



EEBatt

Dezentrale Stationäre Batteriespeicher zur
effizienten Nutzung Erneuerbarer Energien
und Unterstützung der Netzstabilität

Zwischenbericht 2015

Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie



EEBatt

Dezentrale Stationäre Batteriespeicher zur
effizienten Nutzung Erneuerbarer Energien
und Unterstützung der Netzstabilität

Zwischenbericht 2015

Inhalt

Willkommen

Vorwort des Präsidenten	8
Vorwort MSE	10
Motivation und Auftrag	12
Energy Neighbor	16

EEBatt auf einen Blick

TP1 – Projektmanagement	20
TP2 – Batteriezellforschung	21
TP3 – Batteriemanagementsystem	22
TP4 – Entwicklung und Optimierung der Batteriemodule	23
TP5 – Energiemanagementsystem	24
TP6 – Leistungselektronik	25
TP7 – Integration zum Gesamtsystem	26
TP8 – Feldtest	27
TP10 – Zukunftsvisionen	28
TP11 – Strategie und Geschäftsmodelle	29
TP12 – Forschungsproduktionslinie für Batteriezellen	30

Forscher

EEBatt – Ein interdisziplinäres Team	34
Andreas Ehrl	35
Neelima Paul	36
Rowena Thomas	37
Stefan Seidlmayer	38
Yelena Gorlin	39
Johannes Landesfeind	40
Johannes Wandt	41
Markus Westermeier	42
Ralph Karl	43
Rui Fang	44
Simon Erhard	45
Sophie Solchenbach	46
Ilya Zilbermann	47
Michael Baumann	48
Carola Zwicker	49
Christian Huber	50
Cosima Stocker	51
Katharina Rumpf	52
Korbinian Schmidt	53
Martin Brand	54
Patrick Schmitz	55
Till Günther	56
Alma Pröbstl	57
Andreas Ebentheuer	58
Cong Nam Truong	59
Sangyoung Park	60
Kay Bareiß	61
Markus Herzog	62
Taha Lahlou	63
Matthias Kerler	64
Stephan Rohr	65
Alexander Zeh	66
Marina Rau	67
Johannes Dorfner	68
Lorenz Viernstein	69
Magdalena Dorfner	70
Simon Herzog	71
Bernhard Kalkbrenner	72
Simon C. Müller	73
Marcus Müller	74

Partner

Partner	78	CSS	85
Kooperation zwischen Wissenschaft und Praxis		Lehrstuhl für Katalysator Charakterisierung	
Institute	80	iwb	86
Fakultätsübergreifende Forschungsgemeinschaft		Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften	
EES	80	VARTA Storage GmbH	88
Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik		Systembau Energy Neighbor	
TEC	80	Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung	90
Lehrstuhl für Technische Elektrochemie		Forschungspartner	
LNM	81	Haager Beteiligungs AG	92
Lehrstuhl für Numerische Mechanik		Feldtestpartner für Moosham	
ENS	81		
Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme			
EEN	82	Das Projekt in Zahlen	
Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze			
EWT	82	Technische Daten	96
Fachgebiet Energiewandlungstechnik		Energy Neighbor in Zahlen	
RCS	83	Verbundlabore	97
Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme		Gemeinsam Expertise schaffen	
FTM	83	Ausblick	98
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik		Moment nutzen	
S&O	84	Danksagung	99
Lehrstuhl für Strategie und Organisation		Publikationen	100
FRM II	84	Fortschritt öffentlich machen	
Heinz Maier-Leibnitz Zentrum/ Forschungs-Neutronenquelle		Impressum	103
MCR	85		
Lehrstuhl für Marketing und Konsumforschung			

Willkommen

Vorwort des Präsidenten	8
Vorwort MSE	10
Motivation und Auftrag	12
Interdisziplinäre Forschung als Lösung hochkomplexer Themen	
Energy Neighbor	16
Ortsnetzspeicher Energy Neighbor in Moosham	

Vorwort des Präsidenten

der Technischen Universität München



**Prof. Dr. Dr. h.c. mult.
Wolfgang A. Herrmann**

Die Technische Universität München (TUM) ist dem wissenschaftlichen Erkenntnis- und Innovationsfortschritt verpflichtet. Sie nimmt diesen gesellschaftlichen Auftrag wahr, indem aktuelle Themen in die Forschung der Universität aufgenommen und bearbeitet werden. Durch die in Bayern hohe Durchdringung der Stromnetze mit regenerativen Energien muss deren starke Schwankung berücksichtigt werden. Das resultierende Ungleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch wird derzeit noch von Energieversorgungsunternehmen ausgeglichen. Der zukünftige Atomausstieg und stetig wachsender Anteil erneuerbarer Energien steigern jedoch den Druck, immer größere Schwankungen und Engpässe an anderen Stellen abzufangen. Mit begrenzter Kompensationskapazität der Verbundnetze entstehen auch hier Forderungen nach Ausbau. Die rasche Integration von Energiezwischen-speicherlösungen ist daher ein erklärtes Ziel.

Speicherforschung EEBatt

Initiiert durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie und die TUM im Januar 2013, forschen im Projekt EEBatt mehr als 48 Wissenschaftler an 14 Instituten aus fünf Fakultäten gemeinsam unter dem Dach der TUM Munich School of Engineering an Batteriespeichertechnologien der Zukunft. Durch das Erschaffen einer interdisziplinären Forschungsgemeinschaft aus allen Ressorts, kann das MSE-Projekt EEBatt ein so hoch komplexes Thema wie stationäre Batteriespeichersysteme mit gemeinsamen Anstrengungen erforschen und Erfolge erzielen. Aus dem erklärten Projektziel, der Entwicklung eines wettbewerbsüberlegenen, innovativen dezentralen stationären Energiespeichersystems, hat die TUM für sich wesentliche Ziele abgeleitet. Das Vorantreiben der Materialforschung für Lithium Batteriezellen, die Erhöhung der Effizienz und



Lebensdauer einzelner Zellen, die Weiterentwicklung der Batteriemanagementsysteme, die Entwicklung eines optimierten Energiemanagementsystems, die kosteneffiziente und ökonomisch optimierte Vernetzung, sowie Bereitstellung attraktiver Geschäftsmodelle für stationäre Batteriespeichersysteme bilden nur einige der vielversprechenden Ergebnisse ab.

TUM Energy Neighbor

Mit Ablauf des zweiten Projektjahres blickt die TUM auf eine ganze Reihe hervorragender Forschungsergebnisse zurück. Mit der Erforschung, Entwicklung und dem Aufbau eines TUM-eigenen dezentralen stationären Batteriespeichersystems wird ab Oktober 2015 der TUM Energy Neighbor als real eingesetzte Forschungsplattform in einer Gemeinde in Oberbayern seinen Dienst aufnehmen. Der Batteriespeicher TUM Energy Neighbor ermöglicht es der Gemeinde lokal erzeugten Strom aus Erneuerbaren lokal zu speichern und lokal zu verbrauchen. Außerdem werden Netzdienstleistungen bereitgestellt und Verbundspeichersysteme untersucht. Die Komponenten des Systems sind von der einzelnen Batteriezelle bis zur Umweltkopplung des Energiemanagements von TUM Wissenschaftlern erforscht,

verbessert und einsatzfähig gemacht worden. Durch Weiterentwicklungen im Batteriemanagement konnte das TUM Batteriemanagementsystem aufgebaut werden, welches nun zu einer weitaus höheren Sicherheit des gesamten Systems beiträgt. Völlig neuartige kybernetische Methoden im Energiemanagement lassen den TUM Energy Neighbor selbst bei Ausfall ganzer Subkomponenten sicher und effizient am Netz. Durch den gezielten Einsatz neuester Forschungsergebnisse wurden Produktionskosten von Batteriemodulen gesenkt und die Gesamteffizienz des Systems erhöht. Die TUM rechnet damit, dass der TUM Energy Neighbor neue Geschäftsmodelle für Energieversorger liefern wird, die Bevölkerung einen großen Nutzen aus der gemeinsam geteilten Speicherkapazität ziehen wird und bereits heute herrschende Probleme der Energiewende in Bayern lösbar sind. Ein einzelnes Speichersystem ist jedoch auf seinen Einsatz begrenzt und so plant die TUM bereits heute einen großflächigen Feldtest mit mehreren Energy Neighbor Systemen, um faktenbasiert die weitreichenden positiven Auswirkungen auf die Netze vom Labor in die Realität übertragen zu können.

Präsident

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang A. Herrmann

Vorwort des Direktors der MSE



**Prof. Dr. rer. nat.
Thomas Hamacher**

EEBatt oder die besondere Rolle der Universitäten für die Energiewende

Wie soll eine Batterie aussehen, die einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten kann, die bezahlbar und sicher ist, die mit modernsten Produktionstechnologien hergestellt werden kann und damit auch an einem Hochlohnstandort wie Deutschland produziert werden kann, die aber auch für andere Anwendungen z. B. auf Urlaubsinseln geeignet ist? Um auf diese Frage eine sinnvolle Antwort zu geben, bedarf es eines großen Teams aus sehr verschiedenen Bereichen. Glücklicherweise finden sich an der TU München all diese Experten in den verschiedenen Fakultäten, begonnen bei der Chemie über die Elektrotechnik und das Maschinenwesen bis hin zu den Wirtschaftswissenschaften und dazu bietet die Munich School of Engineering (MSE) ein geeignetes Dach, um ein solches Projekt zu koordinieren.

Die TU München zeigt damit, wie die Zukunft der Energieforschung aussehen wird. Neben Großforschungseinrichtungen und Instituten, die in der Vergangenheit den Löwenanteil der Forschungsmittel für sich akquirieren konnten, die aber weder die Flexibilität noch die Vielfalt einer Universität bieten können, tritt jetzt, quasi als schnelle Eingreiftruppe der Energiewende, die TU München. Die Energieforschung wird dabei weiterhin an den einzelnen



Lehrstühlen betrieben aber von der MSE koordiniert und zusammengehalten.

Das EEBatt Projekt kann dabei als Prototyp dienen und die besonderen Stärken der TU München in der Energieforschung unter Beweis stellen. Dabei ist die Batterieforschung eines unter vielen Themen im Energiebereich, die zurzeit bearbeitet werden. Und auch hier zeigt sich wieder die Stärke einer exzellenten Universität, nämlich das verschiedene Ansätze und Lösungen für die drängenden Probleme im Energiebereich verglichen und zusammengeführt werden können, dass hier nicht eine Lösung als die Lösung verkauft werden muss, sondern das gerade die Stärken Schritt für Schritt im Vergleich mit anderen Ansätzen erarbeitet werden.

Neben der Forschung bietet ein Projekt wie EEBatt aber auch eine hervorragende Umgebung für unsere Studierenden und Doktoranden und Doktorandinnen schon früh Teil eines komplexen Projektes mit Industriebeteiligung zu sein.

Die notwendigen Veränderungen im Energiesystem werden nur gelingen, wenn die Forschung die richtigen Strukturen etabliert. Das EEBatt Projekt weist dabei in die richtige Richtung und wird hoffentlich Vorbild für viele ähnliche Projekte werden, die Stück für Stück aus dem Wunsch nach einem nachhaltigen Energiesystem eine Realität werden lassen.

Direktor der MSE
Prof. Dr. rer. nat. Thomas Hamacher

Motivation und Auftrag

Interdisziplinäre Forschung als Lösung hochkomplexer Themen



TU München begegnet mit EEBatt den Herausforderungen der Energiewende

Energiespeicher zählen zu den Schlüsseltechnologien der Energiewende. Erst die Verbreitung wirtschaftlicher und zuverlässiger Energiespeicher ermöglicht eine bezahlbare und sichere Versorgung aus erneuerbaren Energien. Die Entwicklung leistungsfähiger Energiespeicher ist allerdings eine der großen Herausforderungen der Energiewende. Dieser Herausforderung begegnet die Technische Universität München unter anderem mit dem Forschungsprojekt EEBatt. Gefördert vom Bayerischen Wirtschaftsministerium mit 28,8 Millionen Euro widmen sich mehr als 48 Wissenschaftler an 14 Instituten aus sechs Fakultäten der Erforschung von stationären Batterien auf Basis von Lithium-Ionen. Projektpartner aus Industrie und Praxis sind die VARTA Storage GmbH sowie das Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern) und die Kraftwerke Haag Gruppe (KWH). EEBatt ist von einem außerordentlich interdisziplinären Charakter gekennzeichnet. Das Spektrum der wissenschaftlichen Aktivitäten reicht von der Grundlagenforschung für Batteriezellen, der prototypischen Entwicklung von Komponenten und Speichersystemen bis hin zur Analyse von Marktpotenzialen und Geschäftsmodellen. Die theoretischen Arbeiten erfolgen eng verzahnt mit einem Feldtest in einem bayerischen Ortsnetz auf Niederspannungsebene.

Speicher sind für die Energiewende nötig

EEBatt beschäftigt sich mit einer der Schlüsselkomponenten der Energiewende. Während die Stromerzeugung aus fossilen Energien bedarfsgerecht gesteuert wird, hängt sie bei regenerativen Energien von Witterung, Tages- und Jahreszeit ab. Für die Integration von Sonnen- und Windenergie sind Technologien zum Lastausgleich nötig. Derzeit werden fossile Kraftwerke in dem Umfang zurückgefahren, wie es die Einspeisung aus erneuerbaren Energien verlangt. Auch die Übertragung von regionalen Stromüberschüssen zu weit entfernten Verbrauchern stellt eine Möglichkeit zum Lastausgleich dar. Mit dem weiteren Ausbau erneuerbarer Energien geraten diese Maßnahmen jedoch zunehmend an ihre Grenzen. Überlastungen von Transformatoren und Leitungen können zunehmend nur noch durch Abschaltungen oder Abregelung von Windkraft- und Photovoltaikanlagen vermieden werden. Solche Schwierigkeiten sind keine Prognosen für die ferne Zukunft, sondern gehören schon heute zu den alltäglichen Problemen der Netzbetreiber. Betroffen sind insbesondere ländliche Regionen Bayerns mit zahlreichen Photovoltaikanlagen. In diesen Regionen herrscht besonders zur Mittagszeit häufig ein Überangebot an Photovoltaikstrom, welches durch Übertragung des Stroms in andere Regionen abgebaut werden kann.



Dieser Stromtransport führt jedoch häufig zur Überlastung von Betriebsmitteln und hat einen kostenintensiven Netzausbau zur Folge. Im Projekt EEBatt wird die lokale Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien erforscht, welche den notwendigen Netzausbau erheblich reduzieren und zukünftige Geschäftsmodelle für die Nutzung von Solarstrom auch nach dem EEG möglich machen kann.

Das wissenschaftliche Spektrum von EEBatt – Forschung an Batteriespeichern

EEBatt folgt einem ganzheitlichen und interdisziplinären Forschungsansatz. Die theoretische Forschung erfolgt eng verzahnt mit praktischen Tests. Untersuchungen im Bereich der Elektrochemie für Batteriezellen beginnen schon auf atomarer Ebene, z. B. mit der Analyse molekularer Gitterstrukturen durch die Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz in Garching. Im Labormaßstab werden neuartige Produktionsprozesse für die Herstellung von Batteriezellen und deren Zusammensetzung zu mehrzelligen Modulen entwickelt. Neuartige Produktionsprozesse bilden das Fundament für sinkende Stückkosten und damit für die Entwicklung wettbewerbsfähiger Speichersysteme. Der wirtschaftliche Betrieb eines Speichers hängt nicht zuletzt von der Lebensdauer

der Batterie ab, wie auch vom ökonomischen Speicherbetrieb. Ein langes Batterieleben ist eines der wesentlichen Ziele des Batteriemanagementsystems. Das Batteriemanagement stellt sicher, dass die Batteriemodule einerseits die geforderten elektrischen Leistungen erbringen, andererseits aber nicht unzulässig betrieben und/oder überlastet werden. Als Entwicklungsziel des Energiemanagementsystems stehen Regelalgorithmen im Fokus, die eine wirtschaftliche Betriebsweise des Speichers gewährleisten. Für verschiedene Einsatzbereiche der Speicher werden verschiedene Energiemanagementsysteme entwickelt. Es unterscheiden sich beispielsweise Regelstrategien für Batterien, die vor allem der Entlastung eines Ortsnetztransformators dienen von jenen zur Maximierung des lokalen Verbrauchs von lokal erzeugtem Strom. Auch Regel- und Kommunikationsstrategien für mehrere Speicher im Verbund, sogenannten Speicherschwärme, sind Gegenstand der Untersuchungen. Neue Entwicklungsschritte des Batterie- und Energiemanagementsystems werden laufend simulativ und praktisch getestet und weiter verbessert. Für Tests im Labormaßstab wurden mehrere Prüfstände und Klimakammern für Batteriezellen und -packs geschaffen. Außerdem können realitätsnahe Untersuchungen für komplette Speicher von der Größe eines Schiffscontainers an einem neuen Hochleistungsprüfstand der TUM durchgeführt werden.

„Energiewende vor Ort – EEBatt in Bayern“

Der Feldtest in Moosham

Ein voll funktionsfähiger Prototyp eines Speichers mit einer Speicherkapazität von 200 kWh wird im Herbst 2015 in Moosham in der Gemeinde Kirchdorf in Oberbayern in Betrieb genommen. Dieser Feldtest wird in Kooperation mit der Kraftwerke Haag Gruppe durchgeführt, dem lokalen Energieversorger und Netzbetreiber. Moosham wurde beispielhaft ausgewählt für ein Niederspannungsnetz mit hoher Photovoltaikdurchdringung. Das Dorf besteht aus ca. 50 Haushalten, von denen etwa 20 eine Photovoltaikanlage betreiben. Die installierte Nennleistung der Photovoltaikanlagen beträgt rund 300 kW_p und bringt den Ortsnetztransformator mit Nennleistung 250 kVA als Bindeglied zwischen Nieder- und Mittelspannungsnetz bereits jetzt an seine Belastungsgrenze. Daher ist vor Ort kein weiterer Photovoltaikausbau möglich. Mit dem Lithium-Ionen-Batteriespeicher auf der Niederspannungsebene wird der Transformator bei maximaler Solarstromproduktion entlastet, womit weiteres Ausbaupotenzial geschaffen wird. Zudem bietet eine intelligente Speichersteuerung die Möglichkeit, auch nach Auslauf der EEG-Vergütung Geschäftsmodelle für Besitzer von Photovoltaikanlagen zu schaffen. Nicht zuletzt aus diesem Grund wird der Feldtest von den Bürgern in Moosham unterstützt. Wissenschaftliche Motivation für den Feldtest ist die Untersuchung des Zusammenspiels der prototypischen Hard- und Softwarekomponenten und deren Wirkung auf die vorhandene Infrastruktur. Bis zur Inbetriebnahme werden Hard- und Softwarekomponenten intensiv unter Laborbedingungen erprobt. Die Vorbereitung des Feldtests läuft derzeit auf Hochtouren.



Das wissenschaftliche Spektrum von EEBatt – Forschung über Batterie- speicher hinaus

Der Forschungshorizont von EEBatt geht weit über die Grenzen einer stationären Lithium-Ionen-Batterie hinaus. Ein zukünftiger Batteriespeicher muss sich im Wettbewerb nicht nur gegenüber anderen Batteriespeichern durchsetzen. Er tritt jedoch auch in Konkurrenz mit Technologien wie Pumpspeicherkraftwerken oder zukünftigen Wasserstoff- oder Methanspeichern. Zudem beeinflusst die Verbreitung flexibler Kraftwerke, flexibler Verbraucher oder der Ausbau von Stromnetzen das Marktvolumen für Speicher. Welche Bedeutung Batteriespeicher für die Energieversorgung der Zukunft haben, wird mit mathematischen Modellen für Energiesysteme, durch Marktstudien und Analyse von Geschäftsmodellen untersucht. Energiesystemmodelle bilden reale Wechselwirkungen zwischen Komponenten in Energiesystemen ab. Erst die Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Zusammenhänge deckt Synergieeffekte auf, die bei der Einzelbetrachtung von Anlagen und Komponenten verborgen blieben. So zeigt sich beispielsweise, in welchem Umfang, welche Speichertechniken vorhandene Stromleitungen und konventionelle Kraftwerke entlasten können. Schließlich wird nach dieser Methodik das Integrationspotenzial für erneuerbare Energien ermittelt. Die Untersuchungen weisen einerseits den volkswirtschaftlichen Nutzen verschiedener Versorgungsvarianten aus, andererseits geben sie Aufschluss über die Betriebswirtschaftlichkeit einzelner Systemkomponenten. Für besonders vielversprechende Anwendungsfälle stationärer Batterie-

speicher laufen Untersuchungen zur Abschätzung von Marktpotenzialen sowie die Entwicklung von Geschäftsmodellen. Im mitteleuropäischen Kontext ist der Einsatz von Batteriespeichern vor allem zur Netzentlastung interessant. Zur Netzentlastung sind sowohl einzelne Quartierspeicher denkbar, als auch regional verteilte Speicherschwärme. Mit beiden Geschäftsmodellen betreten zukünftige Betreiber nicht nur technisches, sondern auch rechtliches Neuland. Insbesondere die genossenschaftliche Bürgerbeteiligung an einem Quartierspeicher schafft für das deutsche Energiewirtschaftsrecht bisher ungekannte Fälle. Konsequenterweise folgen aus EEBatt Empfehlungen zur Anpassung von Gesetzen an den technologischen Wandel.

EEBatt im internationalen Kontext

Für den wirtschaftlichen Einsatz auf breiter Front im europäischen Verbundnetz ist für Batteriespeicher eine fortlaufende Preiserosion nötig. Neben Anstrengungen in der Forschung bringt die anlaufende Massenproduktion von Lithium-Ionen-Batterien für elektrische

Straßenfahrzeuge weitere Kostensenkungen mit sich. Im internationalen Kontext gibt es für Batteriespeicher schon zu heutigen Bedingungen wirtschaftliche Anwendungsfälle. Hier werden insbesondere der Speichereinsatz in regenerativen Inselformen untersucht und Marktpotenziale abgeleitet. Batteriegestützte Inselformen haben vor allem in Regionen ohne oder mit unzuverlässigem Stromnetz eine große Bedeutung für die wirtschaftliche und umweltfreundliche Entwicklung.

EEBatt für Bayern

Das Forschungsprojekt EEBatt leistet nicht nur für die Energiewende in Deutschland und der Welt einen wichtigen Beitrag. EEBatt stärkt auch den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Bayern durch praxisnahe Forschung und Ausbildung. In EEBatt sind zahlreiche Studierende und Doktoranden beschäftigt, die fortlaufend ihr Wissen und ihre Erfahrungen erweitern. Diese Erkenntnisse und Erfahrungen schaffen und sichern zukünftige Arbeitsplätze in Bayern und bilden damit die Grundlage für unseren Wohlstand.



Energy Neighbor

Ortsnetzspeicher Energy Neighbor in Moosham



Um die Forschungsergebnisse realitätsnah anzuwenden, Erkenntnisse aus dem täglichen Einsatz des Ortsnetzspeichers zu gewinnen und das Speichersystem weiterzuentwickeln, führen die Technische Universität München und Ihre Partner im Rahmen des Forschungsprojektes EEBatt einen Feldtest durch. Der Feldtest zur Speicherung von erneuerbaren Energien wird in Moosham, einem Teil von Kirchdorf in Oberbayern in der Nähe von München, durchgeführt. Ende 2015 wird hierzu der auf Lithium-Eisenphosphat-Technologie basierende Batteriespeicher **Energy Neighbor** mit einer Kapazität von 200 kWh und einer Nennleistung von 200 kW an das Niederspannungsnetz der Ortschaft Moosham angeschlossen und anschließend zusammen mit dem zuständigen Energieversorgungsunternehmen Kraftwerke Haag betrieben.



Energy Neighbor CAD Ansicht

Energie lokal erzeugen, speichern und nutzen

Für die Durchführung des Feldtests muss eine Gemeinde bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Neben der für den Versuch perfekten Ortsgröße bietet Moosham optimale infrastrukturelle Bedingungen. Im Verhältnis zur Einwohnerzahl hat Moosham einen hohen Anteil an erneuerbaren Energien und produziert somit über das gesamte Jahr hinweg Stromüberschüsse, welche in das übergeordnete Mittelspannungsnetz zurückgespeist werden. Dies belastet zum einen Transformator und Leitungen und erfordert somit einen zeitnahen Netzausbau. Zum anderen verlieren die lokalen Anlagenbesitzer durch die Rückspeisung wertvollen Solarstrom, welcher vor allem nach Auslauf der EEG-Einspeisevergütung zur Deckung des eigenen Bedarfs verwendet werden kann. Der **Energy Neighbor** ist aufgrund seines intelligenten Regelalgorithmus dazu in der Lage, ganztägig eine Entlastung von Transformatoren und Leitungen zu gewährleisten und zeitgleich ein Maximum an überschüssiger Solarenergie zu speichern. Dies reduziert einerseits die Netzausbaukosten für den Netzbetreiber und bietet andererseits interessante Geschäfts-



modelle für Besitzer von Photovoltaikanlagen und Energieversorgungsunternehmen. Zudem werden eine zusätzliche Teilnahme am Regelleistungsmarkt und die eventuell daraus resultierende Verbesserung der Wirtschaftlichkeit untersucht.

le für die Endkunden, eine Untersuchung des Verbraucherverhaltens von essentieller Wichtigkeit. Aus diesem Grund werden in Moosham so viele analoge Stromzähler wie möglich durch moderne digitale Smart-Meter ausgetauscht.

Smart-Grid Moosham

Um die genannten Aufgaben auch tatsächlich ausführen zu können, benötigt der **Energy Neighbor** neben online verfügbaren Solarleistungsprognosen auch verschiedene Messdaten aus dem Netz. Aus diesem Grund wird in Moosham mit Hilfe moderner Datenfunk-Technologie eine drahtlose Kommunikationsverbindung zwischen Transformatorstation und **Energy Neighbor** aufgebaut und zudem eine auf Ethernet basierende Datenverbindung zu einigen speichernahen Photovoltaikanlagen hergestellt. Aus den somit gewonnenen Messwerten und Prognosedaten kann der intelligente Regelungsalgorithmus die zur Erfüllung der Aufgaben notwendige Ein- oder Ausspeicherleistung des **Energy Neighbor** steuern. Des Weiteren ist zur Evaluierung des Nutzens verschiedener im Projekt entwickelter Geschäftsmodel-

Unterstützung der Energiewende

Durch den **Energy Neighbor** werden erneuerbare Energien besser in das Netz integriert und ein dezentrales Energiesystem unterstützt. So kann der lokal produzierte Strom lokal gespeichert und verbraucht werden. Für die Energiewende bedeutet dies einerseits eine Entschärfung von Netzengpässen und somit einen unproblematischeren Zubau der für das Erreichen der energiepolitischen Ziele der Bundesregierung notwendigen weiteren Photovoltaikanlagen. Andererseits kann der **Energy Neighbor** bei Anwendung entsprechender Geschäftsmodelle auch zu einem stabilen Strompreis für die Endkunden beitragen und die Attraktivität der Energiewende somit erheblich steigern. Der Ortsnetzspeicher bringt mit seiner Ausrichtung vor allem einen volkswirtschaftlichen Nutzen und dient der Allgemeinheit.

