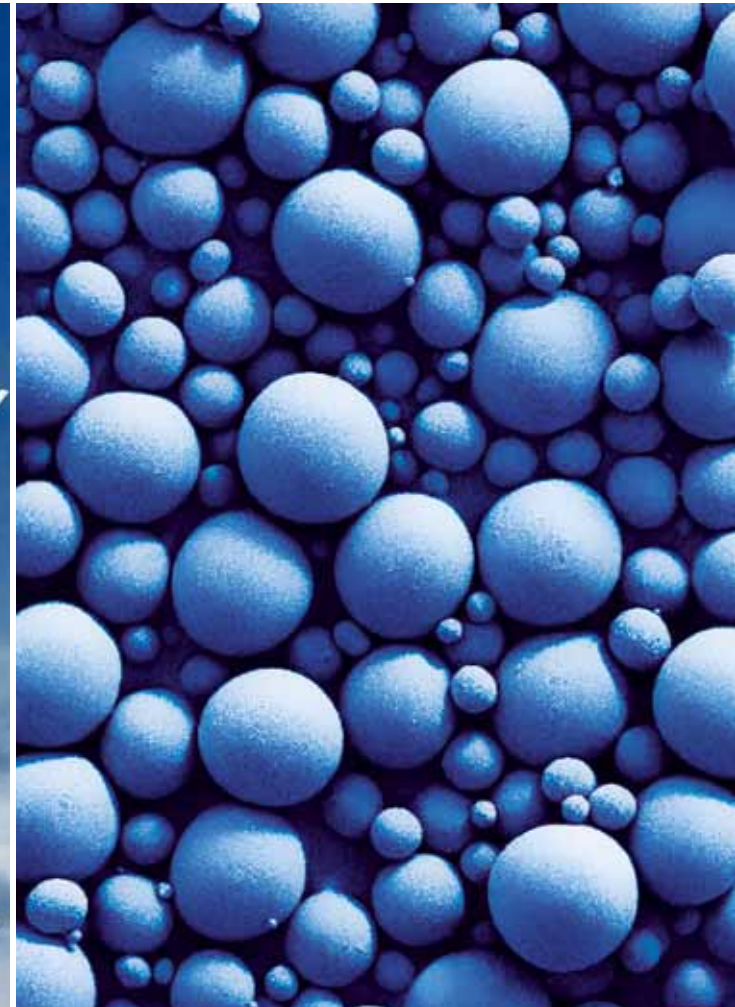




Energie für die Zukunft

Elektrochemische Energiewandlung und Energiespeicherung

Langer Atem wird belohnt	3	Qualität der Fortbildung ist das Markenzeichen	21
Die Universität Ulm leistet mit dem Ausbau der Elektrochemie einen strategischen Beitrag zur Elektromobilität		Das Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle e.V (WBZU) ist ein eingetragener, gemeinnütziger Verein in der Aus- und Weiterbildung sowie Öffentlichkeitsarbeit in den erneuerbaren und innovativen Energietechnologien	
Energie der Zukunft mitgestalten	4	Material auf lange Lebensdauer ausrichten	22
Grundlagenforschung, Anwendung, Wirtschaftskooperationen, Ausbildung		Am ZSW werden Batterien und ihre Komponenten mit einer Fertigungsanlage untersucht, die die Produktionsprozesse der Industrie abbildet	
Weltweite Aufmerksamkeit ist sicher	6	Speicherfrage – die zentrale Herausforderung	24
Die Gründung des Helmholtz-Instituts ist für die Universität Ulm ein großer Gewinn		Erdgassubstitut kann Vollversorgung mit erneuerbaren Energien ermöglichen	
System im Ganzen erfassen	8	„Es kann zurzeit nichts Spannenderes geben, als innovative Materialien zu entwickeln“	25
Erst wenn endgültig alle Details verstanden sind, ist eine gezielte Veränderung der Abläufe in Energiespeichern möglich		Reichweite erhöhen – Forscher aus Industrie und Universität arbeiten gemeinsam an neuen Lösungen	
Vom Modellsystem zur technischen Elektrode	10	„Das Wichtigste ist Verständnis für die jeweils andere Welt“	26
Elektrochemische und elektrokatalytische Reaktionen an komplexen realen Elektroden und unter realistischen Bedingungen		Interview mit Christian Mohrdieck, Director Fuel Cell & Battery Drive Development der Daimler AG in Stuttgart, zur Kooperation mit Ulm	
Materialien mit hohen Oberflächen	12	Nano-Kosmos der Batterie neu erforscht	28
Die chemischen Reaktionen zur Energiewandlung in Batterien und Brennstoffzellen können effizienter ablaufen		Die Universität Ulm setzt auf die Niederspannungs-Transmissionselektronenmikroskopie – einem neuen Trend in der Elektronenmikroskopie mit Nutzen für die Batterieforschung	
Theoretiker können entscheidende Impulse setzen	14	Brennstoffzellen mit Ethanol?	30
Welche einzelnen Reaktionsschritte geschehen in Batterien und Brennstoffzellen? Wie können die ablaufenden Prozesse effizienter gemacht werden?		Ulmer Forscher wissen, in welche Richtung sie forschen müssen	
Großer Nachholbedarf – Produktionslücke in der Batterietechnologie schließen	16	„Wir tun viel, um den Studierenden zu helfen“	32
Interview mit Werner Tillmetz, Vorstandsmitglied des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und Leiter des Geschäftsbereichs am Standort Ulm über aktuelle Entwicklungen im Technologietransfer		Kleine Gruppen, internationale Studiengänge, Absolventenbetreuung – davon profitiert auch die Ausbildung in den Energiewissenschaften	
Überblick	18	Hohe Motivation der Ulmer Nachwuchswissenschaftler	33
Die Grundlagen – langer Atem der Forschung • Das Helmholtz-Institut Ulm für Elektrochemische Energiespeicherung – Brücke in die Zukunft • Eine Auswahl laufender Projekte der Universität Ulm		Forschung verbindet Nationalitäten – Kombination von Experiment und Theorie – Vernetzt denken	
Extrem industrieorientiert	20	Kontakt zu Studierenden ist die Basis – Forschungsexzellenz die Folge	34
Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)		Interview mit Dieter Kaufmann, Kanzler der Universität Ulm, über die Positionierung der Hochschule als Forschungsuniversität	
		Impressum	35

Langer Atem wird belohnt

Die Universität Ulm leistet mit dem Ausbau der Elektrochemie einen strategischen Beitrag zur Elektromobilität

Als eine von wenigen Universitäten in Deutschland haben wir die Elektrochemie – die Basiswissenschaft der Batterietechnologie – in den vergangenen Jahren in unveränderter Stärke weitergeführt. Viele andere Einrichtungen haben ihre Lehrstühle in dieser Zeit abgebaut. Obwohl es sich um eine hochattraktive Technologie handelt, fehlte zwischenzeitlich das Interesse für diese Thematik, denn die Batterieproduktion war aus Deutschland abgewandert. Das industrielle Umfeld verlagerte sich nach Asien, weil dort Geräte wie Notebooks, iPhones oder Tablet-PCs produziert werden, in denen Lithium-Ionen-Batterien zum Einsatz kommen.

Es gab gute Gründe, an der Elektrochemie festzuhalten. Die Ulmer Elektrochemie war von Anfang an mit hervorragenden Professoren besetzt, unter ihnen der kürzlich verstorbene Dieter M. Kolb, der als Nestor der Elektrochemie in Deutschland gilt. Zudem hatte sich das Ulmer Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) durch seine äußerst erfolgreiche anwendungsnahe Erforschung und Entwicklung von Batterie- und Brennstoffzellentechnologien eine europaweit führende Stellung

erworben. Dementsprechend galt es, diese ausgezeichnete Position durch starke universitäre Grundlagenforschung und Ausbildung von hochtalentierten Nachwuchswissenschaftlern zu stützen und zu festigen.

Inzwischen erlebt die Elektrochemie eine Renaissance. Die Batterie ist die Grundlage der Elektromobilität und die Keimzelle für das Internet der Dinge, auch das Internet der Energie. Unseren Vorstellungen zufolge wird Energie in Zukunft masselos verfügbar sein. Das bedeutet, dass sie nicht länger in Form von Benzin oder Diesel mit Tankwagen über die Straßen transportiert, sondern elektrisch über Hochspannungsleitungen verteilt wird. Jedes Auto und jeder Haushalt kann dann über das Stromnetz elektrische Energie kilowattstundenweise erhalten, in Batterien speichern und nach Bedarf zum Fahren, Waschen oder Kochen nutzen. Dabei wird die Leistungsfähigkeit der Batterie die entscheidende Rolle spielen.

Heutige Batteriesysteme sind noch nicht effizient genug. Erforderlich sind vor allem auch Durchbrüche in der Grundlagenforschung.

Dazu möchten wir die elektrochemische Forschung in Ulm deutlich ausbauen, wobei die Einrichtung des neuen Helmholtz-Instituts Ulm für Elektrochemische Energiespeicherung (HIU) nur einen ersten Schritt darstellt. In den nächsten Jahren wollen wir pro Jahr etwa eine Million Euro in neue Lehrstühle investieren. Hinzu kommen Drittmittel in Millionenhöhe, die von den neu berufenen Professoren für Forschungsprojekte von der Industrie oder öffentlichen Förderorganisationen einzuwerben sind.

Wir hoffen, auf diese Weise einen wesentlichen Beitrag leisten zu können, um Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu etablieren. Dieses Themendossier beschreibt die Arbeit und Kompetenz der Universität Ulm auf dem Gebiet der elektrochemischen Energiewandlung und Energiespeicherung.



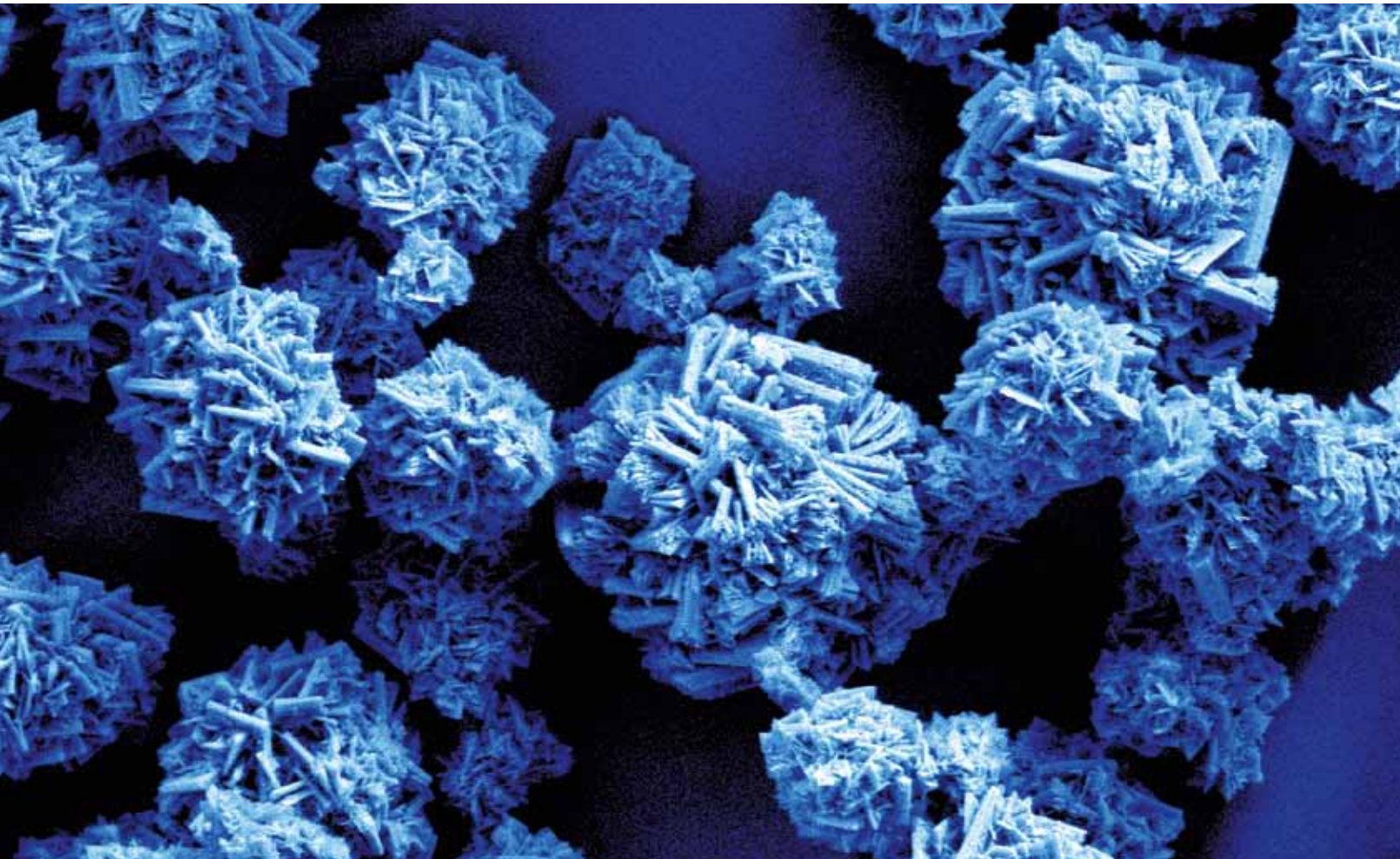
Karl Joachim Ebeling
Präsident der Universität Ulm



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

Energie der Zukunft mitgestalten

Grundlagenforschung, Anwendung, Wirtschaftskooperationen, Ausbildung



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Materialien für die Batterieforschung

Deutschland soll Leitmarkt für Elektromobilität werden – so hat es die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) formuliert. Das Beratungsgremium der Bundesregierung setzt sich aus Vertretern von Industrie, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft zusammen. Gemeinsames Ziel ist es, bis zum Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf die Straße zu bringen. Zu den weiteren Erfordernissen der deutschen Energiewende gehören die Erforschung anderer alternativer Antriebe, wie der Brennstoffzelle, sowie der Ausbau der Infrastruktur, beispielsweise der Stromnetze. Als Forschungsstandort leistet Ulm hier Beiträge gleich auf mehreren Ebenen.

Die Ulmer Elektrochemie ist traditionell besonders stark. Über Jahrzehnte aufgebaut, verfügt die Universität Ulm über eine umfassende Expertise sowohl in der Grundlagen- als auch in der anwendungsorientierten Forschung. Hinzu kommt die Erfahrung in der Industriekooperation, die vor allem beim Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) angesiedelt ist. Das ZSW forscht entlang des gesamten Wertschöpfungsspektrums von Batterien und Brennstoffzellen und kooperiert mit fast allen Unternehmen in Deutschland, die auf diesem Gebiet aktiv sind. Eine weitere Stärke des Standorts Ulm ist die Ausbildung. Die Universität bietet allein

Die zentrale Botschaft lautet: Das Megathema Elektromobilität ist nicht allein auf das Auto zugeschnitten. Alle Formen der Energiewandlung, -speicherung und des -transports gehören dazu. Eine Grundlage, die für die gesamte Wertschöpfungskette wichtig ist, kommt aus der Universität Ulm im Verbund mit ihren Partnern: die Elektrochemie.

im Energietechnikbereich zwei internationale Masterstudiengänge an: „Energy Science and Technology“ und „Advanced Materials“; auch für Mitarbeiter von Unternehmen, die noch einmal an die Hochschule zurückkehren möchten, werden Fortbildungsmöglichkeiten geschaffen. Bei der Entwicklung der Studiengänge haben Unternehmen mitgewirkt, auch darüber hinaus gibt es vielfältige Beziehungen zwischen Universität und industriellem Umfeld. „Wissen aus Projektergebnissen wird von Studierenden und Forschern direkt in die Firmen transferiert. Umgekehrt bereichern Lehrende aus der Industrie die Vorlesungen und Seminare der Universität“, erklärt Karl Joachim Ebeling, Professor für Physik und Präsident der Universität.

Im Zentrum zahlreicher Forschungsvorhaben steht die Batterie, die Schlüsselkomponente nicht nur des Elektroautos, sondern auch einer möglichen dezentralen Stromspeicherung in den Haushalten. In erster Linie geht es darum, die Leistung und die Lebensdauer der Batterie zu steigern und die Herstellungskosten zu senken. Das Aufladen der Batterie beispielsweise im Elektroauto an einer normalen Steckdose dauert

derzeit vier bis fünf Stunden. Gegenwärtig liegt zudem die Reichweite bei circa 150 Kilometern. Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten arbeiten intensiv an einem größeren Radius. Ein Forschungskonsortium unter Beteiligung der BASF arbeitet an Fragen hinsichtlich einer verbesserten Reichweite.

Nachdem Batterien und Brennstoffzellen jahrzehntelang eher als Domäne der anwendungsorientierten Forschung galten, sind sie inzwischen wieder Thema der Grundlagenforschung. Voraussetzung hierfür bilden die Forschungsfortschritte der letzten Jahre, die es ermöglichen, elektrochemische Prozesse bis ins Detail aufzuklären. So wurden unter anderem neue theoretische Modelle und Computerprogramme erstellt, die Vorgänge auf atomarer und molekularer Ebene simulieren können. In Ulm arbeiten Theoretiker und Experimentatoren zusammen, um herauszufinden, wie Prozesse im Nanobereich die Batterie als Ganzes beeinflussen. Auf diese Weise wird eine bereits laufende Versuchsplanning möglich. Um auch kleinste Defekte im Material aufzuspüren, entwickeln die Ulmer zurzeit gemeinsam mit dem Industriepartner Zeiss ein

besonderes Mikroskop – ein Niederspannungs-Transmissionselektronenmikroskop. Damit lassen sich Strukturen erfassen, deren Größe unter 0,2 Nanometer liegen – was einer Revolution in der Forschung gleichkommt. Die Struktur eines Materials ist deswegen so relevant, weil sie die Prozesse bestimmt, die durch den jeweiligen Stoff ausgelöst werden. Veränderungen im Material verändern auch die Reaktionen. Wer also in chemische Vorgänge gezielt eingreifen will, muss erst die Beschaffenheit des Materials genau kennen, um dann Abwandlungen vornehmen zu können.

Die deutsche Industrie investiert etwa 17 Milliarden Euro allein in Forschung und Entwicklung rund um die Elektromobilität. Ein Ziel ist es, die Batterieherstellung in Deutschland aufzubauen, da die Autohersteller diejenigen Zulieferer bevorzugen, die vor Ort sitzen. Mit ihnen können sie sich leichter abstimmen. Ergänzend fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) den Aufbau einer Pilotfertigung für Lithium-Ionen-Batterien in Ulm. Unter Beteiligung von 25 Unternehmen, darunter BASF, VARTA, Evonik und Forschungsinstitutionen wird die Anlage am ZSW eingerichtet. Ziel ist es unter anderem, neu entwickelte Produktionsverfahren, Materialien, Komponenten und Anlagenteile auf die industrielle Serienfertigung zu übertragen. „Leistungsfähige und bezahlbare Batterien sind eine zentrale Voraussetzung für alltagstaugliche Elektrofahrzeuge. Die künftige Pilotproduktionsanlage in Ulm ist ein großer Schritt in Richtung

Elektromobilität“, erklärt Bundesforschungsministerin Annette Schavan.

