x</sub>-basierte Barrierschichten für die Dünnschicht-photovoltaik**; 4. Thüringer Grenz- und Oberflächentage, Jena, 16.-18.9.2008
- Hartnig C.; **In-situ observation of liquid water evolution and transport in PEM fuel cells**; Analytica, München, 1-4 April 2008
- Hartnig C., Manke I. (HMI), Kuhn R., Kardjilov N. (HMI), Lehnert W. (FZJ), Bahnhart J. (HMI); **In-situ observation of liquid water evolution in PEM fuel cells**; 213<sup>th</sup> ECS Meeting, Phoenix, 18-22 May 2008
- Hartnig C., Manke I. (HMI), Kuhn R., Krüger P.; **In-situ observation of liquid water evolution in PEM fuel cells**; 11<sup>th</sup> Ulm Electrochemical Talks (UECT), Ulm, 11-12 June 2008
- Hartnig C.; **Water management in PEM fuel cells – in-situ observation of liquid water evolution and transport**; EC-JRC-IE UNIDO-ICHET Summer school, Istanbul, 14-18 July 2008
- Hartnig C., Schlösser J. (HMI), Manke I. (HMI); **In-situ observation of liquid water evolution and transport**; Gordon Research Conference "Fuel Cells", Smithfield, 20-25 July 2008
- Hartnig C., Kuhn R., Krüger Ph., Schlösser J. (HMI), Manke I. (HMI); **In-situ observation of liquid water evolution and transport in PEM fuel cells**; FDFC08, Nancy, 10-12 Dec. 2008
- Herb F., Frank A. (Univ. Ulm), Nitsche C. (Mercedes-Benz technology), Jossen A.; **Optimierung der Regelung zwischen Brennstoffzelle und Batterie in „Zero-Emission“-Brennstoffzellen-Antrieben**; 4. Fachtagung: Steuerung und Regelung von Fahrzeugen und Motoren - AUTOREG 2008, 12.-13.2.2008
- Herz K., Powalla M.; **Contact tapes attached to CIGS modules by ultrasonic welding**; 23<sup>rd</sup> EU-PVSEC, Valencia, 1-5 Sept. 2008
- Kaifel A., Kaptur J., Lambert J. (BIRA-IASB), de Clercq C. (BIRA-IASB), Erbeseder T. (DLR-DFD), Baier F. (DLR-DFD), Kriger J. (SRON), Aben I. (SRON); **NNORSY-GOME ozone profile retrieval products and climatology**; 16<sup>th</sup> Int. TOVS Study Cof. Angra dos Reis, 7-13 May 2008

- Kaifel A., Kaptur J., Felder M.; **NNORSY-GOME tropospheric ozone products**; Quadrennial Ozone Symposium 2008, Tromsø, 30 June-5 July 2008
- Kaifel A., Felder M., Kaptur J.; **NNORSY-GOME ozone profile retrieval products**; EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Darmstadt, 8-12 Sept. 2008
- Kaptur J., Kaifel A.; **New dynamic ozone profile climatology tool – validation and application**; Quadrennial Ozone Symposium 2008, Tromsø, 30 June-5 July 2008
- Kaptur J., Kaifel A.; **Ozone profile climatology products from 8 years of NNORSY-GOME data set**; EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Darmstadt, 8-12 Sept. 2008
- Kessler F., Würz R., Wagner, M., Powalla M.; **Cells and monolithically integrated Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> modules on non-breakable substrates – Two approaches**; 23<sup>rd</sup> EU-PVSEC, Valencia, 1-5 Sept. 2008
- Kniese R., Powalla M., Rau U. (IPV-FZJ); **Evaluation of electron beam induced current profiles of Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cells with different Ga contents**; E-MRS 2008 Spring Meeting, Strasbourg, 26-30 May 2008
- Lehnert W. (FZJ), Hartnig C., Manke I. (HMI); **In-situ-Untersuchungen zum Wasserhaushalt in PEM-Brennstoffzellen**; 4. Deutscher Wasserstoff-Kongress, Essen, 20.-21.2.2008
- Mack P. (Univ. Ulm), Walter T. (Univ. Ulm), Kniese R., Hariskos D., Schäffler R. (WERes); **Reverse bias and reverse currents in CIGS thin film solar cells and modules**; 23<sup>rd</sup> EU-PVSEC, Valencia, 1-5 Sept. 2008
- Marquard-Möllenstedt T., Specht M., Zuberbühler U., Kopatz S. (TU Wien), Pfeifer C. (TU Wien), Rauch R. (TU Wien), Hofbauer H. (TU Wien), Koch M. (Biomasse Kraftwerk Guessing); **Transfer of the absorption enhanced reforming (AER) process from the pilot scale to an 8 MW<sub>th</sub> gasification plant in Guessing, Austria**; 16<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition, Valencia, 2-6 June 2008
- Marquard-Möllenstedt T., Specht M., Zuberbühler U., Pfeifer C. (TU Wien), Rauch R. (TU Wien), Hofbauer H. (TU Wien), Koch M. (Biomasse Kraftwerk Guessing); **Anwendung des „Absorption-Enhanced Reforming (AER)-Prozesses“ in einer 8 MW<sub>th</sub>-Anlage**; DGMK-Tagungsbericht 2008-2, S. 149-156 (2008)
- Menner R.; **Leitfähige und transparente ZnO-Schichten für CIS-Dünnschichtsolarmodule**; 2. Fachtagung „Transparent leitfähige Schichten (TCO)“, Neu-Ulm, 30.9.-1.10.2008
- Mohring H.-D.; **Betriebsergebnisse von PV-Dünnschicht-Anlagen**; 4. Anwenderforum Dünnschicht-Photovoltaik, Bad Staffelstein, 11.-12.2.2008
- Mohring H.-D., Stellbogen D.; **Annual energy harvest of PV systems – advantages and drawbacks of different PV technologies**; 23<sup>rd</sup> EU-PVSEC, Valencia, 1-5 Sept. 2008
- Mohring H.-D.; **Low-X CPV systems – Status and perspectives**; International Conference on Solar Concentrators ICSC-5, Palm Desert, 16-19 Nov. 2008
- Naghavi N. (IRDEP), Hubert C. (IRDEP), Darga A. (CNRS), Renou G. (IRDEP), Ruiz C. (IRDEP), Etcheberry A. (CNRS), Hariskos D., Powalla M., Guillemoles J. (IRDEP), Lincot D. (IRDEP); **On a better understanding of post-treatment effects on Cl(G)/Zn(S,O,OH)/ZnMgO based solar cells**; 23<sup>rd</sup> EU-PVSEC, Valencia, 1-5 Sept. 2008
- Pawlik J. (Viessmann), Chmielewski N. (Viessmann), Scholta J., Lehnert W.; **Analysis and optimization of the cell design of a PEMFC-stack**; Fuel Cell Seminar & Exposition 2008, Phoenix, 27-30 Oct. 2008
- Powalla M.; **Kupfer-Indium-Diselenid-Technologie**; 4. Anwenderforum Dünnschicht-Photovoltaik, Bad Staffelstein, 11.-12.2.2008
- Powalla M.; **Einführung in die Dünnschichtphotovoltaik**; 4. Anwenderforum Dünnschicht-Photovoltaik, Bad Staffelstein, 11.-12.2.2008
- Powalla M., Voorwinden G. (WERes), Hariskos D., Jackson P., Kniese R.; **Highly efficient CIS solar cells and modules made by the co-evaporation process**; E-MRS 2008 Spring Meeting, Strasbourg, 26-30 May 2008
- Prorok M. (Wroclaw Univ.), Kolodenny W. (Wroclaw Univ.), Zdanowicz T. (Wroclaw Univ.), Gottschalg R. (CREST), Stellbogen D.; **PVML – Photovoltaic markup language: Toward universal structure for collection and exchange of data acquired during PV monitoring process**; 23<sup>rd</sup> EU-PVSEC, Valencia, 1-5 Sept. 2008
- Prorok M. (Wroclaw Univ.), Kolodenny W. (Wroclaw Univ.), Zdanowicz T. (Wroclaw Univ.), Gottschalg R. (CREST), Stellbogen D.; **Reducing uncertainty of PV module temperature determination based on analysis using data gained during outdoor monitoring**; 23<sup>rd</sup> EU-PVSEC, Valencia, 1-5 Sept. 2008
- Scholta J., Messerschmidt M., Jörissen L., Hartnig C.; **Externally cooled high temperature polymer electrolyte membrane fuel cell stack**; 11<sup>th</sup> Ulm Electrochemical Talks (UECT), Ulm, 11-12 June 2008
- Scholta J., Kuhn R., Wazlawik S., Jörissen L.; **Startup-procedures for HT-PEMFC stack**; Fuel Cell Seminar & Exposition 2008, Phoenix, 27-30 Oct. 2008
- Schröder A. (FZJ), Wippermann K. (FZJ), Mergel J. (FZJ), Lehnert W. (FZJ), Sanders T. (ISEA), Manke I. (HMI), Hilger A. (HMI), Kardjilov N. (HMI), Petrov S. (HMI), Hartnig C.; **Investigation of the current and fluid distribution in a direct methanol fuel cell by electrochemical methods and neutron radiography**; 11<sup>th</sup> Ulm Electrochemical Talks (UECT), Ulm, 11-12 June 2008