EEBatt auf einen Blick

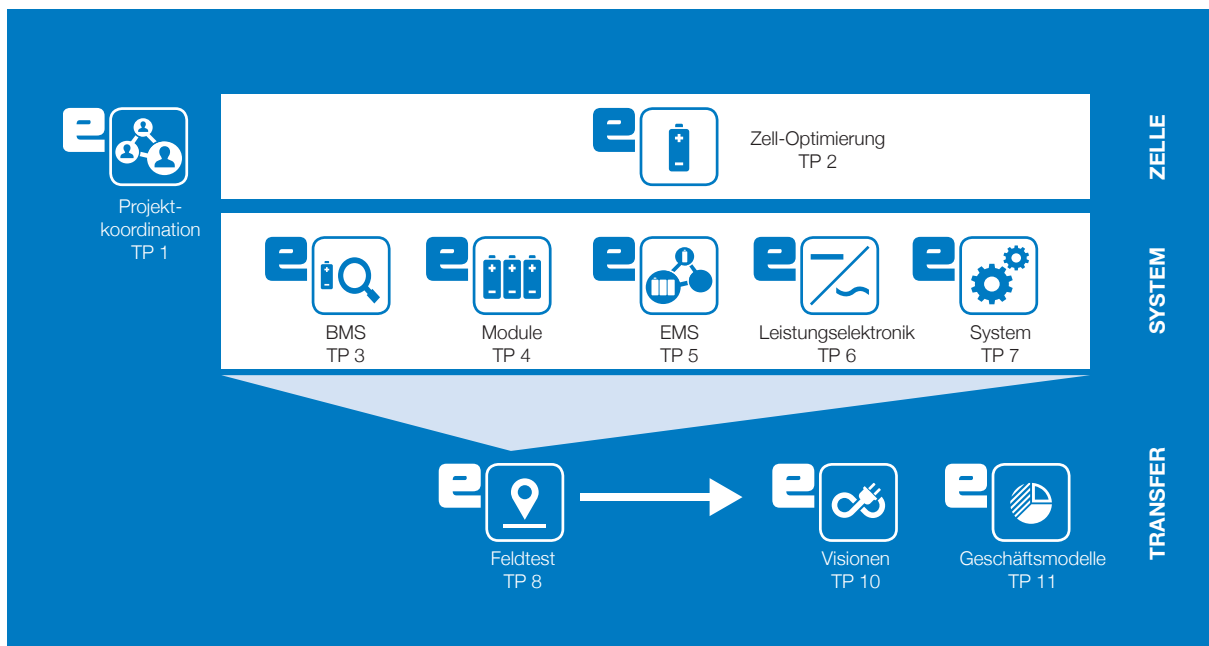
Forschungsinhalte und Ergebnisse

TP 1	20
Projektmanagement	
TP 2	21
Batteriezellforschung	
TP 3	22
Batteriemanagementsystem	
TP 4	23
Entwicklung und Optimierung der Batteriemodule	
TP 5	24
Energiemanagementsystem	
TP 6	25
Leistungselektronik	
TP 7	26
Integration zum Gesamtsystem	
TP 8	27
Feldtest	
TP 10	28
Zukunftsvisionen	
TP 11	29
Strategie und Geschäftsmodelle	
TP 12	30
Forschungsproduktionslinie für Batteriezellen	



Teilprojekt 1

EEBatt – Interdisziplinäre Energiespeicherforschung



Mit seinen Mitgliedern aus verschiedensten Fakultäten vereint das Projekt EEBatt weitreichende Expertise und Ansichten, um neue Ideen und Impulse setzen zu können. Der Aufbau eines stationären Ortsnetzspeichers ist in seiner Komplexität so vielseitig, dass eine dezentrale Betrachtung durch einzelne Resorts kaum wissenschaftlich breiten Erfolg bzw. verwertbare Ergebnisse absehen ließe. Besonders auf der Systemebene und dem dort stattfindenden Zusammenspiel der Komponenten BMS, EMS und Leistungselektronik wird dies deutlich. Sämtliche Entwicklungsschritte bei neuartigen BMS Strategien oder Topologien müssen immer in Einklang mit den später angewandten EMS Strategien oder

Topologien sein. Nicht nur der Sicherheit wegen sondern auch, um gemeinsamen positiven Nutzen ziehen zu können. Die ideale Abstimmung dieser Baugruppen ist von hoher Bedeutung. So kann ein marktüberlegener Speicher erforscht und aufgebaut werden.

Weitreichende Erkenntnisse in den einzelnen Disziplinen der jeweiligen Fachrichtungen bedürfen jedoch oft einer Übersetzung und Hilfestellung, sobald diese unter den Ressorts ausgetauscht werden sollen. Hier unterstützt TP 1 aktiv mit der Aufstellung strategischer Arbeitsgruppen, beispielsweise die Arbeitsgruppe Kommunikation (Mitglieder: TP 8, TP 7, TP 5), oder auch mit dem vermitteln,

organisieren und durchführen von gemeinsamen Forschungsvorhaben.

Über die interne Projektarbeit hinaus ist es Aufgabe von TP 1 die Außendarstellung und Kommunikation von EEBatt zu bündeln und sicherzustellen. Im Besonderen in Hinblick auf den Feldtest und die direkte Kommunikation zu den Bürgern in Moosham bei Haag in Oberbayern sowie zu den Partnern aus Industrie und Forschung besteht ein großes Interesse alle beteiligten abzuholen und gemeinsam diskutieren zu lassen. Teilprojekt 1 sieht sich somit im Selbstverständnis des Projekt EEBatt als Schnittstelle und Vermittler sowie Anbieter gemeinsamer Labor- und Arbeitsflächen.



Teilprojekt 2 Batteriezellforschung

Teilprojekt 2 forscht an Elektroden-design, Leistung und Alterung von Lithium-Eisen-Phosphat (LFP) Kathoden und Graphit oder Lithium-Titanat (LTO) Anoden. Unsere Arbeit beinhaltet Grundlagenforschung im Bereich der Leistungs- und Alterungseinflüsse sowie den Aufbau numerischer, experimentell motivierter Modelle zur Parameterbestimmung und für Vorhersagen der Performance.

Zellherstellung und Sicherheitstests

Die Optimierung von geeigneten Beschichtungstinten und deren Beschichtungsprozess, welche für homogene Elektroden sowie eine effiziente Herstellung wichtig sind, wird am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) im industriellen Maßstab und in enger Zusammenarbeit mit laborskalierten Experimenten am Lehrstuhl für Technische Elektrochemie (TEC) durchgeführt. Seit April 2014 können am *iwb* 5 Ah Pouch-Zellen hergestellt werden. Sicherheits- und Performancetests dieser Zellen werden bei VARTA Storage (VS) gefahrlos und reproduzierbar durchgeführt.

Batteriealterung und Zyklierung

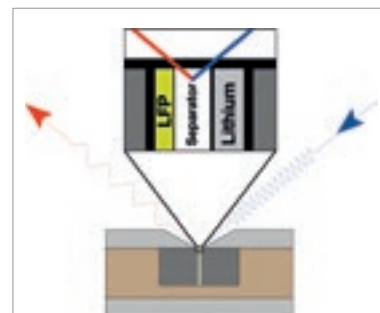
Strukturierte Messungen von Lade-/Entladezyklen bei verschiedenen Entladetiefen, Ladezuständen und Temperaturen, welche am Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik (EES) durchgeführt werden, untersuchen systematisch die Alterung von LFP/Graphit sowie LFP/

LTO Zellen. Modifizierungen dieser Zellen erlauben es, die Einflüsse der Stromverteilung auf das Zellverhalten sowie dessen Temperaturentwicklung zu vermessen. Thermische Modelle, ebenfalls vom EES aufgebaut, zeigen gute Übereinstimmungen mit diesen Messdaten und können für die Auslegung der Klimatisierung auch mehrerer Zellblocks in Teilprojekt 4 verwendet werden. Für eine elektrochemische Modellierung arbeiten EES sowie der Lehrstuhl für Numerische Simulation (LNM) eng mit dem TEC zusammen. Die experimentelle Bestimmung physikalischer und chemischer Transportparameter der Elektroden am TEC ist notwendig, um aussagekräftige Modelle erstellen zu können, welche eine Beschreibung und Vorhersage von Lade- und Entladezyklen erlaubt. Dazu werden konventionelle elektrochemische Charakterisierungsmethoden sowie neue in-situ/in-operando Methoden verwendet, welche innerhalb von Teilprojekt 2 entwickelt werden.

Zellforschung und Alterungsmechanismen

Untersuchungen zu Alterungsmechanismen am TEC konnten Aufschluss über die Gasentstehung in LTO Elektroden unter Einfluss von Wasserverunreinigungen geben. Neue in-situ/in-operando Methoden erlauben es, mit Elektronen Spin Resonanz Spektroskopie (ESR) die Formierung von metallischen Lithium Dendriten unter Einfluss verschiedener Elektrolytadditive zu untersuchen. Zusammen mit dem Lehrstuhl für Katalysator Charakterisierung (CCH) werden rönt-

genspektroskopische Methoden eingesetzt um die Eisen-Auflösung, welche als weiterer wichtiger Grund für die Alterung von LFP-Graphit Zellen gilt, zu verstehen. Dazu wurden und werden Experimente an der Synchrotron Einrichtung der European Synchrotron Radiation Facility (Grenoble) durchgeführt. Mit der Forschungs-Neutronenquelle (FRM-II) bieten sich vielfältige Möglichkeiten für zerstörungsfreie Untersuchungen an Elektroden und Zellen. Studien des FRM-II an silikonbeschichteten Titanoxid Nanoröhrchen konnten deren Volumenausdehnung während der Lithierung bestimmen. Die Erfahrung aus Beobachtungen des Lade- und Entladevorgangs von Graphit Elektroden am FRM-II wird zukünftig bei Untersuchungen der Zellen des *iwb* sowie ausgewählten Zellen der Alterungsstudien des EES Anwendung finden.



Schematischer Querschnitt durch operando XAS Zelle



Teilprojekt 3

Batteriemanagementsystem

Aufgabe und Ziel von **Teilprojekt 3** ist die Entwicklung und Erforschung eines intelligenten Batteriemanagementsystems (BMS), welches einen sicheren, zuverlässigen und lebensdaueroptimierten Betrieb des Gesamtspeichers gewährleisten soll.

BMS-Topologie

Aufgrund der gewählten Topologie des BMS unterteilt sich dieses in die Funktionseinheiten BMS-Slaves mit redundantem BMS, welche integraler Bestandteil der einzelnen Speichermodule sind und einem BMS-Master sowie einem Rack Safety System je Rack (siehe nebenstehende Abbildung).

BMS-Funktionalität

Kernfunktion der BMS-Slaves ist es, die einzelnen seriellen Zellblöcke der Module während des Betriebs in einem sogenannten SOA-Bereich (Safe-Operation-Area) zu halten, welcher durch die erlaubten Zellspannungen, Temperaturgrenzen und maximale Lade- und Entladeströme definiert ist. Hierzu messen die Slaves Einzelzellspannungen und -temperaturen, mithilfe deren weitere Zustandsgrößen wie State of Charge (SOC) und State of Health (SOH) bestimmt werden. Der Schwerpunkt der Forschung liegt dabei momentan auf der Entwicklung und Implementierung von möglichst exakten und robusten Algorithmen zur Bestimmung der Zustandsgrößen unter besonderer Berücksichtigung der eingesetzten LFP-Zellchemie.

Eine weitere Kernfunktion der Slaves

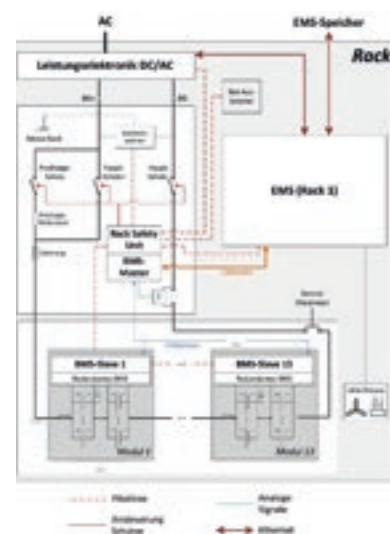
ist der Ausgleich unterschiedlicher Ladezustände der seriellen Zellblöcke, die durch fertigungstechnische Ungenauigkeiten der Einzelzellen in Verbindung mit etwaigen Temperaturgradienten innerhalb der Module auftreten können. Der Fokus liegt dabei auf der Entwicklung von effizienten Balancingalgorithmen, um somit mit möglichst geringem Einsatz passiver Balancingschaltungen den nutzbaren Energieinhalt des Speichers zu maximieren.

Neben Effizienz erfordert ein stationärer elektrochemischer Energiespeicher ein hohes Maß an Sicherheit. Zusätzlich zur Zellparameterüberwachung und Zellsymmetrierung ist das entwickelte BMS daher in der Lage in den Lade- und Entladevorgang einzugreifen und in einem Fehlerfall das Rack von der Leistungselektronik zu trennen. Um eine hohe Zuverlässigkeit der Sicherheitsfunktionen zu garantieren, sind alle sicherheitskritischen Komponenten innerhalb des Batteriemanagementsystems redundant ausgeführt, was das gesamte System ein-Fehler-sicher macht. Zusammen mit einem redundanten analogen Überwachungsschaltkreis auf jedem BMS-Slave sind alle BMS Komponenten über eine Pilotlinie verbunden, welche im Fehlerfall ausgelöst wird und direkten Eingriff in den Schaltzustand der HV-Schütze hat. Das Rack Safety System stellt die zentrale sicherheitstechnische Komponente auf Rack-Ebene dar und steht in direkter Verbindung zum BMS-Master, welcher die BMS-Slaves überwacht und die Messdaten dieser akquiriert,

auswertet und für den Betrieb des Speichers ausgewählte Daten an das übergeordnete Energiemanagementsystem (EMS) weitergibt.

BMS-HiL-Prüfstand

Um die korrekte Funktionalität der einzelnen BMS-Komponenten abzusichern, wurde ein Hardware-in-the-Loop Prüfstand entwickelt, welcher alle Komponenten des Speichers, wie bspw. die Zellen oder das Energiemanagementsystem in einer Simulation abbildet, mit der das BMS über die entsprechenden Hardwareschnittstellen in direkter Verbindung steht. Auf diese Weise können verschiedenste Zustände innerhalb des Speichers simuliert und die korrekte Reaktion des BMS darauf getestet werden.



Schematischer Aufbau eines Racks mit BMS-Master, Rack Safety System und den BMS-Slaves



Teilprojekt 4

Entwicklung und Optimierung der Batteriemodule

Entwicklung und Optimierung der Batteriemodule

Das interdisziplinäre Teilprojekt 4 adressiert die zum Aufbau eines stationären Speichermoduls benötigten Fragestellungen und beschäftigt sich sowohl mit Konzeption und Auslegung des Moduls als auch mit dessen Fertigung und Inbetriebnahme. Durch die Zusammenarbeit des Lehrstuhls für Elektrische Energiespeichertechnik sowie des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München mit dem Industriepartner VARTA Storage GmbH werden die Forschungsaspekte sowohl aus einer wissenschaftlichen als auch aus einer anwendungsorientierten Perspektive beleuchtet.

Untersuchung vielzelliger Systeme

Schwerpunkte sind hierbei die Untersuchung der Besonderheiten im elektrischen und thermischen Verhalten vielzelliger Systeme sowie die Entwicklung eines konsequent auf teilautomatisierte Fertigung ausgelegten Moduldesigns. Ausgehend von einer detaillierten Anforderungsanalyse sowie einem im Projekt erarbeiteten Sicherheitskonzept, entstand ein aus 192 Lithium-Eisenphosphat Zellen bestehendes Batteriemodul (siehe nebenstehende Abbildung), dessen in sich abgeschlossene Bauweise maßgeblich zu der nahezu stufenlosen Skalierbarkeit des EEBatt Gesamtspeichers beiträgt. Wechselwirkungen innerhalb dieses Moduls sowie zwischen den einzelnen Modulen des Gesamtspeichers sind wesentlicher Gegenstand der Forschungsaktivitäten im Teilprojekt.

Teilautomatisierte Fertigung

Um eine wirtschaftliche Fertigung der großen Anzahl an Einzelmodulen sicherzustellen, wurde bei der Modulentwicklung konsequent auf eine effiziente und automatisierbare Assemblierung abgezielt. In diesem Kontext wurde der Einfluss unterschiedlicher Gehäuse- und Ableitertopologien ebenso untersucht, wie die Eignung verschiedener Verbindungstechnologien. Zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit der einzelnen Verfahren wurden im Rahmen umfangreicher Vortests insbesondere der Wärmeeintrag in die Zelle sowie der mögliche Automatisierungsgrad bewertet. Über den kompletten Fertigungsprozess wurden alle kritischen Teilprozesse identifiziert und detaillierter untersucht. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse fließen sowohl in das Montagekonzept als auch in den geplanten Montageversuchsträger ein. Durch detaillierte Inline-Qualitätsüberwachung während des Montagevorgangs soll eine konstante Qualität und die Einhaltung der Sicherheitsanforderungen garantiert werden.

Simulationsmodell

Begleitend zum Prototypen-Aufbau entstand ein vollständig parametrisiertes Modell zur numerischen Simulation des Moduls, welches durch die Kopplung der elektrischen und thermischen Systemparameter das reale Modulverhalten vollständig abbildet. Modullayout, Materialauswahl und Fertigungsverfahren konnten anhand der Simulationsergebnisse bereits in einer frühen Entwicklungsphase definiert und in mehreren

Iterationen kontinuierlich optimiert werden. Die erzielten Resultate flossen darüber hinaus maßgeblich in die Auslegung des systemweiten Thermalmanagements ein. Durch Vergleichsmessungen an einem mit zusätzlichen Sensoren ausgestatteten Prototypenmodul wurden die Simulationsergebnisse validiert.

Aktueller Stand und Ausblick

Inzwischen wurde mit dem Aufbau erster Prototypen-Module sowie der Definition von Testplänen ein weiterer Schritt in Richtung Kleinserienproduktion unternommen. Alle Maßnahmen werden von einem umfangreichen und ganzheitlichen Sicherheitskonzept begleitet. Eine im Teilprojekt entwickelte durchgehende Dokumentationsstruktur für Prozess- sowie Prüfschritte unterstützt eine qualitätsorientierte Produktion und reduziert den Steuerungsaufwand bei der bevorstehenden Montage des aus zahlreichen Modulen bestehenden Gesamtspeichers.



EEBatt Modul



Teilprojekt 5

Energiemanagementsystem

Das Ziel des **Teilprojektes 5** ist die Entwicklung eines aktiven und effizienten Energiemanagementsystems sowie einer lebensdaueroptimierten Betriebsstrategie des Speichermediums.

Ein Energiemanagementsystem (EMS) ist eine intelligente Recheneinheit zur Koordination der Energieflüsse im System. Dabei müssen zugleich die Anforderungen seitens des Netzes, der Verbraucher (z. B. Haushalte) und der Erzeuger (z. B. PV-Anlagen) berücksichtigt werden. Hierbei soll die zuverlässige Versorgung aller Verbraucher bei gleichzeitig minimalem Aufwand an fossilen Energien gewährleistet sein. Aufgebaut ist das EMS in einer hierarchischen Struktur bestehend aus einem EMS-Speicher, das die energetische Führung des Gesamtsystems koordiniert, sowie je einem EMS-Rack, das die Koordination eines Speicher-Racks übernimmt.

Das aktive Energiemanagementsystem

Unter einem aktiven EMS ist zum einen eine Verknüpfung des Systems mit seiner Umwelt und zum anderen die Verwendung eines kybernetischen Ansatzes zu verstehen. Die Kopplung mit der Systemumwelt erlaubt die oben genannten Teilnehmer anhand von Umweltdaten zu regeln und zu koordinieren. Die Regeln der Kybernetik erlauben die Datenkomplexität zu reduzieren und die geforderten Ziele der Betriebsstrategie zu erreichen. Somit ermöglicht das aktive EMS eine effiziente

Regelung, verteilt die Energie innerhalb des Speichers im Sinne der Betriebsstrategie und erfasst bzw. verarbeitet die Umweltdaten des Speichers (Haushalte, Verbraucher, Erzeuger, Wetter etc.) effektiv.

Rekursion durch Modularität

Durch eine Aufteilung der Managementaufgaben auf mehrere Einheiten (EMS-Speicher und EMS-Rack) und in unterschiedlichen Hierarchieebenen kann der Speicher aus Sicht des EMS modular aufgebaut werden. Durch die Bildung sinnvoller und angepasster Logikschnittstellen ergeben sich Verknüpfungspunkte zu den einzelnen Nachbarkomponenten. Eine einfache Wartung und die Möglichkeit einer Nutzung unterschiedlicher Zell-Technologien sind erste Vorteile dieser Vorgehensweise.

Der modulare und hierarchische Aufbau erfordert eine genaue Absprache mit den Nachbarkomponenten Batteriemanagementsystem und Leistungselektronik. Vor allem der Datenaustausch mit dem Batteriemanagementsystem liefert dem EMS die nötigen Rahmenbedingungen, innerhalb derer es die Betriebsparameter einstellen kann. Die Leistungselektronik stellt die Verbindung zum Netz dar.

Prüfstand und Softwareimplementierung

Aktuell ist das Teilprojekt mit reinen Entwicklungsaufgaben beschäftigt. Zum einen mit dem Aufbau einer Platine für das EMS-Rack. Diese übernimmt die EMS-Aufgaben in

einem Rack und kommuniziert mit dem übergeordneten EMS-Speicher (Industrie-PC). Zum anderen entwickelt und implementiert das Teilprojekt die gesamte Software für das EMS. Darunter sind Kommunikationsschnittstellen zu CAN und Ethernet, ein Message- und Fehlermanagement, eine intelligente Rackauswahl und eine Bedienoberfläche mit Datenbank zu verstehen. Außerdem wurde für die anstehenden Hardware-Tests und die spätere Forschung ein Hardware in the Loop Prüfstand aufgebaut. Dieser wird aktuell konfiguriert und um entsprechende Simulationsmodelle für die Modellierung der Umwelt erweitert. Die Abbildung unten zeigt den aktuellen Stand der Arbeiten am Prüfstand.

- Modular erweiterbar
- Kybernetische Herangehensweise
- Intelligente verteilte Regelung
- Umweltkopplung



Hardware in the Loop Prüfstand für das EMS



Teilprojekt 6

Leistungselektronik

Auswahl der Topologie für die Leistungselektronik

Das Fachgebiet Energiewandlungstechnik beschäftigt sich im Rahmen von Teilprojekt 6 mit der Entwicklung von leistungselektronischen Komponenten für die Anbindung eines dezentralen Speichers an ein Niederspannungsnetz. Die möglichen Schaltungen für die Leistungselektronik wurden miteinander verglichen und die passende Topologie ausgewählt. Der ausgewählte Wechselrichter ist eine selbstgeführte Ein- und Rückspeiseeinheit (B6-Brücke mit IGBTs), die auf eine angegebene Sollzwischenkreisspannung oder einen Sollwechselstrom regeln kann. Durch die Zwischenkreisspannungsregelung kann der Wechselrichter im Testbetrieb auch die Batteriespannung emulieren (Batterieemulator), um so einen zweiten Wechselrichter an der emulierten Batteriespannung zu testen. Dieser zweite Wechselrichter kann dann stromgeregelt sowohl netzgeführt als auch im Inselbetrieb betrieben werden.

Inbetriebnahme der ausgewählten Hardware

Um diese Funktion zu testen, wurde am Fachgebiet Energiewandlungstechnik ein Prüfstand (siehe nebenstehende Abbildung) aufgebaut, in dem zwei Wechselrichter miteinander zwischenkreisseitig verbunden werden. Dieser HiL-Prüfstand kann die Funktion einer Batteriespeichereinheit ohne echte Batterie-Module emulieren. Außerdem können verschiedene Szenarien, die sowohl im Normalbetrieb als auch Fehlerfall auftreten

können, getestet sowie sämtliche Funktionen eines Batteriespeichers ausgewertet werden.

Funktionsfähige Muster liegen vor

Im Teilprojekt 6 ist darüber hinaus die Implementierung einer Kommunikationsschnittstelle zwischen Leistungselektronik und Energiemanagementsystem EMS beziehungsweise Batteriemanagementsystem BMS erfolgt. Ein erster Prototyp hierfür ist bereits verfügbar und am Prüfstand erfolgreich getestet. Derzeit laufen im Rahmen des Teilprojektes 5 Arbeiten, um das Interface zur Leistungselektronik auch auf der EMS-Seite abschließend zu implementieren. Die Leistungselektronik kann somit in Kürze im kommunikativen Verbund mit dem EMS getestet werden. Diese soll dann für den Feldtest im Februar 2015 in den Container eingebaut werden.

Besondere Vorteile mit der ausgewählten Topologie

Der Speicher besteht aus mehreren parallel verschalteten Einheiten aus Batteriezellen und Leistungselektronik. Die Anzahl der verbauten Einheiten ermöglicht eine modulare Erweiterbarkeit und eine Skalierung der maximal speicherbaren Energiemenge.

Beim Ausfall einer Einheit kann der Speicher mit den verbleibenden Einheiten weiter betrieben werden. Damit wird ein Totalausfall vermieden und der Speicher steht weiterhin zur Verfügung.

Durch die Auswahl der Leistungselektronik hat der Speicher folgende Vorteile:

- Rack-Modular (Richtungsweisende Modularität)
- Besondere Ausfallsicherheit
- Hoher Wirkungsgrad im Teillast-Bereich
- Möglichkeiten zum Anschluss anderer EE-Quellen

Die Multilevel-Kaskadenumrichter-Topologie

Nach Validierung und Anschluss des Batteriespeichers ans Netz mit der ausgewählten Leistungselektronik wird am Fachgebiet Energiewandlungstechnik an einer neuartigen Speichertopologie geforscht. Diese batterieintegrierte Multilevel-Umrichter-Topologie bzw. der Multilevel-Kaskadenumrichter stellt eine neue Technologie für hocheffiziente Energiespeicher dar, braucht weniger Bauraum und benötigt dank niedrigeren Schaltfrequenzen kleinere Leistungsfilter. Mit ersten Planungsarbeiten zur Multilevel-Topologie wurde bereits begonnen. Im Anschluss erfolgen Simulationen in MATLAB-Simulink und abschließend eine Umsetzung und Validierung in Hardware.



Hardware in the Loop Prüfstand für die Leistungselektronik



Aus der mit Teilprojekt 11 gemeinsamen Erforschung bestehender Energiespeicherkonzepte und Produktanforderungen ergaben sich die Zielbereiche zur Konzeption des Energy Neighbors. Die C-Rate ist meist kleiner eins dimensioniert und nur bei speziellen Systemen treten Raten von bis zu 4C auf. Viele der großen Quartierspeicher bis 1 MWh sind zudem für einen weiten Temperaturbereich von -30°C bis $+60^{\circ}\text{C}$ ausgelegt und besitzen Gesamtwirkungsgrade von mehr als 85 %. Da diese Container meist im Freien eingesetzt werden, sind sie den Witterungseinflüssen direkt ausgesetzt. Selbst in Mitteleuropa werden in den Sommermonaten über mehrere Wochen Lufttemperaturen um 30°C erreicht. Die Netzanbindung der Systeme findet meist auf Niederspannungsebene statt. Ein zuverlässiges Sicherheitskonzept, eine lange Lebensdauer, gute Wartbarkeit und eine intelligente Steuerung des Systems runden das Zielkonzept ab.

Das Klimasystem kristallisiert sich zunehmend als eines der Schlüsselsysteme zur Gewährleistung von Sicherheit, einer langen Lebensdauer und einer hohen Effizienz heraus. Es wurden deshalb zwei Temperaturzonen definiert (Abb. 1), die den unterschiedlichen Anforderungen der Komponenten besser gerecht werden. Die Batterien, in der kalten Zone, werden mittels kalter Zuluft über einen drehzahlgeregelten Lüfter je Batterieschrank und einer optimierten

Strömungsführung luftgekühlt. Die kalte Zuluft wird über einen Luftkanal zu den Kühllanzen geführt und durch ein präzise geregeltes Kälteaggregat auf die Solltemperatur temperiert. Zur Erhöhung der Effizienz wird eine freie Kühlung eingesetzt. Die warme Zone der Leistungselektronik ist in einem geschlossenen Schaltschrank angeordnet. Die Abwärme wird über einen Wasser-Luft-Wärmetauscher an einen Wasser-Zwischenkreis abgeführt, welcher ganzjährig mittels Tischkühler temperiert werden kann.