Ein Pilotprojekt ganz anderer Art haben die Ulmer Stadtwerke in Kooperation mit Daimler gestartet: car2go ist ein Car-Sharing-Modell, bei dem Nutzer ein Auto in etwa zum Preis eines Bustickets für einzelne Fahrten mieten können. Martin Müller, Professor für Nachhaltigkeit an der Universität Ulm, hat sich mit dem Verhalten der Autoleaser beschäftigt: „Wir haben untersucht, wie sich die Wege der Leute und ihr Mobilverhalten verändern. Dabei waren wir positiv überrascht. Gerade bei den Jüngeren lässt sich ein Mentalitätswandel beobachten. Junge Leute, die vielleicht vor wenigen Jahren noch Wert auf das erste eigene Auto gelegt haben, sind offen für neue Konzepte und lassen sich gerne auf Car-Sharing ein.“ car2go ist wegen der hohen Fahrleistungen und moderaten Reichweite prädestiniert für batterieelektrische Fahrzeuge. Inzwischen gehören in Ulm auch E-Smarts zur Flotte. Eine ganze Reihe weiterer Städte hat Interesse an Sharing-Projekten angemeldet.

Kristin Mosch, Redaktion Themendossier



Das neue Helmholtz-Institut Ulm für Elektrochemische Energiespeicherung als Computeranimation

„Über das Helmholtz-Institut Ulm haben wir Zugang zu Programmen und Fördermitteln der Helmholtz-Gemeinschaft.“

Peter Bäuerle

Weltweite Aufmerksamkeit ist sicher

Die Gründung des Helmholtz-Instituts ist für die Universität Ulm ein großer Gewinn

Die Entwicklung effizienter Batteriesysteme für die Energieversorgung und Mobilität der Zukunft ist Aufgabe des neuen Helmholtz-Instituts Ulm für Elektrochemische Energiespeicherung (HIU). Träger des HIU ist das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), das in Kooperation mit der Universität Ulm die Einrichtung gegründet hat. Als assoziierte Partner fungieren das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Die Gründung des HIU bringt der Universität Ulm zahlreiche Vorteile.

„Über das HIU haben wir Zugang zu Programmen und Fördermitteln der Helmholtz-Gemeinschaft“, erklärt Peter Bäuerle, Professor für Chemie und Vizepräsident für Forschung der Universität Ulm. „Hinzu kommt die größere Sichtbarkeit, die wir hiermit gewinnen und die bereits zu Nachfolgeinvestitionen geführt hat.“

So soll jetzt unter der Leitung des ZSW eine Pilotfertigungsanlage für Batterien auf dem Oberen Eselsberg, dem Standort der Wissenschaftsstadt Ulm, angesiedelt werden, finanziert durch das Bundesministerium für Bildung und

Forschung (BMBF), das Land Baden-Württemberg und die Industrie.

Die Universität Ulm investiert viel, um außer-universitäre Institute auf den Campus zu holen. Neben den Synergien, die dadurch entstehen, sind solche Kooperationen inzwischen auch ein wichtiges Kriterium für die Bewilligung von Drittmitteln. „Heutzutage sind die Chancen auf Erfolg umso besser, je größer der Verbund ist, in dem man arbeitet“, erläutert Bäuerle. Der klare Fokus des HIU ist die Erforschung der Grundlagen für leistungsfähige Batterien und Batteriesysteme für die Elektromobilität der Zukunft. Dabei liegen die Schwerpunkte auf den Feldern „Elektrochemische Grundlagenforschung“, „Materialforschung“, „Theorie und Modellierung (elektro)chemischer Prozesse“ sowie übergreifende „Systembetrachtungen“. Darüber hinaus werden Analysemethoden zur Erforschung der Prozesse während des Lade- und Entladevorgangs entwickelt.

Als Helmholtz-Einrichtung wird das HIU über das KIT zu 90 Prozent vom BMBF und zu zehn Prozent vom Land Baden-Württemberg finanziert. Die Förderung des DLR-Anteils erfolgt über das

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Das Budget des neuen Instituts beträgt in etwa 6,5 Millionen Euro pro Jahr. Mit den Geldern werden unter anderem drei neue Professuren – eine davon durch das DLR gefördert – eingerichtet und mehr als 30 Mitarbeiter eingestellt. Rund 50 weitere Forscher sollen über Drittmittelprojekte finanziert werden. Gemeinsam mit der Universität Ulm errichtet das Land einen Neubau für zwölf Millionen Euro in der Wissenschaftsstadt, in dem ab Ende 2013 etwa 80 bis 90 Beschäftigte Platz finden werden.

Die Helmholtz-Institute sind ein besonderes Instrument der Helmholtz-Gemeinschaft. Ziel ist es, auf diese Weise die Zusammenarbeit mit Universitäten zu fördern. Jedes Institut wird als Außenstelle eines regulären Helmholtz-Zentrums auf dem Campus einer Hochschule angesiedelt; die Mitarbeiter des Instituts sind beim jeweiligen Zentrum angestellt – im Fall des HIU beim KIT. Die leitenden Wissenschaftler werden von der Universität und dem KIT unter Beteiligung der assoziierten Partner gemeinsam berufen. Weil die Besetzung von Professuren üblicherweise einige Zeit in Anspruch nimmt und das HIU aber wiederum sofort seine Arbeit aufnehmen sollte, sind zusätzlich von außen betreute Arbeitsgruppen installiert. Das heißt, die Mitarbeiter forschen im HIU und der zugehörige Professor arbeitet entweder an der Universität, am KIT, ZSW oder am DLR.

Nach einer Vorbereitungs- und Antragsphase von nahezu zwei Jahren, die offiziell mit einer

Unterzeichnung einer Absichtserklärung durch die Universität Ulm, das KIT, das ZSW und das DLR zur intensiven Zusammenarbeit auf dem Gebiet der elektrochemischen Energiespeicherung im August 2009 startete, fand im November 2010 eine internationale Begutachtung der wissenschaftlichen Projekte und des Gesamtprojekts in Ulm statt. Nach einem positiven Votum der Gutachtergruppe beschloss der Senat der Helmholtz-Gemeinschaft im Dezember 2010 die Einrichtung des HIU, das im Januar 2011 seine Arbeit aufnahm. Bei der Auftaktveranstaltung im Januar hoben Bundesforschungsministerin Annette Schavan und der damalige baden-württembergische Ministerpräsident Stefan Mappus die Bedeutung der vorgesehenen Forschungsarbeiten am HIU und KIT für den Technologie- und Wirtschaftsstandort Deutschland und insbesondere Baden-Württemberg mit seinem starken Automobilsektor hervor.

Eigentlich sieht die Helmholtz-Gemeinschaft vor, Helmholtz-Institute nur in Bundesländern einzurichten, in denen es noch keine Helmholtz-Einrichtungen gibt. Für Ulm wurde nach der Einrichtung von drei ersten Helmholtz-Instituten in Saarbrücken, Jena und Mainz eine Ausnahme gemacht: Die Thematik hatte Vorrang. Neben der vorhandenen Expertise und anerkannten Stärke auf dem Gebiet der elektrochemischen Energiespeicherung mit besonderer Betonung der Batterietechnologie lag ein weiteres Argument pro Ulm in dem Studienangebot. Dabei spielten sowohl die etablierten Studiengänge

„Heutzutage sind die Chancen auf Erfolg umso besser, je größer der Verbund ist, in dem man arbeitet.“
Peter Bäuerle

in den Natur- und Ingenieurwissenschaften eine wichtige Rolle als auch die beiden englischsprachigen Masterstudiengänge „Energy Science and Technology“ und „Advanced Materials“. Die Ausbildung von hochqualifiziertem wissenschaftlichem und technischem Nachwuchs ist ein besonderes Anliegen der Helmholtz-Gemeinschaft. Mit Blick auf den dringend benötigten wissenschaftlichen Nachwuchs in der Batterieforschung plant das HIU auch den Aufbau eines Graduiertenkollegs. In den Helmholtz-Instituten forschen hauptsächlich Doktoranden und Postdocs.

Die Gründung des HIU in Ulm hat weltweit Aufmerksamkeit erregt. „Nach der Einweihung haben wir sogar E-Mails mit Bewerbungen von Leuten aus den USA erhalten, die sofort mitmachen wollten“, berichtet Bäuerle.



Prof. Dr. Peter Bäuerle, Vizepräsident für Forschung



System im Ganzen erfassen

Erst wenn endgültig alle Details verstanden sind, ist eine gezielte Veränderung der Abläufe in Energiespeichern möglich

Bei der Multiskalen-Modellierung wird das Geschehen innerhalb der Energiespeicher auf allen Ebenen untersucht: von der kleinsten sub-atomaren Dimension über die Nano- und Mikroebene bis hin zum realen System. Dabei berechnen die Forscher die Prozesse auf den einzelnen Ebenen mit jeweils unterschiedlichen Methoden, um sie anschließend miteinander zu verknüpfen. Ziel ist es herauszufinden, wie die Elementarprozesse das Funktionieren von elektrochemischen Systemen – wie zum Beispiel Batterien – insgesamt steuern.

Die Kenntnis dieser Zusammenhänge ist wichtig, denn nur ein Verständnis auch der Details ermöglicht ein zielgerichtetes Eingreifen – jenseits des Versuch- und Irrtumverfahrens. „Wir sind bestrebt, das System als Ganzes zu prüfen“, erklärt Timo Jacob, Professor und Leiter des Instituts für Elektrochemie an der Universität Ulm, das sowohl über experimentelle als auch theoretische Expertise verfügt. „Das ist ein Ansatz, der erst durch die Forschungsfortschritte der letzten Jahre überhaupt möglich geworden ist. Voraussetzung war die Entwicklung geeigneter theoretischer Methoden und ihre Umsetzung in effizienten Computerprogrammen.“

Der Wunsch, Fragen der Batterietechnologie durch den Rückbezug auf die atomare Ebene zu



In Ulm wurden unter anderem neue theoretische Modelle und Computerprogramme geschaffen, die atomare und molekulare Ebenen abbilden können, mit dem Ziel, Prozesse im Nanobereich der Batterie zu beeinflussen.

lösen, entstand in Jacob bei einem Forschungsaufenthalt in den USA. „Nachdem ich zunächst in Deutschland promoviert und mich dabei rein auf der Nanoebene bewegt hatte, bin ich als Postdoc an das California Institute of Technology gegangen und habe dort an einem Industrieprojekt mitgearbeitet. Forschung in den USA ist häufig sehr anwendungsbezogen. Dies hat den Vorteil, dass man den Kontakt zur Realität nicht verliert. Andererseits sind die Projektlaufzeiten deswegen auch relativ kurz, üblicherweise ein Jahr. In meinem Projekt ging es um die Verbesserung der Brennstoffzelle. Dabei wurde schnell klar, dass für eine Optimierung der Technologie zuerst die Elementarprozesse auf atomarer Ebene aufgelöst werden müssen, was aber in den üblichen Projektlaufzeiten nur teilweise realisiert werden kann. In dieser Hinsicht sind wir in Deutschland wirklich in einer einmaligen Situation – wir haben die Zeit und die Mittel, auch langfristige Grundlagenprojekte aufzulegen, ohne Druck seitens der Universität oder der Drittmittelgeber, schnell zu Ergebnissen, beispielsweise in Form von Patenten, zu gelangen. Dennoch ergeben sich dabei häufig interessante und erfolgversprechende Innovationen.“

Der Bereich, den Jacob und seine Mitarbeiter sich ansehen, ist die Grenzschicht zwischen Elektrode und Elektrolyt – das sind wichtige Bestandteile sowohl in Batterien als auch in Brennstoffzellen. Durch das Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen Elektrode und Elektrolyt werden in der Batterie elektrochemi-

sche Reaktionen zur Energieumwandlung oder -speicherung ausgelöst. Was dabei genau passiert, ist noch weitgehend unerforscht. Dabei ist gerade das Verständnis dieser Prozesse wichtig für eine gezielte Steuerung des Gesamtsystems.

Wenn die Forscher ein Ereignis im Nanobereich verstanden haben, dann beobachten sie im nächsten Schritt, wie sich der gleiche Vorgang auf der nächsthöheren Stufe, beispielsweise auf der Mikroebene, darstellt. Die Gleichungen, die die Prozesse innerhalb einer bestimmten Zeit- und Längenskala angemessen beschreiben, können sich beim Wechsel der Ebenen verändern. So unterliegen Nanoteilchen zwar denselben physikalischen Gesetzen wie größere Teile desselben Stoffes, ihre Eigenschaften sowie ihre Interaktion mit äußeren Einflüssen erfordern aber andere Gleichungen. „Der Vorteil der atomaren Ebene besteht darin, dass man hier Effekte sehr genau untersuchen kann – ohne große Näherungen“, sagt Jacob. „Die Resultate, die wir hier erhalten, dienen dann als Ausgangsdaten für Berechnungen auf der nächsthöheren Stufe. Und umgekehrt werden von den Ergebnissen der nächsthöheren Ebene wieder Rückschlüsse auf die atomare Dimension gezogen und die dort eingesetzten Modelle entsprechend überprüft und eventuell modifiziert.“ Für diesen Forschungsansatz wird Expertise auf jeder Ebene benötigt.

Nun liefert im Grunde jeder Bereich für sich bereits genügend Fragen. „Sicherlich kann man



Prof. Dr. Timo Jacob

sich komplett auf die Prozesse der Nanoskala beschränken. Ist man allerdings vom Realsystem getrieben, reicht die Kenntnis einer einzigen Ebene eben nicht mehr“, so Jacob. Für Projekte, wie sie die Ulmer Forscher durchführen, müssen Experten für jede Größenordnung – Nano, Mikro, Meso, und Makro – zusammenkommen und darüber hinaus sowohl Theoretiker als auch Experimentatoren.

Diese Expertise wurde in Ulm über Jahrzehnte aufgebaut. „Mein Vorgänger am Institut, Prof. Dr. Dieter M. Kolb, war einer der angesehensten Experimentatoren in der Elektrochemie überhaupt und hat dieses Gebiet in den letzten Jahrzehnten maßgeblich mitgestaltet; ich selbst

„Am Institut versuchen wir, elektrochemische Effekte durch die Verbindung von experimentellen Messungen und multiskaligen Simulationen zu verstehen.“
Timo Jacob

habe als Theoretiker begonnen, beschäftige mich nun aber auch mit elektrochemischen Experimenten“, erklärt Jacob. „Am Institut versuchen wir, elektrochemische Effekte durch die Verbindung von experimentellen Messungen und multiskaligen Simulationen zu verstehen. Gerade für solch komplexe Systeme ist diese Kombination besonders wichtig, um basierend auf dem Verständnis der Elementarprozesse an wohldefinierten Systemen Rückschlüsse auf reale Anwendungen zu ziehen.“ Oft ist es auch so, dass die Methoden, die Jacobs Arbeitsgruppe braucht, noch gar nicht existieren und erst von Theoretikern und Experimentatoren gemeinsam entwickelt werden müssen. Jacob weiter: „Das geht nur, indem man miteinander redet. Hier hebt sich der Standort Ulm aufgrund der hohen Dichte an Wissenschaftlern, die an elektrochemischen Systemen arbeiten und interessiert sind, von vielen anderen Universitäten ab.“

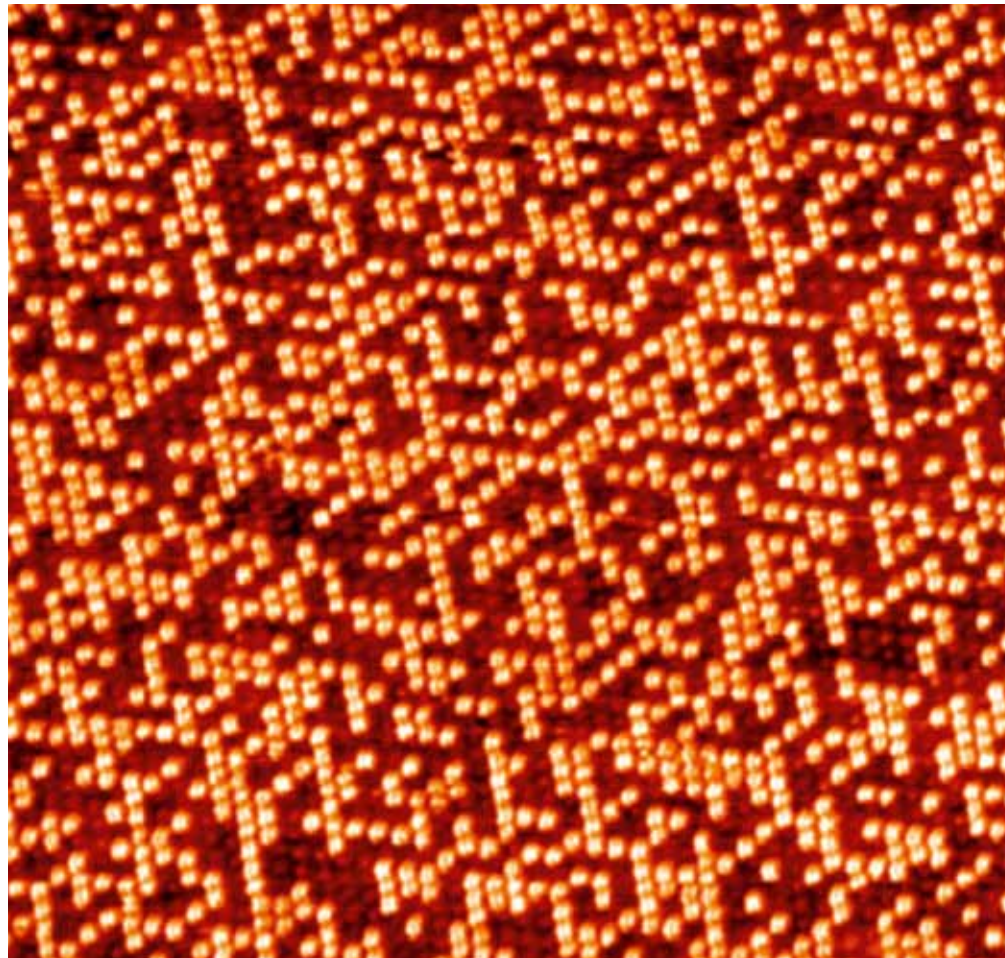
Forscher, die in ähnlicher Weise wie die Ulmer Wissenschaftler am ganzen System arbeiten, gibt es weltweit nur an wenigen Einrichtungen.