Spiering S., Bürkert L., Hariskos D., Powalla M., Dimmler B. (WS), Giesen C. (Aixtron), Heuken M. (Aixtron); **MOCVD indium sulphide for application as buffer layer in CIGS solar cells**; E-MRS 2008 Spring Meeting, Strasbourg, 26-30 May 2008

Staiß F., Schmidt M.; **Entwicklung, Stand und Zukunft der Bioenergie in Deutschland und Europa**; 17. Symposium Bioenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 20.-21.11.2008

Stolwijk N. (Univ. Münster), Obeidi S. (Univ. Münster), Würz R., Frankenfeld M., Eicke A.; **Diffusion of iron into solar-grade CIGS layers from natural and radioactive front-side sources**; E-MRS 2008 Spring Meeting, Strasbourg, 26-30 May 2008

Thiedmann R. (Univ. Ulm), Fleischer F. (Boehringer), Hartnig C., Lehnert W. (FZJ), Schmidt V. (Univ. Ulm); **Stochastic 3D-modelling of the GDL structure in PEM fuel cells based on thin section detection**; 11<sup>th</sup> Ulm Electrochemical Talks (UECT), Ulm, 11-12 June 2008

Turak A. (MPI-MF), Hanisch J., Barrena E. (MPI-MF), Ahlsweide E., Dosch H. (MPI-MF); **Interfacial adhesion in P3HT:PCBM solar cells**; SPIE International Symposium on Photonic Devices + Applications, Organic Photovoltaic IX (OP 113, San Diego, 10-14 Aug. 2008

Würz R., Eicke A., Frankenfeld M., Kessler F., Powalla M., Rogin P. (INM), Yazdani O. (INM); **CIGS thin-film solar cells on steel substrates**; E-MRS 2008 Spring Meeting, Strasbourg, 26-30 May 2008

Würz R., Eicke A., Yazdani-Assl O. (INM), Händel F. (FEP), Häberle E. (IPF); **Diffusions- und Isolationsbarrieren für flexible Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>-Dünnschichtszellen auf unlegiertem Stahlsubstrat**; 4. Thüringer Grenz- und Oberflächentage, Jena, 16.-18.9.2008

## Projektberichte / Project Reports

Bickel P., Kelm T., Mayer J., Staiß F., Langniß O., Edler D. (DIW); **Evaluierung der KfW-Förderung für Erneuerbare Energien im Inland in 2007 – Gutachten im Auftrag der KfW**; Stuttgart, November 2008

Diekmann J. (DIW), Braun F. (DIW), Vogel-Sperl A., Hartmann C., Langniß O., Mayer J. (AEE), Peter S. (AEE); **Studie Vergleich der Bundesländer: Best Practice für den Ausbau Erneuerbarer Energien – Indikatoren und Ranking**; Studie im Auftrag und in Kooperation mit der Agentur für Erneuerbare Energien e. V. (AEE), Berlin, Stuttgart, August 2008

Diekmann J. (DIW), Braun F. (DIW), Vogel-Sperl A., Hartmann C., Langniß O., Mayer J. (AEE), Peter S. (AEE); **Kurzbericht: Vergleich der Bundesländer: Anstrengungen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich – Indikatoren und Ranking**; Projektbericht 2008

Günnewig D. (Bosch & Partner), Püschel M. (Bosch & Partner), Langniß O., Böhnisch H., Kelm T., Mack M. (Decker & Mack), Teckenburg K. (Decker & Mack), Reichmuth M. (IE Leipzig), Bohl J. (Bohl & Coll.); **Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solarenergie, insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen, Ergänzungsbericht 2007**; Hannover, Stuttgart, Leipzig, Würzburg, 10.4.2008