Zur Absicherung des Kühlungskonzeptes und somit des thermischen Verhaltens des Energy Neighbors wurden CFD- und FE-Simulationen durchgeführt (Abb. 2). Aufgrund der Größe und Komplexität des Systems wurde das Gesamtsystem in funktionale Untereinheiten (Zellmodul → Kühllanze → Rack) aufgeteilt, um somit eine vertretbare Modelgröße zu erhalten bzw. um mit der angebrachten hohen Genauigkeit rechnen zu können. Mit den in Teilprojekt 4 ermittelten elektrischen Parametern der verwendeten Lithium Ionen Zellen konnte die maximale Verlustleistung und somit überschlägig der notwendige maximale Volumenstrom an Kühlluft bestimmt werden. Mit diesen Daten wurde eine parametrische (Parameter: Volumenstrom) thermische Simulation der Module in Ansys CFX durchgeführt. Mit den ermittelten Druckverlusten durch die Module wurde eine weitere parametrische Strömungssimulation der Kühllanze durchgeführt. Die Druck-

verluste der vorhergehenden Modulsimulation werden anschließend als Bedingung auf die Auslassöffnungen der Kühllanze gelegt. Auf diese Weise kann der Volumenstrom durch die Öffnungen der Kühllanze mit dahinter liegenden Modulen berechnet und optimiert werden. Abschließend wird eine geometrische Optimierung der Auslassöffnungen durchgeführt mit dem Ziel, jedes Modul mit demselben Volumenstrom an Kühlluft versorgen zu können und um HotSpots in den Modulen zu verhindern.

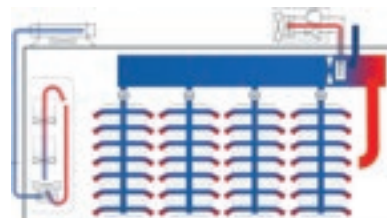


Abb. 1: Klimatisierung des Energy Neighbors

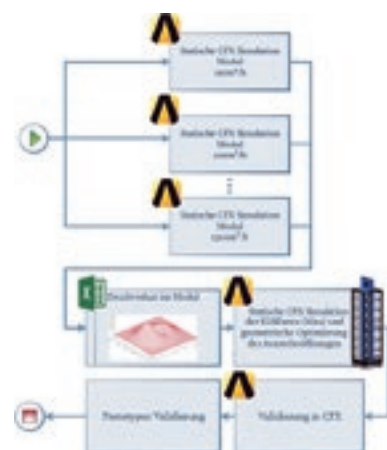


Abb. 2: CFD- und FE-Simulation des Kühlungskonzeptes



Teilprojekt 8 Feldtest

Notwendigkeit von Batteriespeichern

Seit Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien Gesetzes (EEG) in Deutschland kommt es vor allem auf Verteilnetzebene zu wetterabhängigen Engpässen der Übertragungskapazitäten. Diese Entwicklung hat die Notwendigkeit von umfangreichen Netzausbaumaßnahmen zur Folge, deren Kosten zu einem Großteil auf die Endkunden umgelegt werden. Zudem wird überschüssige Energie aus regenerativen Erzeugungsanlagen teilweise über weite Strecken abtransportiert und somit nur mäßig effizient genutzt. Durch den Einsatz von stationären Batteriespeichern kann überschüssige Energie lokal zwischengespeichert und somit das Verteilnetz entlastet und der Autarkiegrad von einzelnen Verbrauchern oder Ortschaften erhöht werden.

Anwendungsmöglichkeiten für Batteriespeicher in Niederspannungsnetzen

Primäre Anwendung für Batteriespeicher stellt die Erhöhung des Autarkiegrades in Verbindung mit Photovoltaikanlagen dar. Durch Implementierung eines entsprechenden Steuerungsalgorithmus und Wahl eines geeigneten Netzanschlusspunktes kann die Batterie ohne signifikante Verluste bei der Erhöhung des Autarkiegrades zudem eine Entlastung von Transformatoren und Leitungen sowie eine Erhöhung der Spannungsqualität bewirken. Um auch in den sonnenarmen Wintermonaten eine optimale Nutzung der vorhandenen Speicherkapazität sicherzustellen,

bietet sich in diesem Zeitraum eine Bereitstellung von Regelleistung als zusätzliches Geschäftsmodell an.

Kommunikationsinfrastruktur

Voraussetzung für die intelligente Netzintegration von Batteriespeichern ist eine Kommunikationsinfrastruktur, welche die Verarbeitung verschiedener Messdaten zur Steuerung der Batterie und Abrechnungen nach eventuellen Geschäftsmodellen ermöglicht. Eine hohe Zuverlässigkeit spielt hierbei eine ebenso große Rolle wie eine geringe Komplexität und ausreichende Sicherheit des Übertragungsweges.

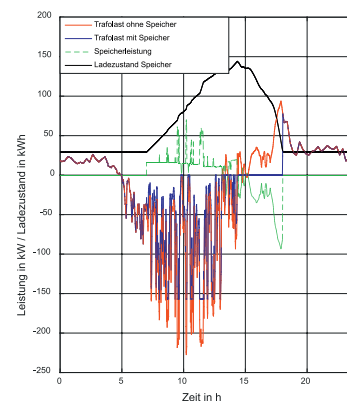
Netzanbindung

Um eine fehlerfreie Versorgung des Netzgebietes sicherzustellen, ist eine entsprechende Planung und Dimensionierung des Netzanschlusspunktes erforderlich. In Abhängigkeit der gewünschten Speicherparameter müssen die Anschlussleitungen dimensioniert sowie ein Schutz- und Erdungskonzept entwickelt werden. Auch die Wahl eines geeigneten Netzanschlusspunktes zur optimierten Einflussnahme auf die Spannungsqualität stellt hierbei eine wichtige Aufgabe dar.

Der Energy Neighbor

Ziel in Teilprojekt 8 ist die Durchführung des Feldtests mit dem „Energy Neighbor“, einem in den Teilprojekten 3 bis 7 entwickelten Quartierspeicher auf Basis von Lithium-Eisenphosphat-Technik. Der Speichercontainer mit einem Energieinhalt von 200 kWh wird zur Erhöhung des Autarkiegrades und Entlastung der lokalen Betriebsmittel in das

Niederspannungsnetz einer bayerischen Ortschaft integriert und dort ausführlich im laufenden Betrieb getestet. Mit ca. 300 kW installierter Photovoltaikanlagenleistung und einer Transformatorleistung von lediglich 250 kVA ist dieses ländliche Ortsnetz ein typischer Vertreter seiner Art. Durch Einsatz des „Energy Neighbor“ kann der Autarkiegrad der Ortschaft um knapp 25 % erhöht und die Transformatorbelastung um gut 40 % reduziert werden. Zudem können in den Wintermonaten ca. 11,5 kW Primärregelleistung zur Stützung der Netzfrequenz angeboten werden. Die im Feldtest gesammelten Daten dienen unter anderem in Teilprojekt 11 als Grundlage für die Bewertung von entwickelten Geschäftsmodellen.



Regelstrategie an einem exemplarischen Sommertag



Teilprojekt 10 Zukunftsvisionen

Zukunftsvisionen für verschiedene Weltregionen

Der wirtschaftliche Einsatz von Batteriespeichern hängt entscheidend von regionalen Gegebenheiten ab. In Deutschland und Europa müssen sich Speicher vor allem gegenüber Netzausbau und flexiblen Lasten behaupten. Flexible Lasten sind beispielsweise elektrische Direktheizungen, Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge an Ladesäulen. Gegenstand der laufenden Forschung ist die sektorenübergreifende Auslegung von Energiesystemen auf lokaler Ebene.

Für kommunale Energiesysteme wird aktuell ein örtlich hochaufgelöstes Optimierungsmodell für die Energieinfrastruktur entwickelt. Daraus lässt sich unter anderem die energetisch optimale Platzierung von Speichern in Netzen ermitteln.

Batteriespeicher in regenerativen Inselformen

In dünn besiedelten und wenig entwickelten Weltregionen stellt der Netzausbau häufig keine Alternative dar. Falls ein Netzanschluss vorhanden ist, kennzeichnet sich die Versorgung durch häufige Stromausfälle. Die Stromerzeugung erfolgt meist mit Dieselmotoren, was zu außergewöhnlich hohen Stromkosten führt. In diesem Kontext lassen sich Batteriespeicher in Inselformen früher wirtschaftlich einsetzen als im europäischen Verbundnetz. Aktuell wird im Projekt die Auslegung regenerativer Inselformen für folgende prototypische Versorgungsobjekte untersucht:

- Hotels auf Ferieninseln
- Dezentrale Energiesysteme in Schwellen- und Entwicklungsländern
- Mobilfunkbasisstationen

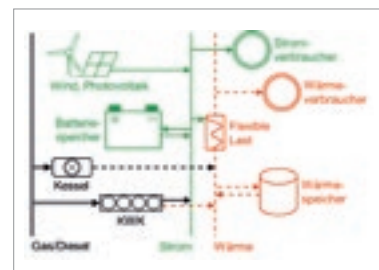
Die Auslegung erfolgt anhand konkreter Anwendungsfälle mittels mathematischer Optimierung. Aus dem ermittelten Speicherbedarf ist das Marktvolumen für Batterien in Inselformen abschätzbar.

Netzentlastung durch Batteriespeicher

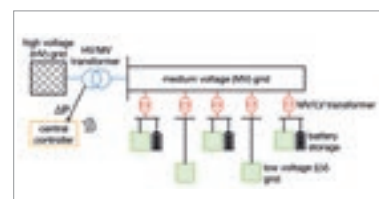
Durch den netzdienlich optimierten Einsatz von Batteriespeichern lässt sich insbesondere in Niederspannungsnetzen ein überdimensionierter Netzausbau vermeiden. Erzeugungsspitzen können lokal durch den Speicher abgefangen werden und die Energie zu einem späteren Zeitpunkt wieder den Verbrauchern zugeführt werden. Als Treiber von Netzausbau sind zwei Größen ausschlaggebend: die Auslastung der einzelnen Betriebsmittel sowie die Spannung im Netz. Speicher können auf beide Parameter einen positiven Einfluss haben. Der quantitative Beitrag zur Netzentlastung wird durch Lastflusssimulationen ermittelt. Die Simulationen weisen Netzengpässe aus, die durch gezielten Netzausbau behoben werden. Dabei werden Szenarien mit und ohne Speicher betrachtet. Die Differenz im Netzausbaubedarf mit bzw. ohne Speicher zeigt die netzentlastende Wirkung von Speichern. Durch die gewählte Vorgehensweise, die eine Variation der Positionen von Speicher und dezentralen Erzeugern

berücksichtigt, kann so auch die aus Netzsicht optimale Speicherposition ermittelt werden.

Der Einsatz von Speichern im Niederspannungsnetz bringt auch für Mittelspannungsnetze (MV) und Hochspannungsnetze (HV) Vorteile mit sich. Durch intelligente Regelstrategien von Batteriespeichern auf der Niederspannungsebene (LV) lassen sich Transformatoren zwischen der Hochspannungs- und der Mittelspannungsebene entlasten. Somit lässt sich der Ersatz überlasteter HV/MV-Trafos vermeiden.



Schematische Darstellung eines Inselformens



Entlastung eines HV/MV-Trafos durch Batterien im Niederspannungsnetz



Teilprojekt 11 Strategie und Geschäftsmodelle

Aufgabe von **Teilprojekt 11** ist es, Geschäftsmodelle zu entwickeln, die den marktgetriebenen Einsatz von Energiespeichern ermöglichen. Dazu nutzt das Teilprojekt Marktdaten und Befragungen, um den Blick auf die Anwendung von Energiespeichern zu richten.

Studie zu Patentanmeldungen

Zur Überprüfung, ob notwendige Verbesserungen im Bereich elektrochemischer Energiespeicher-Technologien stattfinden, wurde eine Patentstudie durchgeführt und in der Fachzeitschrift *Applied Energy* veröffentlicht. Die Studie zeigt, dass in den letzten Jahren die Patentanmeldungen, insbesondere für Lithium-Batterien, stark zugenommen haben. Angesichts dieser Investitionen kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft Produkte mit verbesserten techno-ökonomischen Parametern verfügbar sein werden. Insbesondere das Ergebnis, dass asiatische Hersteller mittlerweile auch im Bereich Forschung und Entwicklung führend sind, wurde im Kontext der Automobilindustrie in zahlreichen Berichten, u. a. von *Der Spiegel*, *Die Welt* u. v. m. aufgegriffen.

Geschäftsmodelle für den gemeinschaftlichen Betrieb

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurden verschiedene Geschäftsmodelle für Energiespeicher entwickelt und lokal wie auch international vorgestellt. Gemeinschaftsspeichermodelle sind technisch realisierbar und haben wegen Skaleneffekten gegenüber

Einzel-speichermodellen theoretische Vorteile. Bei Gemeinschaftsspeichermodellen treten allerdings im Bereich der Netznutzung Hürden auf, da sowohl die Nutzung des öffentlichen als auch die Installation eines privaten Stromnetzes mit hohen Kosten verbunden sein kann.

Analyse der Präferenzen von Bürgern

Energiespeicher werden nur dann in einem breiten Rahmen Einsatz finden, wenn die Konsumenten die Technologie akzeptieren und wirtschaftlich sinnvolle Geschäftsmodelle bestehen. Daher ist die Analyse von Befragungsdaten von Konsumenten und Besitzern von Anlagen zur Produktion von Strom aus erneuerbaren Energien Gegenstand der aktuellen Forschung. Das Teilprojekt untersucht zudem die Bereitschaft von Bürgern sich aktiv als Mitgestalter oder Anteilseigner an Energieprojekten zu beteiligen. Durch Choice-Experimente und die kontingente Bewertungsmethode werden Analysen zur Zahlungsbereitschaft für lokale Stromversorgungskonzepte erarbeitet.

Erste Auswertungen zeigen, dass eine dezentrale Energieversorgung mit Produktionsanlagen in der direkten Umgebung von der Mehrheit der Bevölkerung unterstützt wird. Als Argumente für den Einsatz von Energiespeichern auf Gemeindeebene gelten den Bürgern insbesondere günstigere Strompreise, gefolgt von einer Reduzierung des Atomstromanteils, Umweltvorteilen, und der

Unterstützung der lokalen Energieerzeugung und der Energiewende. Die Erhöhung der Versorgungssicherheit spielt für die Befragten eine geringere Rolle.

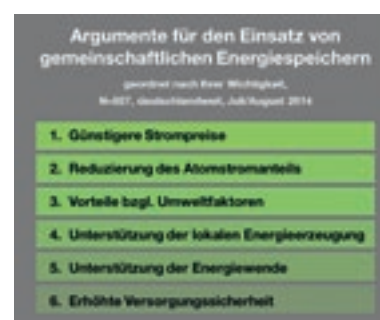


Abb. 1: Befragung zu gemeinschaftlichen Energiespeichern

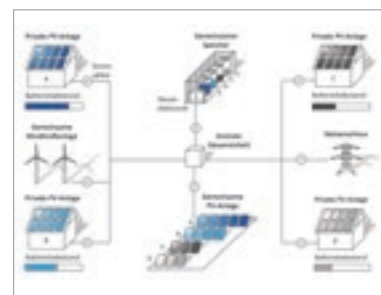


Abb. 2: Modell eines gemeinschaftlich genutzten Energiespeichers, der Haushalts-speichersysteme simulieren kann.

Teilprojekt 12

Forschungsproduktionslinie für Batteriezellen

Elektrodenherstellung

Mit der Beschichtung der Elektroden beginnt die Herstellung von Batteriezellen am *iwb*. In der Beschichtungsanlage werden Aktivmaterialtinten auf metallische Substratfolien aufgetragen und anschließend getrocknet. Die so entstehenden Elektrodenfolien werden mit Hilfe des Kalenders verdichtet, aufgewickelt und für die Weiterverarbeitung in der Zellmontage verpackt.

Bei der Erforschung des Beschichtungs- und Kalandrierprozesses werden zum einen die direkten Auswirkungen der Prozessparameter auf die Eigenschaften der Beschichtung untersucht. Zum anderen sind indirekte Auswirkungen auf die elektrochemischen Eigenschaften der Elektroden und damit auf die Leistungsfähigkeit, das Alterungsverhalten und die Zyklenfestigkeit der fertigen Zellen von großem Interesse.

Es kommen industriennahe Beschichtungsverfahren wie das „Slitcoating“ sowie Rakelauftragsverfahren zum Einsatz. Wichtiges Ziel ist es, die Schichtdicken zu erhöhen, um so Batteriezellen mit höherer Energiedichte zu erreichen.



Reinraum



Beschichtung



Kalander

Zellmontage

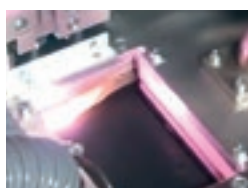
Kernelement jeder Lithium-Ionen-Zelle ist der Zellstapel. Zum Aufbau des Zellstapels werden am *iwb* mit Hilfe des Laserstrahlschneidens aus Elektrodenrollen einzelne Elektroden geschnitten. Zusammen mit dem Separator erfolgt dann der Aufbau des Zellstapels. Mittels Ultraschallschweißen kontaktierte Zellstapel können sowohl in tiefgezogene Pouchfolien als auch in

prismatische Gehäuse verpackt werden. Der Verschluss dieser Zellvarianten erfolgt dann entweder mit einem Heißsiegelprozess oder durch Laserstrahlschweißen. Beide Zellvarianten können im Anschluss daran in einer weiteren Anlage unter Inertgas und Unterdruck mit Elektrolyt befüllt und verschlossen werden. Optional können die Zellkomponenten vor der Elektrolytbefüllung in einem Vakuum-Trockenofen getrocknet werden.

Durch eine abschließende Formierung werden die Lithium-Ionen-Zellen fertiggestellt.



Trockenraum



Laserschneiden



Stapelbildung



US-Schweißen



Vakuum-Trocknen



Verpacken



Laserschweißen

oder



Versiegeln



Elektrolytbefüllung

Forscher

Ein Interdisziplinäres Team

EEBatt

Ein Interdisziplinäres Team

	34		
Andreas Ehrl	35	Patrick Schmitz	55
Neelima Paul	36	Till Günther	56
Rowena Thomas	37	Alma Pröbstl	57
Stefan Seidlmayer	38	Andreas Ebentheuer	58
Yelena Gorlin	39	Cong Nam Truong	59
Johannes Landesfeind	40	Sangyoung Park	60
Johannes Wandt	41	Kay Bareiß	61
Markus Westermeier	42	Markus Herzog	62
Ralph Karl	43	Taha Lahlou	63
Rui Fang	44	Matthias Kerler	64
Simon Erhard	45	Stephan Rohr	65
Sophie Solchenbach	46	Alexander Zeh	66
Ilya Zilbermann	47	Marina Rau	67
Michael Baumann	48	Johannes Dorfner	68
Carola Zwicker	49	Lorenz Viernstein	69
Christian Huber	50	Magdalena Dorfner	70
Cosima Stocker	51	Simon Herzog	71
Katharina Rumpf	52	Bernhard Kalkbrenner	72
Korbinian Schmidt	53	Simon C. Müller	73
Martin Brand	54	Marcus Müller	74



An der Technischen Universität München bündelt das Forschungsprojekt EEBatt die Kompetenzen und das Fachwissen von 14 Instituten, welche von den Praxispartnern Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern), der VARTA Storage GmbH und der KWH Gruppe unterstützt werden. Zusammen forscht das EEBatt-Team an dezentralen stationären Batteriespeichern zur effizienten Nutzung erneuerbarer Energien sowie zur Unterstützung der Netzstabilität und profitiert dabei von der Vielfalt seiner Teammitglieder.

Das Projekt ist in zehn Teilprojekte gegliedert, in denen mehr als 40 Wissenschaftler an den relevanten Forschungsbereichen arbeiten. Übergreifende Arbeitsgruppen bearbeiten zudem Themen wie Sicherheitsaspekte, Kommunikationssysteme oder die Öffentlichkeitsarbeit. Das interdisziplinäre Forschungsteam der Technischen Universität München besteht aus erfahrenen Professorinnen und Professoren sowie jungen Wissenschaftlerinnen und

Wissenschaftlern. Das EEBatt-Team der Technischen Universität erweist sich somit als ein junges, dynamisches Team, welches auf die Erfahrungen und das Fachwissen der leitenden Professorinnen und Professoren zurückgreifen kann. Durch die direkte Zusammenarbeit von Spezialisten der verschiedensten Fachrichtungen mit den Projektpartnern besteht die Möglichkeit, das Thema dezentrale Energiespeicherung ganzheitlich zu betrachten und komplexe Fragen zu beantworten. Zudem schafft die Vielfalt und Unterschiedlichkeit der Projektmitglieder ein motivierendes Arbeitsumfeld. Durch den aktiven Austausch auf Konferenzen und Veranstaltungen sucht das Team den direkten Kontakt zu Wissenschaftlern und anderen relevanten Anspruchsgruppen.

Die Projektmitglieder profitieren von den im Projekt gebündelten Kompetenzen der TU München und der Partner. Dies ermöglicht es dem EEBatt-Team neue Wege für eine dezentrale Energiespeicherung aufzuzeigen.



Expertise: Herr Ehrl schloss sein Maschinenbaustudium an der TU München im Jahr 2009 erfolgreich ab. Im Anschluss hat sich Herr Ehrl für eine Promotion am Lehrstuhl für Numerische Mechanik an der Fakultät für Maschinenwesen entschieden. Zu Beginn seiner Promotion beschäftigte sich Andreas Ehrl vor allem mit der Entwicklung von numerischen Methoden zur Simulation von natürlicher Konvektion in elektrochemischen Systemen. Im Folgenden hat er sich intensiv mit der Kopplung von nicht-passenden Netzen für die Simulation von fluidmechanischen Systemen und Ionentransport beschäftigt, um die Flexibilität bei der Netzerstellung für komplexe Geometrien zu erhöhen und um Randschichten genauer auflösen zu können.

Forschungsschwerpunkt: Der Lehrstuhl für Numerische Mechanik beschäftigt sich innerhalb des Projektes EEBatt mit der Entwicklung von neuartigen mathematischen Modellen und numerischen Methoden zur Simulation von Energiespeichern. Zum einen wird ein dreidimensionales Modell entwickelt, das eine vollständige Auflösung der porösen Strukturen mit allen relevanten physikalisch-chemischen Vorgängen ermöglicht. Basierend auf diesem Wissen sollen bereits existierende reduzierte Modelle evaluiert und anschließend, wenn nötig, verbessert werden.

Die Qualität von Simulationsergebnissen hängen aber nicht nur von den verwendeten mathematischen Modellen und numerischen Methoden ab, sondern auch entscheidend von der Genauigkeit der verwendeten Modellparameter. Eine einfache, aber präzise Bestimmung von modellspezifischen Transportparametern ist hierfür unabdingbar, um aussagekräftige, qualitativ hochwertige Ergebnisse zu erhalten. Aus diesem Grund liegt der Schwerpunkt von Herrn Ehrl auf der Entwicklung von neuartigen Methoden zur experimentellen Bestimmung von modellspezifischen Transportparametern für binäre Elektrolyte. Zusätzlich müssen Geometrieparameter für die porösen Strukturen zur Verwendung in den reduzierten Modellen bestimmt werden. Dieses Teilprojekt wird in enger Kooperation mit dem Lehrstuhl für Technische Elektrochemie bearbeitet.

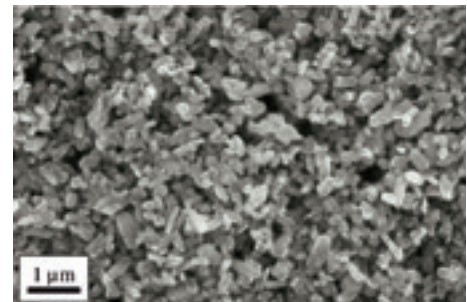


Dipl.-Ing. Andreas Ehrl
Lehrstuhl für Numerische Mechanik

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter

Teilprojekt:
TP2 Batteriezellforschung

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 15252
ehrl@lnm.mw.tum.de



Poröse Oberfläche einer LFP Elektrode aufgenommen mit einem Rasterelektronenmikroskop (TEC)



Dr. rer. nat. Neelima Paul
Heinz Maier-Leibnitz Zentrum/
Forschungs-Neutronenquelle

Position im EEBatt:
Post-Doc

Teilprojekt:
TP2 Batteriezellforschung

Kontakt:
Telefon: +49 089 289 11765
neelima.paul@frm2.tum.de



Dr. Neelima Paul ist gerade dabei eine Li-Ion-Zelle (bereitgestellt bei VOLKSWAGEN VARTA Microbattery) in den Probenhalter des hochauflösenden Neutronendiffraktometers SPODI zu platzieren.

Expertise: Dr. Neelima Paul ist Physikerin und hat ihre Promotion am Forschungszentrum Jülich/RHTH Aachen im Jahr 2007 abgeschlossen. Danach hat sie als Post-Doc im Helmholtz-Zentrum in Berlin (2008-2012) und an der Freien Universität Berlin (2013) gearbeitet. Anschließend hat sie sich dem Heinz Maier-Leibnitz Zentrum für das EEBatt Projekt angeschlossen. Ihre Forschungsschwerpunkte umfassen: Halbleiternanostrukturen, molekular geprägte Polymere, Polyelektrolyte und Neurotransmittermoleküle und letztlich Lithium-Ionen Batterien. Um diese Materialien zu untersuchen, hat sie eine Vielzahl an verschiedenen Techniken angewandt wie Rastertunnelmikroskopie, Infrarot-Photometrie, sowie Methoden mit Röntgenstrahlung und Neutronenstrahlung, wie z. B. (Röntgen-)Kleinwinkelstreuung unter streifendem Einfall (GISAXS) und Neutronenkleinwinkelstreuung (SANS) und Röntgen- bzw. Neutronenbeugung.

Forschungsschwerpunkt: Neutronen sind vor allem dafür geeignet in operando Li-Ionen zu untersuchen, weil sie ganze Batterien zerstörungsfrei durchdringen können. Sie sind empfindlich gegenüber leichten Elementen wie Lithium und sie können unterscheiden zwischen Isotopen und benachbarten Elementen wie Fe, Mn, Ni und Co. Die Neutronenmesszeit ist kostbar, deshalb nutzt sie auch Röntgenstrahlen als eine zusätzliche Technik, insbesondere für die Voruntersuchung. Die Methode der Neutronenbeugung liefert Informationen über die chemische Zusammensetzung, die Struktur der Phasen in den Elektroden der Batterie und den dazugehörigen Veränderungen während der elektrochemischen Prozesse. Die Röntgenaufnahme/Tomografiemethode wird verwendet, um innere Strukturen für die Lithiumverteilung in den Batterien während dem Betrieb zu untersuchen. Die Prompt-Gamma-Activation-Analysis (PGAA) wird für die Bestimmung der Elementzusammensetzung und Ionenkonzentration in einzelnen Elektroden verwendet (ca. bis in den ppm-Bereich). Anhand von Techniken wie Neutronenkleinwinkelstreuung in Transmissions- sowie in Reflektionsgeometrie wird es ermöglicht, gesamte und tiefendifferenzierte Informationen über die Durchschnittsgröße, Form und Volumenverteilung von lateralen Strukturen (3-300nm) mit hoher statistischer Bedeutung an Alterung und während dem Auf- und Entladen zu erzielen.

Ph.D. Rowena Thomas

Expertise: Rowena Thomas hat Chemie im Bachelor an der University von Southampton in Großbritannien studiert mit umfassenden Forschungsprojekten im Bereich der analytischen Chemie und der synthetischen anorganischen Chemie. Nach ihrem Masterabschluss im Jahr 2008, begann sie das Promotionsstudium bei Professor Moniek Tromp, ebenfalls an der University von Southampton. Ihre Promotion fokussiert sich auf die Anwendung von resonanter unelastischer Röntgenstreuung (RIXS), Spektroskopie für die Untersuchung von 4d und 5d Übergangprozessen von Metallkomplexen, welche besonders bei der Katalyse von Interesse sind. Als RIXS sehr neu war im Bereich der Katalyse bzw. der Chemie, wurde die Mehrheit ihrer Arbeit der Entwicklung von Methoden in Bezug auf die Interpretation dieser Spektren gewidmet. Zusätzlich verwendete sie während ihrer Promotion eine Reihe von Synchrotron basierten Röntgenspektroskopie-Techniken, insbesondere XANES und XES.