Vom Modellsystem zur technischen Elektrode

Elektrochemische und elektrokatalytische Reaktionen an komplexen realen Elektroden und unter realistischen Bedingungen

Ein Fernziel der elektrochemischen Forschung lautet: den Ablauf elektrochemischer und elektrokatalytischer Prozesse auf komplexen realistischen Elektrodenoberflächen zu beschreiben. Diese Arbeit soll auf atomarer beziehungsweise molekularer Skala erfolgen. Aufbauend auf Untersuchungen an idealisierten Modellelektroden mit definierter Struktur und unter idealisierten Bedingungen, die derartige Einsichten ermöglichen, wird dann schrittweise auf realistischere Materialien und Reaktionsbedingungen übergegangen. Die Ergebnisse sind sowohl für die Batterien- als auch die Brennstoffzellentechnologie wichtig.

„Wir wollen zum einen die Wechselwirkung von Elektrodenmaterialien mit dem Elektrolyten ganz grundsätzlich verstehen, zum anderen die beim schrittweisen Übergang auf reale, technische Materialien und Reaktionsbedingungen auftretenden Effekte“, erklärt Jürgen Behm, Professor für Physikalische Chemie und Leiter des Instituts für Oberflächenchemie und Katalyse der Universität Ulm. „Deshalb reichen unsere Arbeiten auch von Untersuchungen auf atomarer Skala, die an Modellelektroden mit bekannter Oberflächenstruktur und unter idealisierten Bedingungen durchgeführt werden, bis hin zu Untersuchungen an realen Katalysatoren und unter realistischen Reaktionsbedingungen,



Hochauflöstes Rastertunnelmikroskop-Bild einer Elektrodenoberfläche, auf der die einzelnen Atome zweier verschiedener Arten sichtbar sind

„Uns interessiert zum einen das grundsätzliche Verständnis der Wechselwirkung von Elektrodenmaterialien mit dem Elektrolyten, zum anderen die beim schrittweisen Übergang auf reale, technische Materialien und Reaktionsbedingungen auftretenden Effekte.“
Jürgen Behm

ähnlich denen in einer realen Batterie oder Brennstoffzelle.“

Ein Beispiel ist die Elektrode einer Batterie. Die Oberfläche der Elektroden, wie sie auch in der Brennstoffzelle eingesetzt werden, ist mit einem Katalysator beschichtet. Als Katalysatormaterial wird üblicherweise eine Kombination aus Platin und Kohlenstoffpartikeln verwendet. Die Kohlenstoffpartikel dienen als Trägermaterial für noch viel kleinere ‚Nanoteilchen‘ aus einem katalytisch aktiven Platin.

Von den Größenverhältnissen her kann man sich die Kohlenstoffpartikel wie Fußbälle vorstellen,

auf denen kleine Murmeln aus Platin kleben. Weil die elektrochemische Reaktion in der Zelle durch den Kontakt mit der katalytisch aktiven Platin-Oberfläche ausgelöst wird, sollte diese so groß wie möglich sein. Nanopartikel haben den Vorteil, dass sie zu einem wesentlichen Teil aus Oberfläche bestehen. Wenn ein Teilchen drei Nanometer Durchmesser hat, dann befinden sich 30 Prozent seiner Atome an der Oberfläche. Zum Vergleich: Bei einem Würfel von einem Millimeter Kantenlänge liegt nur jedes millionste Atom an der Oberfläche, während der Rest nutzlos im Inneren ‚vergraben‘ ist. Jürgen Behm weiter: „Wenn ich Teilchen nehme, die kleiner als drei Nanometer sind, habe ich sogar noch mehr Atome an der Oberfläche. Allerdings sind diese Teilchen häufig instabil und können klumpen.“

Zudem unterscheiden sich die chemischen und elektrochemischen Eigenschaften sehr kleiner Partikel von denen größerer Partikel; unter anderem auch in ihrer katalytischen Aktivität. Damit ist die Fähigkeit gemeint, den Ablauf einer Reaktion zu beschleunigen. Je kleiner die Menge eines Katalysators ist, die notwendig ist, um beispielsweise 20 Liter Sauerstoff pro Minute zu reduzieren, desto aktiver ist er. Für die Sauerstoffreduktion an Platinkatalysatoren hat sich eine Größenordnung von drei bis vier Nanometern für den Durchmesser der Platinpartikel als am günstigsten erwiesen. „Hier ist, als eine Quintessenz von zwei Jahrzehnten Grundlagenforschung, das Optimum an Aktivität und Oberfläche erreicht“, so Behm.

Besonders interessiert ist Behms Forschergruppe daran, was passiert, wenn komplexe, aus mehreren Komponenten bestehende Materialien als Katalysatoren eingesetzt werden, beispielsweise eine Platinlegierung, also eine Verbindung aus Platin und einem weiteren Metall. Hierfür wird nicht gleich unter tatsächlichen technischen Reaktionsbedingungen experimentiert, sondern zunächst an Modellen, an Kristallen, in denen die Atome ganz gleichmäßig angeordnet sind.

Hierzu hat Behms Gruppe Verfahren entwickelt, mit denen perfekte, ultradünne Schichten dieser Materialien hergestellt werden können, die anschließend auf ihre elektrochemischen und elektrokatalytischen Eigenschaften untersucht werden.

Neben der Menge der einzelnen Komponenten ist auch deren Verteilung an der Oberfläche entscheidend. „Wie die vorliegt, sehen wir uns in speziellen Rastertunnelmikroskopen an, die die einzelnen Atome und sogar die unterschiedlichen Arten auflösen (siehe Abbildung)“, erklärt Behm. „Zum Beispiel könnte sich herausstellen, dass A-Atome vorzugsweise weitere A's als Nachbarn haben. Oder hauptsächlich B-Nachbarn. Oder beide mischen sich gleichmäßig. Das ist für die Chemie jeweils eine andere Situation, weil die Anordnung der Atome die elektrochemischen Eigenschaften bestimmt.“ Durch Korrelation der Oberflächenverteilungen mit den elektrochemischen und elektrokatalytischen Eigenschaften lassen sich die entsprechenden



Prof. Dr. Jürgen Behm

Eigenschaften einzelner atomarer Anordnungen ableiten.

Die Ergebnisse dieser sehr aufwendigen Experimente können dann als Vergleich für theoretische Untersuchungen dienen, in denen die elektrochemischen und elektrokatalytischen Eigenschaften von Oberflächen mit exakt diesen Strukturen berechnet werden. Damit sind erstmals auch elektrochemische und elektrokatalytische Prozesse an komplexen, mehrkomponentigen Elektrodenoberflächen zugänglich.

Näher dran an realistischen Materialien und Situationen sind Untersuchungen an ultradünnen Filmen aus technischen Katalysatoren. Hier werden mit Hilfe von elektrochemischen Messungen und gleichzeitigen spektroskopischen Messungen vielfältige Informationen über den

Reaktionsablauf, aber auch über Veränderungen des Katalysators mit der Zeit erhalten. Damit lassen sich adsorbierte Zwischenprodukte und im Elektrolyten gelöste Produkte nachweisen, die zu einem detaillierten Bild des Reaktionsablaufs und -mechanismus führen. Andererseits können in solchen Messungen auch Korrosionsprodukte von Kohlenstoffelektroden oder Batterieelektrolyten nachgewiesen werden, was enorm wichtig ist für das Verständnis der Alterung von Batterien und Brennstoffzellen.

Forschung dieser Art zielt darauf ab, das an idealisierten Modellen und unter vereinfachten Bedingungen gewonnene Verständnis der bei den elektrochemischen und elektrokatalytischen Reaktionen ablaufenden molekularen Prozesse schrittweise auf technische Materialien und Bedingungen zu übertragen. Dies sind die Grundlagen dafür, die entsprechenden Vorgänge in realen Batterien und Brennstoffzellen vollständig zu verstehen. Das wiederum ist die Voraussetzung für gezielte Fortentwicklungen.

„So wie es eine Bandbreite verschiedener Antriebsformen – Batterie, Brennstoffzelle, Hybrid, Erdgas, 3-Liter-Motor – geben wird, so werden sich auch die Nutzergewohnheiten ausdifferenzieren: von Car-Sharing-Modellen bis hin zu den momentan dominanten individuell genutzten Fahrzeugen. Das Auto der Zukunft wird vielfältig sein“, glaubt Behm.

Materialien mit hohen Oberflächen

Die chemischen Reaktionen zur Energiewandlung in Batterien und Brennstoffzellen können effizienter ablaufen



Die Leistungssteigerung von Batterien und Brennstoffzellen profitiert von Nanomaterialien. Sie gelten als vielversprechende Kandidaten zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit. Dennoch bestehen einige fundamentale Fragestellungen, die bis heute nicht ausreichend erforscht sind. Hieran arbeitet ein Forschungsschwerpunkt in der Anorganischen Chemie an der Universität Ulm.

In den letzten Jahren wurden bei Batterien und Brennstoffzellen generell große Fortschritte erzielt. Für einen dauerhaften Erfolg sind jedoch noch viele Weiterentwicklungen notwendig. Für diesen Schritt ist die Entwicklung neuer Materialien entscheidend. Hierbei stehen nicht nur die Effektivität und Langzeitstabilität im Fokus der Forschung, sondern auch kostengünstige und umweltverträgliche Herstellungsverfahren und Materialien für die Energiemärkte der Zukunft.

Zusätzlich zur chemischen Zusammensetzung und zur Kristallinität ist die Strukturierung der Werkstoffe im Nanometerbereich ein immer wichtiger werdendes Werkzeug zur Verbesserung der Leistung. „Genau hier setzt eines unserer Forschungsgebiete an“, sagt Mika Lindén, Professor für Anorganische Chemie an der Universität Ulm. „Im Zentrum unserer Arbeit steht die Herstellung von hochporösen im

Im Mittelpunkt der Arbeit der Anorganischen Chemie in Ulm steht die Herstellung von hochporösen im Nanometerbereich strukturierten oder nanopartikularen Materialien.



Prof. Dr. Mika Lindén



Ein typischer Stickstoff-Sorptionsisotherm für ein mesoporöses Material

Nanometerbereich strukturierten oder nanopartikulären Materialien.“ Durch den Einsatz verschiedener Templateverfahren lassen sich Nanomaterialien, zum Beispiel auf Metalloxid- oder Kohlenstoffbasis, synthetisieren, die oft eine sehr hohe spezifische Oberfläche und eine enge Porengrößenverteilung aufweisen.

In der Energiespeicherung wird von beiden Materialien ein großes Potenzial erwartet. Allerdings weisen diese nanostrukturierten Materialien Eigenschaften auf, die sich von denen eines üblichen Feststoffmaterials unterscheiden: So wurden in letzter Zeit unter anderem der Einfluss der Kristallgröße auf die

magnetischen Eigenschaften, das Schmelzverhalten und die optischen Eigenschaften umfassend untersucht. Allerdings gibt es bis heute kaum Erkenntnisse über die Auswirkungen von Änderungen im Nanometerbereich auf die elektrischen Eigenschaften dieser Materialien. Dies betrifft speziell den Einsatz in Batterien.

Zu den wegweisenden Fragen der aktuellen Forschung zählen: Welchen Einfluss hat die Kristallitgröße auf die chemische Reaktivität von Nanomaterialien? Wie wirken sich die Partikelgröße und die Größenverteilung auf den Ladungstransport und den optimalen Ladungsfluss aus?

Ein weiterer Aspekt ist die Verteilung von Nanopartikeln in Kompositwerkstoffen. Dies betrifft insbesondere die Frage, inwieweit diese Verteilung bei Verbundwerkstoffen kontrolliert verändert werden kann.

Nanomaterialien haben eine große spezifische Oberfläche. Das führt zu einer hohen Oberflächenenergie. Da die Natur die Energie immer minimieren möchte, folgt daraus häufig eine ausgeprägte Ansammlung der Nanopartikel. Im schlimmsten Fall können dadurch die mit den Nanomaterialien verbundenen Vorteile verloren gehen. „Dies sind einige der brennendsten Fragen, die ich mit meinen Kollegen hier in Ulm

„Zusätzlich zur chemischen Zusammensetzung und zur Kristallinität ist die Strukturierung der Werkstoffe im Nanometerbereich ein immer wichtiger werdendes Werkzeug zur Verbesserung der Leistung.“
Mika Lindén

untersuchen möchte“, fasst der Wissenschaftler Lindén zusammen.

„Die kurzen Wege und die umfangreichen Laborausstattungen, die an der Universität Ulm verfügbar sind, sowie die unkomplizierte Zusammenarbeit mit anderen Instituten sind wichtige Faktoren, um schnelle Fortschritte in diesem überaus interdisziplinären Forschungsfeld zu ermöglichen.“

Theoretiker können entscheidende Impulse setzen

Welche einzelnen Reaktionsschritte geschehen in Batterien und Brennstoffzellen? Wie können die ablaufenden Prozesse effizienter gemacht werden?

Die Grenzfläche zwischen Elektrode und Elektrolyt ist wesentlicher Forschungsgegenstand der Elektrochemie. Prozesse, die hier ablaufen, spielen eine wichtige Rolle bei der Umwandlung und Speicherung von Energie in Batterien und Brennstoffzellen. Dabei eröffnet die Kooperation zwischen Theoretikern und Experimentatoren neue Perspektiven.

„Noch vor wenigen Jahren sah die Zusammenarbeit so aus, dass die Experimentatoren Messungen machten und dann zu den Theoretikern kamen und sagten ‚Wir haben das und das gemacht, dabei ist dies und jenes herausgekommen: Jetzt erklärt uns das mal!‘“, sagt Axel Groß, Professor für Theoretische Chemie und Sprecher der DFG-Forscherguppe „Elementare Reaktionsschritte in der Elektrokatalyse“ an der Universität Ulm. „Inzwischen kann die Reihenfolge auch umgekehrt sein. Die Theoretiker können den ersten Schritt machen, indem sie die zentralen Fragen definieren, entsprechende Systeme modellieren und somit die Forschungsrichtung vorgeben. Im Experiment werden die Voraussagen dann überprüft. Dabei kommt es besonders darauf an, geeignete Größen zu finden, um Theorie und Experiment miteinander vergleichen zu können.“

Untersucht werden die einzelnen Schritte, die in Batterien und Brennstoffzellen bei der elektrochemischen Energiespeicherung und -wandlung stattfinden, wobei die dabei freiwerdende Energie Strom erzeugt. Auch wenn an Batterie- und Brennstoffzellen schon seit Jahrzehnten geforscht

wird, konnten zahlreiche Vorgänge auf molekularer Ebene bisher nicht aufgeklärt werden. Bereits für ganz einfache Zwischenschritte gibt es unterschiedliche Modelle, die kontrovers diskutiert werden. Was fehlte, waren sowohl tragfähige Theorien als auch geeignete Technologien, um die Elementarschritte aufzuklären. Inzwischen existieren jedoch sowohl die notwendigen Computerprogramme als auch eine Reihe neuer mikroskopischer und spektroskopischer Verfahren. So ist es beispielsweise durch die Rastertunnelmikroskopie möglich geworden, Moleküle an der Elektrodenoberfläche zu erfassen. Rastertunnelmikroskope werden für die Dimensionen eingesetzt, in denen Lichtmikroskope nicht mehr weiterhelfen. Das ist immer dann der Fall, wenn es um Teilchen geht, die kleiner sind als die Wellenlänge des Lichtes. Ohne Licht kann das Auge nicht sehen, auch nicht mit dem besten Mikroskop. Deswegen müssen diese kleinsten Teilchen auf andere Weise gemessen werden. Ein Rastertunnelmikroskop erfasst Strukturen durch eine Form des Abtastens, allerdings ohne sie direkt zu berühren. Die Spitze des Mikroskops, die an ihrem vordersten Ende selbst nur wenige



Prof. Dr. Axel Groß

Atome groß ist, schwebt dabei etwa einen Nanometer (ein milliardstel Meter) über der jeweiligen Probe. Dazwischen fließt Strom, der sich entlang der Anordnung der Moleküle verändert. Diese Veränderungen übersetzt das Rastertunnelmikroskop dann in ein Abbild der Oberfläche. Ein anderes Verfahren, mit dem sich die Bewegungen einzelner Moleküle verfolgen lassen, ist die Spektroskopie. Sie erlaubt es, Teilchen anhand ihrer Schwingungen zu identifizieren und so ihre Wechselwirkung mit dem Elektrolyten und den Elektroden nachzuvollziehen.