Kaifel A., Kaptur J., Felder M.; **NNORSY-GOME tropospheric ozone products**; Final report ACCENT-TROPOSAT-2, Task Group, 1 Dec. 2008

Kelm T., Drück H. (ITW), Langniß O.; **Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien (Marktanzreizprogramm) im Zeitraum Januar 2007 bis Dezember 2008, Kurzbericht für den Zeitraum Januar bis Dezember 2007**; Stuttgart, März 2008

Kelm T., Staiß F.; **Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2007, erste Abschätzung, Stand Juli 2008**; Broschüre im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg und des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg Stuttgart, Juli 2008

Kelm T., Staiß F.; **Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2007**; Broschüre im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg und des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg Stuttgart, November 2008

Schmidt M., Vogel-Sperl A., Staiß F.; **Ausbau Erneuerbarer Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung bis zum Jahr 2020**; Stuttgart, Juli 2008

Thomas B. (HS Reutlingen), Wyndorps A. (HS Reutlingen), Kelm T., Czepuck K. (Univ. Hohenheim), Oechsner H. (Univ. Hohenheim); **Gekoppelte Produktion von Kraft und Wärme aus Bio-, Klär- und Deponiegas in kleinen dezentralen Stirlingmotor-Blockheizkraftwerken**; Zwischenbericht zum BWPLUS-Statuskolloquium, Stuttgart, März 2008

## Vorträge, Lehrveranstaltungen, Präsentationen / Lectures, Courses, Presentations

- Bickel P.; **Employment effects of renewable energies in Germany**; Wind Power Forum: The New Energy Economy – Wind Industry – Employment, Investment and Economic Development, Husum, 9 Sept. 2008
- Gabler H.; **Photovoltaik zur netzfernen Elektrifizierung**; MAT-Seminar Frühjahr 2008, ZSW, Stuttgart, 28.2.2008
- Geyer D.; **Thin film applications for BIPV**; International Workshop on PV Building Integration (BIPV), Nice, 30 Oct. 2008
- Hartnig C.; **Modellierung und experimentelle Verifikation in der Brennstoffzellenentwicklung**; Kolloquium Institut für Stochastik, Universität Ulm, 23.1.2008
- Hartnig C., Kaiser J., Garche J.; **Electrocatalysis**; WBZU, Ulm, 10-14 March 2008
- Hartnig C.; **Polymer Electrolytes I**; WBZU, Ulm, 10-14 March 2008
- Hartnig C.; **Lifetime Aspects of PEMFCs**; WBZU, Ulm, 10-14 March 2008
- Hartnig C.; **Porous Media**; WBZU, Ulm, 10-14 March 2008
- Hartnig C.; **Modelling and experimental verification for fuel cell development**; Materialwissenschaftliches Kolloquium, 14.4.2008
- Hartnig C.; **Modellierung und experimentelle Verifikation in der Brennstoffzellenentwicklung**; Workshop: Modelling Activities PEFC, DLR, Stuttgart, 6.5.2008
- Hartnig C.; **Polymer Electrolytes I**; WBZU, Ulm, 15-19 Sept. 2008
- Hartnig C.; **Porous Media**; WBZU, Ulm, 15-19 Sept. 2008
- Hartnig C.; **Membrane Electrode Assemblies in low temperature PEMFCs**; WBZU, Ulm, 15-19 Sept. 2008
- Hartnig C., Krüger P., Kuhn R., Manke I. (HMI); **In-situ observation of liquid water evolution and transport in PEM fuel cells by synchrotron radiography**; f-cell 2008, Stuttgart, 29-30 Sept. 2008
- Hartnig C.; **In-situ observation of liquid water evolution and transport**; ZSW-Seminar, Ulm, 11 Nov. 2008
- Kabza A., Knaupp H., Isik R.; **Fuel cell system for transit busses with methanol as fuel**; f-cell 2008, Stuttgart, 29-30 Sept. 2008
- Kelm T.; **Freiflächenanlagen 2001 bis 2007 in Deutschland und Blick in weitere Länder**; Abschlussworkshop zum Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solarenergie insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen, Stuttgart 2.4.2008
- Kelm T.; **Marktentwicklung Biogas und biogene Brennstoffe**; 3. Treffpunkt Biomasse der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart, Stuttgart, 6.4.2008
- Kelm T.; **Renewable energy statistics in Baden-Württemberg**; Besuch der MEDSTAT II-Delegation am ZSW, Stuttgart, 28.5.2008
- Kessler F.; **Entwicklungsstand und Überblick über markt-gängige Dünnschichttechnologien: Dünnschichtsolarmodule – Ansätze und Realisierungen**; Centrosolar-Seminar „Dünnschicht-Symposium“, Paderborn, 26.5.2008
- Langniß O.; **Macroeconomic costs and benefits of renewable energies**; Perspectives for Renewable Energy Development – Recent Findings from Germany, Federal German Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), Brussels, 1 Feb. 2008
- Manke I. (HMI), Hartnig C., Kardjilov (HMI), Hilger A. (HMI), Zabler S. (HMI), Wanderka N. (HMI), Wollgarten M. (HMI), Banhart J. (HMI); **Bildgebende Verfahren in der Brennstoffzellenentwicklung**; Materialwissenschaftliches Kolloquium, 21.1.2008
- Powalla M.; **Highly efficient CIS modules: Status and R&D challenges**; 4<sup>th</sup> Workshop on the Future Direction of Photovoltaics, Tokyo, 6-7 March 2008
- Powalla M.; **Kupfer-Indium-Diselenid (CIS)-Technologie**; OTTI-Fachforum Funktionalisierung von Glasoberflächen durch Beschichtungen, Regensburg, 14.-15.4.2008
- Powalla M.; **Photovoltaik**; Universität Karlsruhe (TH), Institut für Kerntechnik und Reaktorsicherheit, Vorlesung im Sommersemester 2008
- Powalla M.; **Dünnschicht-Solarzellen auf dem Vormarsch – Ein Marktüberblick**; GoingPublic Magazin 08 (2008) 22-23
- Powalla M.; **Dünnschicht-Solarzellen auf dem Vormarsch**; Industrieanzeiger 51/52 (2008) 6
- Schmidt M.; **Progress Report and the current amendment of the Renewable Energy Sources Act**; Perspectives for Renewable Energy Development – Recent Findings from Germany, Federal German Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), Brussels, 1 Feb. 2008
- Schmidt M.; **Förderung der dezentralen Energieversorgung für mehr Wertschöpfung und Beschäftigung**; FVS-Workshop „Systemanalyse im FVS – Wissenschaft an der Schnittstelle von Markt und Politik“, Stuttgart, 10.11.2008
- Schmidt M.; **Energy policy in the world and Europe**; Master Class: Fuel Cells & Hydrogen, WBZU, Ulm, 18-20 Nov. 2008
- Scholta J.; **Batterien und Brennstoffzellen für Fahrzeuge**; Hochschule Ulm, Vorlesung im Sommersemester 2008
- Scholta J., Jörissen L., Hartnig C.; **Stack technologies: From modelling to manufacturing**; f-cell 2008, Stuttgart, 29-30 Sept. 2008