Forschungsschwerpunkt: Nach Abschluss ihrer Promotion im Juni 2013 begann sie als Post-Doc an der TU München am Lehrstuhl für Katalysator Charakterisierung (CCH). Für ihre Arbeit am EEBatt Projekt verwendet sie die Röntgenabsorptionsspektroskopie für die Untersuchung von Batteriezellen während der Entladung. Sie nutzt dafür eine spezielle in operando-Zelle, die von Kollegen der Lehrstühle CCH und TEC entwickelt wurde. Ursprünglich untersuchten sie die Auflösung von Eisen von LFP Elektroden in den Elektrolyten, da sie dachten dies würde zum Zellabbau beitragen. Obwohl dies anhand von anderen Techniken wie ICP und EDX quantifiziert werden kann, kann dies nur ex-situ geschehen und Art sowie Lage der Zelle können nicht bestimmt werden. Im Gegensatz dazu, XAS, eine elementspezifische Technik, kann die Zelle ex-situ untersuchen über die Anode, Kathode und den Elektrolyt und liefert Informationen über den Oxidationszustand, die lokale Struktur der Eisenspezies sowie die Lage innerhalb der Zelle.

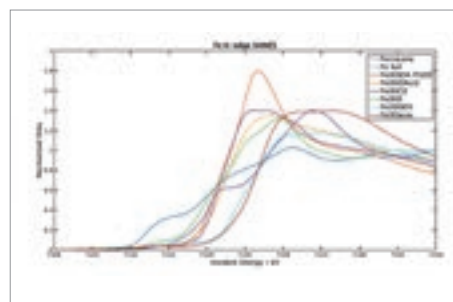


Ph.D. Rowena Thomas
Lehrstuhl für
Katalysator-Charakterisierung

Position im EEBatt:
Post-Doc

Teilprojekt:
TP2 Batteriezellforschung

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 13207
rowena.thomas@tum.de



Röntgenabsorptionsspektroskopie zur Untersuchung der Eisen-Speziation



Dr. rer. nat. Stefan Seidlmayer
Heinz Maier-Leibnitz Zentrum/
Forschungs-Neutronenquelle

Position im EEBatt:
Post-Doc

Teilprojekt:
TP2 Batteriezellforschung

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 11768
stefan.seidlmayer@frm2.tum.de



*Vorbereiten einer Messung einer Pouchbag-Zelle am
Röntgendiffraktometer*

Expertise: Die Promotion in Festkörperchemie über „Strukturchemische Untersuchungen an Hexachalkogenohypodiphosphaten und verwandten Verbindungen“ wurde an der Universität Regensburg 2009 abgeschlossen. Anschließend übernahm Herr Dr. Seidlmayer bei der Umicore AG in Rheinfelden an der deutsch-schweizerischen Grenze die Laborleitung der ICP-Analytik. Die Umicore AG ist eines der marktführenden Unternehmen im Bereich der Herstellung von Autoabgaskatalysatoren. Die Qualitätssicherung der Edelmetallbeschichtungen im Anschluss an die Produktion war die zentrale Aufgabe des ICP-Labors.

Nach dem Wechsel zur Mühlbauer AG nach Roding in die Prozess- und Produktentwicklungsabteilung „Cards&Tecurity“ umfasste das Arbeitsfeld von Herrn Dr. Seidlmayer neben der maschinellen Prozessoptimierung auch die Weiterentwicklung von Sicherheitsmerkmalen von ID-Dokumenten (z. B. Ausweiskarten, Reisepässen, Bankchipkarten etc.).

Schließlich bot sich Herrn Dr. Seidlmayer an der TU München die Möglichkeit sein chemisches Fachwissen wieder in der Forschung einzubringen. Seit November 2012 ist er als Wissenschaftler an der Forschungsneutronenquelle des Heinz Maier-Leibnitz Zentrums (MLZ) in verschiedenen Forschungsprojekten mit Li-Ionen Batterien tätig, unter anderem auch im EEBatt Projekt.

Forschungsschwerpunkt: Ziel der Arbeit von Herrn Dr. Seidlmayer im TP2 zu Beginn des EEBatt Projekts war es Methoden zu entwickeln, um geschlossene Batteriezellen in-situ mit Neutronen untersuchen zu können. Es wurden erfolgreich verschiedene experimentelle Methoden wie z. B. Neutronenkleinwinkelstreuung (SANS), Prompte-Gamma-Aktivierungs-Analyse (PGAA), Neutronendiffraktion sowie Neutronenradiographie und -tomographie angepasst. Die Arbeiten übernahm Herr Dr. Seidlmayer stellvertretend für Dr. Neelima Paul, die ihn im Herbst 2013 ablöste. Mit dem Projekt verbleibt Herr Dr. Seidlmayer dennoch verbunden und steht beratend bei der Umsetzung von Experimenten an der Neutronenquelle zur Seite.

Expertise: Nachdem Yelena Gorlin den Bachelorabschluss als Chemieingenieur und in Biologie im Jahr 2006 am MIT erlangte, ging sie dem Promotionsstudium im Chemieingenieurwesen in Kalifornien an der Stanford Universität nach. Unter der Aufsicht von Prof. Thomas Jaramillo, schloss sie das Promotionsstudium im September 2012 erfolgreich im Bereich der Entwicklung von Manganoxid-basierenden Katalysatoren für die Sauerstoffreduktion und Entwicklungsreaktionen ab. Zwischen Oktober 2012 und Mai 2013 arbeitete Dr. Gorlin weiterhin an der Stanford Universität als Post-Doc. In ihrer Arbeit fokussierte sie sich auf die Ausrichtung von Oberflächenstrukturen und Schnittstellen, um eine verbesserte katalytische Leistung zu erzielen. Im Juni 2013 kam Dr. Gorlin nach München für ihre Arbeit an in operando Charakterisierung von Batterien und Brennstoffzellen und beteiligte sich am EEBatt Projekt. Während ihres Aufenthalts in München wurde sie mit dem Humboldt Post-Doc Stipendium ausgezeichnet. Dies gestattet ihr von Mai 2014 bis April 2016 Unterstützung für Forschungstätigkeiten in Kooperation mit Prof. Hubert Gasteiger und Prof. Moniek Tromp.

Forschungsschwerpunkt: Die Entwicklung und Verbesserung zukünftiger Technologiegenerationen von Li-Ionen Akkumulatoren wird weitgehend durch ein schlechtes Verständnis der Zellchemie und der Abbaumechanismen verhindert. Folglich finden derzeit in operando Studien von Batterien, die sowohl die Zellchemie als auch die Mechanismen des Batteriebetriebs und des Abbaus erläutern können, großes Interesse bei der Forschungsgemeinschaft. In einer Zusammenarbeit zwischen dem Lehrstuhl für Technische Elektrochemie und dem Lehrstuhl für Katalysator-Charakterisierung, wurde eine neue Spektro-elektrochemische Zelle entwickelt, die in der Lage ist, Standardelektrochemische Leistung zu liefern und gleichzeitig den spektroskopischen Zugriff auf die einzelnen Batteriekomponenten, wie negative und positive Elektroden und Elektrolyten, erlaubt. Diese Zelle wurde gegen eine Swagelok® T-Zelle, welche Lithium-Schwefel-Chemie verwendet, getestet um ihre Fähigkeit, hervorragende elektrochemische Leistung zu erzielen, zu zeigen. In operando XANES X-Ray Absorption Near Edge Spectroscopy Experimente wurden verwendet, um zu demonstrieren, dass sich die Spektro-elektrochemischen Zelle als in-situ Charakterisierungs-Werkzeug eignet. Die Spektro-elektrochemische Zelle wird nun im EEBatt Projekt eingesetzt, um die Fe-Auflösung in LiFePO₄ Batterie zu erforschen und mit dem Ziel das Design verbesserter LiFePO₄-Batterien zu fördern.



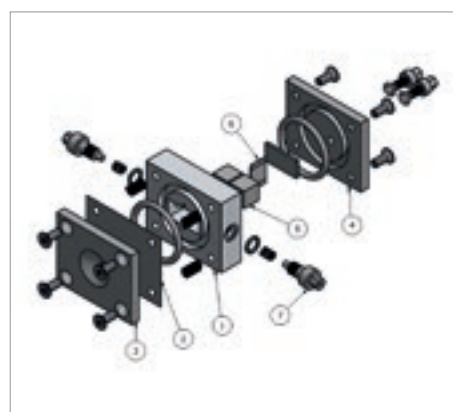
Ph. D. Yelena Gorlin

Lehrstuhl für Technische Elektrochemie und Lehrstuhl für Katalysator-Charakterisierung

Position im EEBatt:
Post-Doc

Teilprojekt:
TP2 Batteriezellforschung

Kontakt:
Telefon: + 49 89 289 13207
yelena.gorlin@tum.de



Explosionsansicht der Spektro-elektrochemischen in operando Zelle, dargestellt in den einzelnen Komponenten: 1) Zellengrundfläche; 2) Röntgenfenster, aluminisiertes Kapton; 3 und 4) Aluminium Front- und Rückplatte; 5) Edelstahl Stromabnehmer; 6) Elektroden Separator Messsystem; 7) elektrische Kontaktpins aus Edelstahl

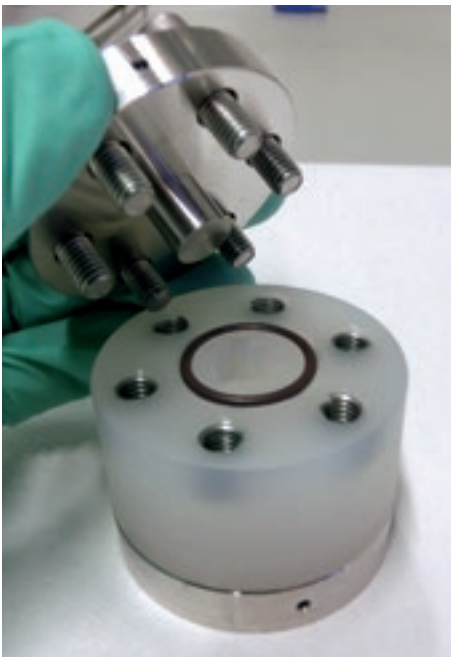


M.Sc. Johannes Landesfeind
Lehrstuhl für Technische
Elektrochemie

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Teilprojekt Organisation TP2

Teilprojekt:
TP2 Batteriezellforschung

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 13841
j.landesfeind@tum.de



Messzelle zur Bestimmung binärer
Elektrolyt-Transportparameter

Expertise: Erfolgreich konnte Herr Landesfeind im Jahr 2013 sein Masterstudium „Applied and Engineering Physics“ an der Technischen Universität München abschließen. Schon während der Abschlussarbeit lag sein Fokus auf der Batterieforschung. Hierbei entwickelte sich aus der Kooperation der Lehrstühle Interfaces and Energy Conversion (E19, Physik Department), Technische Elektrochemie (Chemie Department) und dem Lehrstuhl für numerische Mechanik der Fakultät für Maschinenwesen die Möglichkeit die begonnenen Arbeiten im Zuge einer Promotion fortzuführen.

Forschungsschwerpunkt: Seit Dezember 2013 arbeitet Johannes Landesfeind innerhalb Teilprojekt 2 an einer vollständigen chemisch-physikalischen Parametrisierung von experimentellen Lithium-Ionen-Zellen. Eine präzise Bestimmung dieser Modellparameter ist für die Erstellung aussagekräftiger elektrochemischer Zellmodelle zur Beschreibung und Vorhersage des Lade- und Entladeverhaltens von Batteriezellen essenziell. Unabdingbar für die Simulation einer Batteriezelle sind geometrische Kenngrößen wie etwa Porosität und Tortuosität der Elektroden- und Separatorschichten oder elektrolytische Transportparameter. Momentan konzentriert sich die Arbeit von Herrn Landesfeind auf die Bestimmung der Transportparameter binärer Elektrolyte. Dafür werden bekannte Methoden validiert sowie neuartige Modellexperimente entwickelt und durchgeführt. Mit Standardmethoden der Elektrochemie wie Lade- und Entladungszyklen, elektrochemischer Impedanzspektroskopie sowie Zyklovoltammetrie werden dabei in Laborzellen neue Erkenntnisse über das Verhalten des Elektrolyts gewonnen. Dieses Teilprojekt wird in enger Zusammenarbeit mit Andreas Ehl bearbeitet. Die Zusammenarbeit unterschiedlicher Disziplinen innerhalb des Teilprojektes 2 bietet hierbei eine gute Grundlage für fruchtbare Diskussionen und neuartige Ideen.

Neben der wissenschaftlichen Arbeit ist Herr Landesfeind in seiner Funktion als Teilprojektorganisator für alle administrativen Aufgaben innerhalb Teilprojekt 2, wie beispielsweise die Organisation der Teilprojekttreffen oder das Berichtswesen zuständig.

Expertise: Von 2010 bis 2013 studierte Herr Wandt Chemie im Master an der TU München. Während eines Auslandssemesters an der KTH in Stockholm wurde sein Interesse an der Elektrochemie geweckt. Daher untersuchte er im Rahmen seiner Masterarbeit (Lehrstuhl für Technische Elektrochemie, TUM) die Elektrolytzersetzung in Lithium-Sauerstoff Batterien. Nach einem sechsmonatigen Forschungspraktikum bei Bosch (Palo Alto, USA) begann Herr Wandt Ende 2013 die Promotion im Rahmen des EEBatt Projekts im Teilprojekt 2. Der Fokus dieses Teilprojekts liegt auf der Untersuchung der Alterungsmechanismen verschiedener Batteriematerialien, welche in Lithium-Ionen Batterien verwendet werden.

Forschungsschwerpunkt: Für ein tiefgreifendes Verständnis der Batteriealterung ist es notwendig die makroskopischen Beobachtungen („abnehmende Kapazität“) mit den zugrunde liegenden mikroskopischen chemischen und morphologischen Veränderungen zu verknüpfen. In diesem Zusammenhang kommen je nach Fragestellung verschiedenste spektroskopische Methoden zum Einsatz. Es werden neuartige spektroelektrochemische Zellen entwickelt, um die Elektrodenmaterialien direkt während der Lade-Entlade-Zyklen zu untersuchen. Bei diesen operando Experimenten kann man im Gegensatz zum klassischen ex-situ Ansatz die ablaufenden Prozesse zeitlich aufgelöst beobachten und so auch thermodynamisch instabile Zwischenprodukte erfassen. So wird beispielsweise mittels operando-Elektronenspinresonanzspektroskopie (EPR) die morphologischen Veränderungen metallischer Lithium Anoden, die sogenannte Dendritenbildung, in Abhängigkeit der Elektrolytzusammensetzung und der Stromrate untersucht. In einem weiteren Projekt wird in Zusammenarbeit mit Prof. Moniek Tromp mittels operando-Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) die Metallauflösung typischer Kathodenmaterialien und die daraus resultierende Metallabscheidung auf der Anode untersucht. Außerdem werden gezielt spektroskopische Methoden entwickelt, um grundlegende mechanistische Fragenstellungen zur Zellchemie von Lithium-Sauerstoff Batterien zu beantworten.

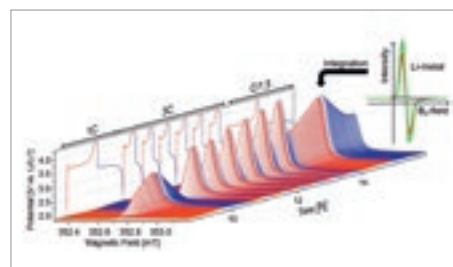


M.Sc. Johannes Wandt
Lehrstuhl für
Technische Elektrochemie

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter

Teilprojekt:
TP2 Batteriezellforschung

Kontakt:
Telefon: + 49 89 289 13837
johannes.wandt@tum.de



Elektrochemische operando-EPR Spektroskopie einer Lithium Anode während des Zyklierens.

Dipl.-Ing. Markus Westermeier



Dipl.-Ing. Markus Westermeier
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Teilprojekt Organisation TP12

Teilprojekt:
TP12 Forschungsproduktionslinie für
Batteriezellen

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 154 92
markus.westermeier@iwb.tum.de

Expertise: Herr Dipl.-Ing. Markus Westermeier ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München (TUM). An der TUM studierte er auch Maschinenwesen mit den Schwerpunkten Produktionssysteme und Regelungstechnik. Sein Studium schloss er 2010 mit seiner Diplomarbeit zur Kompensation von Kraftmessungen beim HSC-Fräsen ab, welche er an der University of British Columbia (UBC) am Manufacturing Automation Laboratory (MAL) angefertigt hat. Seit Februar 2011 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Montagetechnik und Robotik und befasst sich in seiner Promotion mit der Qualitätsplanung für die Produktion von Batteriezellen.

Forschungsschwerpunkt: Markus Westermeier koordiniert am *iwb* die Forschungsaktivitäten zur Batterieproduktion, welche auch die EEBatt-Arbeitspakete 2.500 und 4.300 umfassen. Markus Westermeier ist der Ansprechpartner für die *iwb*-Forschungsproduktionslinie. Er sorgt für eine Abstimmung der Forschungs- und Produktionskampagnen mit den Projektbelegungen von EEBatt bezüglich der Herstellung von Batteriezellen insbesondere mit der Zellchemie Lithium-Eisenphosphat.



Qualitätssicherung in der Batterieproduktion (TUM, Heddergott)

Expertise: Erste Erfahrungen in Bereich der Elektrotechnik machte Herr Karl als er seine Ausbildung zum Energieelektroniker bei der Firma InfraServ in Gendorf absolvierte. Seine dort erworbenen Fertigkeiten und Kenntnisse vertiefte er bei seinem Bachelor- und Diplom-Studium an der TU München. Während dieser Zeit wurden Schwerpunkte in den Bereichen Nachrichtentechnik, medizinische Elektronik und Halbleitertechnologie gesetzt. Seit 2008 ist Herr Karl als Berater und Projektleiter für Soft- und Hardwareentwicklungen bei der Firma IABG in Ottobrunn tätig.

Forschungsschwerpunkt: 2011 begann er sein Promotionsvorhaben auf dem Gebiet der elektrochemischen Speicher am Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik von Herrn Professor Andreas Jossen. In der ersten Zeit widmete er sich als Promotionsstipendiat der Nagelschneider Stiftung den vielfältigen Möglichkeiten, welche sich durch die Systemintegration von Lithium-Eisenphosphat-Lithium-Titanat-Zellen in der Umgebung eines stationären Speichers ergeben. Dies beinhaltet, unter anderem, die allgemeine Charakterisierung besagten Systems hinsichtlich Ladezustandsbestimmung, Betrieb und Einsatz in Batteriepacks, Kostenanalyse sowie Alterungsverhalten.

Seit 2013 ist Herr Karl im zweiten Teilprojekt von EEBatt tätig und bedient dort das Arbeitspaket 2.600 mit der Aufgabe „Durchführung und Analyse von Alterungstests“. Innerhalb dieses Aufgabenbereichs wird die Grundcharakteristik und Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Li-Ionen-Technologien ermittelt, um anschließend die Auswirkungen verschiedener Belastungsszenarien auf die Alterung untersuchen zu können. Um für spätere Systemmodellierungen entsprechende Verifikationsdatensätze zu erhalten, werden ebenfalls typische Lastszenarien untersucht, synthetisiert und auf die Zellen aufgeprägt. Zur Detektion und Nachvollziehbarkeit des Alterungsverlaufes werden in regelmäßigen Abständen Veränderungen der Vitalparameter der Zellen mittels diverser Messmethoden aufgezeichnet. Hauptaugenmerk wird hierbei sowohl auf die Abnahme der Kapazität als auch auf die Zunahme verschiedener resistiver Anteile der Zelle bzw. dem Zellverhalten gelegt. Um elektrochemische, strukturelle oder materialtechnische Veränderungen innerhalb einer Zelle besser beurteilen zu können, wird ebenfalls auf verschiedene Post-mortem-Analysemethoden, wie z. B. Rasterelektronenmikroskopie oder Röntgendiffraktion, zurückgegriffen.

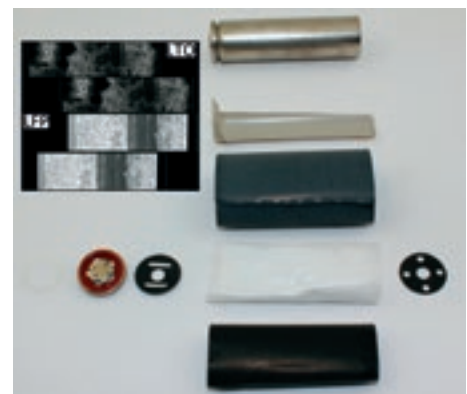


Dipl.-Ing. Ralph Karl
Lehrstuhl für
Elektrische Energiespeichertechnik

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter

Teilprojekt:
TP2 Batteriezellforschung

Kontakt:
Telefon: + 49 89 289 26970
karl@tum.de



*Bild groß: In Einzelteile separierte 18650-Zelle
Bild klein: REM-Schnittaufnahmen der LTO- bzw.
LFP-Aktivmaterialien*

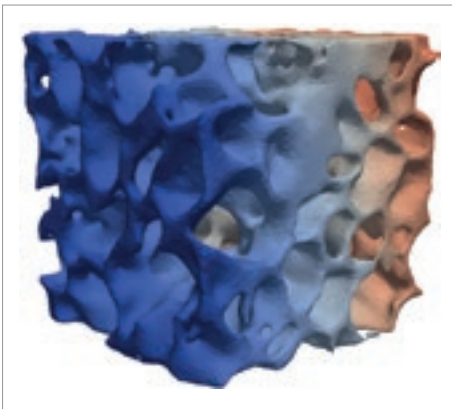


M.Sc. Rui Fang
Lehrstuhl für
Numerische Mechanik

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter

Teilprojekt:
TP2 Batteriezellforschung

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 15251
fang@lnm.mw.tum.de



Dreidimensionale, vollständig aufgelöste poröse Struktur

Expertise: Zum Wintersemester 2008/2009 nahm Herr Rui Fang sein Bachelorstudium im Studiengang „Maschinenbau und Management“ an der Technischen Universität München auf, das er drei Jahre später erfolgreich abschloss. Es folgte ein einjähriges Masterstudium im Studiengang „Mechanical Engineering“ an der University of Michigan in den USA, bevor Herr Rui Fang im September 2012 zwecks einer Promotion am Lehrstuhl für Numerische Mechanik an die Technische Universität München zurückkehrte. Während der ersten anderthalb Jahre seiner Promotion war Herr Rui Fang nahezu in Vollzeit als Lehrassistent für das Grundlagenfach „Technische Mechanik“ tätig. Seit einem knappen Jahr widmet er sich nun intensiv der Forschung im Bereich der Elektrochemie.

Forschungsschwerpunkt: Der Lehrstuhl für Numerische Mechanik beschäftigt sich im Rahmen des vorliegenden Projekts mit neuartigen mathematischen Modellen und numerischen Methoden für Energiespeichersysteme. Unter anderem wird in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Technische Elektrochemie ein dreidimensionales Modell für Lithium-Ionen-Batterien unter vollständiger Auflösung poröser Strukturen entwickelt. Als herausfordernd erweisen sich hierbei die Vielzahl und der größtenteils nichtlineare Charakter der zu berücksichtigenden physikalischen und chemischen Phänomene. Beispielsweise müssen der Transport von Lithium in den Elektroden und im Elektrolyten, der Ladungsübergang zwischen den Elektroden und dem Elektrolyten sowie thermische und mechanische Effekte korrekt und möglichst effizient abgebildet werden.

Der aktuelle Forschungsschwerpunkt von Herrn Rui Fang liegt in der Entwicklung einer konsistenten, monolithischen und numerisch stabilen Kopplung zwischen den Elektroden und dem Elektrolyten unter Verwendung der Butler-Volmer-Kinetik für den Ladungsübergang. Aufgrund ihrer geometrischen Komplexität sollen die Elektroden und der Elektrolyt flexibel und vollständig unabhängig voneinander diskretisiert werden können. Auch eine Berücksichtigung lokaler Phänomene wie Oberflächenwachstum soll ermöglicht werden. Unter vereinfachenden Annahmen wurden bereits gute Ergebnisse erzielt, die die entwickelte Methode grundsätzlich validieren.

Expertise: Herr Erhard hat bis 2011 Elektrotechnik an der TU München studiert. Der Fokus des Studiums war auf Sensorik und Messtechnik ausgelegt. Unter anderem wurden hierfür spezielle Elektrodenanordnungen für die Untersuchung von biochemischen Zellen an der TU München und Präzisions-aktuatoren zur Analyse der Blasenbildung auf der International Space Station (ISS) im Rahmen der Diplomarbeit bei der EADS Astrium GmbH aufgebaut und charakterisiert.

Nach Abschluss des Studiums folgte eine Tätigkeit im Forschungsbereich der Elektromobilität bei der RUF Automobile GmbH in Pfaffenhausen. Hierbei standen die Übertragung und die Aufzeichnung interner Fahrzeugdaten für Diagnosezwecke im Mittelpunkt, insbesondere die Überwachung des Batteriesystems im elektrifizierten Sportwagen.

Forschungsschwerpunkt: Mit dem gleichen Anwendungsfeld, aber nun mit Forschungshintergrund knüpft die Promotion am Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik von Prof. Jossen an. Der Schwerpunkt liegt im Bereich der detaillierten Simulation von Lithium-Ionen-Systemen für die stationäre und mobile Anwendung. Da elektrochemische Systeme zumeist aus Mikrostrukturen bestehen und selten an der Atmosphäre betrieben werden können, ist die Kenntnis der nicht sichtbaren internen Prozesse essentiell, sowohl für den sicheren Betrieb als auch für Herstellung solcher Systeme. Dabei ist die Simulation ein mächtiges Werkzeug, um zum einen Kosten im Experiment einzusparen und zum anderen ein tiefgreifendes Verständnis aufzubauen.

Im Teilprojekt 2 ist es Herr Erhards Aufgabe, ein detailliertes Modell einer Zelle aufzubauen, welches in jedem Zeitpunkt die lokale Stromdichte, das lokale Potenzial sowie die interne Temperatur vorhersagen kann. Dafür werden über verschiedenen Längenskalen gekoppelte Modelle verwendet, die aus partiellen Differentialgleichungen bestehen. Gelöst werden diese Modelle mit kommerzieller Finite-Elemente-Software (FEM). Da nur ein validiertes Modell nützlich ist, gehört ebenso die Validierungsmethodik dazu. In diesem Fall werden Infrarotmessungen der Oberflächentemperatur sowie Potenzialmessungen an eingebrachten lokalen Messpunkten innerhalb einer Zelle verwendet.

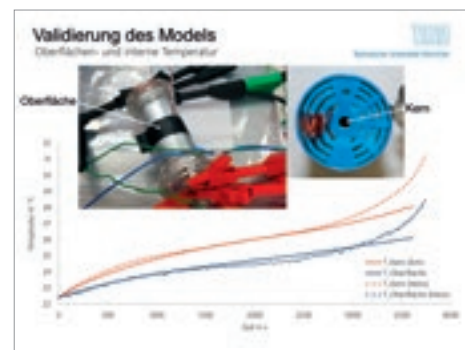


Dipl.-Ing. Simon Erhard
Lehrstuhl für
Elektrische Energiespeichertechnik

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter

Teilprojekt:
TP2 Batteriezellforschung

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 26972
simon.erhard@tum.de



Darstellung der Temperatur im Kern sowie an der Oberfläche der Zelle bei einer Entladung mit einer Rate von 1 °C.

**M.Sc. Sophie Solchenbach**

Lehrstuhl für
Technische Elektrochemie

Position im EEBatt:

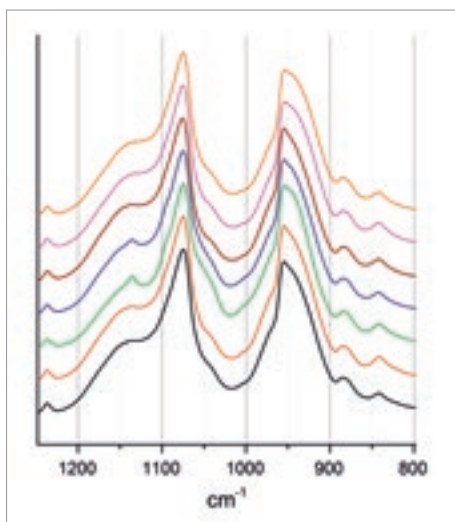
wissenschaftliche Mitarbeiterin

Teilprojekt:

TP2 Batteriezellforschung

Kontakt:

Telefon: +49 89 289 13658
sophie.solchenbach@tum.de



Fourier-transformiertes Infrarotspektrum von kommerziellen, unter verschiedenen Bedingungen gealterten LFP-Elektroden

Expertise: Von 2007 bis 2013 studierte Frau Solchenbach Chemieingenieurwesen an der Technischen Universität München zunächst im Bachelor- und dann im Masterstudiengang. In ihrer Abschlussarbeit am Lehrstuhl für Technische Elektrochemie beschäftigte sich Sophie Solchenbach mit dem Ladeprozess von Lithium-Luft-Batterien. Dabei stand die Auswirkung der Zersetzung verschiedener Elektrolyte auf das Ladeverhalten von Lithiumperoxid-Modellelektroden im Vordergrund. Mit Hilfe von Online-Massenspektrometrie konnte die Sauerstoffentwicklung während des Ladens gemessen und somit die Wiederaufladbarkeit der Elektrode bewertet werden. Gleichzeitig erlaubte diese Methode, Nebenreaktionen zu erkennen und zuzuordnen.