„Was in Batterien und Brennstoffzellen global passiert, wissen wir. Worauf es nun ankommt, ist die Schritte zu berechnen, die die einzelnen Atome und Moleküle zurücklegen und welche Reaktionen dabei geschehen. Beispielsweise erstellen wir ein Modell davon, wie ein Wasserstoffmolekül aus dem Inneren des Elektrolyten an die Elektrodenoberfläche kommt“, so Groß. „Hierfür müssen wir sowohl den Elektrolyten modellieren als auch die elektrische Spannung, die dazu führt, dass Protonen von der einen Elektrode durch den Elektrolyten zur gegenüberliegenden Elektrode wandern. Schwierig ist das deswegen, weil Bewegungen innerhalb einer Flüssigkeit, also dem Elektrolyten, mit aufwendigen Methoden simuliert werden müssen. Den damit verbundenen hohen Rechenaufwand scheuen viele Gruppen auf der Welt.“

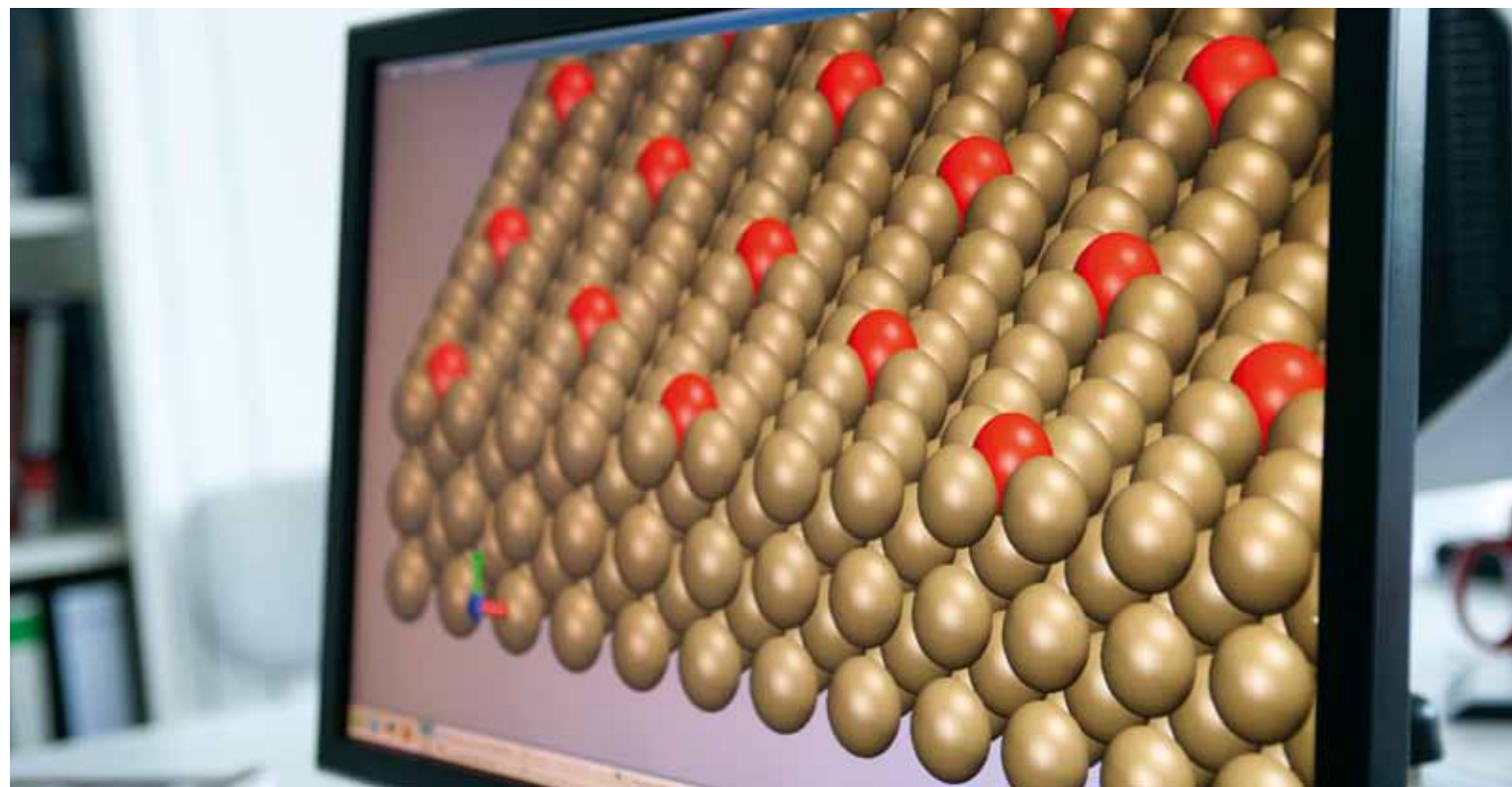
Ein Modell von diesen Prozessen zu erstellen, ähnelt in etwa der Herstellung eines Zeichentrickfilms: Es werden eine Reihe von Momentaufnahmen produziert, die dann hintereinander geschaltet werden. Dabei entspricht ein einzelnes Bild einem Vorgang, der circa eine Femtosekunde, also 0,000 000 000 001 Sekunden, dauert. „Um einen solchen Schritt am Rechner zu modellieren, brauchen wir einige Stunden. Weil wir an mehreren Computern parallel rechnen, können wir etwa 50 Schritte am Tag

„Was wir nachzeichnen wollen, kann man sich wie eine Landkarte vorstellen. Wenn ich zum Mittelmeer will, suche ich mir den niedrigsten Weg über die Alpen und fahre über den Brenner. In ähnlicher Weise sehen wir uns das Potenzialgebirge an und ermitteln den einfachsten Weg, den die Atome und Moleküle nehmen können.“

Axel Groß

simulieren“, erläutert Groß. „Dabei sagt uns das Programm, welche Konstellationen – also was für Anordnungen an Molekülen und Atomen – wir haben und welche Kräfte darauf wirken. Wichtig ist, über viele Konfigurationen hinweg zu mitteln. Weil sich zum Beispiel ein flüssiger Elektrolyt jedes Mal anders bewegt, lassen sich die Wege der Moleküle nur als Mittelwerte zahlreicher Varianten nachzeichnen. Wir gehören zu den ersten, die das mit genauen sogenannten quantenchemischen Verfahren machen.“

Die Forscher beziehen nicht alle Vorgänge, die in elektrochemischen Zellen ablaufen, in ihre Modelle mit ein – das wäre viel zu umfangreich –, sondern jeweils einen Ausschnitt von ungefähr 150 Atomen. Ausgangspunkt ist in



Modellierung und Visualisierung von elementaren Strukturen und Prozessen an Elektrodenoberflächen

der Regel ein künstlicher Stoß, den ihnen die Wissenschaftler versetzen, damit das Geschehen in Gang kommt. „Wir erzeugen einen Stoß, der typisch für eine reale Einwirkung ist. Danach verfolgen wir in Echtzeit, was passiert.“ Ein Ziel ist es, herauszubekommen, wo Reaktionsbarrieren für die entscheidenden Prozesse sind. „Was wir nachzeichnen wollen, kann man sich wie eine Landkarte vorstellen. Wenn ich zum Mittelmeer

will, suche ich mir den niedrigsten Weg über die Alpen und fahre über den Brenner. In ähnlicher Weise sehen wir uns das Potenzialgebirge an und ermitteln den einfachsten Weg, den die Atome und Moleküle nehmen können.“ Wenn ein besserer Weg für die ablaufenden Prozesse in den Rechnungen gefunden worden ist, lassen sich Batterien und Brennstoffzellen entsprechend verändern. Barrieren können abgebaut

werden, mehr Strom fließt und die Gesamtleistung der Zelle steigt.

Von Seiten der Industrie wird die Forschung in Ulm aufmerksam beobachtet. Der weltweiten Scientific Community ist der Standort ebenfalls ein Begriff. Zu internationalen Tagungen werden Vertreter aus Ulm regelmäßig als Referenten eingeladen.

Großer Nachholbedarf – Produktionslücke in der Batterietechnologie schließen

Interview mit Werner Tillmetz, Vorstandsmitglied des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und Leiter des Geschäftsbereichs am Standort Ulm über aktuelle Entwicklungen im Technologietransfer



Reaktor für die Synthese von Aktivmaterialien für Batteriematerialien

Die Hauptaufgabe des ZSW ist die Vermittlung zwischen der Grundlagenforschung, die an der Universität betrieben wird, und der anwendungs-nahen Industrieforschung. Muss man sich das so vorstellen, dass Sie in die Labore gehen, den Forschern über die Schulter gucken und sagen ‚Oh, das wäre was für Daimler‘?

Werner Tillmetz: Nein, so eher nicht. Anwendungsrelevante Forschungsvorhaben müssen explizit als solche aufgelegt werden, zum Beispiel vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. In diese Projekte fließen dann die Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung ein.

Was sollte aus Ihrer Sicht noch getan werden, um den Transfer zwischen Forschung und Industrie noch mehr zu fördern?

Tillmetz: In Summe läuft der Wissenstransfer sehr gut. Was vielleicht auf Seiten der Universität Ulm zusätzlich aufgebaut werden könnte, wäre die bislang noch nicht vorhandene Verfahrenstechnik. Ein weiteres Projekt, mit dem wir von der Industrie noch deutlicher als Ansprechpartner wahrgenommen werden möchten, ist das geplante Energy Materials Competence Center – EMC² Ulm. Unter diesem Dach sollen die Aktivitäten zu Energiematerialien und deren

Anwendung koordiniert und kommuniziert werden. Ebenfalls ein wichtiger Schritt ist die Pilotfertigung für Lithium-Ionen-Batterien, die wir als Mitglied des Kompetenznetzwerks Lithium-Ionen-Batterien e.V. (KLiB) am ZSW einrichten wollen.

Nun gibt es ja bereits Lithium-Ionen-Batterien auf dem Markt. Wo ist der Unterschied zwischen den vorhandenen Batterien und denen, für die Sie die Pilotfertigung entwickeln?

Tillmetz: Deutschland hat bei der Batterietechnologie einigen Nachholbedarf. Heutige kommerzielle Lithium-Ionen-Batterien werden in der Unterhaltungsindustrie eingesetzt, in Handys, Notebooks und so weiter, und sie stammen alle aus Asien, vorwiegend aus China, Japan und Korea. Inzwischen braucht aber die Autoindustrie Batterien für Elektro- und Hybridfahrzeuge. Für diese Anwendungen müssen deutlich höhere Anforderungen erfüllt werden wie beispielsweise eine viel größere Speicherkapazität, eine längere Lebensdauer und die Funktionstüchtigkeit bei starker Kälte und großer Hitze.



Prof. Dr. Werner Tillmetz

Wenn das Grundwissen in Asien bereits vorhanden ist, werden die Asiaten eine autotaugliche Batterie sicher schneller entwickeln als wir. Warum importieren die Autohersteller ihre Batterien nicht von dort?

Tillmetz: Manche Hersteller haben in der Tat Kooperationen mit asiatischen Firmen, zum Beispiel arbeitet Bosch mit dem koreanischen Unternehmen Samsung zusammen. Dennoch besteht in der Autoindustrie der eindeutige Wunsch nach in Deutschland hergestellten Batterien für ihre Fahrzeuge. Zum einen, um die Verfügbarkeit von Komponenten sicherstellen zu können und um Lieferschwierigkeiten vorzubeugen, zum anderen haben die deutschen Autohersteller andere Anforderungen. Jeder Hersteller hat seine eigene Produktstrategie und daraus folgen auch unterschiedliche Anforderungen an die Batterien. Das ist leichter mit Zulieferern abzustimmen, die vor Ort sitzen.

Worin unterscheiden sich denn die Anforderungen?

Tillmetz: In Deutschland scheint ein großes Interesse an Plug-In-Hybriden zu entstehen: Das bedeutet die Kombination aus einer mittelgroßen, an der Steckdose aufladbaren Batterie und einem Verbrennungsmotor. Bei diesen Autos kann in der Innenstadt die Batterie genutzt werden und auf längeren Strecken der herkömmliche Motor. Die längeren Strecken scheinen für Mega-Citys in Asien nicht so wichtig zu sein. Für ein Hybrid-Auto muss die Batterie anderen Anforderungen genügen als für ein reines E-Fahrzeug. Sie ist deutlich kleiner, muss aber trotzdem eine sehr hohe Leistung zur Verfügung stellen.

Hat Deutschland auf dem globalen Markt überhaupt eine Chance in der Batterietechnik oder werden uns die asiatischen Länder ohnehin überholen?

Tillmetz: Wir haben eine große Chance, weil wir auf mehreren zentralen Gebieten sehr stark sind, wie beispielsweise in der Spezialchemie, in der Entwicklung von Produktionsanlagen und in der Elektrotechnik. Was uns noch fehlt, ist das Wissen: Wie mache ich aus den verschiedenen Komponenten eine richtig gute Batterie? In dieser Frage sind uns die asiatischen Länder etwas voraus, wir arbeiten aber konsequent an diesem Thema. Unser Vorteil ist die starke und sehr engagierte Auto- und Zulieferindustrie vor Ort.

Warum wartet die Industrie eigentlich auf Ihre Pilotanlage? Warum entwickeln die das nicht selbst?

Tillmetz: Das finanzielle Risiko für den Aufbau einer Batterieproduktion ist enorm. Es ergibt für die Industrie sehr viel Sinn, das Risiko über gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten und durch Unterstützung über Fördermittel zu reduzieren. Damit kann diese Schlüsseltechnologie künftig auch aus Deutschland kommen und nicht nur von Herstellern in den USA oder Japan.

Wo sehen Sie Bedarf in der Fördermittelpolitik?

Tillmetz: Bei der Brennstoffzelle und bei der Elektrolyse zur Wasserstoffherzeugung. Beide Technologien spielen eine zentrale Rolle für die künftige Energieversorgung und für die Mobilität. Um insbesondere die Kostenziele zu erreichen, sind erhebliche Anstrengungen in der Materialforschung notwendig.

**„Die Schlüsseltechnologie kann künftig auch aus Deutschland kommen und nicht nur von Herstellern in den USA oder Japan.“
Werner Tillmetz**





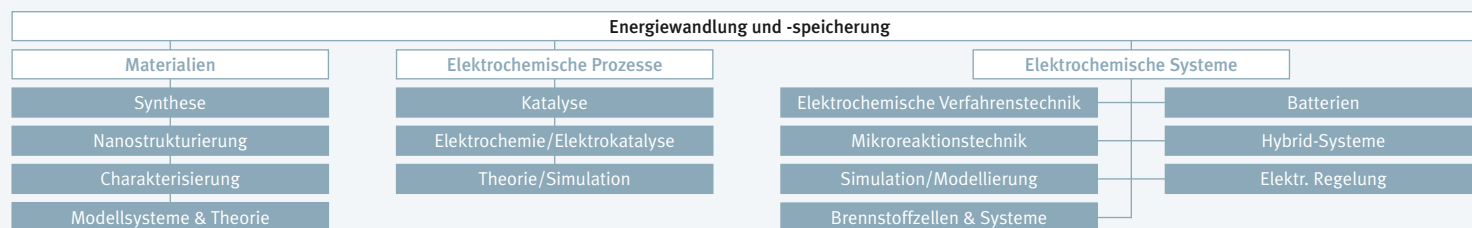
Die Grundlagen – langer Atem der Forschung

In der Wissenschaftsstadt Ulm ist in den vergangenen Jahrzehnten ein weltweit beachtetes Kompetenzzentrum für die grundlegenden Prozesse der Batterieforschung entstanden. Damit sind auch Arbeiten zur Brennstoffzellentechnologie und im weiteren Sinne zur Elektromobilität verbunden. Das sind die Forschungsgebiete, die als Grundlage für die nachhaltige, umweltfreundliche Mobilität der Zukunft gelten.

Die Entwicklung der Expertise der Universität Ulm in dem Forschungsschwerpunkt Elektrochemische Energiewandlung und Energiespeicherung ist eng verknüpft mit institutionellen Gründungen, den gestaltenden Forscherpersönlichkeiten sowie einer lebendigen Kooperationskultur.

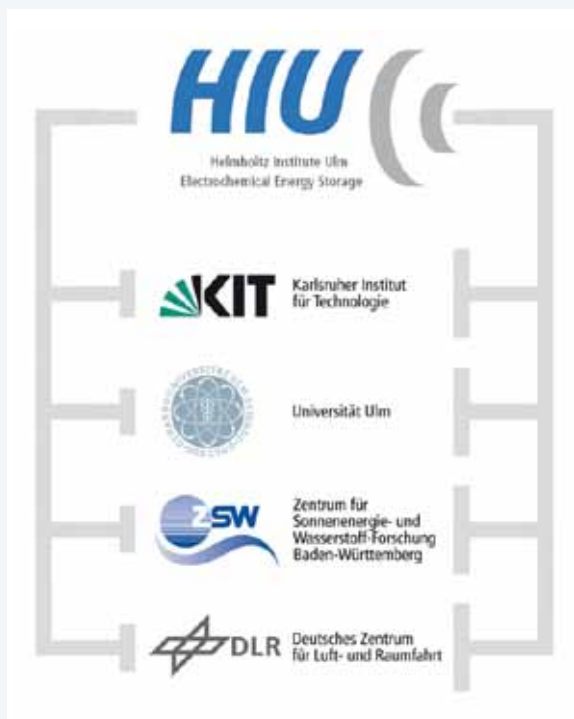
Ein kurzer Überblick in Schlaglichtern:

- 1988** Gründung des „Zentrums für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg“ (ZSW), Gründungsvorstand der Universität Ulm: Prof. Dr. Wolfgang Witschel, Leiter des Geschäftsbereichs Elektrochemische Energietechnologien am ZSW in Ulm, von 1991 bis 2004: Prof. Dr. Jürgen Garche
- 1990** Berufung von Prof. Dr. Dieter M. Kolb zum Leiter des Instituts für Elektrochemie
- 1996-2005** Graduiertenkolleg (GK 328) der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) „Molekulare Organisation und Dynamik an Grenz- und Oberflächen“, Sprecher: Prof. Dr. Dieter M. Kolb
- 2001-2011** Sonderforschungsbereich (SFB 569) der DFG: „Hierarchische Strukturbildung und Funktion Organisch-Anorganischer Nanosysteme“, Sprecher: 2001: Prof. Dr. Martin Möller, seit 2002: Prof. Dr. Paul Ziemann
- 2004** Berufung von Prof. Dr. Werner Tillmetz auf den Lehrstuhl Elektrochemische Energiespeicher und -wandler an der Universität Ulm und zum Leiter des Geschäftsbereichs Elektrochemische Energietechnologien am ZSW in Ulm
- Seit 2010** DFG Forschergruppe (FOR 1376) „Elementary Steps in Electrocatalysis: Theory meets experiment“, Sprecher: Prof. Dr. Axel Groß



Die **Energiewandlung und -speicherung auf einen Blick**: Vier umfangreiche Themenfelder strukturieren die Forschungsarbeiten in Ulm. Die aktuellen Forschungsergebnisse fließen direkt in die Lehre ein – in die internationalen Masterstudiengänge „Energy Science and Technology“ sowie „Advanced Materials“.

Das Helmholtz-Institut Ulm für Elektrochemische Energiespeicherung – Brücke in die Zukunft



Arbeitsgebiete des HIU:

Elektrochemische Grundlagenforschung, Materialforschung, Theorie und Modellierung (elektro-) chemischer Prozesse, Systembetrachtungen, Methoden zur in-situ Untersuchung von Batterien

Das Thema des Helmholtz-Instituts Ulm (HIU) ist für Elektrochemie und Elektromobilität hoch aktuell. Es geht um die Grundlagenforschung der elektrochemischen Energiespeicherung. Davon profitiert vor allem die Batterietechnologie, der zentrale Baustein in der Energiespeicherung.

Das HIU wird von ausgewiesenen Partnern getragen: dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), der Universität Ulm, dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Das Institut arbeitet seit Anfang 2011. Ziele dieser Kooperation sind neben dem Ausbau vorhandener Kompetenzen die Vernetzung und Stärkung der Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs sowie die Verwertung der Projektergebnisse vorrangig am Standort Deutschland.

Die Kooperation wurde von der Bundesregierung im Rahmen des Konjunkturprogramms II mit zehn Millionen Euro gefördert. Als anerkannter Spitzenstandort zur Erforschung der Elektromobilität erhielten die Universität 2,75 Millionen Euro und das ZSW 2,5 Millionen Euro für Investitionen aus dem Etat des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) – dem Sonderprogramm „Elektrochemie für Elektromobilität“.