- Scholta J., Messerschmidt M., Jörissen L. Hartnig C.; **Herausforderung Brennstoffzelle: Entwicklung, Simulation, Bau und Betrieb eines 1kW-HT-PEMFC-Stacks**; f-cell 2008, Stuttgart, 29.-30.9.2008
- Scholta J.; **Fuel cells – Compact course**; Vorlesung Hochschule Offenburg, Wintersemester 2007/08
- Specht M., Marquard-Möllenstedt T., Zuberbühler U.; **Thermochemische Biomassenutzung mit AER-Technologie**; E-world, Bioenergetische Fachtagung Essen, 20.2.2008
- Specht M.; **Forschungsstrategie aus Sicht des FVS und des ZSW – Impulsreferat**; Energetische Nutzung von Biomasse, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin, 10.7.2008
- Specht M., Grüner H., Löffler M.-S., Nieken U. (ICVT), Gepert V. (ICVT), Werhan H. (ICVT), Sawodny O. (ISYS), Weickgenannt M. (ISYS), Kharitonov A. (ISYS); **Operation of a 4 kW<sub>e</sub> PEM fuel cell system with renewable fuels – Betrieb eines 4-kW<sub>e</sub>-PEM-Brennstoffzellensystems mit regenerativen Brennstoffen**; f-cell 2008, Stuttgart, 29-30 Sept. 2008
- Specht M., Marquard-Möllenstedt T., Stürmer B., Zuberbühler U.; **Renewable fuel gases for fuel cells via absorption-enhanced thermo-chemical biomass conversion**; f-cell 2008, Stuttgart, 29-30 Sept. 2008
- Specht M.; **Energetic biomass for powering fuel cells**; Master Class: Fuel Cells & Hydrogen, WBZU, Ulm, 18-20 Nov. 2008
- Staiß F., Linkohr Ch., Zimmer U., Musiol F., Ottmüller M., Böhme D. (BMU), Dürrschmidt W. (BMU); **Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung, Internet-Update**; Hg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Status: November 2007
- Staiß F., Schmidt M.; **Bioenergie – Chancen für Baden-Württemberg**; BioEnergie – Aus der Forschung in die Praxis, 7. Brüssel Background, Stuttgart, 7.3.2008
- Staiß F., Schmidt M.; **Chancen nachhaltiger Energietechnik für die Wirtschaft**; PKU 2008 und Energie Forum ULM 2008, Ulm, 8.4.2008
- Staiß F.; **Innovative Energieversorgung für das Architekturgebäude der TU Darmstadt**; Seminar Technische Universität Darmstadt, Sommersemester 2008
- Staiß F., Schmidt M.; **Energiepolitik, Förderinstrumente, Ausblick**; Öffentliche Anhörung „Chancen und Grenzen der Biomassenutzung“, Landtag Baden-Württemberg, Stuttgart, 23.4.2008
- Staiß F., Schmidt M., Musiol F., Langniß O.; **Stellungnahme zum Fragenkatalog der Fraktionen CDU/CSU, SPD, FDP, DIE LINKE, und BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN**; Öffentliche Anhörung zum Gesetzesentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften, Stuttgart, 5.5.2008
- Staiß F.; **Energieversorgung quo vadis?**; Zeitfragen Zehntscheuer Zuffenhausen, Stuttgart, 12.6.2008
- Staiß F., Schmidt M.; **Das 20 %-Ziel der Landesregierung – Wie erreicht Baden-Württemberg seine Ziele?**; Symposium „Potentiale der Wasserkraft in Baden-Württemberg“, Stuttgart, 24.6.2008
- Staiß F., Schmidt M., Vogel-Sperl A.; **Energiepolitische Rahmenbedingungen**; Fachtagung Blockheizkraft – Neue gesetzliche Rahmenbedingungen – Chance für die KWK, Stuttgart, 7.10.2008
- Staiß F.; **Energieversorgung und Umweltschutz**; Vorlesung Technische Universität Darmstadt, Wintersemester 2008/09
- Staiß F.; **Erneuerbare Energien – Rückenwind für Deutschlands Wirtschaft?**; HNE – Hochschulen für nachhaltige Entwicklung, Fachhochschule Konstanz, 22.10.2008
- Staiß F.; **Energiepolitische Aspekte der Elektromobilität**; Symposium Neue Energie Ulm, Deutschland – Land der Ideen, Ulm, 28.10.2008
- Staiß F.; **Trends in der Energieversorgung**; 85. Mitgliederversammlung des Großabnehmerverbands Energie GAV, Remshalden, 7.11.2008
- Staiß F.; **Präsentation Bundesländerpreis für Erneuerbare Energien, Leitstern 2008**; Pressekonferenz der Agentur für Erneuerbare Energien, Berlin, 10.11.2008
- Staiß F.; **Chancen nachhaltiger Energietechnik für die Wirtschaft**; Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal, 17.11.2008
- Staiß F.; **Impulsvortrag und Leitung Podiumsdiskussion**; WIBI-Podiumsdiskussion „Innovative Energieversorgung und energieeffizientes Bauen“, Darmstadt, 8.12.2008
- Tillmetz W.; **Electrocatalysis**; Vorlesung South German Catalysis Course, Verbund süddeutscher Universitäten, Ulm, Wintersemester 2008/09
- Tillmetz W., Specht M.; **The AER Process – a new approach for biomass gasification**; E-world, Bioenergetische Fachtagung, Essen, 20 Feb. 2008
- Tillmetz W.; **Akkumulatoren für Hybrid-Antriebe und stationäre Stromspeicher**; Waiblingen Solar / Umweltamt der Stadt Waiblingen, 25.4.2008
- Tillmetz W.; **Angewandte Elektrochemie**; Vorlesung Universität Ulm, Wintersemester 2008/09
- Vogel-Sperl A.; **Stromerzeugung aus Biomasse – nachhaltige Nutzung von Biomasse in Kraft-Wärme-Kopplung**; FVS-Workshop „Systemanalyse im FVS – Wissenschaft an der Schnittstelle von Markt und Politik“, Stuttgart, 10.11.2008
- Wischmann W.; **Dünnschichttechnologien in der Photovoltaik: Status Quo und Trends**; Festvortrag Trinos Vakuum-Systeme GmbH, Göttingen, 30.5.2008