Forschungsschwerpunkt: Im Rahmen der Promotion, begonnen im Mai 2014, untersucht Frau Solchenbach die Oberflächenreaktionen verschiedener Elektroden/Elektrolyt-Systeme. Im Idealfall bildet sich zwischen Elektrolyt und Anode eine passivierende Grenzschicht (SEI, solid-electrolyte interface) aus, die den Elektrolyt vor weiterer Reduktion schützt. Ein ganz ähnlicher Prozess kann auch an der Oberfläche von Hochvolt-Kathoden ablaufen und die stetige Oxidation des Elektrolyten verhindern. Diese Grenzschichten sind jedoch oft instabil und einer der Hauptgründe für die begrenzte Lebensdauer vieler Zellsysteme. Mit Hilfe von in-situ Methoden wie Impedanzspektroskopie und Online-Massenspektrometrie können die Bildung und Eigenschaften der Grenzschichten unter verschiedenen Bedingungen untersucht werden. Verschiedene spektroskopische Techniken können post-mortem Aufschluss über die chemische Zusammensetzung der Grenzschichten geben. Dies ist wichtig, um stabile Systeme entwickeln zu können, die eine längere Lebensdauer bzw. weniger Kapazitätsverlust besitzen. Darüber hinaus können auch kommerzielle Zellen mit diesen Methoden untersucht und verglichen werden.

Zusätzlich sind Johannes Landesfeind und Sophie Solchenbach an der Herstellung von Batteriezellen im industriellen Maßstab am *ivb* beteiligt. Ihre Aufgabe ist dabei die Hochskalierung und Optimierung der Kathodenslurries bezüglich Performance, Beladung und großtechnischer Verarbeitbarkeit.

Expertise: Ilya Zilberman studierte Elektrotechnik und Informationstechnik an der Universität Stuttgart und spezialisierte sich auf Regelungs- und Automatisierungstechnik. Nach einem erfolgreichen Bachelorabschluss wechselte er für das Masterstudium an die Technische Universität München. Er schrieb seine Masterarbeit bei TUM Create in Singapur und beschäftigte sich dabei mit der geschwindigkeitsoptimierten elektrochemischen Impedanzspektroskopie.

Seit Mai 2014 ist Ilya Zilberman ein wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik (EES) an der TUM und gehört dem Team BMS an. Seine Forschungsinteressen liegen im Bereich von Batteriemanagement, insbesondere von Ladungsausgleichssystemen. In Bezug auf die Promotion beschäftigt er sich mit optimalen Ausgleichsalgorithmen.

Forschungsschwerpunkt: Der reibungslose Betrieb eines Racks innerhalb des EEBatt Speichers kann nur durch ein fehlerfreies Zusammenspiel der Einzelkomponenten garantiert werden. Neben dem BMS gehören zu diesen Komponenten auch das Energiemanagementsystem (EMS) und die Leistungselektronik. Um die grundlegende Sicherheit zu gewährleisten, ist die Überwachung dieser Komponenten unabdingbar. Diese Aufgabe übernimmt das sogenannte Rack Safety System, welches die zentrale Sicherheitsfunktion innerhalb eines Racks darstellt. Das in Hardware realisierte Konzept der Pilotlinie ermöglicht eine unmittelbare Erkennung und Reaktion auf einen Fehlerfall oder Komponentenversagen. Durch eine zusätzliche Auswertung weiterer Sensoren wie den Isolationswächter und den Stromsensor können Fehlerfälle vor dem eigentlichen Auftreten erkannt und eliminiert werden. Ilya Zilberman beschäftigt sich innerhalb des Projekts EEBatt mit der Weiterentwicklung des Rack Safety Systems und allgemeinen Sicherheitskonzepten auf der Systemebene.



M.Sc. Ilya Zilberman
Lehrstuhl für
Elektrische Energiespeichertechnik

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter

Teilprojekt:
TP3 Batteriemanagementsystem

Kontakt:
Telefon: + 49 89 289 26984
ilya.zilberman@tum.de



Rack Safety System Platine

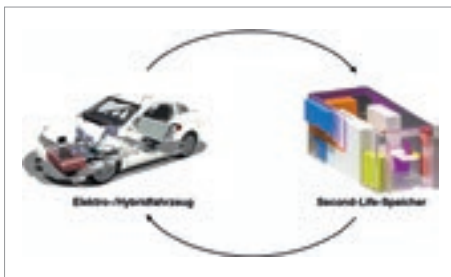


Dipl.-Ing. Michael Baumann
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Teilprojekt Organisation TP3,
AG Sicherheit

Teilprojekt:
TP3 Batteriemanagementsystem

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 15352
baumann@ftm.mw.tum.de



Neben dem eigentlichen Prozess müssen zur ökonomisch und ökologisch sinnvollen Gestaltung von Second Life sich ergebende Anforderungen an die Fahrzeug- und Batteriepackentwicklung betrachtet werden.

Expertise: Michael Baumann schloss sein Studium der Mechatronik und Informationstechnik an der Technischen Universität München (TUM) 2013 mit einer Diplomarbeit zum Thema Sicherheitsmanagement für Batteriemanagementsysteme am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik unter Betreuung von Prof. Markus Lienkamp ab. Anschließend begann er seine Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl. Während des Studiums konnte Herr Baumann bereits Erfahrungen in verschiedenen Projekten der Industrie und Wissenschaft sammeln, u.a. am Wyss Institute for Biologically Engineering, Harvard University, wo er ein aktives Exoskelett für körperlich eingeschränkte Menschen entwickelte. Im Rahmen seiner Promotion untersucht Herr Baumann die optimale Prozessgestaltung bei einer stationären Zweitnutzung von Fahrzeug-Traktionsbatterien und sich daraus ergebene Rückschlüsse auf die Fahrzeugentwicklung.

Forschungsschwerpunkt:

- Zweitnutzung (Second Life) von Fahrzeugbatterien
- Batterie- und Energiemanagement
- Batteriepackauslegung für mobile und stationäre Anwendungen

Mit dem zunehmenden Ausbau dezentraler Energieerzeugung wie beispielsweise Windkraft und Photovoltaik steigt auch der Bedarf von dezentralen Energiespeichern um eine gleichbleibende Versorgungssicherheit zu gewährleisten bzw. einen weiteren Netzausbau zu vermeiden. Als Speichermedium eignen sich hierfür aufgrund ihrer hohen Lebensdauer, Zyklenfestigkeit und Effizienz Lithium-Ionen-Batteriesysteme besonders gut. Neben dem Einsatz fabrikneuer Zellen ist es aus ökonomischer und ökologischer Sicht sinnvoll, auch geeignete gebrauchte Speicher auf Lithium-Ionen-Basis in Betracht zu ziehen. Gerade im ebenso wachsenden Markt der Elektro- und Hybridfahrzeuge werden sich in den kommenden Jahren erhebliche Kapazitäten ergeben. Um ein sogenanntes Second Life von Fahrzeug-Batteriespeichern aber wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll gestalten zu können, müssen die involvierten Komponenten vom Fahrzeug bis zum stationären Speicher genau betrachtet werden sowie entsprechende Rückschlüsse für die zukünftige Fahrzeugentwicklung gezogen werden.

Aufgabe von Michael Baumann in EEBatt ist die Leitung von Teilprojekt 3 zur Entwicklung eines innovativen, wettbewerbsüberlegenen Batteriemanagementsystems für einen sicheren, zuverlässigen und lebensdaueroptimierten Betrieb von stationären Energiespeichern.

Expertise: Frau Dipl.-Ing. Carola Zwicker ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München. Nach ihrem Abitur im Sommer 2005 studierte sie bis 2009 an der Hochschule Esslingen Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Entwicklung und Produktion. Während des Studiums machte sie ein 7-monatiges Praktikum bei der KUKA Roboter GmbH und sammelte dort erste Erfahrungen im Bereich Industrierobotik und Mensch-Roboter-Kooperation.

Im Anschluss an ihr Bachelorstudium erlangte sie an der Technischen Universität Stuttgart 2011 den Titel als Diplom-Ingenieur (Fachrichtung Maschinenwesen). Frau Zwicker vertiefte dort im Bereich Textiltechnik und Fabrikplanung. Des Weiteren sammelte sie in der Vorlesung Energietechnik erste Erfahrungen im Bereich erneuerbare Energien. Dieses Wissen vertiefte Frau Zwicker in einem Unternehmen, welches Photovoltaikanlagen projektiert und installiert.

Seit Oktober 2011 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Montagetechnik und Robotik und befasst sich in ihrer Promotion mit der wirtschaftlichen Planung von Robotersystemen. Während des Studiums konnte sie dazu bereits die betriebswissenschaftlichen und technischen Grundlagen erfahren.

Forschungsschwerpunkt: Innerhalb des Projektes EEBatt plant sie zusammen mit Kollegen die automatisierte Montage von Energiespeichern. Dabei werden auch Vorgänge wie das schwer automatisierbare Verlegen von Kabeln oder das automatisierte Stecken und Klipsen untersucht. Die wirtschaftliche Betrachtung der Automatisierung ist ein wichtiger Schritt bei der Analyse und dem Aufbau der Produktionsanlagen. Die Peripheriekomponenten stellen dabei gegenüber der eigentlichen Automatisierung einen Großteil der Investitionen dar. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung fließt zusammen mit einem Groblayout in die Promotion von Frau Zwicker ein. Dabei beinhaltet das Groblayout eine Draufsicht der Anordnung aller benötigten Komponenten zueinander.

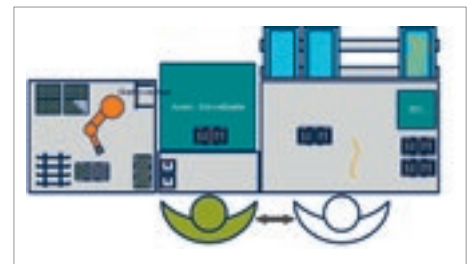


Dipl.-Ing. Carola Zwicker
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Position im EEBatt:
wissenschaftliche Mitarbeiterin

Teilprojekt:
TP4 Entwicklung und Optimierung der Batteriemodule

Kontakt:
Telefon: + 49 89 289 15438
carola.zwicker@iwb.tum.de



Mögliches 2D-Layout der Zellblockmontage



Dipl.-Ing. Christian Huber
Lehrstuhl für
Elektrische Energiespeichertechnik

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Teilprojekt Organisation TP4

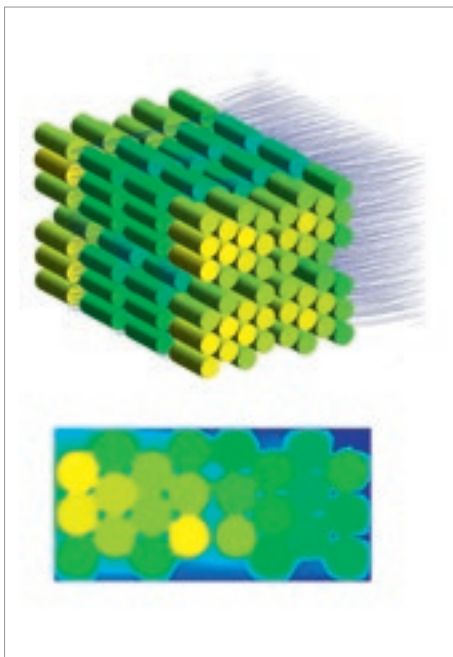
Teilprojekt:
TP4 Entwicklung und Optimierung
der Batteriemodule

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 26986
c.huber@tum.de

Expertise: Während seines Diplomstudiums der Luft- und Raumfahrttechnik an der Technischen Universität München hat sich Christian Huber intensiv mit den thermodynamischen und fluidmechanischen Prozessen an Tragflügeln und Turbinenschaufeln beschäftigt. Sein Interessensschwerpunkt lag hierbei insbesondere auf der numerischen Simulation von Strömungs- und Wärmetransportphänomenen in diesen technischen Systemen. Begleitet wurde sein Studium durch Forschungsaufenthalte in Italien, Kanada und der VR China. Zusätzlich zu seinem ingenieurwissenschaftlichen Abschluss erlangte Herr Huber einen Abschluss in Technologie- und managementorientierter Betriebswirtschaftslehre.

Im Rahmen seiner Promotion am Institut für Elektrische Energiespeicher der Technischen Universität München untersucht er gegenwärtig die Auslegung und Simulation von Thermalmanagementlösungen für elektrische Speichersysteme. Große Teile seines Promotionsvorhabens absolvierte er hierbei in Kooperation mit dem internationalen TUM CREATE Projekt in Singapur. Dort zeigte er sich u. a. auch verantwortlich für die Entwicklung des Batterie-Kühlsystems, des mit dem eCarTec Award prämierten Prototypen-Fahrzeugs EVA.

Forschungsschwerpunkt: In EEBatt koordiniert Herr Huber als Teilprojektleiter von TP4 den Entwurf und Aufbau der aus 192 Zellen bestehenden Batterie-Module. Dies umfasst neben der mechanischen, elektrischen und thermischen Auslegung auch die numerische Simulation des Systems sowie die Definition von ganzheitlichen Testverfahren. Hauptaugenmerk seiner persönlichen Forschung liegt auf der thermischen Untersuchung und Modellierung von mehrzelligen Systemen. Hierbei betrachtet er insbesondere die Integration von Phasenwechselmaterialien in Speichersysteme, welche zur passiven Temperierung eingesetzt werden können und zudem die Operationsflexibilität erweitern. Im Kontext seiner Arbeit analysiert er die positiven Auswirkungen dieses Funktionsmaterials auf Zelltemperatur, Zellsicherheit und Zellalterung sowohl simulativ als auch experimentell.



Thermisches Simulationsmodell des EEBatt Moduls

M. Eng. Cosima Stocker

Expertise: Frau M. Eng. Cosima Stocker ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München. Nach ihrem Abitur im Sommer 2007 studierte sie zunächst Maschinenbau an der TU München. Im Herbst 2009 wechselte sie an die Hochschule München in den deutsch-französischen Bachelor-/Masterstudiengang „Produktion & Automatisierung“. Während des Studiums studierte sie zwei Jahre an der französischen Partnerhochschule EPF Ecole d'ingénieurs in Paris, einschließlich eines 4-monatigen Praktikums bei Schneider Automation SAS (Carros, Frankreich). Mitte 2014 schloss sie das Studium mit dem Master of Engineering und dem französischen Diplôme d'ingénieur ab.

Ihre Bachelorarbeit zum Thema Mensch-Roboter-Kooperation verfasste sie bei der BMW AG in München und sammelte dort erste praktische Erfahrungen im Bereich automatisierte Produktion mit Industrierobotern. Im Rahmen ihrer französischsprachigen Masterarbeit verbrachte sie sechs Monate bei Audi Brüssel und erarbeitete eine Strategie zur Qualitätsverbesserung in der Vorserienproduktion. Auf diese Weise vertiefte Frau Stocker ihre Studieninhalte in sehr verschiedenen Bereichen der Produktion.

Forschungsschwerpunkt: Seit Oktober 2014 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Montagetechnik und Robotik und befasst sich in ihrer Promotion mit der physikbasierten Simulation von Zuführsystemen, insbesondere Vibrationswendelförderern. Während des Studiums konnte sie dazu bereits die technischen Grundlagen erarbeiten.

Im Rahmen des Projekts EEBatt plant Frau Stocker in Zusammenarbeit mit Kollegen die automatisierte Montage von Energiespeichern. Komplexe Vorgänge wie das schwer automatisierte Verlegen von Kabeln oder das robotergestützte Stecken und Klipsen stehen dabei im Fokus. Insbesondere die Rückspiegelung von Anforderungen für die automatisierte Montage in die konstruktive Auslegung ist ein wichtiger Bestandteil der Entwicklungen. Ihre Kenntnisse als Ingenieurin für Produktion und Automatisierung kann sie hierbei auf vielen Ebenen zugunsten des Projekts einsetzen.

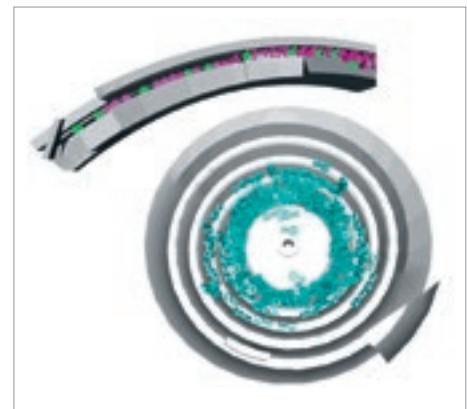


M. Eng. Cosima Stocker
Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften

Position im EEBatt:
wissenschaftliche Mitarbeiterin

Teilprojekt:
TP4 Entwicklung und Optimierung
der Batteriemodule

Kontakt:
Telefon: + 49 89 289 15472
cosima.stocker@iwb.tum.de



Physiksimulation von Schwingfördersystemen

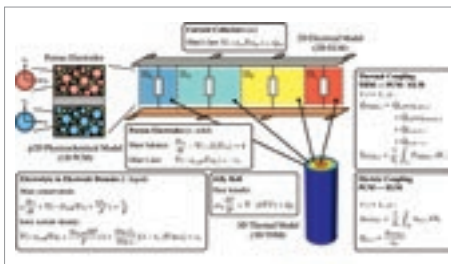


Dipl.-Geophys. Katharina Rumpf
Lehrstuhl für
Elektrische Energiespeichertechnik

Position im EEBatt:
wissenschaftliche Mitarbeiterin

Teilprojekt:
TP4 Entwicklung und Optimierung
der Batteriemodule

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 26988
katharina.rumpf@tum.de



Schema des multidimensionalen physikochemisch-thermisch gekoppelten Modells einer einzelnen Lithium-Ionen Zelle.

Expertise: Katharina Rumpf ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik der Technischen Universität München. Bis 2012 studierte sie Geophysik an der Christian Albrecht Universität Kiel mit Nebenfach Elektrische Energietechnik und Leistungselektronik.

Im Anschluss an ihr Diplom in Geophysik sammelte sie als Werkstudentin Erfahrungen in Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet Energiebordnetz bei der BMW Group in München.

Forschungsschwerpunkt: Seit Oktober 2012 arbeitet Frau Rumpf als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich der Elektrischen Energiespeichertechnik und befasst sich in ihrer Promotion mit der physikochemisch-thermischen Modellierung verschalteter Zellen. Um eine geringe Alterung von Batteriezellen im Betrieb und somit eine lange Speicherlebensdauer zu gewährleisten, sollte die Temperaturverteilung innerhalb eines Batteriemoduls möglichst homogen sein. Um die Wechselwirkung zwischen verschalteten Zellen im Betrieb bestimmen zu können, wird in diesem Kontext ein mehrdimensionales gekoppeltes physikochemisch-thermisches Modell verschalteter Zellen entwickelt. Mit Hilfe des Modells soll unter anderem der Einfluss verschiedener geometrischer Parameter auf die Temperaturverteilung innerhalb eines Moduls untersucht werden, wie beispielsweise Zellabstand oder Stärke der Zellverbinder. Zudem wird der Einfluss durch unterschiedliches Zellmatching betrachtet. Ziel ist es, eine thermisch optimierte Systemauslegung zu ermöglichen. Im Rahmen des Teilprojekts 4 beschäftigt Frau Rumpf sich mit der Simulation und elektrisch-thermischen Vermessung der Batteriemodule. Validiert werden die Modelle am Prüfstand für kleine Batteriemodule am EES sowie in Zukunft im Hochvolt-Labor der TU München.

Expertise: Korbinian Schmidt absolvierte 2004 seine Ausbildung zum Mechatroniker für Automatisierungs- und Prozesstechnik bei der Firma Roche Diagnostics GmbH in Penzberg. Nach seinem Abschluss arbeitete er dort für mehrere Jahre als Facharbeiter im Technischen Service für Fermentationsanlagen und deren Ver- und Entsorgungsanlagen.

Anschließend besuchte Herr Schmidt die Städtische Technikerschule München und schloss diese 2010 als staatlich geprüfter Maschinenbautechniker für den allgemeinen Maschinenbau ab. Seit der Gründung des Lehrstuhls für Elektrische Energiespeichertechnik im Jahr 2010 ist Herr Schmidt verantwortlich für den Aufbau und die Inbetriebnahme der Zelltestlabore und Werkstätten. Im Rahmen seiner Arbeit beschäftigt er sich mit einer konstanten Weiterentwicklung dieser. Sein Schwerpunkt liegt in der Konstruktion und dem Aufbau von Versuchsträgern, Experimentalaufbauten und Batteriemodulen für die Batterietest-Umgebung.

Forschungsschwerpunkt: Im Arbeitspaket 4.200 ist es Herr Schmidts Aufgabe in Zusammenarbeit mit VARTA Storage GmbH aus dem späteren Batteriemodul geeignete Forschungsmodule zu entwickeln und umzusetzen. Diese Module werden unter Laborbedingungen im Einzelnen und im Verbund getestet. Dadurch können Rückschlüsse über thermische, elektrische und mechanische Eigenschaften gezogen werden. Die Ergebnisse tragen dazu bei, dass sich Simulation und Konstruktion in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess befinden.

Um Module und Systeme betreiben zu können, müssen geeignete Prüflabore und Flächen geschaffen werden. Aus diesem Grund beschäftigt sich Herr Schmidt in Zusammenarbeit mit der Projektleitung mit der Schaffung neuer Laborflächen und deren Infrastruktur sowie dem Aufbau neuer Messgeräte und Versuchsträger.



Korbinian Schmidt
Lehrstuhl für
Elektrische Energiespeichertechnik

Position im EEBatt:
Maschinenbautechniker,
Verbundlabor EEBatt

Teilprojekt:
TP4 Entwicklung und Optimierung
der Batteriemodule

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 26980
korbinian.schmidt@tum.de



Teilmodulaufbau für thermische Messungen



Dipl.-Ing. Martin Brand
Lehrstuhl für Elektrische
Energiespeichertechnik (EES)

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter

Teilprojekt:
TP4 Entwicklung und Optimierung
der Batteriemodule

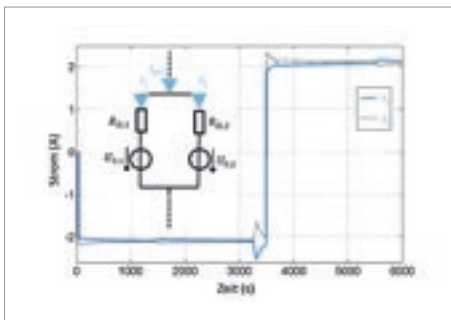
Kontakt:
Telefon: +49 89 289 26979
martin.brand@tum.de

Expertise: Martin Brand studierte Elektrotechnik und Informationstechnik an der Technischen Universität München (TUM) und spezialisierte sich auf Energietechnik und Mechatronik. Während des Studiums forschte er unter anderem an permanent erregten Synchronmaschinen (PMSM) und bei der BMW Group an der Spannungsstabilität des elektrischen Energiebordnetzes in Fahrzeugen. 2010 schrieb er seine Diplomarbeit im Rahmen des MINI E Projekts über die Prädiktion der Restreichweite in Elektrofahrzeugen.

Im Anschluss half er als einer der ersten wissenschaftlichen Mitarbeiter den neugegründeten Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik (EES) an der TUM aufzubauen und leitet seit 2012 das Team Batteriesystemtechnik. Seine Forschungsaktivitäten umfassen die Vermessung, ersatzschaltbildbasierte Modellierung, Sicherheit und Alterung von Lithium-Ionen-Zellen und -Systemen. Hierzu zählen auch Aspekte der Fertigung von Batteriesystemen wie die Untersuchung von Fügetechniken und deren elektrischer Kontaktwiderstand.

Forschungsschwerpunkt: Im Fokus der Promotion von Martin Brand steht die Untersuchung der Stromverteilung bei verschalteten Zellen und deren Auswirkung auf die Alterung. In Abhängigkeit der Dynamik des Belastungsprofils, der Impedanzen der Batteriezellen und deren leitenden Verbindungen teilt sich die elektrische Belastung inhomogen auf die einzelnen Batteriezellen des Systems auf. Dies wirkt sich auf die Leistungsfähigkeit und die Lebensdauer des Batteriesystems aus.

Seine Erkenntnisse kann Martin Brand in EEBatt bei der elektrischen Auslegung, Vermessung und Modellierung der Batteriemodule einbringen und am praktischen Beispiel validieren.



Einfaches Ersatzschaltbild zweier parallelgeschalteter Batteriezellen und die sich ergebende Stromaufteilung bei Belastung mit einem Strompuls

Expertise: Herr M.Sc. Patrick Schmitz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München. Nach seinem Abitur im Sommer 2007 studierte er bis 2012 an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen Physik mit dem Schwerpunkt experimentelle Festkörperphysik. Innerhalb seiner Vertiefungsfächer erlangte er grundlegendes Wissen im Bereich der Lasertechnik und Optik, welches er bereits während seiner Studienzeit am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT praxisnah anwenden konnte.

Im Anschluss an sein Masterstudium absolvierte er einen sechsmonatigen Forschungsaufenthalt an der Tsinghua University in Peking, wobei der Forschungsschwerpunkt auf dem Gebiet der Oberflächenstrukturierung von Metallen mit Pikosekunden-Laserstrahlung lag. Seit September 2013 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Füge- und Trenntechnik und befasst sich in seiner Promotion mit der Kontaktierung von Batteriezellen mittels Laserstrahlung.

Forschungsschwerpunkt: Innerhalb des Projektes EEBatt führt er experimentelle Untersuchungen zur elektrischen Kontaktierung von Lithium-Ionen-Zellen für stationäre Energiespeicher durch. Als Fügeverfahren zur Herstellung der Kontakte, wird das Laserstrahlschweißen eingesetzt. Dieses berührungslose Verfahren bietet die Möglichkeit mit hoher Prozessgeschwindigkeit stoffschlüssige Fügeverbindungen mit hoher Qualität und Reproduzierbarkeit herzustellen. Die Herausforderungen hierbei liegen in der Vermeidung von mechanischen und thermischen Schädigungen der Batteriezellen durch den Fügeprozess und der Minimierung von elektrischen Verlusten an der Kontaktzone. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf der Prozessauslegung zum Laserstrahlschweißen von Zellgehäusen mit Aluminium- sowie Kupferableitern. Um prozesssicher eine Fügeverbindung mit hoher Festigkeit und Leitfähigkeit herstellen zu können, ist der angepasste örtliche und zeitliche Energieeintrag entscheidend.



M.Sc. Patrick Schmitz
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter

Teilprojekt:
TP4 Entwicklung und Optimierung der Batteriemodule

Kontakt:
Telefon: + 49 89 289 15556
patrick.schmitz@iwb.tum.de



Elektrische Kontaktierung von Lithium-Ionen-Zellen mittels Laserstrahlung.

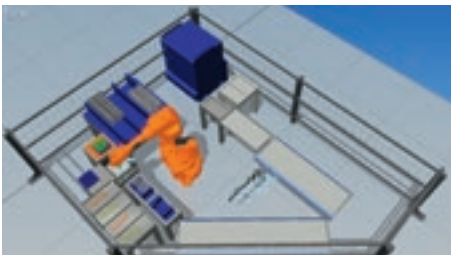


M. Eng. Till Günther
Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter

Teilprojekt:
TP4 Entwicklung und Optimierung
der Batteriemodule

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 15558
till.günther@iwb.tum.de



*Simulation einer flexiblen automatisierten
Batteriemodulmontage*

Expertise: Herr M. Eng. Till Günther ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München. Nach seinem Abitur im Sommer 2008 studierte er bis 2013 im internationalen Bachelor- und Masterstudiengang „Produktion und Automatisierung“. Im Rahmen dieses deutsch-französischen Ingenieurstudienganges hat er drei Jahre an der EPF Sceaux (bei Paris) und zwei Jahre an der Hochschule München studiert.