Vorgesehen ist der Bau eines Forschungsgebäudes auf dem Campus der Universität Ulm – der Wissenschaftsstadt. Die Kosten von etwa 12 Millionen Euro werden von der Helmholtz-Gemeinschaft, dem BMBF sowie vom Land Baden-Württemberg beziehungsweise der Universität Ulm getragen.

Eine Auswahl laufender Projekte der Universität Ulm

Deutsche Forschungsgemeinschaft



- » Forschergruppe: Elementary reaction steps in electrocatalysis: Theory meets Experiment
- » Emmy-Noether-Gruppe: Theoretische Modellierung elektrochemischer Systeme
- » Dynamik von Oberflächenstrukturen auf Au-Elektroden
- » Elektrochemische Facettierung von Oberflächen
- » Schwerpunkt: Lithium-Schwefel-Hochenergie Akkumulatoren mit reversiblen Matrix-interkalierten Schwefelkathoden
- » Metallabscheidung aus Ionischen Flüssigkeiten

Bundesministerium für Bildung und Forschung



- » H₂ NanoSolar: Nanostrukturen zur licht-induzierten Wasserstoffentwicklung

Europäische Union



- » ERC Starting Grant: THEOFUN – Theoretical Studies on the Functionalisation of Metal Surfaces
- » ELCAT: Surface Reactivity in Electrocatalysis

Extrem industrieorientiert

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



Das ZSW-Labor für Batterietechnologie (eLaB) verfügt auf 6.600 m² über Zellfertigungsanlagen für Lithium-Ionen-Zellen und enthält ein Batterietest- und Sicherheitszentrum.

„Das ZSW ist vor über 20 Jahren an der Universität Ulm ausgegründet worden. Ein wesentlicher Treiber für die Gründung war der Wunsch, die Kooperation mit der Wirtschaft zu intensivieren“, erklärt Werner Tillmetz, Professor für Elektrochemische Energiespeicher und -wandler an der Universität Ulm und

Vorstandsmitglied des ZSW. Von der Form her ist das ZSW eine Stiftung; zu den Gründungsmitgliedern gehören neben der Universität Ulm die Universität Stuttgart, das Land Baden-Württemberg, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) sowie mehrere Wirtschaftsunternehmen. Stiftungszweck sind Forschung und

Entwicklung im Bereich der Sonnenenergie und Wasserstofftechnologie sowie die Umsetzung der Ergebnisse in die industrielle Praxis.

„Wir arbeiten sehr industrieorientiert, das ist unsere satzungsgemäße Aufgabe und ganz entscheidend für die Finanzierung des Institutes.

Dabei kooperieren wir mit fast allen Unternehmen in Deutschland, die sich mit Brennstoffzellen oder Batterien beschäftigen und auch mit einer Reihe von ausländischen Firmen“, so Tillmetz. „Auf der anderen Seite sind wir natürlich auf die Kooperation mit den Universitätsinstituten angewiesen. Diese greifen grundlegende,



Auftragen des Elektrodenslurrys mit Rakel

neue Technologien auf, die wir dann für die Industrie übersetzen.“ Das Kompetenzspektrum des ZSW erstreckt sich über die ganze Wertschöpfungskette von Batterien und Brennstoffzellen: von der Modellierung und Simulation von elektrochemischen Vorgängen über die Synthese und Charakterisierung von Aktivmaterialien, der Optimierung von Komponenten bis hin zur Demonstration von kompletten Systemen. Modern ausgerüstete Prüffelder ermöglichen eine umfassende Erprobung, Bewertung und Qualifikation von Komponenten und Systemen bezüglich Leistung, Lebensdauer und Sicherheit. „Europa-weit sind wir die Einzigen, die dieses komplette Spektrum abdecken“, erläutert Tillmetz.

Die Kooperationspartner des ZSW kommen aus der Spezialchemie, der Automobil- und deren Zulieferindustrie, der Energieversorgung und vielen weiteren Branchen. Gleichzeitig arbeitet das ZSW in einem großen Netzwerk von uni-

versitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen.

Hauptkompetenzen des ZSW

Das ZSW mit seinen Standorten Stuttgart, Widderstall und Ulm betreibt Forschung und Entwicklung in den Bereichen energiewirtschaftliche Systemanalyse, Photovoltaik, regenerative Kraftstoffe, Energiespeicherung und Energiewandlung mit Batterien und Brennstoffzellen. Zudem steht das Zentrum für einen Wissens- und Technologietransfer in die Wirtschaft. Die einzelnen Arbeitsfelder in Ulm lauten: Batterien, neue Aktivmaterialien, Zellöffnung und Post-mortem-Analysen, Referenzzellen und Fertigungstechnologie, Batterie-Systemtechnik, Batteriesicherheit und Fehleranalyse, Brennstoffzellen, Modellierung und Simulation, Komponenten und Systeme, Lebensdauer- und Qualifikationstests sowie neue Energiespeicherkonzepte und Materialien für die nächste Generation.

Qualität der Fortbildung ist das Markenzeichen

Das Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle e.V (WBZU) ist ein eingetragener, gemeinnütziger Verein in der Aus- und Weiterbildung sowie Öffentlichkeitsarbeit in den erneuerbaren und innovativen Energietechnologien.

Die Aus- und Weiterbildung ist in Deutschland ein wichtiges Instrument, um das Fachkräftewissen in Wirtschaft und Administration regelmäßig auf dem aktuellen Stand der jeweiligen Branchen zu halten. Auch vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung und einem möglichen Fachkräftemangel erhält die Fortbildung einen immer höheren Stellenwert. Hier setzt das WBZU an: Es ist ein eingetragener, gemeinnütziger Verein und steht für die Aus- und Weiterbildung sowie Öffentlichkeitsarbeit in den erneuerbaren und innovativen Energietechnologien.

Brennstoffzellen, Wasserstoff, Batterien und Mini-Blockheizkraftwerke (BHKW) bilden den thematischen Schwerpunkt der Bildungsangebote des Vereins. Im WBZU arbeiten Akteure aus Industrie, Handwerk sowie Forschung und Lehre zusammen.

Neben Seminarräumen verfügt das Zentrum auch über ein speziell für Aus- und Weiterbildungszwecke konzipiertes Technikum. Der attraktive Neubau, die Themenwahl sowie das Technikum machen das WBZU zu einer in dieser Form einzigartigen Einrichtung.

Die praxisnahe Aus- und Weiterbildung setzt folgende Schwerpunkte: Brennstoffzellen und Wasserstoff, Batterien und Elektromobilität, BHKW-Technologie sowie Energiewirtschaft und Politik.



Die Bildungsangebote für Fachkräfte aus Industrie und Handwerk sowie Wissenschaft und Lehre werden zielgruppengerecht konzipiert und durchgeführt. Weitere Formate sind: Vorträge und Informationsveranstaltungen für Schüler, Lehrer und die Öffentlichkeit. Das Technikum für Praktika mit Testständen, Modellversuchen und Exponaten ergänzt die WBZU-Palette.

Material auf lange Lebensdauer ausrichten

Am ZSW werden Batterien und ihre Komponenten mit einer Fertigungsanlage untersucht, die die Produktionsprozesse der Industrie abbildet

Schwerpunkt der Batterieforschung, wie sie am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in Ulm betrieben wird, ist die Materialentwicklung für neue Batterien, die E-Mobilität sowie stationäre Zwischenspeicher. Zum einen suchen die Forscher nach neuen Materialien oder Materialkombinationen; zum anderen untersuchen sie diese Materialien unter realen Betriebsbedingungen, um ihre Eignung so früh wie möglich festzustellen.

„Wir wollen das Potenzial neuer Materialien so früh wie möglich einschätzen können“, erläutert Margret Wohlfahrt-Mehrens, Fachgebietsleiterin Akkumulatoren Materialforschung am ZSW. „Eine Batterie ist ein extrem komplexes Gebilde, das aus vielen verschiedenen Komponenten besteht. Es genügt daher nicht, nur die Eigenschaften einzelner Materialien zu analysieren; wichtig ist die Kenntnis der Wechselwirkungen, die im kompletten System auftreten.“ Dabei geht es sowohl um die Wechselwirkungen der Komponenten untereinander als auch um Veränderungen, die durch den Betrieb der Batterie entstehen. So hat beispielsweise das Laden und Entladen der Batterie Konsequenzen für die Morphologie einzelner Partikel. Die Teilchen dehnen sich erst aus und schrumpfen dann wieder, was auch als Atmungseffekt bezeichnet wird. Ein weiterer zentraler Faktor



Anlage zur Kathodenbeschichtung: Neueste Maschinen und Laboreinrichtungen im eLaB garantieren Fortschritt und erfolgreiche Forschungsarbeiten für Höchstleistungsbatterien.

ist der Alterungsprozess. Wie verhalten sich die verschiedenen Komponenten, wenn sie über längere Zeit in Betrieb sind? „Normalerweise dauert es 15 bis 20 Jahre, bis neue Materialien in die Anwendung kommen. Diesen Zeitraum wollen wir verkürzen. Unter anderem entwickeln wir dafür Methoden, die die Materialalterung simulieren.“

Generell gehört es zum Ansatz der Forscher, möglichst frühzeitig auf die Anforderungen aus der Praxis einzugehen. Zu diesem Zweck wurden im ZSW Anlagen, die in der Industrie verwendet werden, in kleinerem Maßstab nachgebaut. Auf diese Weise lassen sich industrielle Prozesse abbilden. Während normalerweise in Forschungslaboren mit kleinen Mengen von Materialien ge-

arbeitet wird, können im ZSW neue Materialien im Kilogramm-Maßstab hergestellt werden.

Ein Prozess, den die Forscher nachvollziehen, ist die Elektrodenproduktion. Der erste Schritt hierbei ist die Herstellung des Materials als Pulver. Als nächstes wird das Pulver dann im Hochleistungsmischer – und nicht mit dem



Dr. Margret Wohlfahrt-Mehrens

„Wir haben zwei verschiedene Materialkombinationen gefunden, die sich sehr gut eignen, eine für die positive Elektrode und eine für die negative Elektrode. Mit diesen Materialkombinationen werden zurzeit am ZSW die ersten Zellen hergestellt.“

Margret Wohlfahrt-Mehrens

Handmörser, wie in vielen Laboren üblich – zu einer Paste verarbeitet. Diese wird als dünne Schicht auf eine Folie aufgebracht, woraus im Anschluss die Elektroden hergestellt werden. Während des ganzen Vorgangs wird darauf geachtet, die Anforderungen der Industrie an den Produktionsprozess einzuhalten: Dazu gehört die Gleichmäßigkeit der Beschichtung ebenso wie das Durchhalten einer bestimmten Geschwindigkeit. Weitere relevante Eigenschaften sind die Haftung, die elektrische Leitfähigkeit und die Porösität eines Materials. Ein Material, das als Pulver eine hohe Energiedichte hat, kann diese Eigenschaft im Laufe des Verarbeitungsprozesses verlieren und am Ende in der fertigen Batteriezelle nur wenig Energie erzeugen. Das

ist zum Beispiel dann der Fall, wenn es sich im Laufe der Beschichtung als zu porös erweist.

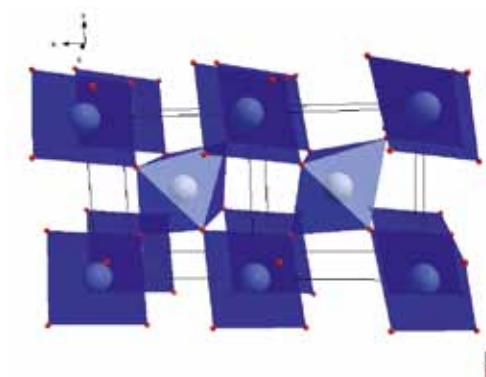
„Wir haben zwei verschiedene Materialkombinationen gefunden, die sich sehr gut eignen, eine für die positive Elektrode und eine für die negative Elektrode“, berichtet Margret Wohlfahrt-Mehrens. „Für die positive Elektrode handelt es sich dabei um Lithium-Mangan-Phosphat, das eine sehr gute Energiedichte zeigt und im Vergleich zu Standardmaterialien eine höhere Sicherheit aufweist. Bei Hochtemperaturen und im Crashfall hat es sich als besonders resistent erwiesen. Für die negative Seite nehmen wir mesoporöses Titanoxid, was ganz hervorragende Eigenschaften hat, darunter eine schnelle

Ladefähigkeit und eine Belastbarkeit auch bei tiefen Temperaturen von bis zu minus 40 Grad. Außerdem ist das Material leicht verfügbar, nicht toxisch und relativ preiswert zu produzieren.“ Mit diesen Materialkombinationen werden zurzeit am ZSW die ersten Zellen hergestellt. Anvisiertes Einsatzgebiet ist die stationäre Zwischenspeicherung, also die dezentrale Speicherung von Energie in den Haushalten. Das mesoporöse Titanoxid ist aus einer engen Kooperation mit Forschern der Universität Ulm hervorgegangen.

Batterieforschung im ZSW ist multidisziplinär, da eine ganze Reihe von Kompetenzen benötigt werden. In den einzelnen Teams arbeiten deswegen Forscher unterschiedlichster Disziplinen zusammen, darunter Chemiker, Elektrochemiker, Materialwissenschaftler und Elektrotechniker, die ihre jeweils eigene Perspektive mitbringen. „Der Standort Ulm hat den besonderen Vorteil, dass hier auf sehr engem Raum viele Disziplinen zusammenkommen“, unterstreicht Wohlfahrt-Mehrens die Rahmenbedingungen in der Wissenschaftsstadt. „Auch wird sehr viel getan, um Kooperationen auszubauen und zu unterstützen. Es gibt einen regen Austausch zwischen dem ZSW und einzelnen Lehrstühlen an der Universität.“ Am neuen Helmholtz-Institut (siehe Seiten 6 und 19) sind verschiedene Institute beteiligt. Das heißt, unterschiedliche Forschungsrichtungen, die alle das gleiche Ziel verfolgen: die Energiespeicherung. Die Wissenschaftlerin weiter: „Auch von den spezialisierten

Studiengängen an der Universität profitieren wir am ZSW sehr, weil wir auf diese Weise Masterstudenten und Doktoranden erhalten, die eine ausgezeichnete Vorbildung haben.“

Hinsichtlich des Anwendungspotenzials ihrer Forschungsaktivitäten ist die Chemikerin zuversichtlich: „Ich denke, dass die nächsten Jahre in Bezug auf die Energieversorgung sehr spannend werden. Deutschland ist Vorreiter auf dem Gebiet der regenerativen Energien wie Windkraft und Photovoltaik. Wenn die Installation der Erneuerbaren weiterhin so schnell voranschreitet wie in den letzten Jahren, werden bald dezentrale Speichersysteme benötigt werden.“ Was ihren privaten Energieeinsatz betrifft, so plant Margret Wohlfahrt-Mehrens, sich in absehbarer Zukunft ein Elektroauto zuzulegen. „Mit 25 Kilometer Anfahrt zum Arbeitsplatz wohne ich dafür genau in der richtigen Entfernung.“

Nano-Titanoxid (TiO₂) vom Rutil-Typ

Speicherfrage – die zentrale Herausforderung

Erdgassubstitut kann Vollversorgung mit erneuerbaren Energien ermöglichen

Ein Kernproblem der Energiewende ist die Speicherung. Wind und Sonne liefern Strom unregelmäßig, mal zu viel, mal zu wenig. Um diese Schwankungen auszugleichen, werden Speicher benötigt. Darüber lässt sich Strom vorrätig halten und an dunklen, windstillen Tagen wieder abrufen. Forscher des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden Württemberg (ZSW) haben in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik ein geeignetes Speichermedium entwickelt: synthetisch hergestelltes Erdgas oder Erdgassubstitut.

Zurzeit erfolgt die Bevorratung von Energie durch die Lagerung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Sollen konventionelle Energieträger durch Erneuerbare ersetzt werden, muss jedoch eine alternative Speicherform gefunden werden. Anders ist die Vollversorgung mit klimafreundlichen Energien nicht durchführbar. Am leichtesten lässt sich Energie in Form von Wasserkraft und Biomasse speichern. Der Einsatz von Wasserkraft ist jedoch von den geografischen Gegebenheiten abhängig, und die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen ist ebenfalls begrenzt, da die Ackerflächen anderweitig gebraucht werden. Eine Möglichkeit der Energiespeicherung, die in Zukunft sicherlich zum Einsatz kommt, sind Batteriesysteme in den

Haushalten. Allerdings kann so Energie nur für Stunden bereitgestellt werden, niemals in größeren Mengen oder über längere Zeit. „Für die langfristige Speicherung kommen nur chemische Sekundärenergieträger in Frage“, erklärt Michael Specht, Fachgebietsleiter Regenerative Energieträger und Verfahren am ZSW. „Das funktioniert so: Wir nutzen überschüssigen Strom, beispielsweise von Windrädern oder aus Photovoltaik, um Wasserstoff zu erzeugen, den wir dann mit Kohlendioxid in Methan verwandeln. Methan ist der Hauptbestandteil von Erdgas. Das synthetisch erzeugte Erdgassubstitut hat die gleichen brenntechnischen Eigenschaften.“ Neu an dem Verfahren ist die Kombination der Technologien Wasserstoff-Elektrolyse und Methanisierung. Ebenfalls neu ist die Anlagentechnik; eine Grundanforderung an Anlagen, die Schwankungen im Stromnetz auffangen und ausgleichen sollen, ist die intermittierende Betreibbarkeit: Im Gegensatz zu herkömmlichen Kraftwerken, die kontinuierlich laufen, müssen sie sich schnell hoch- und wieder herunterfahren lassen.

Der große Vorteil des Erdgassubstituts besteht darin, dass eine bestehende Infrastruktur, die Gaspipelines, genutzt werden kann. Während eine Hochspannungsleitung in Deutschland weniger als ein Gigawatt Strom leitet, transportiert eine Gaspipeline bis zu 30 Gigawatt. Das Strom-

netz in Deutschland fasst 0,04 Terawattstunden (ein Gigawatt sind eine Milliarde Watt, ein Terawatt sind eine Billion Watt). Damit kann der komplette Energiebedarf Deutschlands für etwa eine Stunde gedeckt werden. Das Speicherreservoir des deutschen Erdgasnetzes liegt hingegen bei mehr als 200 Terawattstunden, was einem Verbrauch von mehreren Monaten entspricht. Gas ermöglicht also eine langfristige Bevorratung und bietet Energiesicherheit. Verstromt, also in Strom rückgewandelt, wird das Gas in Gaskraftwerken. Alternativ kann es auch als Treibstoff für Autos genutzt werden. Erdgasautos haben einen sehr geringen CO₂-Ausstoß, produzieren kaum Feinstaub und sind leiser als Dieselfahrzeuge.