Wohlfahrt-Mehrens M.; **Materialforschung für die nächste Generation von Lithium-Batterien**; Nanomat, Karlsruhe, 17.-18.4.2008

Wohlfahrt-Mehrens M.; **Materialforschung und Entwicklung für die nächste Generation der Lithium-Ionen-Batterien**; TAE-Workshop „Alternative Fahrzeugantriebe und ihre Energiespeicher“, Esslingen, 12.-13.6.2008

Wohlfahrt-Mehrens M.; **Energiespeicher für Elektrofahrzeuge im Auftrag der Audi AG**; Ingolstadt, September 2008

Zuberbühler U.; **Supply and mechanical stability of mineral based CO<sub>2</sub> sorbent**; 4<sup>th</sup> International Workshop on in-situ CO<sub>2</sub> Removal, Imperial College London, 7-8 July 2008

Zuberbühler U., Specht M., Marquard-Möllenstedt T.; **Wasserstoffherzeugung aus erneuerbaren Quellen - AER-Prozess**; Workshop „Systemanalyse im FVS – Wissenschaft an der Schnittstelle von Markt und Politik“, Stuttgart, 10.11.2008

## Schutzrechte (vom ZSW gehaltene Patente, Gebrauchsmuster und Marken) Industrial Property Rights (granted patents and utility models, registered trademarks)

Specht, Michael; **Verfahren zur Herstellung von Synthesegas und Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens**; DE 42 35 125 C2; 29.9.1994

Bleil, Andreas; **Einschaltsteuerungsverfahren und -steuerung für einen Solargenerator an das Netz ankoppelnden Wechselrichter**; DE 43 28 511 C2; 22.6.1995

Dimmler, Bernhard; Schock, Hans-Werner; **Verdampferquelle für eine Aufdampfanlage und ihre Verwendung**; DE 44 22 697 C1; 25.1.1996

Schock, Hans-Werner; Ruckh, Martin; Hariskos, Dimitrios; Walter, Thomas-Christoph; Schmid, Dieter; **Verbindungshalbleiter-Dünnschichtsolarzelle und Verfahren zu ihrer Herstellung**; DE 44 40 878 C2; 29.4.1999

Hemmer, Reinhard; Oesten, Rüdiger; Wohlfahrt-Mehrens, Margret; Arnold, Gisela; **Ternäre Lithium-Mischoxide, Verfahren zu deren Herstellung sowie deren Verwendung**; EP 0 783 459 B1; 30.6.1999

**Kühlbehälter, insbesondere Flaschenkühler**; Gebrauchsmuster DE 200 07 266 U1; 10.8.2000

**SPRAFIMO (SPektralRADiometer auf Filter-MOdel-Basis)**; Marke 300 46 608; 12.10.2000

Cemernjak, Marco; Kessler, Friedrich; Powalla, Michael; Sorg, Armin; Voorwinden, Georg; Zeller, Anton; Groß, Erwin; Dimmler, Bernhard; Schock, Hans-Werner; **Verdampferquelle mit beheizbarem Dampfauslassrohr**; DE 100 21 530 C1; 27.9.2001

Rathfelder, Matthias; Eyermaier, Christine; Powalla, Michael; Springer, Johann; **Elektrisches Dünnschichtbauelement, insbesondere Photovoltaikmodul**; DE 100 21 531 C1; 6.12.2001

**PV-Fix**; Marke 302 02 151; 16.5.2002

Scholta, Joachim; Jörissen, Ludwig; **Verfahren zur Regelung des wärme- und/oder strombedarfsgeführten Betriebs von Brennstoffzellenanlagen**; DE 100 31 864; 20.6.2002

**Taschenlampe**; Gebrauchsmuster DE 202 05 728 U1; 25.7.2002

**Miniatur-Brennstoffzellensystem**; Gebrauchsmuster DE 202 05 729; 14.8.2002

Dittrich, Herbert; **Verwendung eines Materials für photoelektrisch aktive Halbleiterdünnschichten und Verfahren zu ihrer Herstellung**; DE 196 13 683 C2; 31.10.2002

Räuchle, Eberhard; Kaiser, Mathias; Ruckh, Martin; Walker, Matthias; Dimmler, Bernhard; Schock, Hans-Werner; Springer, Johann; Baumgärtner, Klaus-M.; Shakhatre, Mahmud; **Mehrfunktions-Verkapselungsschichtstruktur für photovoltaische Halbleiterbauelemente und Verfahren zu ihrer Herstellung**; DE 197 32 217 C2; 12.12.2002

Rohland, Bernd; Scholta, Joachim; Jörissen, Ludwig; Zettisch, Georg; Steinhart, Klaus; Roser, Jochen; **Netzunabhängige, schadstoffemissionsfreie, portable Stromversorgungseinrichtung, sowie Verfahren zur Erzeugung von Strom mittels dieser**; EP 1 175 707; 19.3.2003

**Testanlage für Brennstoffzellen**; Gebrauchsmuster DE 202 10 130; 4.3.2004

Specht, Michael; Bandi, Andreas; Baumgart, Frank; Weimer, Thomas; **Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung eines Wasserstoff- oder Synthesegases und Verwendung derselben**; EP 1 218 290 B1; 1.12.2004

Hemmer, Reinhard; Arnold, Gisela; Vogler, Christian; Wohlfahrt-Mehrens, Margret; **Binäre, ternäre und quaternäre Lithiumphosphate, Verfahren zu ihrer Herstellung und ihre Verwendung**; EP 1 379 468 B1; 29.12.2004

Schock, Hans-Werner; Ruckh, Martin; Hariskos, Dimitrios; Walter, Thomas-Christoph; Schmid, Dieter; **Verfahren zur Herstellung einer Verbindungshalbleiter-Dünnschichtsolarzelle**; DE 44 47 866 B4; 25.5.2005