Während des Studiums fertigte Herr Günther seine Masterarbeit bei der Daimler AG innerhalb des Forschungsprojektes WPSlive an. Er beschäftigte sich mit dem Aufbau eines Demonstrators zur qualitativen Erprobung eines Fügeprozesses mit einem Leichtbauroboter. Dort sammelte er erste Erfahrungen in der Planung von automatisierten Montageanlagen und konnte die Mitarbeit in einem wissenschaftlichen Kontext kennenlernen.

Seit Februar 2014 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Montagetechnik und Robotik und befasst sich in seiner Promotion mit der Handhabung von großformatigen Elektroden. Somit kann er die während des Studiums erworbenen Grundlagen im Bereich Prozessautomatisierung vertiefen.

Forschungsschwerpunkt: Innerhalb des Projektes EEBatt plant er zusammen mit Kollegen die automatisierte Montage von Energiespeichern. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist die flexible Handhabung verschiedener Zellformate und -abmessungen durch intelligente Greifkonzepte unter Berücksichtigung der Qualitätssicherung. Neben der Handhabung von Batteriezellen werden auch Vorgänge wie das schwer automatisierbare Verlegen von Kabeln oder das automatisierte Stecken und Klipsen untersucht. Die Planung der Montagezelle wird durch Simulation unterstützt. Dabei wird besonders auf die kritischen Prozesse geachtet, welche nach der Simulation experimentell abgebildet, erprobt und validiert werden. Die Vorgehensweise beinhaltet Ähnlichkeiten zum Dissertationsthema und kann somit in die Promotion von Herrn Günther einfließen.

Expertise: Alma Pröbstl studierte Elektrotechnik und Informationstechnik und erhielt 2013 ihr Diplom von der Technischen Universität München. Seit Mai 2013 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme unter der Leitung von Prof. Samarjit Chakraborty. Im Winter 2014 besuchte sie für eine dreimonatige Forschungskollaboration die Gruppe um Prof. Naehyuck Chang an der Seoul National University, Südkorea.

Forschungsschwerpunkt: Ihre Forschungsinteressen umfassen Batterie- und Alterungsbewusstes Powermanagement mobiler Geräte wie Smartphones oder Laptops. Weitere Interessen betreffen Batteriealterung und deren Modellierung, hybride Energiespeicher sowie Energiemanagement stationärer Energiespeicher.

Weiterhin beschäftigt sie sich mit der Erweiterung des lokal auf einem Gerät ausgeführten Energie- und Powermanagements hin zu einem vernetzten Design im Internet of Things, welches sowohl Benutzereigenschaften als auch Umweltparameter in das Systemdesign und Powermanagement einbezieht. Im Zuge dessen werden auch die gemeinsame Optimierung der Lebensdauer von Prozessor und Batterie in diesen Systemen betrachtet.

Im Rahmen des EEBatt Projekts bearbeitet sie im Teilprojekt 5, Energiemanagement, Fragestellungen zur Kommunikation in Energiemanagementsystemen. Hierbei wird betrachtet, welche Anforderungen an die Kommunikation in dieser Umgebung gestellt werden müssen und welcher Zusammenhang zwischen Kommunikation und Regelung in Energiemanagementsystemen besteht. Gleichzeitig werden die Übertragbarkeit von Designkonzepten zwischen stationären Energiespeicherung und weiteren Batterieanwendungen, wie z. B. mobilen Geräten, betrachtet.

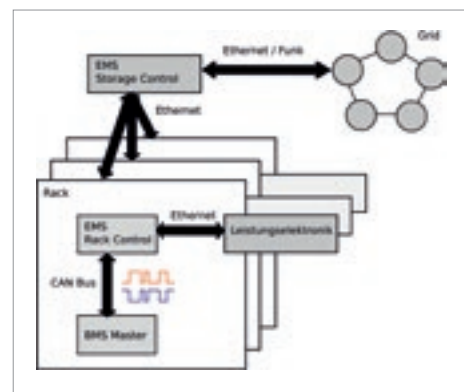


Dipl.-Ing. Alma Pröbstl
Lehrstuhl für
Realzeit-Computersysteme

Position im EEBatt:
wissenschaftliche Mitarbeiterin

Teilprojekt:
TP5 Energiemanagement

Kontakt:
Telefon: + 49 89 289 23561
alma.proebstl@rcs.ei.tum.de



Kommunikationsinfrastruktur eines stationären Energiespeichers



Dipl.-Ing. Andreas W. Ebentheuer
Fachgebiet Energiewandlungstechnik

Position im EEBatt:

wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Teilprojekt Organisation TP5,
AG Kommunikation

Teilprojekt:

TP5 Energiemanagementsystem

Kontakt:

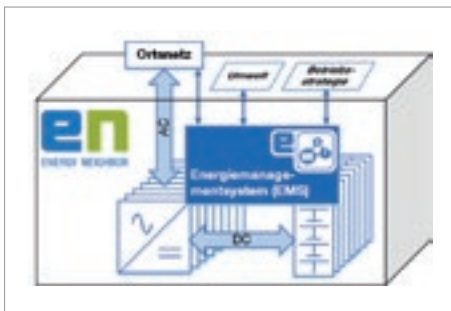
Telefon: +49 89 289 28589
andreas.ebentheuer@tum.de

Expertise: Nach dem Erlangen der Allgemeinen Hochschulreife am Gymnasium Zriesel im Juni 2007 begann Herr Andreas W. Ebentheuer das Studium der Elektrotechnik und Informationstechnik an der Technischen Universität München im Oktober 2007. Der Schwerpunkt des Studiums lag in der Mechatronik und umfasste folgende Themenbereiche: Fahrzeugtechnik, Mikrosystemtechnik, Sensortechnik und Regelungstechnik. Im November 2010 beendete Herr Ebentheuer seine Studienarbeit mit dem Thema „Entwicklung und Implementierung einer kybernetischen Steuerung für Bordnetz-Verbraucher“. Hierbei wurde eine Verbrauchersteuerung für einen Fahrzeug-Bordnetz-Prüfstand in Form von Modellen implementiert. Im April 2013 wurde in der Diplomarbeit mit dem Thema „Konzeptionierung eines magnetischen Positionssensors“ ein Entwurfskonzept für einen magnetischen Sensor vorgeschlagen. Ab Juli 2013 ist Herr Ebentheuer wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Energiewandlungstechnik und beschäftigt sich mit dem Thema Energiemanagement. Außerdem betreut er zwei studentischen Seminare (adviser und LEAD).

Forschungsschwerpunkt: Andreas W. Ebentheuer zeichnet sich im Rahmen des Projekts EEBatt für die Forschungsarbeiten in dem Teilbereich Energiemanagementsystem verantwortlich.

Ein Aspekt der Forschung hin zu dezentralen stationären Energiespeichern ist die Bereitstellung eines aktiven und effizienten Energiemanagementsystems, das unter anderem eine lebensdaueroptimierte Betriebsstrategie für das Speichermedium ermöglicht. Dabei wird ein kybernetischer Ansatz verfolgt, um den unterschiedlichen Anforderungen aus Sicht der (mittel- und langfristigen) Energiebilanz des Speichers sowie der kurzfristigen Leistungsbereitstellung gerecht zu werden.

Intelligente und effiziente Managementmethoden sollen Ergebnisse der Forschungsarbeiten sein. Validiert und veranschaulicht wird das System durch den Aufbau eines Hardware in the Loop Prüfstandes. Auf diesen werden virtuelle Szenarien und die Möglichkeiten des Systems darstellbar sein. Somit ergeben sich für die Arbeiten von Herrn Ebentheuer folgende Forschungsinteressen: Energiemanagement, Energiespeichersysteme, Speichertechnologien, verteilte Regelung, intelligente Regelung und Kybernetik.



Das Energiemanagementsystem als zentrale Steuerungs- und Regelungseinheit des Speichercontainers

Expertise: Herr Nam Truong hat das Studium der Elektrotechnik und Informationstechnik an der Technischen Universität München mit der Vertiefung elektronische Systeme erfolgreich abgeschlossen. In diesem Rahmen war er ausgewählter Studierender des Austauschprogramms TUMexchange und absolvierte einen Studienaufenthalt an der National University of Singapore, Singapur.

Seit August 2013 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik tätig und ist mit der Betreuung von Vorlesungen und studentischen Arbeiten betraut. In seiner Promotion untersucht Herr Truong den Einsatz stationärer Speicher mit den Auswirkungen auf das Netz und auf den Speicher bei unterschiedlichen Anwendungen und Betriebsstrategien.

Forschungsschwerpunkt: Als Mitglied im Teilprojekt 5 ist seine Aufgabe die Entwicklung einer lebensdaueroptimierten Betriebsstrategie, die durch das Energiemanagementsystem ausgeführt wird. Das Teilprojekt 5 ist verantwortlich für die Intelligenz des Speichers und daher ein Schlüsselement von EEBatt mit Schnittstellen zu einer Vielzahl der anderen Teilprojekte.

Bei der Entwicklung sind hierbei auf die Kompatibilität mit den Teilprojekten für Batteriemanagementsysteme, Module, Leistungselektronik und Systemintegration zu achten. Eine Aufgabe hier ist daher die Koordination der Kommunikationsinfrastruktur mit den zugehörigen Protokollen.

Durch den Überblick, aufgrund der vielen Schnittstellen und nötigen Absprachen, ist Herr Truong zusätzlich für den Aufbau des Batteriespeicherlabors verantwortlich. Ziel dieses Labors ist die sukzessive Prüfung der Komponenten des Speichers im Zusammenspiel, um etwaige Fehler beispielsweise in der Kommunikation frühzeitig zu erkennen und beheben zu können. Neben der Eigenverbrauchserhöhung in Ortsnetzen mit Entlastung der Transformatorlast, untersucht Herr Truong weitere mögliche Anwendungen stationärer Speicher und die Auswirkungen auf das Netz und auf den Speicher. Dabei sollen sowohl unterschiedliche Betriebsstrategien, als auch unterschiedliche Speicher- und Netztopologien betrachtet werden.

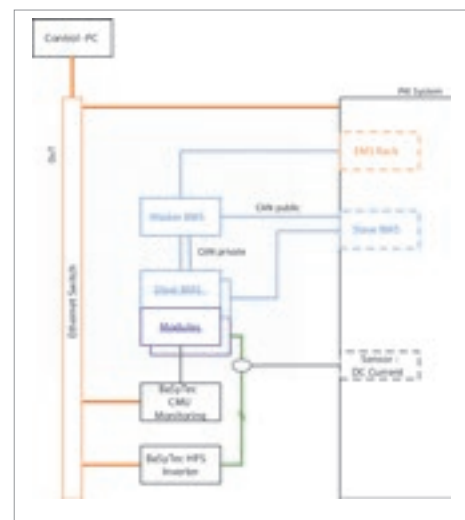


Dipl.-Ing. Cong Nam Truong
Lehrstuhl für
Elektrische Energiespeichertechnik

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
stellvertretender Projektmanager

Teilprojekt:
TP5 Energiemanagement

Kontakt:
Telefon: + 49 89 289 26963
nam.truong@tum.de



Die Abbildung zeigt eine Phase im Konzept des Prüflabors. Zu untersuchende Komponenten sind das Batteriemanagementsystem mit zwei der insgesamt dreizehn Module.

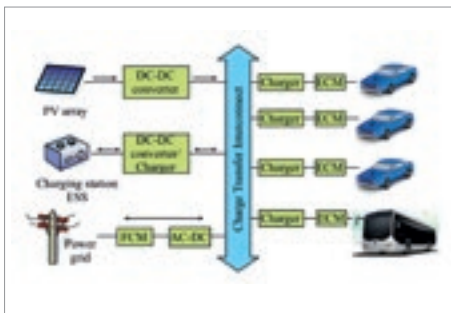


Ph.D. Sangyoung Park
Institute für Realzeit-Computersysteme

Position im EEBatt:
Post-Doc

Teilprojekt:
TP5 Energiemanagementsystem

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 23565
park@rcs.ei.tum.de



Energiespeicher für Ladestationen von Elektrofahrzeugen

Expertise: Ph.D. Sangyoung Park ist Forscher der Elektrotechnik und hat seinen Ph.D. Abschluss in Elektrotechnik und Informatik von der Seoul National University, Korea, im Jahr 2014 erlangt. Im Jahr 2010 war er als Gastwissenschaftler an der University of Southern California tätig. Seit 2014 arbeitet er als Post-Doc am Institut für Realzeit-Computersysteme der Technischen Universität München. Seine aktuellen Forschungsinteressen umfassen das Energiemanagement für Elektrofahrzeuge, das Systemdesign von Batteriespeichern, das Management von erneuerbaren Energiequellen und Low-Power-Design von Embedded Systems. Er untersucht diese Fragestellungen auf Systemebene unter Anwendung von Devising Management Algorithms und untersucht verschiedene Speicher Architekturen wie zum Beispiel Hybride Speicher Systeme.

Forschungsschwerpunkt: Der Mangel an Ladeinfrastruktur für elektrische Fahrzeuge ist einer der limitierenden Hauptfaktoren für eine weitreichende Einführung von elektrischen Fahrzeugen. Elektrische Fahrzeuge leiden unter der langen Ladezeit und der kurzen Fahrreichweite, welche den Gebrauch elektrischer Fahrzeuge auf tägliche Pendelfahrten begrenzt, anstatt sie für allgemeine Anwendung langreichweitiger Reisen anwendbar zu machen. Während bereits eine Vielzahl an unterschiedlichen Ladeinfrastrukturen vorgeschlagen wurde, sind öffentliche Ladestationen von entscheidender Bedeutung, Langstreckenfahrten von elektrischen Fahrzeugen zu ermöglichen, die mehrfache Ladezyklen benötigen. Er forscht an der Architektur öffentlicher Ladestationen für elektrische Fahrzeuge bestehend aus Solarzellen, einem Energiespeichersystem und vielfachen Gleichstrom-Schnellladesäulen und einem Energiespeicher-Management Algorithmus zur Ertragsoptimierung. Er rechtfertigt den Gebrauch jedes verwendeten Elements aus wirtschaftlicher Perspektive im Designraum mit dem Ziel, die Rentabilität zu maximieren. Das Problem der betrieblichen Einnahmemaximierung wird als Markov Entscheidungsprozess Maximierungsproblem der durchschnittlichen Vergütung formuliert und anhand einer Wertiterationmethode gelöst.

Eine zeitdiskrete Simulationsumgebung ist in MATLAB implementiert worden. Eingaben in den Simulator sind die aktuellen Werte von Sonneneinstrahlung, die Bewegungsmuster der elektrischen Fahrzeuge und der optimalen Methode, welche anhand von relativen Wertiterationsalgorithmen gewonnen wird. Der Simulator liefert schließlich eine Rentabilitätsanalyse der Ladestation des elektrischen Fahrzeugs. Er liefert auch Richtlinien für die Investitionshöhe in Energiespeichersysteme und PV-Anlagen.

Expertise: Kay Bareiß studierte von 2006 bis 2010 Mechatronik mit der Orientierung Automatisierungstechnik an der Hochschule Esslingen. Zwischen 2008 und 2009 eignete er sich Ingenieurs- sowie interkulturelles Wissen, durch ein halbjähriges Praktikum in einer Robotik Firma, sowie einem Auslandssemester an der Kettering University an. Seine Bachelorarbeit schrieb er anschließend bei der EvoBus GmbH, wo er später im Bereich der Fertigungsplanung tätig war. 2012 entschied er sich von Ulm nach München zu ziehen und dort, an der TUM, seinen Master in der Elektro- und Informationstechnik zu erwerben. Seine Abschlussarbeit fertigte er bei der Linde AG zum Thema Netzstützung durch Lastbeeinflussung chemischer Anlagen an. Nach erfolgreichem Abschluss startete Kay Bareiß sein Promotionsvorhaben an der Technischen Universität München als Doktorand am Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme.

Forschungsschwerpunkt: Im Projekt EEBatt ist Herr Bareiß innerhalb des Teilprojekts 5 eingegliedert, welches sich mit dem Energiemanagementsystem (EMS) des Batteriespeichers beschäftigt. Ein Aspekt im Bereich des EMS ist die Leistungsverteilung unter den einzelnen Racks. Bei Ladung oder Entladung des Speichers muss die Leistungsanfrage (PSoll) sinnvoll auf einzelne Racks verteilt werden um ungünstige Teillastbetriebe zu verhindern. Herr Bareiß beschäftigt sich dabei mit der Entwicklung eines geeigneten Algorithmus bzw. einer Ladestrategie, in Abhängigkeit von Merkmalen wie Ladezustand (SOC), Wirkungsgrad und Lebensdauer (SOH). Bei der Entwicklung eines geeigneten Algorithmus sollen zudem Tageslastgänge typisiert werden, um mithilfe von prognostizierten Wetterdaten geeignete Schaltstrategien zu hinterlegen. Zusätzlich liegen die Interessen von Herrn Bareiß im Teilprojekt 10 Zukunftsvisionen, bei der Integration erneuerbarer Energien unter dem Aspekt einer optimalen Speicherdimensionierung.



M.Sc. Kay Bareiß

Fachgebiet für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme

Position im EEBatt:

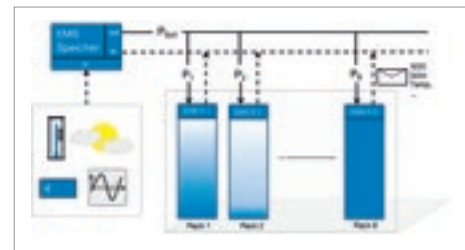
wissenschaftlicher Mitarbeiter

Teilprojekt:

TP5 Energiemanagementsystem
TP10 Zukunftsvisionen

Kontakt:

Telefon: +49 89 289 23929
kay.bareiss@tum.de



Leistungsverteilung in Abhängigkeit diverser Eingangsgrößen



Dipl.-Ing. Markus Herzog
Fachgebiet Energiewandlungstechnik

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
AG Sicherheit

Teilprojekt:
TP5 Energiemanagementsystem

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 28589
markus.herzog@tum.de



Die Umweltkopplung als Abstrahierungsebene und Schnittstelle zum Energiemanagement

Expertise: Markus Herzog hat im Oktober 2007 sein Studium der Elektrotechnik und Informationstechnik an der Technischen Universität München begonnen. Thematischer Schwerpunkt war die Energietechnik, insbesondere elektrische Maschinen und Antriebstechnik sowie elektrische Energiespeicher. In seiner Studienarbeit befasste er sich mit dem „Second Life von Lithium-Ionen-Traktionsbatterien“. Die Diplomarbeit fertigte er im Themengebiet der automatisierten Testfallerstellung und Auswertung an. Seit Juni 2013 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Energiewandlungstechnik tätig, wo er sich zunächst mit dem Energiemanagement im Kraftfahrzeugbordnetz beschäftigte. Seit April 2014 ist Herr Herzog dem Projekt EEBatt zugeordnet und befasst sich dort schwerpunktmäßig mit der Umweltkopplung stationärer Energiespeicher.

Forschungsschwerpunkt: Im Rahmen des Projekts EEBatt ist Markus Herzog für die Forschungsarbeiten im Teilbereich Energiemanagementsystem mitverantwortlich.

Ein Aspekt der Forschung hin zu dezentralen stationären Energiespeichern ist die Bereitstellung eines aktiven und effizienten Energiemanagementsystems, das unter anderem eine lebensdaueroptimierte Betriebsstrategie für das Speichermedium ermöglicht. Durch die Erweiterung des Energiemanagements um eine Umweltkopplung wird erforscht, wie ein intelligentes Energiespeichersystem in ein Verteilnetz integriert werden kann. Hierdurch soll der Speicher den mittel- und langfristigen Energieanforderungen sowie der kurzfristigen Leistungsanforderung gerecht werden.

Die erarbeitete Methodik wird in Simulation und auf einem Hardware in the Loop Prüfstand veranschaulicht und validiert. Hierdurch werden virtuell die Möglichkeiten des Systems dargestellt. Für die Forschungsarbeiten Herrn Herzogs ergeben sich somit die folgenden Interessen: Energiemanagement, Energiespeichersysteme, Speichertechnologien, verteilte Regelung, intelligente Regelung, Kybernetik und Smart Grids.

Expertise: Taha Lahlou hat an der Fachhochschule Düsseldorf Elektro- und Informationstechnik mit dem Schwerpunkt Energietechnik studiert. Das Praxisprojekt, die Bachelorarbeit mit dem Thema „Auswertung und Rekonstruktion der Umrichter Ausgangsspannung für die Energierückspeisung ohne Sinusfilter“ sowie die Masterarbeit mit dem Thema „Realisierung und Validierung eines parametrierbaren Testsystems zur dynamischen Prüfung von Wechselrichtern“ hat er bei der Firma Bonfiglioli Vectron GmbH in Krefeld durchgeführt.

Die ersten Erfahrungen im Bereich der Berechnung, Simulation und Entwicklung von komplexen elektronischen Systemen hat er begleitend zum Studium gesammelt und in seiner Masterarbeit vertieft. Während seines Studiums war er als Wissenschaftliche Hilfskraft im Fachgebiet Elektronische Bauelemente und Schaltungstechnik an der Fachhochschule Düsseldorf tätig. Bei ABB AG in Ratingen hat er auch als Werkstudent in der Abteilung Mechanisches Prüffeld und Elektroniklabor im Geschäftsbereich Mittelspannungsprodukte gearbeitet.

Zu seinen Forschungsinteressen zählen die Effizienz und Trends der Leistungselektronik vor allem im Bereich der stationären Energiespeicherung. Dazu gehören Simulation, numerische Berechnung sowie Regelung technischer Systeme.

Forschungsschwerpunkt: Das Fachgebiet Energiewandlungstechnik beschäftigt sich im Rahmen von Teilprojekt 6 mit der Entwicklung von leistungselektronischen Komponenten für die Anbindung eines dezentralen Speichers an ein Niederspannungsnetz. Die möglichen Schaltungen für die Leistungselektronik wurden miteinander verglichen und die passende Topologie ausgewählt.

Nach Validierung und Anschluss des Batteriespeichers an das Netz mit der ausgewählten Leistungselektronik (vgl. Abbildung) wird am Fachgebiet Energiewandlungstechnik an einer neuartigen Speichertopologie geforscht. Der batterieintegrierte Multilevel-Kaskadenumrichter stellt eine neue Technologie für hocheffiziente Energiespeicher dar, braucht weniger Bauraum und benötigt dank niedrigeren Schaltfrequenzen kleinere Leistungsfilter.

Mit ersten Planungsarbeiten zur Multilevel-Topologie wurde bereits begonnen. Im Anschluss erfolgen Simulationen in MATLAB-Simulink und abschließend eine Umsetzung und Validierung in Hardware.



M.Sc. Taha Lahlou

Fachgebiet Energiewandlungstechnik

Position im EEBatt:

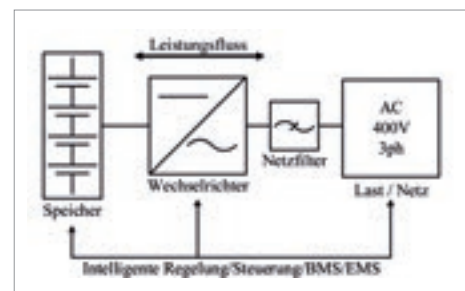
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Teilprojekt Organisation TP6,
AG Sicherheit, AG Kommunikation

Teilprojekt:

TP6 Leistungselektronik

Kontakt:

Telefon: + 49 89 289 28425
taha.lahlou@tum.de



Anschluss der Batterien ans Netz über die Leistungselektronik

**Dipl.-Ing. Matthias Kerler**

Lehrstuhl für
Fahrzeugtechnik

Position im EEBatt:

wissenschaftlicher Mitarbeiter,
AG Kommunikation

Teilprojekt:

TP7 Integration zum Gesamtsystem

Kontakt:

Telefon: +49 89 289 10342
kerler@ftm.mw.tum.de



Die wichtigsten Kriterien zur Definition der optimalen Zellgröße für Elektrofahrzeuge

Expertise: Ingenieursstudium mit der Fachrichtung Fahrzeug- und Motorentechnik an der Technischen Universität München. Bereits während des Studiums fand eine Vertiefung im Bereich der elektrischen Energiespeicher für elektrisch angetriebene Fahrzeuge statt.

Darauf aufbauend beschäftigt sich Matthias Kerler im Rahmen seiner Promotion mit der Fragestellung nach der „optimalen Zellgröße für Elektrofahrzeuge“.

Forschungsschwerpunkt: Heutige auf dem Markt erhältliche bzw. in der Entwicklung befindliche Elektrofahrzeuge verfolgen teilweise grundsätzlich unterschiedliche Ansätze beim Aufbau des Batteriepacks und der damit verwendeten Zellgröße. Große deutsche OEMs haben sich auf einen VDA „Zell-Standard“ geeinigt der teilweise zu sehr großen Formfaktoren der einzelnen Batteriezellen führt. Andere sehr erfolgreiche Hersteller setzen hingegen auf kleine Rundzellen in großer Anzahl, um Batteriepacks mit hoher Kapazität aufzubauen.

Aufgrund der Komplexität der Fragestellung (elektrische, thermische sowie sicherheitsrelevante Anforderungen, aber auch Anforderungen die Kosten und Produktion betreffend) ergibt sich daher der Bedarf nach einer computergestützten Auswahlhilfe der optimalen Zellgröße für ein Elektrofahrzeug. Die Fragestellung soll dabei unabhängig von bisher bereits erhältlichen Zellformfaktoren beantwortet werden. Um diese multidisziplinäre Fragestellung beantworten zu können, werden mehrere Ansätze zur Lösungsfindung vereint. Ausgehend von thermischen und elektrischen Optimierungen werden auch die Kosten, die Produzierbarkeit sowie auch Ergebnisse von Sicherheitsuntersuchungen berücksichtigt. Als Werkzeuge kommen z.B. FEM, MatLab und prädiktive Kostenmodelle zum Einsatz.

Das Ergebnis kann eine ideale Zellgröße in Abhängigkeit der Anforderungen sein, mit der sich ein effizienteres sowie kostengünstigeres Batteriepack entwickeln lässt, als dies heute der Fall ist.

Expertise: Stephan Rohr schloss sein Studium des Master of Science im Jahre 2012 mit einer Arbeit unter der Betreuung von Prof. Klaus Drechsler an der Technischen Universität München ab. Ebenfalls an der TU München absolvierte er zuvor bis 2011 sein Studium zum Bachelor of Science. Während des Studiums fand eine Vertiefung im Bereich Werkstofftechnik statt. Vor der Arbeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter war Herr Rohr in der Unternehmensberatung bei Strategy Engineers in unterschiedlichen Unternehmen der Energie- und Automobilbranche tätig. Im Rahmen seiner Promotion beschäftigt er sich seit 2014 mit der Restwertermittlung von gebrauchten Lithium-Ionen Fahrzeugbatterien auf Basis einer stationären Zweitnutzung.

Forschungsschwerpunkt: Die Traktionsbatterie ist die teuerste Komponente eines Elektrofahrzeuges. Die Kapazität von Lithium-Ionen-Akkus nimmt mit zunehmendem Alter und Betriebszyklen ab, deshalb sollen diese laut USABC in Elektroautos ersetzt werden, wenn die Kapazität unter eine Grenze von 80 Prozent fällt. Es wird jedoch aus wirtschaftlicher Motivation eine weitere Nutzung vor dem Recyclingprozess angestrebt, um das Restpotential der Batterie zu nutzen und den Restwert von der Batterie zu erhöhen. Eine stationäre Nachnutzung wäre als Zweitnutzung vorstellbar, weil die Lade-/Entladehubes und Ströme weit geringer sind als im Fahrzeug. Derzeit ist noch nicht bekannt, wie sinnvoll eine solche Zweitverwertung gebrauchter Traktionsbatterien ist. Das beginnt mit der Frage der Restlebensdauer der gebrauchten Akkus. Der Alterungsprozess von Lithium-Ionen-Zellen verläuft nicht linear, sondern beschleunigt sich mit zunehmender Betriebsdauer. Und je nach Alter, Nutzungsintensität und klimatischen Bedingungen fällt die Kapazität langsamer oder schneller ab. Außerdem sind für künftige Anwendungen modularisierte und standardisierte Konzepte notwendig, um die Kosten zur Aufbereitung der Batterien und für die Produktion eines neuen Produktes gering zu halten. Denn Voraussetzung einer Nach-/Zweitnutzung ist deren ökologische und ökonomische Sinnhaftigkeit.