„Wir haben die exklusive Lizenz für unser Verfahren an die Firma SolarFuel GmbH vergeben, die jetzt eine große Pilotanlage zur Herstellung und Speicherung von Erdgassubstitut baut. Auftraggeber ist Audi, die das Gas als Antriebsstoff für Autos nutzen möchten. Standort der Anlage ist Norddeutschland, wo die Windparks regelmäßig zu viel Strom produzieren, der dann entweder zu minimalen Preisen verkauft oder weggeregelt wird“, berichtet Specht.

Um den Ausbau der neuen Speichertechnologie voranzutreiben, ist eine Änderung der Rahmenbedingungen erforderlich. „Was wir brauchen,

sind Anreizsysteme für die Speicherung“, meint Specht.

„Im Moment gibt es keinen Anreiz für Netzbetreiber, den Zeitfaktor zu berücksichtigen. Sie erhalten Geld einfach pro Kilowattstunde. Es ist aber ein großer Unterschied, ob Strom zur Spitzenzeit oder zu flauen Zeiten eingespeist wird. Erforderlich ist ein Honorierungssystem, das den Zeitpunkt der Einspeisung mit einem monetären Effekt verbindet.“

In ihrer Forschung konzentrieren sich die Wissenschaftler gegenwärtig darauf, die Anlagen zur Gasherstellung weiter zu verbessern, sodass sie den Anforderungen des Energiemarktes entsprechen. Das synthetische Gas muss nicht nur die gleichen Eigenschaften haben wie fossiles Gas, die Rückverstromung sollte so erfolgen, dass Stromerzeugung und -verbrauch stets übereinstimmen.

Specht ist von der Zukunftsfähigkeit der erneuerbaren Energien überzeugt. Seiner Einschätzung nach ist ein vollständiger Verzicht auf fossile Brennstoffe möglich. Zuhause hat er eine solarthermische Anlage und Photovoltaikmodule auf dem Dach: „Ich produziere die Hälfte meines Stromes selbst.“



Dr. Michael Specht

„Es kann zurzeit nichts Spannenderes geben, als innovative Materialien zu entwickeln“

Reichweite erhöhen – Forscher aus Industrie und Universität arbeiten gemeinsam an neuen Lösungen

Wie weit kommt mein Elektroauto mit einer Batterieladung? Bis zur Arbeit? Bis nach München? Nach Italien? Das sind zentrale Fragen, auf die an vielen Forschungsfronten nach Antworten gesucht wird. Mit Batterien der dritten und vierten Generation sollen die Reichweiten nun drastisch erhöht werden.

„Um die Batterie zu verbessern, muss die Leistung der Kathode gesteigert werden. Deswegen arbeitet die BASF intensiv an Kathodenmaterialien der dritten Generation, den sogenannten Hochvolt-Spinellen und Hochenergie-NCMs“, erklärt Rüdiger Oesten von der BASF Future Business GmbH. Als Spinelle werden Lithium-Mangan-basierte Oxide mit kubischer Struktur bezeichnet; Hochenergie-NCMs sind NCMs, also Kombinationen von Lithium, Nickel, Kobalt und Mangan mit einer speziellen Stö-

chiometrie (das heißt Zusammensetzung).

„Parallel dazu forschen wir auch bereits an der vierten Batterie-Generation, unter anderem an der Lithium-Schwefel-Technologie, damit lässt sich die Reichweite auf 400 Kilometer erweitern.“



Dr. Rüdiger Oesten



Die Forschung läuft parallel: gleichzeitig an der dritten und vierten Batteriegeneration.

Oesten leitet das Projekt HE-Lion, ein Konsortium aus Unternehmen und Universitäten, in dessen Rahmen neue Materialien getestet und entwickelt werden. HE-Lion wiederum ist ein Teilprojekt von LIB (Lithium-Ionen-Batterien) 2015, eines Verbundes von rund 60 Partnern aus Industrie, Forschung und Wissenschaft, zu dem auch das Ulmer Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) gehört. Gefördert wird die

Forschungsallianz vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit 60 Millionen Euro.

Die Aufgabe von HE-Lion besteht unter anderem darin, NCM-Schichtoxide der zweiten und dritten Generation zu untersuchen. Diese bieten im Vergleich zum Standardmaterial für Handy- und Laptopbatterien Vorteile bei Kosten, Sicherheit und Lebensdauer. „Erste Ergebnisse zeigen, dass

sich das Kathodenmaterial sehr gut verarbeiten lässt und daraus stabile und leistungsfähige Batterien gebaut werden können. Auch nach 1.000 Be- und Entladungszyklen verfügen diese Batterien noch über mehr als 80 Prozent ihrer Anfangskapazität“, berichtet Oesten. „Es kann zurzeit nichts Spannenderes geben, als gute Materialien zu entwickeln. Die Übertragung vom Labor- in den Pilot-Maßstab ist reibungslos verlaufen, das heißt, wir können Mengen von mehr als 100 Kilo problemlos bereitstellen.“

Oesten verbindet das Verständnis für die Forscherperspektive mit der Kenntnis der Unternehmenswelt. Bevor er zu BASF kam, war er unter anderem Wissenschaftler am ZSW. „Ulm ragt in Deutschland heraus, was den wissenschaftlichen Nachwuchs in der Elektrochemie betrifft. Generell besteht auf diesem Gebiet jedoch ein massiver Engpass. Es nützt nichts, Gelder auszugeben, die Experten müssen da sein, um die Forschung zu leisten.“ Innerhalb des HE-Lion-Projektes gibt es die sogenannte „Battery School“, die einmal im Jahr veranstaltet wird. Dort können sich Mitarbeiter aus Unternehmen, aber auch aus Hochschulen weiterbilden.

„Das Wichtigste ist Verständnis für die jeweils andere Welt“

Interview mit Christian Mohrdieck, Director Fuel Cell & Battery Drive Development der Daimler AG in Stuttgart, zur Kooperation mit Ulm

Sie kooperieren seit Jahren erfolgreich mit der Universität Ulm und dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW). Was sind Ihre größten gemeinsamen Projekte?

Christian Mohrdieck: Das sind unsere Auftragsprojekte zu den Themen Brennstoffzelle und Batterie, beispielsweise die Tests zur Lebensdauer von Batterien, die wir mit dem ZSW durchführen. Darüber hinaus existiert seit vielen Jahren eine enge Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Infrastrukturaufbaus und zur Frage, wie sich Lieferantstrukturen entwickeln lassen. Außerdem haben wir eine Kooperation mit dem ZSW und zwölf weiteren Partnern im Rahmen des EU-Projekts „AutoStack – Automotive Fuel Cell Stack Cluster

Initiative for Europe“. Zu unseren Aufgaben gehört es hier, die Anforderungen aus der Industrie zu formulieren, während die Forschungseinrichtungen prüfen, was forschungstechnisch machbar ist.

Das sind die eher anwendungsbezogenen Vorhaben. Wie sieht denn Ihre Zusammenarbeit mit der Universität Ulm aus?

Mohrdieck: An der Universität betreuen wir gemeinsam mit Jürgen Behm, Physikalische Chemie und Leiter des Instituts für Oberflächenchemie und Katalyse (siehe Seite 10), Diplom- und Promotionsvorhaben. Außerdem halte ich selbst jedes Wintersemester eine Vorlesung im Studiengang „Energy Science and Technology“ über das Thema „Hydrogen as Energy Carrier“.

Darüber haben wir bereits zahlreiche Studenten gewonnen, die bei uns eingestiegen sind. Eine Reihe meiner Kollegen machen ebenfalls Lehrveranstaltungen an Universitäten, wir haben das bei uns im Unternehmen fest etabliert: die Daimler Dozenten.

Nun hat Daimler ja große eigene Entwicklungsabteilungen. Wofür brauchen Sie die Partner aus dem Wissenschaftssystem?

Mohrdieck: Zum einen verfügt das ZSW über Testeinrichtungen, die wir selbst nicht haben, und zum anderen sind die Kapazitäten, die wir haben, oft ausgelastet. Mit der Universität möchten wir wiederum gerne in der Grundlagenforschung zusammenarbeiten, denn auch hier brauchen wir fundierte Erkenntnisse. Deswegen diskutieren wir auch Möglichkeiten wie etwa ein gemeinsames Labor beispielsweise für Doktoranden, zu dem beide Seiten Zugang haben und in dem Doktoranden Forschungsvorhaben aus der Grundlagenforschung verfolgen sollen.

Der Technologietransfer aus der Wissenschaft in die Wirtschaft ist ein erklärtes Ziel der Politik. Was wünschen Sie sich von Partnern aus der Forschung, um die Zusammenarbeit noch weiter zu verbessern?

Mohrdieck: Das Wichtigste wäre mehr gegenseitiges Verständnis für die jeweils „andere Welt“. Für die Partner in den Forschungseinrichtungen sind das insbesondere die Aspekte, die in der Wissenschaft nicht zur Priorität gehören. Es ist zum Beispiel immer wieder schwierig, Forschern zu vermitteln, dass es aus unserer Sicht nicht ausreicht,

zu zeigen, dass etwas funktioniert. Man muss auch nachweisen, dass es unter allen Bedingungen im Fahrzeug funktioniert. Alle Teile des Autos müssen den verschiedensten Einflüssen standhalten, also beispielsweise Temperaturunterschieden zwischen minus 40 und plus 80 Grad. Letztere können schon mal vorkommen, wenn ein Auto längere Zeit unter sengender Sonne auf dem Asphalt steht. Hierfür sind umfangreiche Studien erforderlich, die Jahre in Anspruch nehmen. Wissenschaftler halten ihre Arbeit in der Regel für beendet, wenn sie demonstriert haben, dass etwas grundsätzlich geht. Umgekehrt empfinden die Wissenschaftler wahrscheinlich unsere Perspektive als sehr pragmatisch und vielleicht zu eng gefasst. Auf das ZSW und die Universität Ulm trifft das allerdings nicht zu, die haben ein gutes Verständnis für unsere Sichtweise.

Wie sind Ihre Erfahrungen mit dem deutschen Wissenschaftssystem im Allgemeinen?

Mohrdieck: Deutschland hat, was Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft angeht, noch einige ungenutzte Chancen etwa im Vergleich mit den USA. Dort haben die National Labs einen engeren Draht zur Wirtschaft. So haben sie beispielsweise gemeinsam mit der Industrie und der Politik, konkret mit dem US-Energieministerium, Roadmaps unter anderem für die Brennstoffzellen- und





Dr. Christian Mohrdieck

Batterieentwicklung aufgestellt, die weltweite Beachtung gefunden haben. So etwas gibt es in Deutschland bisher leider nicht. Wir sind gern bereit, mit den deutschen Forschungseinrichtungen einen solchen Ansatz zu diskutieren.

Wie ist das an der Universität Ulm?

Mohrdieck: Die Forschung in Ulm, an Universität und ZSW, hat sich nach meiner Information beispielsweise gefragt, wie man auf das Thema E-Mobilität reagieren soll. Da gab es eine Gesprächsrunde, zu der wir in einer bestimmten Phase eingeladen wurden und bei der ich unsere Vorstellungen vortragen konnte. Das habe ich als sehr positiv empfunden. Vielleicht hängt das auch damit zusammen, dass bis hin zum Präsidenten der Universität an vielen Stellen Industrieerfahrung vorliegt, so dass die „andere Seite“ besser verstanden wird. Was ich an der Universität Ulm darüber hinaus besonders schätze, ist das konsequente Achten auf Qualität, die Kompetenz und

die Ehrlichkeit. Wir erleben immer wieder Partner – allerdings nicht nur im Forschungsbereich –, die erst sagen, sie können alles, und dann stellt man nach und nach fest, dass das doch nicht der Fall ist. In Ulm wird bei jedem Vorhaben offen kommuniziert, wo die eigenen Stärken liegen und wo keine Kapazitäten vorhanden sind. Das macht die Zusammenarbeit sehr zielführend, angenehm und zuverlässig.

Vielleicht ist es auch so, dass sich Forschungspartner von Kooperationen mit der Industrie relativ rasch vermarktbar Ergebnisse erhoffen und enttäuscht sind, wenn der finanzielle Rückfluss auf sich warten lässt. Wie lange dauert es, bis bei Ihren Projekten Produkte herauskommen?

Mohrdieck: Die Entwicklung eines Autos dauert drei bis fünf Jahre je nach Innovationsgrad. Das heißt, bis zu fünf Jahre bevor ein Auto auf den Markt kommt, müssen alle technischen Grundsatzen geklärt sein. Wenn ich also ein neues Verbrennungssystem für ein Auto habe, das 2016 in Serie gehen soll, muss ich bereits heute wissen, ob es funktioniert. Bei der Entwicklung gibt es drei Stufen, die jeweils etwa ein Jahr in Anspruch nehmen: die Prinziptauglichkeit, die Konzepttauglichkeit und die Serientauglichkeit. Die Prinziptauglichkeit ist erreicht, wenn alles grundsätzlich – also im Prinzip – funktioniert. Ist das der Fall, wird die Konzepttauglichkeit geprüft. Dazu zählt unter anderem festzustellen, ob die betreffenden Teile nicht nur zu Beginn

eines Autolebens, sondern auch noch einige Jahre später funktionieren. Dann folgt die Serientauglichkeit, für die ein Lastenheft mit allen zu erfüllenden Parametern erstellt werden muss. Alles, was Unis oder Forschungseinrichtungen für uns auf der Grundlagenseite machen, muss also spätestens zum Zeitpunkt der Prinziptauglichkeit abgeschlossen sein. Nicht jedem sind diese langen Zeiträume bewusst.

Sie arbeiten seit Jahren zusammen mit Ihren Forschungspartnern an der Weiterentwicklung des Elektroautos. Wie ist da der Stand der Dinge?

Mohrdieck: Vom Smart ist bereits die zweite Generation auf der Straße, das sind über 2.000 Stück, die weltweit verteilt fahren. Ab 2012 werden die Stückzahlen ins fünfstelligen wachsen. Diese nächste Generation wird auch eine längere Reichweite haben, die die 100 Kilometer der ersten Generation deutlich übertrifft.

Im Moment ist es noch so, dass die Elektroautos nicht gekauft – dafür ist ihre Lebensdauer nicht lang genug – sondern geleast werden. Wie entscheiden Sie, an wen Sie die Autos verleasen? Sind das vorwiegend VIPs?

Mohrdieck: Grundsätzlich wollen wir es so steuern, dass wir einen Querschnitt der Bevölkerung erhalten, um möglichst viele Fahrprofile zu sammeln. Das heißt, wir verleasen die Fahrzeuge an Firmen- und Privatkunden, darunter auch

Prominente, um die Öffentlichkeit über diese Multiplikatoren auf die Alltagstauglichkeit der Elektroautos aufmerksam zu machen.

Wie sind denn die Rückmeldungen generell?

Mohrdieck: In der Regel sind die Leute begeistert. Dabei gibt es drei Hauptargumente: Erstens das große Drehmoment, also das Beschleunigungsverhalten auf den ersten Metern. Die Leute wollen einfach schnell von der Ampel weg kommen. Das zeigt übrigens, dass es nicht ausreichend ist, immer nur auf die PS zu gucken. Das Gefühl, sportlich unterwegs zu sein, hängt eher am Drehmoment als an den PS. Die zweite positive Erkenntnis lautet: „Es ist leise“ und die dritte: „Es fährt wie jedes andere Auto auch“.

Was für ein Auto fahren Sie selbst?

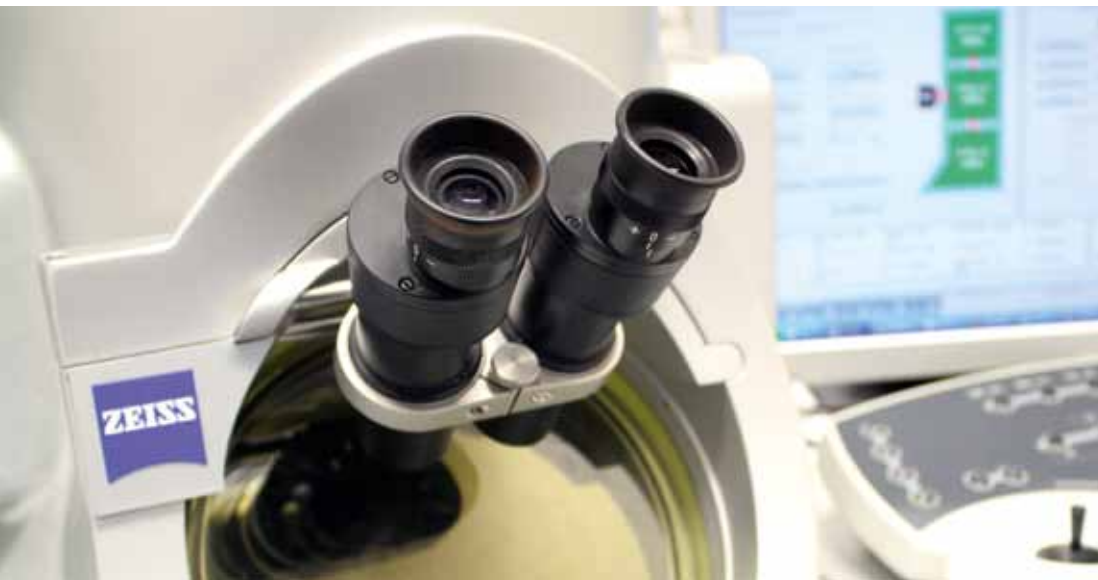
Mohrdieck: Ich fahre so oft wie möglich ein Brennstoffzellenauto.

Haben Sie dann immer eine Liste mit Wasserstoff-Tankmöglichkeiten bei sich?

Mohrdieck: Tanken kann ich in der Firma. Für längere Strecken habe ich zurzeit einen Mercedes GLK. Im Übrigen werden wir mit der Firma Linde ein Wasserstoff-Tankstellennetz für Ballungszentren aufbauen.

Nano-Kosmos der Batterie neu erforscht

Die Universität Ulm setzt auf die Niederspannungs-Transmissionselektronenmikroskopie – einem neuen Trend in der Elektronenmikroskopie mit Nutzen für die Batterieforschung – die Wurzeln liegen in der Wissenschaftsstadt Ulm



Im Projekt SALVE wird ein Mikroskop entwickelt, das die Auflösung bei niedrigen Beschleunigungsspannungen noch weiter erhöht – ihm wird praktisch eine zusätzliche und „schärfere Brille aufgesetzt“.