Gabler, Hansjörg; **Dünnschicht-Photovoltaikmodul mit integrierter Flachantennenstruktur**; DE 199 54 259 B4; 15.9.2005

Kessler, Friedrich; Springer, Johann; **Dünnschicht-Photovoltaikmodul aus mehreren Teilmodulen und Herstellungsverfahren hierfür**; DE 101 09 643 B4; 27.10.2005

Springer, Johann; Geyer, Dieter; **Photovoltaikmodulverbund**; DE 101 05 718 B4; 10.11.2005

Kaifel, Anton; Schwander, Harry; Köpke, Peter; **Vorrichtung zur spektralen Sonnenstrahlungsgrößenbestimmung**; DE 101 12 972 B4; 24.11.2005

Lotter, Erwin; Powalla, Michael; **Photovoltaikmodul mit integriert serienschalteten Zellen und Herstellungsverfahren hierfür**; DE 199 34 560 B4; 22.12.2005

Schock, Hans-Werner; Ruckh, Martin; Hariskos, Dimitrios; Walter, Thomas-Christoph, Schmid, Dieter; **Verbindungs-halbleiter-Dünnschichtsolarzelle mit Alkalimetallzusatz und Verfahren zur Herstellung**; DE 44 47 865 B4; 14.6.2006

## Organisationsstruktur / Organisational Structure

Das ZSW gliedert sich organisatorisch in drei Ebenen: Kuratorium (Aufsichtsgremium), Vorstand (Leitung) und Geschäftsbereiche / Fachgebiete. Das Kuratorium des ZSW hat beratende und beschließende Funktion. Es überwacht die satzungsgemäße Entwicklung der Stiftung und die Arbeit des Vorstandes.

Mitglieder des Vorstandes waren im Berichtsjahr:

- Prof. Dr. rer. pol. Frithjof Staiß  
Geschäftsführung
- Dr. rer. nat. Hansjörg Gabler  
Vorstand Geschäftsbereich Photovoltaik  
(bis 31.3.2008)
- Dr.-Ing. Michael Powalla  
Vorstand Geschäftsbereich Photovoltaik  
(ab 1.4.2008)
- Prof. Dr. rer. nat. Werner Tillmetz  
Vorstand Geschäftsbereich Elektrochemische  
Energietechnologien

Die fachliche Struktur des ZSW gliedert sich in die folgenden Gebiete mit jeweils spezieller Ausrichtung von Fachpersonal und Labors:

- Systemanalyse (Querschnittsfunktion)
- Photovoltaik: Materialforschung
- Photovoltaik: Module Systeme Anwendungen
- Regenerative Energieträger und Verfahren
- Elektrochemische Materialentwicklung
- Elektrochemische Akkumulatoren
- Elektrochemische Wasserstofftechnik
- Elektrochemische Verfahren und Modellierung

Entsprechende Kompetenzen der Fachgebiete sind schwerpunktmäßig in zwei Geschäftsbereichen zusammengefasst:

- Photovoltaik
- Elektrochemische Energietechnologien

Die Geschäftsführung des ZSW mit der Abteilung Zentrale Dienste befindet sich in Stuttgart.

The ZSW is structured into three levels of organisation: the Board of Trustees (supervisory body), the Board of Directors (management), and the Business Divisions / Departments. The Board of Trustees has advisory and deciding functions. It supervises the statutory development of the foundation and the activities of the Board of Directors.

Members of the Board of Directors:

- Prof. Dr. rer. pol. Frithjof Staiß  
Management
- Dr. rer. nat. Hansjörg Gabler  
Director of Photovoltaics Division  
(until 31 March 2008)
- Dr.-Ing. Michael Powalla  
Director of Photovoltaics Division  
(as of 1 April 2008)
- Prof. Dr. rer. nat. Werner Tillmetz  
Director of Electrochemical Energy  
Technologies Division

According to its fields of expertise, the ZSW is structured into the following departments, each with their specialised technical staff and laboratories:

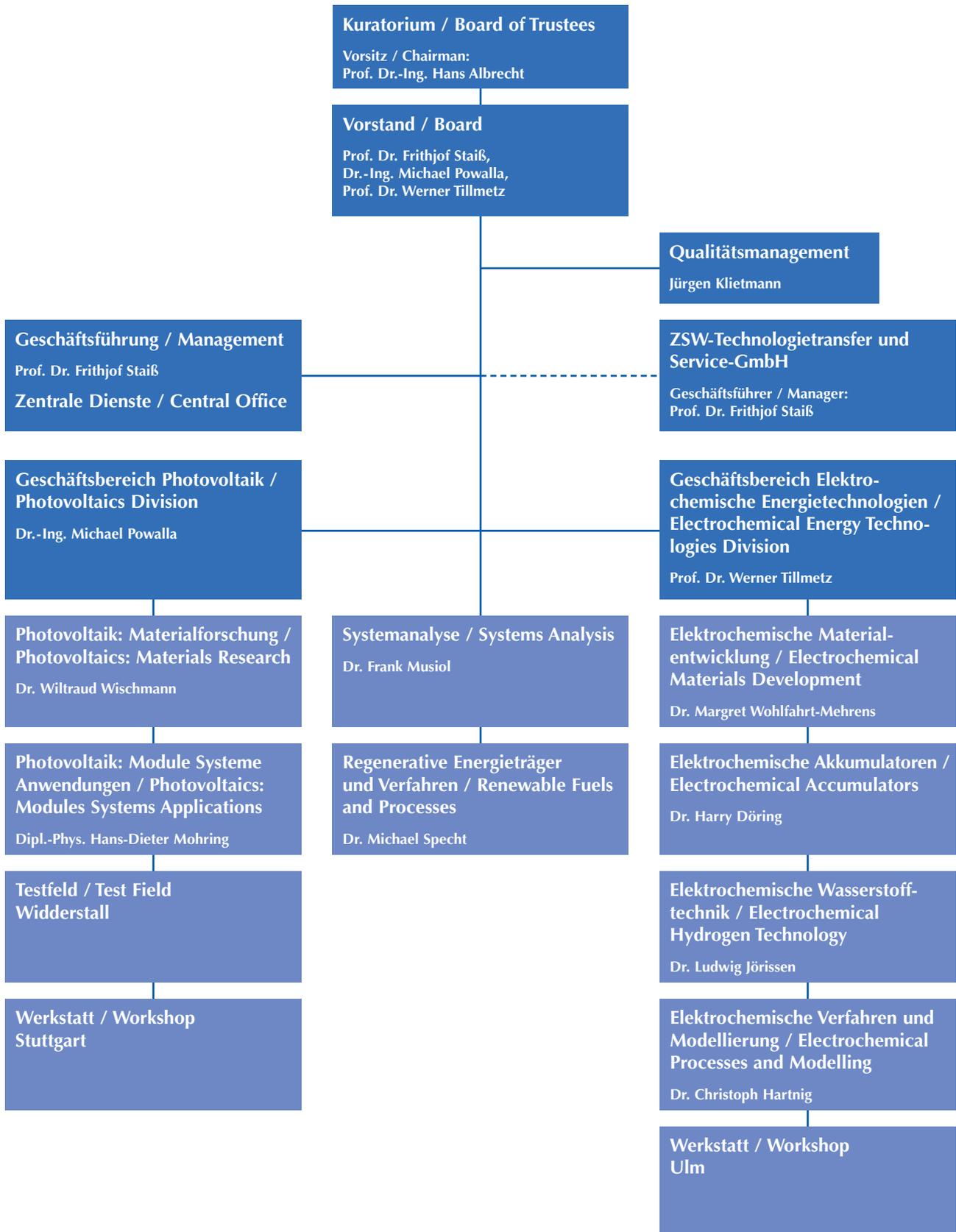
- Systems Analysis (interdisciplinary function)
- Photovoltaics: Materials Research
- Photovoltaics: Modules Systems Applications
- Renewable Fuels and Processes
- Electrochemical Materials Development
- Electrochemical Accumulators
- Electrochemical Hydrogen Technology
- Electrochemical Processes and Modelling