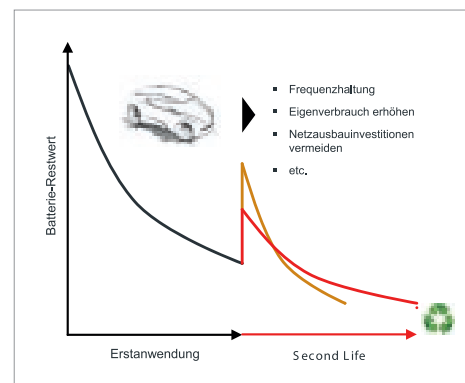


M.Sc. Stephan Rohr
Lehrstuhl für
Fahrzeugtechnik

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Teilprojekt Organisation TP7,
Leiter AG Sicherheit

Teilprojekt:
TP7 Integration zum Gesamtsystem

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 10498
rohr@ftm.mw.tum.de



Kommunikationsinfrastruktur eines stationären Energiespeichers

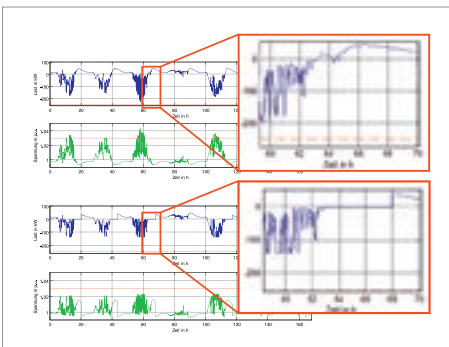


Dipl.-Ing. Alexander Zeh
Fachgebiet für
elektrische Energieversorgungsnetze

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Teilprojekt Organisation TP8,
AG Kommunikation I-III

Teilprojekt:
TP8 Feldtest

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 25090
alexander.zeh@tum.de



*Auswirkung verschiedener Speicherbetriebsweisen auf
Transformatorlast und Netzspannung*

Expertise: Alexander Zeh erhielt nach 10 Semestern Studium der Elektrotechnik mit Vertiefung in Hochspannungs- und Energieübertragungstechnik im Jahr 2012 seinen Abschluss als Dipl.-Ing. an der Technischen Universität München. Seit 2013 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet elektrische Energieversorgungsnetze der Technischen Universität München tätig. Neben der Betreuung von Lehrveranstaltungen und Arbeiten im Projekt EEBatt untersucht Herr Zeh im Rahmen seiner Promotion die intelligente Netzintegration von Batteriespeichern. Besonderer Fokus liegt hierbei auf der Entlastung ländlicher Niederspannungsnetze durch den Einsatz von stationären Ortsnetzspeichern.

Forschungsschwerpunkt: Im Projekt EEBatt zählt vor allem die Organisation des Feldtests in Teilprojekt 8 zu den Hauptaufgaben von Herrn Zeh. Er übernimmt hierbei die Kommunikation mit potenziellen Feldtestpartnern sowie deren endgültige Auswahl. Zudem zählt die Entwicklung geeigneter Einsatzszenarien und dafür notwendiger Regelalgorithmen für die Integration des Batteriespeichers in das Energienetz zu seinen Aufgaben. Auch die Planung und der Aufbau einer für den Speicherbetrieb notwendigen Kommunikationsinfrastruktur sowie der Netzanschluss des Speichers stellen einen wichtigen Teil der Arbeit von Herrn Zeh in Teilprojekt 8 dar. Hauptfokus seiner Arbeit liegt dabei auf der Entwicklung von Regelalgorithmen für Batteriespeicher im Netz, welche unter Berücksichtigung der Energieverwendung in Deutschland für einen wirtschaftlich sinnvollen und netzfreundlichen Betrieb notwendig sind.

Auch im Rahmen seiner Promotion beschäftigt sich Herr Zeh vornehmlich mit der Untersuchung verschiedener Anwendungsfälle von Batteriespeichern auf Niederspannungsebene und deren Auswirkungen auf das Verteilnetz. Hierbei steht vor allem der Nutzen für die Endkunden und Betreiber von Photovoltaikanlagen in Verbindung mit einer Reduktion notwendiger Netzausbaumaßnahmen im Vordergrund.

Expertise: Marina Rau schloss im September 2014 ihr Master-Studium der Elektro- und Informationstechnik an der Technischen Universität München ab. Ihre Masterarbeit behandelte die Möglichkeiten der Netzstützung und Eigenverbrauchserhöhung durch den Einsatz von netzdienlichen Photovoltaik-Batteriesystemen, wobei privat betriebene, kleine Heimspeicher mit gemeinschaftlich betriebenen Quartierspeichern verglichen wurden. Seit November 2014 arbeitet Frau Rau als Doktorandin am Fachgebiet für Elektrische Energieversorgungsnetze.

Forschungsschwerpunkt: Bei EEBatt ist Frau Rau für die Auswertung der Messdaten im Feldtest (TP 8) zuständig. Des Weiteren liegen der Aufbau und der Betrieb eines Demonstrationslabors mit zwei Engion Speichern in ihrer Verantwortung.

Durch rechnergestützte Simulationen und Messungen in besagtem Labor sollen der Nutzen und die Netzauswirkungen verschiedener Batterie-Betriebsstrategien geprüft werden. Außerdem plant Frau Rau die Inselnetzfähigkeit von Niederspannungsnetzen in Kombination mit Batteriespeichern und dezentralen Einspeisern zu untersuchen. Ein Quartierspeicher mit einer Größe von 200 kWh (wie im Feldtest) ist in der Lage, die Stromversorgung eines kleinen Ortes eine Zeit lang aufrecht zu erhalten, um einen Stromausfall bei einer Störung im übergeordneten Netz zu vermeiden. Es wird analysiert, in wie weit die Netzbetriebsmittel in der Lage sind, ein Inselnetz zu betreiben bzw. welche Ausbauten notwendig wären, um die Spannungsqualität zu gewährleisten. Besondere Aufmerksamkeit soll dabei der Trennung und Wiedereinschaltung des allgemeinen Versorgungsnetzes zukommen.

Zusätzlich möchte Frau Rau untersuchen, wie ein Batteriespeicher zur Optimierung von konventionellen Kraftwerken beitragen kann. Da Kraftwerke Regelleistung zur Verfügung stellen müssen, können diese oft nicht mit dem optimalen Betriebspunkt gefahren werden. Ein Speicher könnte mit geeigneter Betriebsstrategie als Puffer für die verbrauchsbedingten Schwankungen dienen. Es sollen die technische Machbarkeit bewertet und die Wirtschaftlichkeit eines solchen gekoppelten Systems abgeschätzt werden.



M.Sc. Marina Rau
Fachgebiet für
Elektrische Energieversorgungsnetze

Position im EEBatt:
wissenschaftliche Mitarbeiterin

Teilprojekt:
TP8 Feldtest

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 25587
marina.rau@tum.de



Funktionsweise eines netzdienlichen Batteriespeichers



Dipl.-Ing. Johannes Dorfner
Lehrstuhl für Erneuerbare und
Nachhaltige Energiesysteme

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter

Teilprojekt:
TP10 Zukunftsvisionen

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 10485
johannes.dorfner@tum.de



*Gebäudegrundrisse und Gebäudearten in Moosham zur
Schätzung des Strom- und Wärmebedarfs*

Expertise: Johannes Dorfner hat an der Technischen Universität München Elektro- und Informationstechnik studiert. Von 2010 bis 2014 arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik bei Prof. Hamacher, seit 2014 am Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme. Im Rahmen seiner Promotion entwickelt er Modellierungswerkzeuge zum optimalen Betrieb und Planung von Energiesystemen im kommunalen und städtischen Maßstab.

Forschungsschwerpunkt: Im Projekt EEBatt beteiligt sich Herr Dorfner im Teilprojekt Zukunftsvisionen (TP 10). Hierbei untersucht er, unter welchen Rahmenbedingungen Batteriespeicher volkswirtschaftlich sinnvoll einsetzbar sind. Hierzu können Optimierungsmodelle Antworten geben. Im Brennpunkt seiner Arbeit steht die gemischt-ganzzahlige lineare Programmierung, mit deren Hilfe sowohl die Auslegung als auch Betriebsweise eines Batteriespeichers als mathematisches Optimierungsproblem dargestellt werden kann. Durch die bewusste Wahl von Rahmenbedingungen können so verschiedene Szenarien, von Klimaschutz im Netzverbund bis zur Versorgungssicherheit in autarken Inselsystemen als Hauptziel des Speichers abgebildet werden.

Im Rahmen seiner Promotion bezieht Herr Dorfner nicht nur Strom, sondern auch Wärme als Energienachfrage in seine Betrachtungen mit ein. Die wachsende Kopplung der Energiesektoren ermöglicht es, spartenübergreifende Synergien zu heben. Allerdings wird es hierzu notwendig, die Verteilnetze für beide Sparten mit zu berücksichtigen. Anders als Strom lässt sich Wärme nicht verlustarm über große Entfernungen transportieren. Wärme muss also dort, wo sie erzeugt wird, auch verbraucht werden. Mit Hilfe von Energiesystemmodellen können mögliche Topologien für zukünftige, spartenübergreifend geplante lokale Infrastruktur für die Deckung von Strom- und Wärmenachfrage verglichen werden.

Expertise: Lorenz Viernstein studierte von Oktober 2008 bis März 2014 an der Technischen Universität München erst im Bachelor- und anschließend im Masterstudiengang Elektrotechnik und Informationstechnik. Sein Studienschwerpunkt lag dabei im Bereich Energieübertragungs- und Hochspannungstechnik. Die Abschlussarbeiten mit den Themen „Einfluss von Elektrofahrzeugen auf den Oberschwingungsgehalt in Niederspannungsnetzen“ und „Analyse von realen 110 kV-Netzen zur Bewertung des EEG-bedingten Netzausbaubedarfs in Bayern“ verfasste er am Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze, an dem er seit April 2014 als wissenschaftlicher Mitarbeiter arbeitet.

Forschungsschwerpunkt: Schwerpunkt der Arbeit von Lorenz Viernstein im Teilprojekt Zukunftsvisionen ist die Integration elektrischer Energiespeicher in das Nieder- und Mittelspannungsnetz. Dabei liegt der Fokus insbesondere darauf inwiefern Netzausbau durch den Einsatz von Speichern vermieden bzw. intelligent gestaltet werden kann. Den Rahmen hierfür bietet eine mögliche zukünftige Smart Grid Infrastruktur, welche auch netzebenenübergreifende Regelungsstrategien ermöglicht. Ziel ist, eine ganzheitlich optimierte Einsatzweise von verteilten Batteriespeichern zu finden.

Netzdienlich betriebene elektrische Energiespeicher können wie im Feldversuch dazu eingesetzt werden, den Eigenverbrauch des lokal produzierten Stroms zu erhöhen sowie den Transformator zwischen Mittelspannungs- und Niederspannungsebene zu entlasten. Dabei bleiben in vielen Situationen noch weitere Freiheitsgrade, sodass die Batteriespeicher in der Niederspannungsebene (2) über ihre eigentliche Aufgabe hinaus noch weitere Aufgaben übernehmen können. Dazu zählt beispielsweise die Entlastung des übergeordneten Mittelspannungsnetzes oder der Hochspannungs-/Mittelspannungsumspannebene. Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Kenntnis der lokalen Netzgegebenheiten sowie eine ausreichend hohe Anzahl von Speichern.

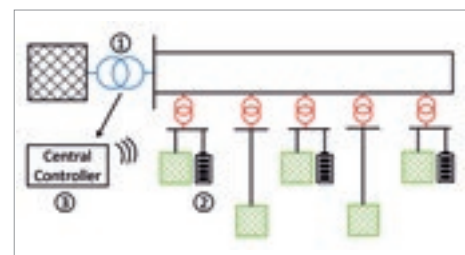


M.Sc. Lorenz Viernstein
Fachgebiet für Elektrische
Energieversorgungsnetze

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
AG Sicherheit

Teilprojekt:
TP10 Zukunftsvisionen

Kontakt:
Telefon: + 49 89 289 25586
lorenz.viernstein@tum.de



*Konzept einer netzebenenübergreifenden
Speicherregelungsstrategie*



M.Sc. Magdalena Dorfner
Lehrstuhl für Erneuerbare und
Nachhaltige Energiesysteme

Position im EEBatt:
wissenschaftliche Mitarbeiterin

Teilprojekt:
TP10 Zukunftsvisionen

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 10485
m.dorfner@tum.de

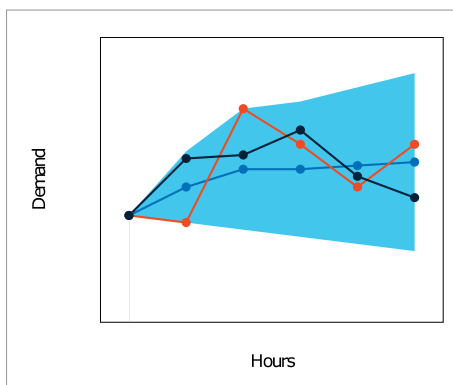
Expertise: Magdalena Dorfner studierte von 2009 an Elektro- und Informationstechnik im Bachelor an der Technischen Universität München und schloss im Oktober 2014 mit dem Master of Science ab. Das Thema ihrer Abschlussarbeit behandelte die Modellierung von Unsicherheit in Stromversorgungssystemen. Dabei wurden drei Methoden zur Modellierung aus verschiedenen Anwendungsgebieten herausgegriffen und auf die Anwendbarkeit in Energieversorgungssystemen untersucht. Die robuste Modellierung wurde herausgegriffen und hinsichtlich ihrer Umsetzung analysiert und dazu implementiert.

Seit November 2014 arbeitet Magdalena Dorfner als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme.

Forschungsschwerpunkt: Im Projekt EEBatt arbeitet Magdalena Dorfner vor allem am Teilprojekt Zukunftsvisionen (TP 10). Im Zuge dessen beschäftigt sie sich mit der Modellierung des Stromversorgungssystems unter Einbeziehung von Speichern. Dabei soll auch die Unsicherheit im Sinne von ungenauer Vorhersage für Windstärken und Sonneneinstrahlung berücksichtigt werden.

Die resultierende Optimierung hat die Struktur eines gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblems, das mit Hilfe von verschiedenen Algorithmen gelöst werden soll. Im Fokus der Arbeit werden auch geschickte mathematische Umformulierungen stehen, die das Optimierungsproblem hinsichtlich der Rechenzeit und Güte der Lösung verbessern sollen.

Mit Hilfe dieses Modells sollen Einblicke über mögliche robuste Strategien zum kostenoptimalen Kraftwerkseinsatz gewonnen werden. Des Weiteren sollen Aussagen über einen effizienten Ausbau des Stromversorgungssystems getroffen werden, wie zum Beispiel den Netzausbau oder zusätzliche Batteriespeicher.



Vorhergesagter (blau), Worst-case (rot) und tatsächlicher Verbrauch (dunkelblau) innerhalb der Unsicherheitsmenge (hellblau hinterlegt).

Expertise: Simon Herzog studierte an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) in Aachen Wirtschaftsingenieurwesen mit Schwerpunkt Energietechnik. Seine Diplomarbeit über die Optimierung kommunaler Energiesysteme verfasste er in der Arbeitsgruppe Energiesystemtechnik am Lehrstuhl für Technische Thermodynamik. Seit 2012 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand an der Technischen Universität München. Sein Forschungsinteresse gilt der Analyse von Energiesystemen mit Fokus auf Speichertechnik und Lastflexibilisierung. Im Rahmen seiner Promotion befasst er sich mit der Auslegung von batteriegestützten regenerativen Inselsystemen. Inselssysteme gewährleisten die Versorgung unabhängig von einem Netzanschluss. Daher haben Inselssysteme besondere Relevanz für Verbraucher in entlegenen Regionen und für die Kompensation von Netzausfällen.

Forschungsschwerpunkt: In EEBatt beschäftigt sich Simon Herzog mit dem Teilprojekt 10 „Zukunftsvisionen“ für den weltweiten Einsatz von stationären Batterien. In seiner Promotion entwickelt er ein mathematisches Optimierungsmodell für die Auslegung von Energiesystemen ohne dauerhaften Netzanschluss. Gegenstand der Betrachtung ist nicht nur die Optimierung der Stromversorgung und Stromspeicherung, sondern auch die Berücksichtigung thermischer und verfahrenstechnischer Prozesse. Dieser ganzheitliche Ansatz deckt Synergieeffekte durch Kopplung der Energiesektoren auf und ermöglicht somit eine kostenminimale Gestaltung dezentraler Energiesysteme. Eingangsdaten des Optimierungsmodells sind wirtschaftliche und technische Parameter sowie Wetterdaten. Als Ergebnisse werden optimale Anlagengrößen und wirtschaftliche Kennzahlen für Komponenten und das Gesamtsystem geliefert. Unter anderem lässt sich auf diesem Weg der Bedarf an Batteriespeichern für dezentrale Energiesysteme ermitteln. Aus den Ergebnissen werden Marktpotenziale für stationäre Batterien abgeschätzt. Außerdem ist Herr Herzog in der Öffentlichkeitsarbeit für EEBatt aktiv.

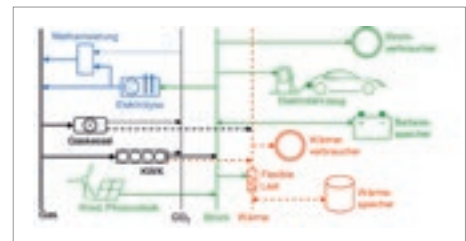


Dipl.-Wirt.-Ing. Simon Herzog
Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Teilprojekt Organisation TP10,
AG Öffentlichkeitsarbeit

Teilprojekt:
TP10 Zukunftsvisionen

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 10485
simon.herzog@tum.de



Konzept für ein regeneratives Inselsystem



M.A. Bernhard Kalkbrenner
Lehrstuhl für
Marketing und Konsumforschung

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Leiter AG Öffentlichkeitsarbeit

Teilprojekt:
TP11 Strategie und Geschäftsmodelle

Kontakt:
Telefon: +49 81 617 13972
bernhard.kalkbrenner@tum.de

Expertise: Seit Mai 2013 ist Herr Kalkbrenner als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Marketing und Konsumforschung der Technischen Universität München tätig. Nach dem Bachelorstudium in Wirtschafts- und Umweltwissenschaften erwarb er seinen Master in Marketing, Dienstleistungs- und Kommunikationsmanagement an der Universität St. Gallen. In seiner Masterarbeit untersuchte Herr Kalkbrenner den Einfluss von persönlichen und organisatorischen Faktoren auf die Nutzung von Green ICT in Unternehmen.

Forschungsschwerpunkt: Seine Forschungsschwerpunkte sind Konsumentenverhalten im Energiebereich und Geschäftsmodelle für Energiespeichersysteme, wobei insbesondere sozio-ökonomische Aspekte und die Präferenzen von relevanten Kundengruppen wie Konsumenten im Fokus stehen.

Herr Kalkbrenner arbeitet in Teilprojekt 11 an der Entwicklung von Geschäftsmodellen mit. Hierbei analysiert er – ausgehend von den Präferenzen und Zahlungsbereitschaften von Bürgern und Besitzern von Photovoltaikanlagen – Möglichkeiten für lokale Stromversorgungskonzepte und den Einsatz von Energiespeichern, da Energiespeicher nur dann in einem breiten Rahmen Einsatz finden, wenn die Konsumenten die Technologie akzeptieren und wirtschaftlich sinnvolle Geschäftsmodelle bestehen. Im Rahmen dessen soll auch das Potenzial für neue Geschäftsmodelle abgeschätzt werden, wobei gemeinschaftliche Nutzungskonzepte ein wichtiger Schwerpunkt sind. Methodisch nutzt Herr Kalkbrenner in seiner Arbeit quantitative Befragungen und Choice-Experimente. So wurde im Jahr 2014 eine deutschlandweite quantitative Befragung von Haushaltsentscheidern in Energie- und Finanzfragen sowie Besitzern von Anlagen zur Produktion von Strom aus erneuerbaren Energien durchgeführt.

Neben Teilprojekt 11 arbeitet Herr Kalkbrenner an der Öffentlichkeitsarbeit des EEBatt-Projekts und der Kommunikation im Rahmen des Feldtests mit.



Übersicht über die Forschungsschwerpunkte

Expertise: Simon C. Müller schloss sein Studium des Master of Science im Jahre 2012 mit einer Arbeit unter der Betreuung von Prof. Theodor W. Hänsch an der Ludwig-Maximilians-Universität München ab. Ebenfalls an der LMU München absolvierte er zuvor bis 2010 sein Studium zum Bachelor of Science. Während dem Studium führten ihn mehrere Auslandsaufenthalte unterstützt durch verschiedene Programme (Erasmus, DAAD, LMU München) an die ETH Zürich, die National University of Singapore und die École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Praktische Erfahrung konnte er u. a. in der Konzernfunktion Recht und Patente eines führenden Optoelektronik-Unternehmens sowie zuvor als Werkstudent am Max-Planck-Institut für Quantenoptik sammeln.

Forschungsschwerpunkt: Simon C. Müller arbeitet seit 1. April 2013 am Lehrstuhl für Strategie und Organisation der TUM School of Management unter der Leitung von Frau Professorin Isabell M. Welp. Hier erforscht er im Rahmen von Teilprojekt 11 die Entwicklung innovativer Strategie und Geschäftsmodelle und befasst sich z. B. mit der Frage, wie sich das wettbewerbliche Umfeld im nationalen und internationalen Kontext verändern wird. Simon C. Müllers im ersten Jahr von EEBatt erarbeitete und im Sommer 2014 in der Fachzeitschrift Applied Energy veröffentlichte Studie mit dem Titel „Monitoring innovation in electrochemical energy storage technologies: a patent-based approach“ wurde deutschlandweit im Kontext der Automobilindustrie in zahlreichen Zeitungsartikeln (u. a. vom Spiegel, von ZEIT online sowie vom Handelsblatt) aufgegriffen.

Daneben erforscht er auch die Frage, in welchem Rahmen die Investition in Speicher erfolgen könnte. Untersuchungen zur genossenschaftlichen Organisation von Energiespeichern (vgl. Abbildung) präsentierte er lokal wie auch international z. B. auf der Energy Systems Conference im Juni 2014 in London. Die dabei vorgestellten Arbeiten zur gemeinschaftlichen Nutzung von Energiespeichern führten auch zu einer Vortragseinladung zur Community Energy Scotland Conference 2014 in Edinburgh, Großbritannien.

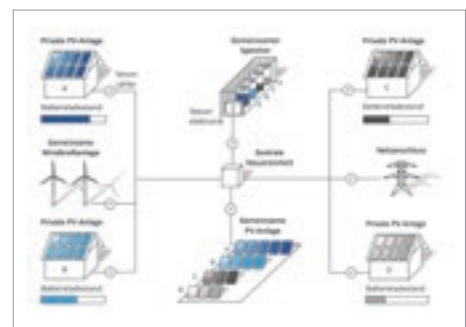


M.Sc. Simon C. Müller
Lehrstuhl für
Strategie und Organisation

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Teilprojekt Organisation TP11,
AG Öffentlichkeitsarbeit

Teilprojekt:
TP11 Strategie und Geschäftsmodelle

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 24829
simon.mueller@tum.de



Modell eines gemeinschaftlich genutzten Energiespeichers, der Haushaltsspeichersysteme simulieren kann.



M.Sc. Marcus Müller
Lehrstuhl für
Elektrische Energiespeichertechnik

Position im EEBatt:
wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Projektmanager EEBatt

Teilprojekt:
TP1 EEBatt – Interdisziplinäre Energiespeicherforschung

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 26973
marcus.mueller@tum.de

Expertise: Herr Marcus Müller hat das Studium der Elektrotechnik und Informationstechnik an der Universität der Bundeswehr in München mit der Vertiefung Energietechnik abgeschlossen. In diesem Rahmen wurde er für seine Leistungen im Studium und darüber hinaus mit einem Bestpreis der Bundeswehr geehrt. Außerdem arbeitete Herr Müller für die EADS Innovation Works GmbH an all-electric-aircraft Technologien basierend auf Lithium Zelltechnologie als Energiespeicher. Seit Juli 2012 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik tätig und ist nach der Leitung des Projektes ExZellTUM mit dem Projektmanagement des Projektes EEBatt beauftragt. In seiner Promotion untersucht Herr Müller den volkswirtschaftlich sinnvollen Einsatz von Ortsnetzspeichern und deren Vernetzung, vor allem am Beispiel des Freistaates Bayern.

Forschungsschwerpunkt: Als Projektmanager in EEBatt, ist sein Aufgabenbereich über die gesamte Themenbreite des Projektes gestreut. Ressortübergreifende Verknüpfungen und Zusammenarbeiten können effizient realisiert werden, die Expertise vieler konsolidiert und auf den Punkt gebracht werden. Aufgrund dieses einmaligen Überblicks beschäftigt sich Herr Müller mit weitreichenden Annahmen zum Einsatz von Batteriespeichern in Stromnetzen am Beispiel des Freistaates Bayern. Aufgrund der Festlegung auf Ortsnetzspeicher in EEBatt fokussiert Herr Müller in seiner Forschung die Unterschiede zwischen Ortsnetzspeichern und anderen möglichen Topologien von stationären Batteriespeichern.

Besonders in Hinblick auf neueste Ereignisse, wie dem Ausgang des Energiedialog Bayern oder der EEG Novelle in 2014, lassen sich Aussagen über die Vor- und Nachteile von Ortsnetzspeichern treffen. Neben der Betrachtung rechtlicher und politischer Rahmenbedingungen erforscht Herr Müller die autarke Steuerung von verbundenen Ortsnetzspeichern. Ein Ortsnetzspeicher gibt volkswirtschaftlich eine sehr gute Plattform ab, um in Niederspannungsnetzen erhebliche Verbesserungen herbeizuführen. Werden diese Speicher nun durch eine geeignete Kommunikationsinfrastruktur verbunden, können in der Niederspannungsebene eingesetzte Speicher ihre Vorteile bis in die Mittelspannungsebene auswirken. Dies setzt direkt an den aktuellen Problemen der bayrischen Energiewende an.

1. Einführung

In der Vorlesung werden wir uns mit den Grundlagen der Informatik beschäftigen. Wir werden uns mit den verschiedenen Ebenen der Informatik befassen, von der Hardware bis zur Software.

Die Informatik ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, die sich mit der Verarbeitung von Informationen beschäftigt. Sie umfasst die Theorie und die Praxis der Informationsverarbeitung.

Die Informatik ist eine der wichtigsten Wissenschaften der modernen Welt. Sie ist die Grundlage für viele andere Wissenschaften und Technologien.

In der Informatik werden wir uns mit den verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung befassen. Wir werden uns mit der Hardware, der Software und den Anwendungen befassen.

Die Informatik ist eine sehr vielfältige Wissenschaft. Sie umfasst viele verschiedene Bereiche, wie zum Beispiel die Datenbanken, die Künstliche Intelligenz und die Netzwerke.

In der Informatik werden wir uns mit den verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung befassen. Wir werden uns mit der Hardware, der Software und den Anwendungen befassen.

Die Informatik ist eine sehr vielfältige Wissenschaft. Sie umfasst viele verschiedene Bereiche, wie zum Beispiel die Datenbanken, die Künstliche Intelligenz und die Netzwerke.

In der Informatik werden wir uns mit den verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung befassen. Wir werden uns mit der Hardware, der Software und den Anwendungen befassen.

Die Informatik ist eine sehr vielfältige Wissenschaft. Sie umfasst viele verschiedene Bereiche, wie zum Beispiel die Datenbanken, die Künstliche Intelligenz und die Netzwerke.

In der Informatik werden wir uns mit den verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung befassen. Wir werden uns mit der Hardware, der Software und den Anwendungen befassen.

Die Informatik ist eine sehr vielfältige Wissenschaft. Sie umfasst viele verschiedene Bereiche, wie zum Beispiel die Datenbanken, die Künstliche Intelligenz und die Netzwerke.