Nicht nur neue Batteriekonzepte werden zur Entwicklung neuer Hochenergiespeichersysteme mit hoher Energiedichte benötigt, sondern auch neue Konzepte zu deren Charakterisierung. Die atomare Abbildung der strukturellen Vorgänge beim Be- und Entladevorgang einer Batterie und ihrer defektbedingten Veränderung im Transmissionselektronenmikroskop ist derzeit noch ein fernes Ziel. Die Ulmer

Wissenschaftler möchten mit ihrer Erforschung und Entwicklung der Niederspannungs-Transmissionselektronenmikroskopie hier einen großen Schritt weiterkommen.

„Die Nano-Wissenschaft der Materialien ist geprägt von deren atomaren und molekularen Aufbau“, so beginnt Ute Kaiser, Professorin und Leiterin der Materialwissenschaftlichen Elektronen-

mikroskopie an der Universität Ulm ganz grundlegend. Sie und ihr Team orientieren sich an der Beantwortung von „Nano-Fragen“: Wo ist welches Atom? Wie sehen die Bindungsverhältnisse aus? Gibt es intrinsische elektrische, magnetische oder mechanische Felder? Und wie laufen strukturelle Vorgänge in situ auf atomarer Skala ab?

Mit dem Wissen um den atomaren und molekularen Aufbau des Materials, die ja die mechanischen, optischen und elektrischen Eigenschaften bestimmen, können die Struktur-Eigenschaftsbeziehungen aufgeklärt und modelliert werden. Daraus lassen sich dann maßgeschneiderte Materialien für die heutigen Schlüsseltechnologien herstellen oder bereits bestehende optimieren.

Eine der leistungsfähigsten Analysemethoden in der Materialwissenschaft ist die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM). Insbesondere gilt dies durch die seit 2005 erstmals kommerziell verfügbare Aberrationskorrektur der Elektronenlinsen (ein Aberrationskorrektor ist im übertragenen Sinne eine „Brille“ für die Elektronenlinse). Damit ist eine nie zuvor erreichbare Auflösung (Bildschärfe) möglich geworden. Die Universität Ulm hat sich der Herausforderung der neuen Technik früh gestellt und hat eins der

ersten kommerziellen Geräte dieser Art weltweit erworben; die Ulmer Elektronenmikroskopiker forschen seitdem intensiv an der quantitativen Beantwortung der „Nano-Fragen“.

Anders als ein Lichtmikroskop nutzt ein Elektronenmikroskop, um Objekte abzubilden, nicht Lichtstrahlen, sondern schnelle Elektronen mit einer Millionen Mal kleineren Wellenlänge als die des Lichtes. Dabei gehen die schnellen Elektronen (sie haben bei einer Beschleunigungsspannung von 300kV fast Lichtgeschwindigkeit) durch die Probe hindurch und wechselwirken mit den Atomen der Untersuchungsprobe. Dadurch werden sie in ihrer Flugbahn abgelenkt oder sogar abgebremst. Ihre Anordnung und Intensität nach dem Austritt aus der Probe und nach der Abbildung auf dem Elektronendetektor gibt Auskunft über die atomare Struktur der Probe. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die verwendeten Linsen die Flugbahnen der Elektronen ein weiteres Mal beeinflussen. Mit der Aberrationskorrektur lassen sich diese Fehler nun erstmals korrigieren. Doch was kann man machen, wenn die Atome aufgrund der zu hohen Energie der sie abbildenden Elektronen durch diese herausgeschlagen werden? Das passiert bei den für die Batterie wichtigen leichten Materialien wie Kohlenstoff



Prof. Dr. Ute Kaiser

und Lithium, deren Schwellen für das Heraus-schlagen deutlich unterhalb 80kV, dem derzeitigen Niederspannungslimit kommerzieller aberrationskorrigierter Geräte, liegen.

Wie aufregend wäre es, sagt Ute Kaiser, könnten wir zum Beispiel einzelne Li-Atome abbilden und deren Funktion bei der Be- und Entladung

einer Li-Ionen-Batterie atomar aufklären. „Die Untersuchung strahlempfindlicher Materialien in atomarer Auflösung ist die Motivation für unsere neue Initiative der Entwicklung der Niederspannungselektronenmikroskopie“, erklärt die Wissenschaftlerin, die auch Leiterin des SALVE Projekts – Sub-Ångström Low Voltage Transmission Electron Microscopy – ist. Wir wollen mit viel langsameren Elektronen („nur“ rund ein Drittel der Lichtgeschwindigkeit) abbilden, beugen und spektroskopieren.

Die baden-württembergischen Firmen Carl Zeiss NTS und CEOS GmbH sind Kooperationspartner im Projekt SALVE, bei dem ein Mikroskop entwickelt wird, das die Auflösung für niedrigere Spannungen noch weiter erhöht. Kaiser weiter: „Da wird nun dem Mikroskop eine noch viel schärfere ‚Brille‘, die optimiert für den Niederspannungsbereich von 20kV bis 80kV ist, aufgesetzt!“ Finanziert wird das Projekt in Höhe von 17 Millionen Euro von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, dem Land Baden-Württemberg, den beiden Wirtschaftspartnern und der Universität Ulm.

„Niederspannungs-Transmissionselektronenmikroskopie ist ein ganz neuer Trend in der Mikroskopie, und wir können sagen, wir bestimmen ihn mit. Inzwischen gibt es zwei Großprojekte, die ähnliche Ziele verfolgen, in Japan und den USA. Die Universität Ulm mit ihrem SALVE-Projekt ist einer der Leuchttürme.“
Ute Kaiser

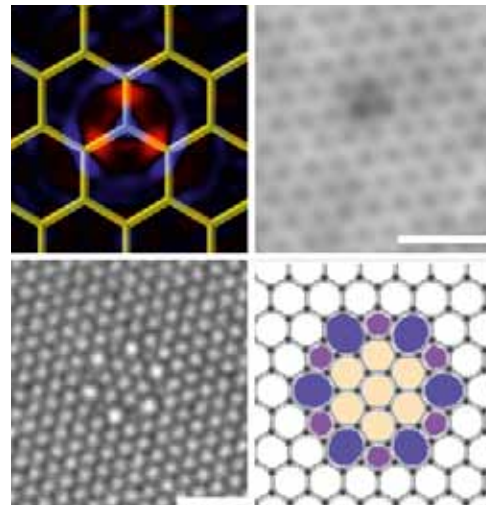


Abb. 1: Ladungsverschiebung aufgrund der Substitution eines einzelnen Stickstoffatoms im Graphengitter, einer Monolage von Kohlenstoffatomen (oben) und ein assoziierter „Flower“-Defekt im Graphen (unten). Maßstab: 1nm

Hohe Energieeffizienz, hohe Lebensdauer für die Elektromobilität: An diesem Thema arbeitet die Materialwissenschaftliche Elektronenmikroskopie in Ulm bereits seit einigen Jahren. Der Grund: Die Transmissionselektronenmikroskopie ermöglicht sehr vielfältige Aussagen, in Ulm kommt eine breite methodische Palette zur Anwendung. So können die Ulmer Elektronenmikroskopiker aus einem Bild oder aus Bildserien und den dazugehörigen Bildberechnungen die dreidimensionale Morphologie, die zweidimensionale atomare Kristallstruktur und deren Verspannung oder, in besonderen Fällen, die Ladungsverschiebungen (siehe Abbildung 1) auf atomarer Ebene bestimmen. Ebenso beschäf-

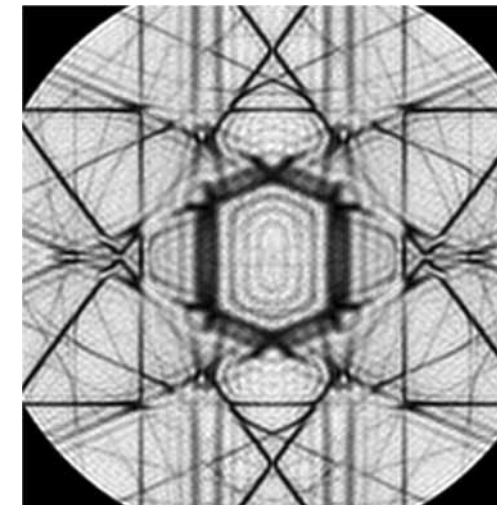


Abb. 2: Sogenannte Weitwinkel-konvergente Elektronenbeugung am InGaAs in der [012] Projektion. Die Bilder sind nicht nur ästhetisch schön, die feinen Linien erlauben Gitterkonstanten lokal mit höchster Präzision zu bestimmen.

tigen sich die Forscher mit der höchst präzisen lokalen Bestimmung von Gitterkonstanten aus konvergenten Elektronenbeugungsmustern (siehe Abbildung 2) sowie der Ermittlung der lokalen Elementverteilung und elektronischen Struktur durch orts aufgelöste Spektroskopie.

Die TEM-Analytik, angewendet in ihrer methodischen Breite, soll in Zukunft noch einen viel tieferen Einblick in Vorgänge innerhalb der Batteriematerialien ermöglichen. Besonders mit der SALVE-Initiative erhoffen sich die Ulmer Forscher Einblicke über den Lade- und Entladezyklus, über Alterungsvorgänge, Diffusion und Segregationsprozesse auf atomarer Ebene.

Brennstoffzellen mit Ethanol?

Ulmer Forscher wissen, in welche Richtung sie forschen müssen

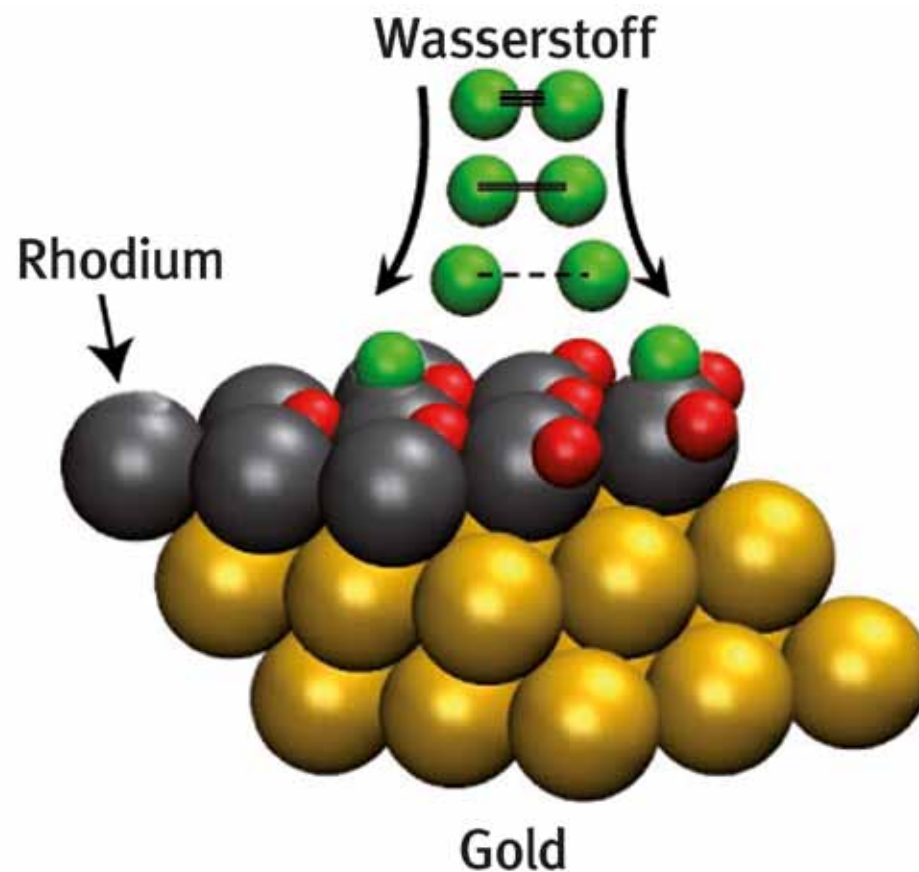
In elektrochemischen Energiespeichern und -wandlern, seien es Batterien oder Brennstoffzellen, müssen die Reaktionen schnell ablaufen, damit die Energie effektiv und ohne Verluste entnommen oder gespeichert werden kann. Dazu werden besonders aktive Elektroden benötigt, sogenannte Elektrokatalysatoren. Die Entwicklung neuer Katalysatoren war bis vor wenigen Jahren eine Kunst, die auf einer Mischung von Erfahrung und Intuition beruhte und zahllose, oft erfolglose Versuche erforderte. Seit einigen Jahren zeichnet sich ein grundlegender Wandel ab: der Übergang zu einer rationalen, gezielten Entwicklung von Elektrokatalysatoren. Die gewonnenen Ergebnisse fließen auch in die Katalysatorenforschung bei Batterien ein.

Ermöglicht wird dies durch große Fortschritte sowohl in der experimentellen als auch der theoretischen Elektrochemie. Auf der experimentellen Seite wurden verschiedene Methoden entwickelt, um den Verlauf einer Reaktion auf der atomaren Skala zu verfolgen. Hiervon stehen in Ulm viele zur Verfügung. Die Theoretiker ihrerseits haben Modelle dazu entwickelt, wie die elektronischen Eigenschaften der Elektroden den Verlauf und die Geschwindigkeit der Reaktionen beeinflussen. Im Zusammenspiel von Experiment und Theorie wird deutlich, welche Anforderungen ein guter Katalysator erfüllen muss und welche Materialien und

Strukturen in Frage kommen. Von großer Bedeutung sind dabei quantenchemische Rechnungen, die erst durch die Entwicklung immer schnellerer und größerer Computer ermöglicht wurden. Mit ihrer Hilfe lassen sich viele der chemischen und physikalischen Eigenschaften berechnen, welche die Elektrokatalyse bestimmen.

„Unsere Gruppe arbeitet überwiegend in der theoretischen Elektrochemie. In den letzten Jahren haben wir uns mit der Reaktion des Wasserstoffs befasst, der in Brennstoffzellen eine wichtige Rolle spielt. Weil diese Reaktion nur aus zwei Schritten besteht, bietet sie sich als Forschungsobjekt für neue Theorien an“, erklärt Wolfgang Schmickler, Professor für Theoretische Chemie an der Universität Ulm. „In unseren ersten Arbeiten zu diesem Thema haben wir noch versucht, bekannte experimentelle Befunde zu erklären, hinkten dem Experiment also hinterher. Mittlerweile ist unsere Theorie so weit gediehen, dass wir es wagen, vorherzusagen, welche noch nicht untersuchten Materialien besonders gute Katalysatoren für diese Reaktion sein sollten. Jetzt hoffen wir, dass die Experimentatoren unsere Vorschläge aufgreifen!“

Schon seit über hundert Jahren suchen Elektrochemiker nach guten und möglichst billigen Katalysatoren. Alle einfachen Metalle und



Experiment und Theorie zeigen, dass oft eine einzige Lage von aktiven Atomen auf einem preiswerten Substrat ausreicht, um eine große katalytische Wirkung zu erzielen: Hier ist der Tausch des teuren Platins gegen das „billigere“ Gold der Weg. Die Grafik weist in das Zentrum der Arbeit der theoretischen Chemiker in Ulm, denn schon aus rein wissenschaftlicher Sicht ist der „Kostenvorteil“ ein Erfolg für die Elektrokatalyse in ihrem Beitrag für die Brennstoffzellentechnologie.



Prof. Dr. Wolfgang Schmickler

Legierungen sind längst untersucht, ohne dass man etwas Besseres gefunden hätte als das teure Platin. Die Hoffnung richtet sich jetzt auf Methoden der Nanotechnologie, die es ermöglichen, Elektroden im atomaren Bereich zu modifizieren. In der Tat zeigen Experiment und Theorie, dass oft eine einzige Lage von aktiven Atomen auf einem billigen Substrat ausreicht, um eine große katalytische Wirkung zu erzielen. Schon aus rein wissenschaftlicher Sicht ist dies ein großer Erfolg für die Elektrokatalyse. Zudem verspricht dieser Befund aber auch, dass man in elektrochemischen Zellen mit wenig aktivem Material auskommen kann. Ob sich diese nanostrukturierten Elektroden dann in der Praxis bewähren, ob sie auf Dauer stabil genug sind, können nur Langzeitexperimente zeigen.

Der Transport und die Lagerung von Wasserstoff sind problematisch, deshalb wird schon lange an Alternativen geforscht. Ethanol ist ein vielversprechender Treibstoff: Er wird jetzt schon dem Benzin zugesetzt, und die Menschheit verfügt seit Tausenden von Jahren über bewährte Methoden zu seiner Produktion und Verbreitung. „Statt Ethanol in Motoren zu verbrennen, wäre es viel effektiver, es in Brennstoffzellen direkt in Strom zu wandeln“, meint Schmickler. „Schließlich ist der Wirkungsgrad von Motoren durch den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik begrenzt, der von Brennstoffzellen aber nicht.“ Leider waren alle Versuche, eine Brennstoffzelle mit Ethanol zu betreiben, bisher erfolglos. Dies liegt an einem scheinbar simplen, aber unverständenen Problem: „Bei der Umsetzung von Ethanol muss man die Bindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen brechen. Eigentlich sollte das nicht so schwierig sein – unser eigener Körper tut dies sehr effektiv, wann immer wir Alkohol trinken. Trotzdem findet dieser Bindungsbruch in elektrochemischen Zellen bisher nur selten statt, und ein großer Teil der im Ethanol gespeicherten Energie geht verloren.“ Es gibt aber Hinweise, in welcher Richtung nach einer Lösung zu suchen wäre: So stellte sich heraus, dass in alkalischer Lösung die Kohlenstoffbindung leichter gebrochen wird als in saurer Lösung; zudem sind gewisse Elektrodenstrukturen wie Stufen oder Oberflächenlegierungen effektiv. „Auf diesem Gebiet und bei verwandten Themen – zum Beispiel Methanolf Brennstoffzelle, neue Typen von Lithiumbatterien – gibt es einen großen Bedarf

an Forschung, die eine Kooperation von Theorie und Experiment erfordern. Hier liegen unsere Themen für die nächsten Jahre“, so Schmickler.