The corresponding expertise of the departments are concentrated in two main Business Divisions:

- Photovoltaics
- Electrochemical Energy Technologies

The Management and the Central Office (Accounting, Personnel, Organisation, Public Relations) are located in Stuttgart.

Organigramm / Organisational Chart



## Stuttgart

### S-Bahn

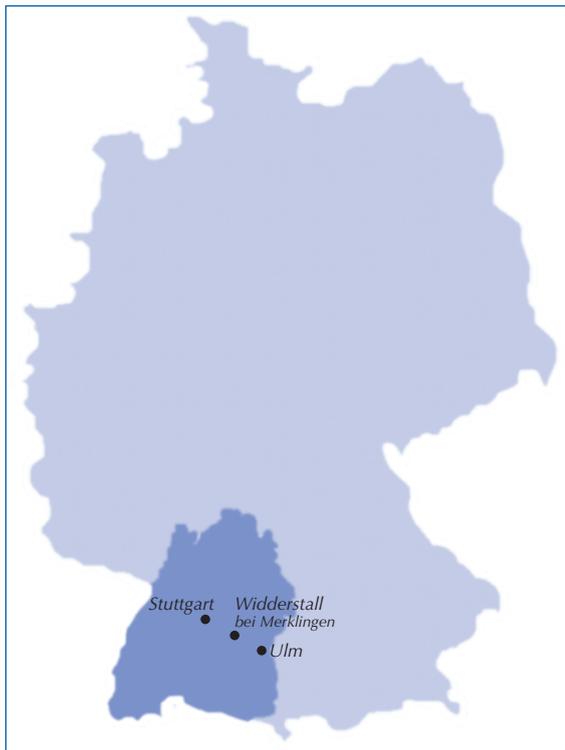
Vom Hauptbahnhof aus: Linie S1 (Richtung Herrenberg), S2 (Richtung Filderstadt) oder S3 (Richtung Flughafen/Messe) – Haltestelle Vaihingen (alle 10 Min. – Fahrzeit 14 Min.)

Vom Flughafen aus: Linie S2 (Richtung Schorndorf) oder S3 (Richtung Backnang) – Haltestelle Vaihingen (alle 10-20 Min. – Fahrzeit 14 Min.)

### Public transportation

From the main train station: Take the S1 (direction Herrenberg), S2 (direction Filderstadt), or S3 (direction Flughafen/Messe) – exit at the Vaihingen station (trains run every 10 minutes, travel time 14 minutes)

From the airport: Take the S2 (direction Schorndorf), or S3 (direction Backnang) – exit at the Vaihingen station (trains run every 10 or 20 minutes, travel time 14 minutes)



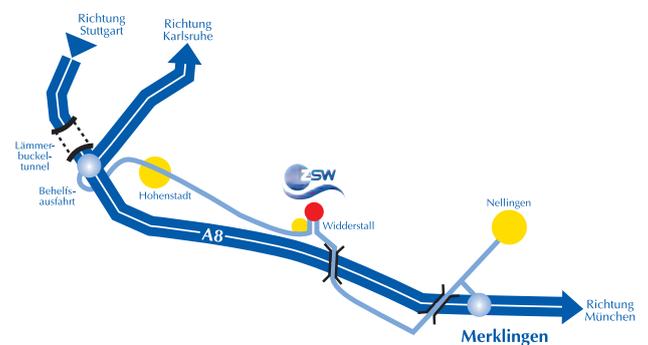
## Ulm

### Bus

Vom Bahnhof Ulm aus: Buslinie 3 bis Haltestelle Botanischer Garten (Fahrzeit 12 Min.)

### Public transportation

At Ulm train station: take bus number 3 to the stop „Botanischer Garten“ (travel time 12 minutes)





- **Geschäftsführung, Zentrale Dienste**
- **Geschäftsbereich Photovoltaik**
- **Fachgebiete Systemanalyse sowie Regenerative Energieträger und Verfahren**

Industriestraße 6, 70565 Stuttgart  
Tel.: +49 (0)711-78 70-0  
Fax: +49 (0)711-78 70-100  
E-mail: [info@zsw-bw.de](mailto:info@zsw-bw.de)  
[www.zsw-bw.de](http://www.zsw-bw.de)



- **Solar-Testfeld Widderstall**

Widderstall 14, 89188 Mercklingen  
Tel.: +49 (0)7337-9 23 94-0  
Fax: +49 (0)7337-9 23 94-20



- **Geschäftsbereich Elektrochemische Energietechnologien**

Helmholtzstraße 8, 89081 Ulm  
Tel.: +49 (0)731-95 30-0  
Fax: +49 (0)731-95 30-666

## Verzeichnis der Abkürzungen / Abbreviations

**Firmen, Institute, Institutionen / Companies, Institutes, Institutions****AEE**

Agentur für Erneuerbare Energien

**BAM**

Bundesanstalt für Materialforschung und -Prüfung

**BIRA-IASB**

Belgian Institute for Space Aeronomie

**BMU**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

**CNRS**

Centre National de Recherche Scientifique, France

**CREST**

Centre for Renewable Energy Systems and Technology, Dept. of Electronic and Electrical Engineering, Loughborough University

**DGMK**

Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e. V.

**DIW**

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung

**DLR**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.

**DLR-DFD**

DLR-Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum

**DWD**

Deutscher Wetterdienst

**ECS**

Electrochemical Society

**ESA**

European Space Agency

**FEP**

Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik

**FhG-ISE**

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

**FVS**

Forschungsverbund Sonnenenergie

**FZJ**

Forschungszentrum Jülich

**HMI**

Hahn-Meitner-Institut

**HZB**

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie

**ICVT**

Institut für Chemische Verfahrenstechnik, Universität Stuttgart

**IE Leipzig**

Leipziger Institut für Energie GmbH

**IFW**

Institut für Festkörper- und Werkstoff-Forschung Dresden

**INM**

Leibniz-Institut für Neue Materialien

**IPF**

Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart

**IPV**

Institut für Photovoltaik

**IRDEP**

Institut de Recherche et Développement sur l'Énergie Photovoltaïque, France

**ISEA**

Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe, RWTH Aachen

**ISYS**

Institut für Systemdynamik, Universität Stuttgart

**ITW**

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart

**MPI-MF**

Max-Planck-Institut für Metallforschung

**PSI**

Paul-Scherrer-Institut

**SRON**

Space Netherlands Institute for Space Research

**TFS**

Thermo Fisher Scientific

**UBzM**

Ulmer Brennstoffzellenmanufaktur

**UNIBW**

Universität der Bundeswehr München

**WBZU**

Weiterbildungszentrum Brennstoffzellen Ulm

**WERes**

Würth Elektronik Research GmbH

**Technische Begriffe / Technical Terms****AER**

Absorption-Enhanced Reforming

**CHEOPS**

Climatology of Height-resolved Earth Ozone Profiling System for GOME

**CIGS**

Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid

**CIS**

Kupfer-Indium-Diselenid

**CPV**

Concentrating Photovoltaics

**EEG**

Erneuerbare-Energien-Gesetz

**GDL**

Gas Diffusion Layer

**GOME**

Global Ozone Monitoring Experiment

**HT-PEMFC**

Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle

**MOCVD**

Metal Organic Chemical Vapour Deposition

**NNORSY**

Neural Network Ozone Retrieval System

**PEFC**

Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle

**PEM**

Polymer-Elektrolyt-Membran

**PEMFC**

Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle

**PV**

Photovoltaik

**RE**

Renewable Energy

**SIMS**

Secondary Ion Mass Spectrometer / Sekundärionen-Massenspektrometer

**SNG**

Substitute Natural Gas / Erdgassubstitut

**SNMS**

Neutralteilchen-Massenspektroskopie

**TOVS**

TIROS Operational Vertical Sounder

## Bestellung „Jahrbuch Erneuerbare Energien“

Bestellfax: 0351 / 8 36 01 22

Bestellen Sie das Jahrbuch online, per Fax (0351 / 8 36 01 22) oder senden Sie uns das Formular per Post zu.

Hiermit bestelle(n) ich/wir \_\_\_\_\_ Exemplar(e) des  
**„Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007“**  
 ISBN 978-3-927656-18-5 / E [D] 24,95 / sFr 43,60

Hiermit bestelle(n) ich/wir \_\_\_\_\_ Exemplar(e) des  
**„Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007“ mit CD-ROM**  
 ISBN 978-3-927656-19-2 / E [D] 35,20 / sFr 61,10

Beim Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007 handelt es sich um eine Doppelausgabe der Jahre 04/05 und 06/07, die sich aufgrund der hohen Entwicklungsdynamik im Bereich der Erneuerbaren Energien ergeben hat. Der Textteil steht in gedruckter Form zur Verfügung, der tabellarische Teil ausschließlich auf CD, dort jedoch auch in einem druckfähigen Format.

Hiermit bestelle(n) ich/wir \_\_\_\_\_ Exemplar(e) des  
**„Jahrbuch Erneuerbare Energien 02/03“**  
 ISBN 978-3-927656-16-1 / E [D] 24,95 / sFr 43,60

Hiermit bestelle(n) ich/wir \_\_\_\_\_ Exemplar(e) des  
**„Jahrbuch Erneuerbare Energien 02/03“ mit CD-ROM**  
 ISBN 978-3-927656-17-8 / E [D] 35,20 / sFr 61,90

Hinweis: Jede Jahresausgabe enthält unterschiedliche einmalige Sonderkapitel.

Preise zuzüglich Porto und Verpackungskosten.  
 Bitte liefern Sie die Bestellung gegen Rechnung (Firmenstempel genügt) an:

\_\_\_\_\_  
 Name, Vorname

\_\_\_\_\_  
 Firma

\_\_\_\_\_  
 Straße

\_\_\_\_\_  
 PLZ / Ort

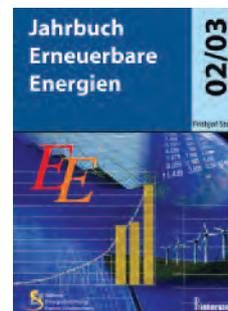
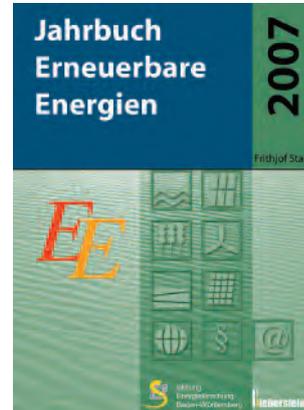
\_\_\_\_\_  
 Telefon / Fax

\_\_\_\_\_  
 E-Mail

\_\_\_\_\_  
 Datum

\_\_\_\_\_  
 Unterschrift

Bieberstein  
 Fachbuchverlag  
 Reichsstraße 19  
 01445 Radebeul



Sie erhalten die Jahrbücher „Erneuerbare Energien“ und weitere Angebote auch über den Buchhandel oder online über [www.jee.info](http://www.jee.info)





Zentrum für Sonnenenergie- und  
Wasserstoff-Forschung (ZSW)  
Baden-Württemberg

Industriestraße 6, 70565 Stuttgart, Deutschland  
Tel.: +49 (0)711 – 78 70-0, Fax: +49 (0)711 – 78 70-100  
[www.zsw-bw.de](http://www.zsw-bw.de)