Solche fundamentalen Probleme lassen sich natürlich nicht im Alleingang lösen. Deshalb sind Forschungsverbünde wie die Ulmer DFG-Forscherguppe zur Elektrokatalyse, das neue Helmholtz-Institut oder die verschiedenen, von der Europäischen Union geförderten Netzwerke extrem wichtig. Schmicklers Gruppe pflegt zudem seit Jahrzehnten einen intensiven Austausch mit Lateinamerika, insbesondere mit Argentinien und Brasilien. Beide Länder haben in den letzten zehn Jahren viel in die Ausbildung investiert und haben entsprechend gut ausgebildete Studenten – gerade auch in der Elektrochemie. Das große Interesse dieser Länder an der Elektrochemie kommt nicht von ungefähr. Brasilien ist einer der größten Produzenten von Bioethanol, während im relativ dünn besiedelten Argentinien die beständig wehenden Winde Patagoniens eine potenzielle zuverlässige Energiequelle sind. Fortschritte in der Brennstoffzellentechnik könnten einen großen Beitrag zur zukünftigen Energieversorgung leisten. „Vor allem mit Argentinien haben wir verschiedene Austauschprogramme. Mittlerweile kommen so viele Mitarbeiter aus Lateinamerika, dass Spanisch die dominante Sprache geworden ist und man nur ins Englische oder Deutsche wechselt, wenn einer der wenigen deutschen Doktoranden das Zimmer betritt, die noch nicht einige Monate in Buenos Aires, Córdoba oder Santa Fe



Intensive Diskussionen sind der Nährboden für eine gute Wissenschaft. Der argentinische Doktorand German Soldano erhielt dieses Jahr den Preis der Fachgruppe Angewandte Elektrochemie der GDCh für seine Dissertation.

verbracht haben“, berichtet Schmickler. „Gute Wissenschaft gedeiht am besten in einer internationalen Atmosphäre, wo sich verschiedene Kulturen, Ideen und Denkweisen treffen.“

„Unsere Gruppe arbeitet überwiegend in der theoretischen Elektrochemie. In den letzten Jahren haben wir uns mit der Reaktion des Wasserstoffs befasst, der in Brennstoffzellen eine wichtige Rolle spielt. Weil diese Reaktion nur aus zwei Schritten besteht, bietet sie sich als Forschungsobjekt für neue Theorien an.“
Wolfgang Schmickler

„Wir tun viel, um den Studierenden zu helfen“

Kleine Gruppen, internationale Studiengänge, Absolventenbetreuung – davon profitiert auch die Ausbildung in den Energiewissenschaften

„Wir haben keine Kunden, sondern junge Leute, mit denen wir partnerschaftlich umgehen“, so formuliert der Vizepräsident für Studium und Lehre, Ulrich Stadtmüller, das Selbstverständnis der Universität Ulm. „Kunden bedient man. Was wir möchten, ist zusammenarbeiten.“

Stadtmüller, Professor für Mathematik, ist stolz auf seine Universität: „Bei uns gibt es kaum Massenveranstaltungen. Die Lehre findet in überschaubaren Gruppen statt, in Seminaren und Tutorien. Wir tun viel, um den Studierenden zu helfen, denn wir wollen niemanden verlieren. Wir möchten, dass junge Menschen ihren Fähigkeiten und Bedürfnissen entsprechend erfolgreich studieren können.“

An kleinen Universitäten sind die Wege kurz und die Absprachen leicht. Ein Vorteil ist dies bei fachübergreifenden Studiengängen, für die sich mehrere Fachvertreter zusammenfinden müssen. Ulm hat unter anderem zwei solche Studiengänge mit internationaler Ausrichtung geschaffen, ein dritter ist in Planung. Damit steht die Universität an vorderster Front, was die Ausbildung in den Energiewissenschaften betrifft. „Energy Science and Technology“ sowie „Advanced Materials“ sind zwei internationale Masterstudiengänge, die mehrere Disziplinen miteinander verzahnen. Auch Anforderungen



Prof. Dr. Ulrich Stadtmüller, Vizepräsident Lehre

aus der Wirtschaft sind in die Curriculaentwicklung eingeflossen. „Energy Science and Technology“ verbindet die Fächer Chemie, Materialwissenschaften und Elektrotechnik. Absolventen arbeiten in der Forschung oder in der Industrie an Fragen der Energiewandlung und -speicherung. „Advanced Materials“ kombiniert Biologie, Chemie, Ingenieurwissenschaften, Medizin und Physik. Hier geht es um die Entwicklung neuer Materialien, wie sie unter anderem in der Energietechnik Einsatz finden. Alle Veranstaltungen finden auf Englisch statt, die Mehrzahl der Teilnehmer kommt aus dem Ausland. Ein weiterer Bachelorstudiengang – eine Kooperation der

„Die lebendige Vorlesung mit einem Kollegen, der vorne steht und von seinem Fach begeistert ist, lässt sich mit dem elektronischen Werkzeug nicht ersetzen.“
Ulrich Stadtmüller

Chemie und den Ingenieurwissenschaften – ist in Planung und natürlich gibt es in der Chemie und der Physik Bachelor- und Masterangebote, die eine gute Basis für das Thema Energie darstellen.

Gut angenommen wird auch eine Videovorlesung im Bereich Elektrochemie, die zusammen mit der TU Darmstadt und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) organisiert wird. Die digitale Lehre ist Teil eines Unterrichtsprojekts von neun Universitäten und Forschungseinrichtungen, die im „Elektrochemie Kompetenz-Verbund-Süd“ miteinander kooperieren. Neben Forschungsprojekten organisiert der Verbund, der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird, auch standortübergreifende Lehrveranstaltungen. Generell kommen Videovorlesungen bei den Studierenden gut an. „Die mögen das“, sagt Stadtmüller. Deswegen plant

die Universität Ulm zukünftig, mehr Vorlesungen mitzuschneiden und ins Netz zu stellen. Auf diese Weise können sich die Studierenden den Lehrstoff auf i-pods laden und zu Hause anhören – eine gute Möglichkeit, das Lernen mit Lehrbuch zu ergänzen. „Die lebendige Vorlesung mit einem Kollegen, der vorne steht und von seinem Fach begeistert ist, lässt sich damit allerdings nicht ersetzen“, meint Stadtmüller.

Einen großen Erfolg verzeichnet Ulm im Rahmen des BMBF-Wettbewerbs „Qualitätspakt Lehre“. Für die nächsten sechs Jahre erhält die Universität mehr als sechs Millionen Euro, um die Studienbedingungen weiter zu verbessern. Schwerpunkt des Ulmer Konzepts sind dabei die Übergänge: der Studienbeginn und der Berufseinstieg. In den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) sowie in der Medizin können Abiturienten an einem Vorstudium teilnehmen und zukünftig sogar schon ein eigenes kleines Forschungsprojekt durchführen. Für Absolventen wiederum möchte die Universität berufsbegleitende Fortbildungsprogramme organisieren. „Wir sind dabei, Weiterbildung für Berufstätige aufzubauen“, berichtet Stadtmüller. „Wer bei uns seinen Bachelor gemacht und einige Jahre gearbeitet hat, kann für einen Master zurückkommen, ohne seine Karriere unterbrechen zu müssen.“

Hohe Motivation der Ulmer Nachwuchswissenschaftler

Forschung verbindet Nationalitäten



Ich habe bereits in vielen Ländern studiert. Meinen Bachelor habe ich auf den Philippinen gemacht und in diesem Zusammenhang auch ein Jahr in Singapur verbracht. Dann bin ich für Master und Promotion nach Japan gegangen. Dort habe ich auf einer

Konferenz Axel Groß (siehe Seite 14) kennengelernt, der hier in Ulm Professor für Theoretische Chemie ist. Wir haben uns viel unterhalten, weil er auf dem Feld forscht, das mich auch am meisten interessiert: der theoretischen Modellierung von elektrochemischen Prozessen. Er hat mir von der Arbeit an seinem Institut erzählt und mich eingeladen, als Postdoc nach Ulm zu kommen.

Damals hatte ich noch ein zweites Angebot aus Vancouver in Kanada, deswegen musste ich zunächst überlegen. Für Ulm sprach der exzellente Ruf auf dem Gebiet der Theoretischen Chemie, ein Gegenargument war die Sprache. Ich konnte kein Deutsch. Aber schließlich habe ich alle Bedenken in den Wind geschlagen und mich für Deutschland entschieden. Jetzt bin ich seit einem Jahr hier und es gefällt mir sehr gut. In meiner Forschergruppe sind sechs Nationalitäten vertreten und wir sprechen Englisch. Deutsch lerne ich in Sprachkursen. Nach dem Postdoc will ich auf jeden Fall in der Forschung bleiben. Am liebsten würde ich zu Hause, an einer Universität auf den Philippinen, eine eigene Forschungsgruppe aufbauen. **Dr. Tanglew Roman, Postdoc am Institut für Theoretische Chemie, Universität Ulm**

Kombination von Experiment und Theorie

Seit dreieinhalb Jahren arbeite ich an meiner Doktorarbeit. Mein Thema ist die Elektrokatalyse an bimetalischen Elektroden. Bimetallische Legierungen sind oft katalytisch aktiver als die jeweiligen reinen Metalle. Ursachen sind die für eine bestimmte Reaktion günstigen atomaren Anordnungen bzw. elektronische Strukturen der Oberflächen. Ich untersuche den Einfluss bestimmter Strukturen von Elektrodenoberflächen auf deren katalytische Aktivität für eine elektrochemische Reaktion. Dadurch können Struktur-Aktivitäts-Beziehungen aufgedeckt werden, welche die Entwicklung neuer und verbesserter Katalysatoren lenken können. An meiner Arbeit gefällt mir die Abwechslung von Experimenten im Labor und der Auswertung und Literaturrecherche am Computer. An der Forschung im Institut für Elektrochemie schätze ich besonders die Verbindung von Experiment und Theorie. Das Studium an der Universität Ulm ist sehr angenehm, da sie relativ klein ist. Man findet schnell Kontakt zu den anderen Studenten und den Professoren. Auch Studentenjobs an der Universität sind leicht zu bekommen. Ich selbst habe eine halbe Stelle am Institut, betreue Praktika und halte Seminare. Die andere Hälfte meiner Zeit verbringe ich mit meinen Forschungsarbeiten. Für die Zeit nach der Promotion kann ich mir vorstellen, als Postdoc an eine Universität im Ausland oder auch direkt in die Industrie zu gehen. **Yvonne Pluntke, Doktorandin am Institut für Elektrochemie, Universität Ulm**



Vernetzt denken

Was meine Zukunft betrifft, habe ich noch nie lange gebraucht, um Entscheidungen zu fällen. Chemie wollte ich studieren, weil ich wusste, dass ich so etwas zur Energieforschung beitragen kann und dieses dem Fortschritt der Menschheit dient. Viele haben mich vorgewarnt, dass es hart würde, aber mich haben die Schwierigkeiten eher angezogen als abgestoßen. Im Prinzip ist es so, dass man als Chemiker vernetzt denken muss: Man eignet sich Fachwissen an und lernt logisches Denken, da auch Fächer wie Mathematik oder Physikalische Chemie Bestandteil des Unterrichts sind. Die Vielfalt der Fächer ist hierbei so groß, dass für jeden etwas dabei ist. Wer sich für die Entwicklung von Batterien oder für die Umstellung auf erneuerbare Energien interessiert, dem kann ich Ulm als Studienort sehr empfehlen. Weil es eine kleine Universität ist, sind die Professoren sehr zugänglich, ein Gespräch ist fast immer möglich. Mir macht Forschung Spaß; wenn sich allerdings in der Industrie interessante Möglichkeiten auftun: warum nicht? Noch gibt es wenige Stellen für theoretische Chemiker. Gerade in Unternehmen läuft alles experimentell. Aber das wird sich ändern. In Zukunft, wenn die Theorien und die Technik noch weiter ausgereift sind, wird man allein aus Gründen der Wirtschaftlichkeit oft erst dann ein Experiment machen, wenn man weiß, dass es in der Theorie funktioniert. Und dann sind theoretische Chemiker auch in der Wirtschaft gefragt. **Markus Jäckle studiert den Masterstudiengang Chemie an der Universität Ulm.**



Kontakt zu Studierenden ist die Basis – Forschungsexzellenz die Folge

Interview mit Dieter Kaufmann, Kanzler der Universität Ulm, über die Positionierung der Hochschule als Forschungsuniversität

Welche Rolle spielt die Elektrochemie für die strategische Ausrichtung der Universität Ulm?

Dieter Kaufmann: Wir sind keine klassische Volluniversität, sondern wollen uns auf bestimmte Gebiete spezialisieren, auch innerhalb der Natur- und Ingenieurwissenschaften. Mit der Elektrochemie bauen wir einen Schwerpunkt aus, der in den nächsten Jahren gesamtgesellschaftlich gesehen von zentraler Bedeutung sein wird. Das Thema ist stark nachgefragt und wir glauben, dass sowohl Forschung als auch Lehre mit grundständigen Studiengängen hier für Studierende von steigendem Interesse sein werden. Die Wirtschaft sucht gute Absolventen. Darüber hinaus müssen wir auch die Fort- und Weiterbildung bedienen, das heißt, Mitarbeitern von Unternehmen, die bereits seit Jahren in der Industrie tätig sind, die Möglichkeit anbieten, an der Universität die neuesten Forschungsergebnisse und Verfahren kennenzulernen.

Werden Sie verstärkt Haushaltsmittel für die Elektrochemie bereitstellen?

Kaufmann: Die Universität muss strategisch wichtige Themen auch in ihrer Budgetierung unterstützen. Wir werden in enger Abstimmung mit den Fakultäten die Bereiche ausbauen und auch innovative Wege in der Finanzierung ge-



Dieter Kaufmann, Kanzler

hen. Dazu gehören beispielsweise vorgezogene Nachfolgen: Wenn ein Lehrstuhlinhaber in drei bis fünf Jahren in den Ruhestand geht, können wir bereits jetzt einen Nachfolger berufen.

Die Exzellenzinitiative ist dabei, die Hochschullandschaft in Deutschland zu verändern; wie verhält sich die Universität Ulm in dieser Situation?

Kaufmann: Mit und nach der Exzellenzinitiative wird sich das Hochschulsystem neu ausrichten;

wahrscheinlich wird es einige Bundesuniversitäten geben, dann Forschungsuniversitäten und Lehrhochschulen. Die Finanzierung, die für die Bundesunis benötigt wird, kann dazu führen, dass anderen Unis weniger Mittel zur Verfügung stehen. Wir möchten Forschungsuniversität bleiben und versuchen deswegen beizeiten, uns in diesem Feld zu positionieren, unter anderem, indem wir bestimmte Themen besetzen.

Um die eigene Position zu stärken, ist es wichtig, genügend Studierende zu haben. Wie sieht es da in Ulm aus?

Kaufmann: Wir sehen das Risiko, dass künftig viele gute Studenten nach dem Bachelor an eine der Exzellenzunis wechseln. Wir sind jedoch in den Universitäten darauf angewiesen, gute Masterstudenten anzuziehen, um den wissenschaftlichen Nachwuchs sicherzustellen.

Was macht die Universität Ulm attraktiv für Studierende?

Kaufmann: Unsere Vorstellung ist, dass unsere herausragende Forschung, beispielsweise in der Elektrochemie, an sich schon interessant für Masterkandidaten und Doktoranden sein müsste. Ein weiterer Punkt sind die Vorteile, die wir als kleine Universität gegenüber den großen Massenuni-

versitäten zu bieten haben: Jeder Professor kennt seine Studierenden persönlich und ist leicht ansprechbar. Generell versuchen wir, auch von der Hochschulleitung her, mit den Studierenden in einem möglichst engen Dialog zu bleiben, um deren Bedürfnissen gerecht zu werden. So saßen Vertreter der Studenten in allen Gremien, in denen über die Verwendung der Studiengebühren entschieden wurde. Studierende sind weiterhin eine wichtige Gruppe von Mitentscheidern, wenn es nach dem Wegfall der Studiengebühren um die Verwendung der Landesmittel geht, die als Kompensation der wegfallenden Studiengebühren in Aussicht gestellt werden.

Wofür wurden die Studiengebühren verwendet?

Kaufmann: Mit dem Geld wurde die Situation der Lehre in vielen Bereichen verbessert; so wurden neue Arbeitsplätze in den Labors geschaffen, mehr Tutorien eingerichtet, Drucker angeschafft und ein Bus-Shuttle-System für die Studierenden eingerichtet, das heißt, wir haben mit dem Öffentlichen Nahverkehr ausgehandelt, dass die Studenten die Buslinie, die durch den Campus fährt, als Shuttle nutzen können, um von einem Ende zum anderen zu gelangen. Es wurden die Bibliotheksausstattung verbessert und Lernflächen eingerichtet, um nur einige der vielen Maßnahmen zu nennen.

Impressum

Herausgeber

Universität Ulm
Der Präsident
Prof. Dr. Karl Joachim Ebeling
Helmholtzstraße 16
89081 Ulm

Redaktion & Lektorat

Ellen Kamrad (v.i.S.d.P), Universität Ulm
Kristin Mosch, vwt. Lemmens Medien
Dr. Markus Lemmens, Lemmens Medien
Niko Branch, Lemmens Medien

Gestaltung & Satz

Regina Fischer, Agentur frau f, Berlin

Druck

Höhn Paper Print GmbH, Biberach

Auflage

1.000 Druckexemplare

Fotos

BASF (S. 25), Daimler AG (S. 26, S. 27), Elvira Eberhardt, kiz, Universität Ulm (S. 3, S. 7, S. 8, S. 9, S. 10, S. 11, S. 12, S. 13, S. 14, S. 15, S. 29, S. 31, S. 32, S. 33, S. 34), Forschungsgruppe Schmickler (S. 30, S. 31 rechts), Ute Kaiser (S. 29), Meyer J. C. et al Nature Materials, 10, 209-215 (2011) (S. 29, Abb. 1), Nickel & Partner Architekten AG, Büro München (S. 6), Rüdiger Oesten (S. 25), Carlo Taccari (S. 1 links), Universität Ulm (S. 1 rechts, S. 2), Margret Wohlfahrt-Mehrens (S. 23), Zeiss (S. 28), ZSW (S. 2, S. 4, S. 16, S. 17, S. 20, S. 21, S. 22, S. 23, S. 24)



Die Themendossiers vertiefen die Berichterstattung zu den strategischen Forschungsschwerpunkten der Universität Ulm. Die Gesprächspartner der Universität werden auf Basis journalistischer Recherche interviewt. Da sich die Themendossiers nicht an die wissenschaftlichen Fachgesellschaften richten, sondern die Bezugsgruppen der Universität – Politik, Administration, Medien, Wirtschaft, Studierende, Alumni sowie interessierte Bürger – ansprechen, schreiben die Forscher sowie die Hochschulleitung größtenteils nicht selbst. Die Redaktion Themendossier – im vorliegenden Heft Kristin Mosch, Wissenschaftsredakteurin von Lemmens Medien – fasst die Beiträge im Sinne eines Mittlers zwischen Wissenschaft und Gesellschaft. Gesamtedaktion, Korrektur und Projektsteuerung Lemmens Medien GmbH, Bonn – Berlin

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde in der Regel die männliche Schreibweise verwendet. Wir weisen an dieser Stelle ausdrücklich darauf hin, dass sowohl die männliche als auch die weibliche Schreibweise für die entsprechenden Beiträge gemeint ist.

Das Themendossier wird regelmäßig digital erweitert und aktualisiert. www.uni-ulm.de