In der Informatik werden wir uns mit den verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung befassen. Wir werden uns mit der Hardware, der Software und den Anwendungen befassen.

Die Informatik ist eine sehr vielfältige Wissenschaft. Sie umfasst viele verschiedene Bereiche, wie zum Beispiel die Datenbanken, die Künstliche Intelligenz und die Netzwerke.

In der Informatik werden wir uns mit den verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung befassen. Wir werden uns mit der Hardware, der Software und den Anwendungen befassen.

Die Informatik ist eine sehr vielfältige Wissenschaft. Sie umfasst viele verschiedene Bereiche, wie zum Beispiel die Datenbanken, die Künstliche Intelligenz und die Netzwerke.

Partner

Kooperation zwischen Wissenschaft und Praxis

Partner	78	S&O	84
Kooperation zwischen Wissenschaft und Praxis		Lehrstuhl für Strategie und Organisation	
Institute	80	FRM II	84
Fakultätsübergreifende Forschungsgemeinschaft		Heinz Maier-Leibnitz Zentrum/ Forschungs-Neutronenquelle	
EES	80	MCR	85
Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik		Lehrstuhl für Marketing und Konsumforschung	
TEC	80	CSS	85
Lehrstuhl für Technische Elektrochemie		Lehrstuhl für Katalysator Charakterisierung	
LNM	81	iwb	86
Lehrstuhl für Numerische Mechanik		Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften	
ENS	81	VARTA Storage GmbH	88
Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme		Systembau Energy Neighbor	
EEN	82	Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung	90
Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze		Forschungspartner	
EWI	82	Haager Beteiligungs AG	92
Fachgebiet Energiewandlungstechnik		Feldtestpartner für Moosham	
RCS	83		
Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme			
FTM	83		
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik			

Partner

Kooperation zwischen Wissenschaft und Praxis

Die Technische Universität München beteiligt sich mit 13 Lehrstühlen der unterschiedlichsten Fachrichtungen am EEBatt Forschungsprojekt. Unter der Leitung des Lehrstuhls für Elektrische Energiespeichertechnik von Herrn Prof. Dr. Ing. Jossen und des Lehrstuhls für Technische Elektrochemie von Herrn Prof. Dr. Gasteiger wird der dezentrale stationäre Batteriespeicher „Energy Neighbor“ entwickelt und erforscht.



Lehrstuhl
Technische Elektrochemie



EES
Lehrstuhl für
Elektrische Energiespeichertechnik

Unterstützt werden die Wissenschaftler der Technischen Universität München von den Praxispartnern ZAE Bayern, VARTA Storage GmbH und der Kraftwerke Haag Gruppe. Zusammen bilden die Projektpartner ein kompetentes Team aus Wissenschaftlern und Praxisexperten und sind somit in der Lage das Thema Batteriespeicher von der Entwicklung der einzelnen Zelle bis hin zur Analyse potentieller Geschäftsmodelle zu betrachten. Der Partner VARTA Storage GmbH trägt neben dem Fachwissen über sämtliche Komponenten eines Energiespeichersystems zusätzlich durch seine Erfahrungen im Bereich der relevanten technischen Normen und der Durchführung technischer Tests zum Erfolg des gesamten Projekts bei. Das ZAE Bayern arbeitet an der Schnittstelle zwischen erkenntnisbasierter Grundlagenforschung und angewandter Industrieforschung und hilft somit die gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse mit praktischen Anwendungen zu verknüpfen. Maßgeblichen Einfluss auf das Gelingen des Projektes hat auch die Kraftwerke Haag Gruppe durch ihre Unterstützung in Planung, Durchführung und Bewertung des Feldtests in Moosham.

Die Vielzahl verschiedener Akteure innerhalb des Projektes verdeutlicht dessen Größe und Relevanz und trägt maßgeblich zum Gelingen des Projektes bei. Sowohl die Technische Universität München als auch die Praxispartner profitieren von den im Projekt gebündelten Kompetenzen und Fachwissen.



VARTA Storage





**FRM II – Heinz Maier-Leibnitz
Zentrum/ Forschungs-
Neutronenquelle**



**S&O – Lehrstuhl für Strategie
und Organisation**



**ENS – Lehrstuhl für Erneuer-
bare und Nachhaltige
Energiesysteme**



**FTM – Lehrstuhl für Fahrzeug-
technik**



**EEN – Fachgebiet Elektrische
Energieversorgungsnetze**



**RCS – Lehrstuhl für Real-
zeit-Computersysteme**



**MCR – Lehrstuhl für Marketing
und Konsumforschung**



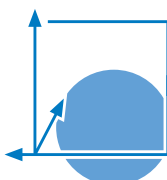
**LNM – Lehrstuhl für
Numerische Mechanik**



**CSS – Lehrstuhl für Katalysator
Charakterisierung**



**iwb – Institut für Werkzeug-
maschinen und Betriebswissen-
schaften**



**EWT – Fachgebiet Energie-
wandlungstechnik**



Prof. Dr.-Ing. Andreas Jossen
Lehrstuhl für Elektrische
Energiespeichertechnik

**Fakultät für Elektrotechnik und
Informationstechnik
Technische Universität München**

Projektleiter

Kontakt:

Telefon: +49 89 289 26967
sekretariat.ees@ei.tum.de

EES – Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik

Der Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik beschäftigt sich auf verschiedenen Ebenen mit elektrochemischen Speichern. Die Bandbreite geht von Untersuchungen und Simulation zellinterner Mechanismen, über den Aufbau mehrzelliger Systeme bis hin zur Betriebsstrategie und Integration stationärer Energiespeicher.

EEBatt ist eine exzellente Möglichkeit, diese breit gefächerte Kompetenz zu bündeln und die fachübergreifende Zusammenarbeit zu fördern. Einzelerkenntnisse werden so kombiniert und zu einem schlüssigen Gesamtkonzept zusammengefasst.

Neben der internen Zusammenarbeit ist das Projekt die ideale Plattform für einen sinnvollen Austausch über die verschiedenen Fachbereiche hinweg. Fragestellungen an den Schnittstellen benachbarter Wissenschaften können so, aus unterschiedlichen Blickpunkten untersucht werden.



Prof. Dr. Hubert A. Gasteiger
Lehrstuhl für
Technische Elektrochemie

**Fakultät für Chemie
Technische Universität München**

Projektleiter

Kontakt:

Telefon: +49 89 289 13679
veronika.pichler@tum.de

TEC – Lehrstuhl für Technische Elektrochemie

Zur effizienten Nutzung erneuerbarer Energien werden innovative Konzepte zur Energiespeicherung und -umwandlung gebraucht. Der Lehrstuhl für Technische Elektrochemie (TEC) an der Fakultät für Chemie erforscht neue Konzepte für das chemische Speichern elektrischer Energie in Batterien und die Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff. Im Vordergrund der Batterieforschung stehen Lithium-Ionen-Zellen, aber auch neuartige Konzepte wie Lithium-Schwefel- oder Lithium-Sauerstoff-Zellen werden untersucht. Das Alterungsverhalten vieler Lithium-Ionen-Batteriematerialien ist zwar oft phänomenologisch gut beschrieben, aber auf der molekularen Ebene noch nicht erklärt. Durch das eigene Herstellen und Zusammenbauen der Batterie-Testzellen unter streng kontrollierten Bedingungen können einzelne Faktoren auf das Performance- sowie Alterungsverhalten gezielt untersucht werden.

LNM – Lehrstuhl für Numerische Mechanik

Die Forschungsstrategie des LNM kann mit „anwendungsmotivierter Grundlagenforschung“ überschrieben werden und konzentriert sich auf Mehrfeld- und Mehrskalenprobleme. Dabei wird das gesamte Spektrum von der grundlegenden Modellbildung, der Entwicklung von neuartigen Methoden, der Schaffung innovativer Softwareumgebungen bis zu bislang nicht verfügbaren Anwendungssimulationen abgedeckt. Numerische Simulation kann bei der Erforschung und Entwicklung von neuartigen Energiespeichersystemen von großem Nutzen sein. Jedoch handelt es sich dabei um höchst komplexe Systeme, in denen sich elektrochemische, thermische und mechanische Effekte gegenseitig beeinflussen. Gerade deshalb sind zur Analyse und zum Design neuer Systeme Mehrfeld- und Mehrskalenansätze von immenser Bedeutung. Die interdisziplinäre Bündelung verschiedener Fachrichtungen in dem Projekt EEBatt ist hierbei eine einzigartige Chance auf dem Weg zu weltweit führenden Forschungsergebnissen.



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang A. Wall
Lehrstuhl für Numerische Mechanik
**Fakultät für Maschinenwesen
Technische Universität München**
Kontakt:
Telefon: +49 89 289 15300
wall@lnm.mw.tum.de

ENS – Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme

Der Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme entwickelt mathematische Modelle zur Analyse von Energiesystemen. Anhand dieser Systemmodelle werden technologieübergreifende Analysen durchgeführt. Deren Ergebnisse dienen unter anderem der Abschätzung von Marktpotenzialen für stationäre Batterien. Im Fokus von EEBatt steht der Speichereinsatz zur Erhöhung von Eigenverbrauch bei dezentraler Stromerzeugung und zur Entlastung von Stromnetzen. Zur quantitativen Bewertung von Speichern ist deren isolierte Betrachtung meist unzureichend. Erst eine Systemanalyse deckt Synergieeffekte auf, die sich aus dem Zusammenspiel mit anderen Komponenten ergeben. Durch die modellbasierte Analyse wird beispielsweise die optimale Größe, Lage und Wirtschaftlichkeit von Speichern und dezentralen Erzeugern bestimmt. Dimensionierung und Positionierung von Speichern erfolgen unter Berücksichtigung anderer Flexibilitätsoptionen, wie Wärmepumpen oder elektrischen Direktheizungen.



Prof. Dr. rer. nat. Thomas Hamacher
Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme
**Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Technische Universität München**
Teilprojektleiter:
TP10 Zukunftsvisionen
Kontakt:
Telefon: +49 89 289 10520
thomas.hamacher@tum.de



Prof. Dr.-Ing. Rolf Witzmann

Fachgebiet Elektrische
Energieversorgungsnetze

**Fakultät für Elektrotechnik und
Informationstechnik
Technische Universität München**

Teilprojektleiter:
TP8 Feldtest

Kontakt:

Telefon: +49 89 289 22004
rolf.witzmann@tum.de

EEN – Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze

Ein Schwerpunkt der Arbeit des Fachgebiets elektrische Energieversorgungsnetze liegt auf der Integration erneuerbarer Energien in das Stromnetz. Hier können Batteriespeicher wie der Energy Neighbor die Netzeinbindung unterstützen und eröffnen neue Möglichkeiten für zukünftige Energieversorgungsnetze.

In der Zuständigkeit des EEN liegt die Planung, Organisation und Ausführung des Feldtests sowie die Erarbeitung von Strategien für den netzdienlichen Betrieb von Batteriespeichern, wobei auch betriebs- und volkswirtschaftliche Sichtweisen berücksichtigt werden. Auch die im Feldversuch angewandte Betriebsstrategie wurde am EEN entwickelt. Darüber hinaus werden Szenarien für die Anwendung von Speichern in zukünftigen Energieversorgungssystemen untersucht sowie der Einfluss von Speichern auf den Netzausbaubedarf evaluiert.



Prof. Dr.-Ing. Hans Georg Herzog
Fachgebiet Energiewandlungstechnik

**Fakultät für Elektrotechnik und
Informationstechnik
Technische Universität München**

Teilprojektleiter:
TP5 Energiemanagement und
TP6 Leistungselektronik

Kontakt:

Telefon: +49 89 289 28361
ewt@ewt.ei.tum.de

EWT – Fachgebiet Energiewandlungstechnik

Das Fachgebiet beteiligt sich in EEBatt mit den Themen Energiemanagementsystem (EMS), Betriebsstrategie, Umweltkopplung und effiziente Leistungselektronik (LE). Seit 2008 arbeitet das Fachgebiet an der Entwicklung eines EMS im Hybrid- und Elektrofahrzeug. Hierbei werden Ansätze verfolgt, elektrische Energieflüsse im Fahrzeug intelligent zu steuern, um möglichst hohe Ausnutzungsfaktoren zu erreichen. Im Bereich der Leistungselektronik wurden Arbeiten mit Themen zur Verlustmodellierung bei leistungselektronischen Stellgliedern sowie mit der Entwicklung verlustminimierter Steueralgorithmen für die Ansteuerung unterschiedlicher Topologien und der Entwicklung von Multilevel-Topologien, durchgeführt. Die Erfahrungen aus diesen Arbeiten und Projektbeteiligungen geben die Grundlage für die Teilnahme an interdisziplinären Projekten wie EEBatt. Das Fachgebiet übernimmt im Projekt die Leitung der Teilprojekte 5 - EMS und 6 - LE und stellt Laborflächen für Prüfstände zur Verfügung.

RCS – Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme

Im Rahmen des EEBatt Projektes bringt der Lehrstuhl für Realzeit Computersysteme seine Kompetenzen auf dem Gebiet der Cyber-physikalischen Systeme ein. Es werden die Herangehensweisen der Energietechnik mit denen der Informations- und Kommunikationstechnik zusammengeführt, um verbesserte Lösungsstrategien der Energiewende zu erarbeiten. EEBatt bietet gerade durch die Heterogenität der Projektpartner eine große Chance durch Einbezug der unterschiedlichen Perspektiven neue Lösungen für die verteilte Speicherung von Energie und die Integration erneuerbarer Energien zu erarbeiten. Bei der gemeinsamen Realisierung eines stationären Energiespeichers mit Netzanbindung, dem Energy Neighbor, bringt der RCS seine Erfahrungen im Co-Design von Kommunikationssystem und Regelungsalgorithmen ein. Weiterhin wird ein Transfer der Methoden zwischen dem Energiemanagement stationärer Speicher und dem Energie- und Powermanagement auf mobilen Endgeräten angestrebt.



Prof. Dr. Samarjit Chakraborty
Lehrstuhl für
Realzeit-Computersysteme

**Fakultät für Elektrotechnik
und Informationstechnik
Technische Universität München**

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 23551
samarjit@tum.de

FTM – Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Durch steigende Rohölpreise und Ressourcenverknappung sowie die beschlossene Energiewende befinden sich Mobilität und Energieerzeugung derzeit im Umbruch. Statt einer isolierten Betrachtung beider Sektoren kann hierbei nur durch einen ganzheitlichen Ansatz ein nachhaltiger Beitrag geleistet werden. Um eine „grüne“ Mobilität zu schaffen, muss neben einer zunehmenden Elektromobilität der Ausbau von regenerativen Energien vorangetrieben werden. EEBatt ermöglicht uns als Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik Elektromobilität in einem größeren Kontext zu sehen und zu erforschen. Durch die starke Vernetzung mit anderen Forschungsbereichen wie Elektrische Energiespeicher oder Elektrische Energieversorgungsnetze ist dabei ein breiter und holistischer Ansatz mit der Integration von Schnittstellenthemen wie beispielsweise der Zweitnutzung von Lithium-Ionen Fahrzeugbatterien als stationäre Energiespeicher (Second-Life) möglich.



Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

**Fakultät für Maschinenwesen
Technische Universität München**

Teilprojektleiter:
TP3 Weiterentwicklung Batteriemanagementsystem und
TP7 Integration zum Gesamtsystem

Kontakt:
Telefon: +49 89 289 15344
ftm@ftm.mw.tum.de



Prof. Dr. Isabell M. Welpé

Lehrstuhl für Strategie
und Organisation

**Fakultät für Wirtschafts-
wissenschaften
Technische Universität München**

Teilprojektleiterin:
TP11 Strategie und Geschäftsmodelle

Kontakt:

Telefon: +49 89 289 24800
welp@tum.de

S&O – Lehrstuhl für Strategie und Organisation

Der Lehrstuhl für Strategie und Organisation beschäftigt sich unter der Leitung von Frau Prof. Dr. Isabell M. Welpé mit den Themenfeldern Führung, Organisation und Innovation. Im Bereich Innovation erforscht der Lehrstuhl das Management neuer Technologien unter besonderer Berücksichtigung der Digitalisierung. Schwerpunkte sind hierbei erneuerbare Energietechnologien sowie daraus resultierende Geschäftsmodelle. Forschungsarbeiten geschehen unter anderem auch durch die Beteiligung am Center for Digital Technology and Management (CDTM). Ziel der Arbeiten des Lehrstuhls in EEBatt ist die Entwicklung von Geschäftsmodellen, welche ermöglichen sollen, dass der Speicher auch in Zeiten wandelnder Rahmenbedingungen den Anforderungen potenzieller Kunden genügt. Die Arbeiten haben damit das Ziel, Szenarien aufzuzeigen, in denen Speicher einen Beitrag zu einer bezahlbaren, nachhaltigen und sicheren Stromversorgung leisten können.



Dr. habil. Ralph Gilles

Heinz Maier-Leibnitz Zentrum/
Forschungs-Neutronenquelle

**Fakultät für Physik
Technische Universität München**

Kontakt:

Telefon: +49 89 289 4665
ralph.gilles@frm2.tum.de

FRM II – Heinz Maier-Leibnitz Zentrum/Forschungs-Neutronenquelle

Für das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum sind Fragen und Herausforderungen der Energiewende ein zentrales Thema. Mit dem Portfolio von der Grundlagenforschung bis zur industrieangewandten Forschung kann unsere Institution einen wichtigen Beitrag hierzu leisten. Somit war unser Interesse sehr groß als wir von dem Vorhaben hörten auf dem Gebiet der Elektromobilität, insbesondere der Batterien, einen Zusammenschluss von Instituten und Industriefirmen auf die Beine zu stellen. Da unsere Neutronenmethoden einen wichtigen Baustein zur Charakterisierung von Batteriezellen liefern können, haben wir uns engagiert, um aktuelle Fragestellungen direkt von den Industriepartnern zu erhalten. Die Untersuchung der Lithium-Ionen Batterien mit Neutronen auf der atomaren Skala ermöglicht uns das zerstörungsfreie Beobachten des Inneren der Batterien (auch während des Be-/und Entladens), um so die chemischen und physikalischen Prozesse verstehen und optimieren zu können.

MCR – Lehrstuhl für Marketing und Konsumforschung

Der Lehrstuhl für Marketing und Konsumforschung nutzt einen quantitativen Forschungsansatz, um gesellschaftliche Veränderungsprozesse wie die Energiewende und den Einfluss neuer Technologien auf die Gesellschaft zu untersuchen, die zu einem veränderten Konsumverhalten führen. Methodisch unterstützt der Lehrstuhl das EEBatt Projekt insbesondere durch wissenschaftliche Datenerhebungen und -analysen bei potenziellen Nutzern von Energiespeichersystemen. Das Lehrstuhlteam beteiligt sich zudem an der Umsetzung des Feldtests. Durch die Mitarbeit an EEBatt haben die Projektmitglieder die Möglichkeit, die Thematik der Energiespeicherung in einem interdisziplinären Team an der Schnittstelle zwischen Technik und Management zu analysieren. Somit erlaubt es das Projekt, die Vernetzung mit den beteiligten Lehrstühlen zu intensivieren und die Herausforderungen der Energiespeicherung ganzheitlich zu betrachten.



Prof. Dr. Jutta Roosen
Lehrstuhl für Marketing
und Konsumforschung
**Fakultät für Wirtschafts-
wissenschaften**
Technische Universität München

Kontakt:
Telefon: +49 8161 71 3318
jroosen@tum.de

CSS – Lehrstuhl für Katalysator Charakterisierung

Die Fachkompetenz meiner Gruppe ist nicht direkt im Bereich der Elektrochemie, sondern in den Bereichen der Katalyse und Spektroskopie, angesiedelt. Unsere aktuelle Forschung in einem Projekt über Lithium-Schwefel Akkumulatoren hat uns aber die Herausforderungen der Batterieforschung und unseren einzigartigen Beitrag klar gezeigt: Die operando spektroskopische Techniken ermöglichen ein detailliertes Verständnis der Materialeigenschaften der einzelnen Komponenten eines Akkumulators bis auf atomare Ebene. Die Einsichten in Reaktions- und Deaktivierungsmechanismen führen zur Batterieoptimierung und zu neuen Technologien. Die enge Zusammenarbeit von Lehrstühlen aus den verschiedensten Disziplinen macht den besonderen Reiz der Mitarbeit in dem EEBatt Projekt aus. Es regt die Teilnehmer dazu an, die Problemstellungen auf unterschiedliche Art und Weise zu betrachten und auch ungewohnte Wege zu gehen, was neue Entwicklungen initiiert und beschleunigt.



Prof. Dr. Moniek Tromp
Lehrstuhl für
Katalysator Charakterisierung
Fakultät für Chemie
Technische Universität München

Kontakt:
Telefon: +31 20 525 6994
moniek.tromp@tum.de



Prof. Dr.-Ing.

Michael Friedrich Zäh

Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften

**Fakultät für Maschinenwesen
Technische Universität München**

Kontakt:

Telefon: +49 89 289 15502
sekretariat-zaeh@iwb.tum.de

***iwb* – Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften**

Das Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München ist eine der großen produktionstechnischen Forschungseinrichtungen in Deutschland und umfasst zwei Lehrstühle der Fakultät für Maschinenwesen in Garching bei München sowie ein produktionstechnisches Anwenderzentrum in Augsburg. Die beiden Ordinariate, der Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik sowie der Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, definieren die Forschungsinhalte und Themenschwerpunkte des *iwb*.

Im Juli 2014 wurde eine in Deutschland bisweilen einzigartige Forschungsproduktionslinie am *iwb* in Betrieb genommen. Darin werden alle Prozessschritte für die Herstellung von Lithium-Ionen-Hardcasezellen und -Pouchzellen vom Beschichten bis hin zum Zelltest mit einem hohen Automatisierungsgrad bei gleichzeitiger Prozess- und Formatflexibilität abgebildet.

Im Zuge der Teilnahme am Projekt EEBatt wird der Betrachtungshorizont der Batterieforschung am *iwb* erweitert. Neben Zellen für automotiv Anwendungen rücken damit zusätzlich Zellen für stationäre Energiespeicher in den Vordergrund, welche vollkommen andere Anforderungen mit sich bringen.

Innerhalb des Projektes EEBatt wird ein breites Spektrum an Kompetenzen der Technischen Universität München in den Bereichen Physik und Chemie, Elektrotechnik und Informatik, Produktionstechnik und Wirtschaftswissenschaften interdisziplinär gebündelt. Dieses Konsortium wird ergänzt um die batterie-technologischen Kenntnissen der VARTA Storage GmbH und dem Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung als Schnittstelle zwischen erkenntnisbasierter Grundlagenforschung und angewandter Industrieforschung. Die einzelnen Teilprojekte bestehen aus Wissenschaftlern verschiedener Fachdisziplinen, um Synergien zwischen den Anwendungsfeldern nutzbar zu machen. Insbesondere die intensive Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) und der VARTA Storage GmbH fördert den Wissenstransfer in die Unternehmen und ermöglicht es aktuelle Forschungsfragen mit Anwendern aus der Industrie zu diskutieren.



Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften

**Fakultät für Maschinenwesen
Technische Universität München**

Kontakt:

Telefon: +49 89 289 15504
sekretariat-reinhart@iwb.tum.de

VARTA Storage GmbH

Systembau Energy Neighbor

Das Traditionsunternehmen VARTA Micro Gruppe ist ein international führender Hersteller von OEM (Original Equipment Manufacturer) und Einzelhandels Batterien mit mehr als 125 Jahren Erfahrung in der Entwicklung und Produktion von Batterien aller wichtigen elektrochemischen Systeme und Größen. Als globaler Systemlieferant ist das Unternehmen in der Lage, effektiv angepasste Batterielösungen anzubieten. Um die Technologieführerschaft weiter auszubauen, investiert die VARTA Micro Gruppe kontinuierlich in die Grundlagenforschung neuer Technologien. Aufgrund von diesem Forschungsengagement ist die VARTA Micro Gruppe Inhaber von zahlreichen grundlegenden Patenten im Bereich der Lithium-Ionen-Batterie-Technologie.

Für den vielversprechenden Markt der Energiespeicherung werden jegliche Entwicklungen und daraus resultierenden Vertriebsaktivitäten der VARTA Micro Gruppe in der VARTA Storage GmbH zusammengeführt. Die VARTA Storage GmbH ist zu 100% eine Tochtergesellschaft der VARTA Micro Gruppe und ist als solche in Nördlingen/Bayern angesiedelt. Auf dem Gebiet der Energiespeicher mit langlebigen Lithium-Ionen-Batterien verfügt die VARTA Storage GmbH über ein umfangreiches Know-how und führt in diesem Zusammenhang innovative Forschungs- und

Entwicklungsaktivitäten durch. Folglich stellt die VARTA Storage GmbH den optimalen Industriepartner für das Forschungsprojekt EEBatt dar und unterstützt dieses mit all seinen Kompetenzen.

Zusammen mit den Projektpartnern wird im Rahmen des Projektes an großformatigen stationären Batteriespeichern geforscht. Ziel ist es ein innovatives, wettbewerbsüberlegenes Batteriespeichersystem zu entwickeln und im Rahmen eines Feldtestes zu erproben. Als industrieller Partner des Forschungsprojektes steht für die VARTA Storage GmbH dabei die zeitnahe Erreichung serienfähiger Produkte im Vordergrund. Hierbei sind die Sicherheit, Energieeffizienz, die Qualität sowie die Wirtschaftlichkeit der Systeme für die Akzeptanz und die weitere Verbreitung von Batteriespeichersystemen entscheidend.

Im Rahmen des Projektes ist VARTA Storage auf allen Ebenen – von der Auswahl geeigneter Zellen bis zur Assemblierung des Gesamtsystems – aktiv. Neben dem Fachwissen über sämtliche Komponenten eines Energiespeichersystems steuert die VARTA Storage GmbH mit der Durchführung von Performance- und Sicherheitstests zum Projekterfolg bei. Besonderer Fokus liegt auf der normgerechten Auslegung



Produktionshalle von VARTA Storage

und Konstruktion der einzelnen Komponenten sowie der Umsetzung einer intelligenten Steuerung und Vernetzung des Energiespeichers. Insbesondere letzteres ist für eine dezentrale Systemintegration zur effizienten Nutzung erneuerbarer Energien und Unterstützung der Netzstabilität entscheidend.

Neben dem weiteren Ausbau neuer Stromtrassen, kommt vor allem der Dezentralisierung der Stromversorgung zukünftig eine wachsende Bedeutung zu. Hierbei stehen Besitzer von Ein- und Mehrfamilienhäusern ebenso im Fokus, wie Eigentümer von Gewerbe-Immobilien, die zur Stromerzeugung große Dachflächen mit Photovoltaikanlagen ausstatten können. Hier bekommt das EEBatt Projekt mit dem Energy Neighbor eine besondere Bedeutung, da durch diesen Großspeicher ein weiterer Ausbau zusätzlicher Leitungen verhindert werden kann.

Batteriespeicher sind für alle Seiten eine wichtige Zukunftsinvestition: Sie sind ein bedeutender Pfeiler für die Umsetzung der Energiewende. Weil Sonnenstrom nicht 24 Stunden produziert werden kann, muss der Strom speicherbar werden. Das geht mit einem qualitativ hochwertigen und sicheren Speicher, damit zukünftig die Energie lokal gespeichert wird, wo Sie auch entsteht. Weil dies einfach der effizienteste Weg ist. Die Speicher-Entwicklung bei VARTA Storage zeichnet sich vor allem durch eine sogenannte zukunftsichere Technologie aus. Einzigartig an diesem System ist, dass es sich auch in Zukunft jederzeit erweitern lässt. Dieses System erlaubt es, auch die nächste oder übernächste Generation von Lithium-Ionen-Zellen mit dem heutigen System zu kombinieren.

Bei VARTA Storage geht man davon aus, dass die Bundesrepublik bis in 30 Jahren die Umstellung auf regenerative Energien soweit geschafft haben kann, dass diese den Löwenanteil in der Energiegewinnung darstellen. Voraussetzung ist dabei aber eine gezielte Förderung und Entwicklung hocheffizienter Speichertechnologien, welches durch das EEBatt Projekt geschieht. Die Energiewende kann auch nur dann von Erfolg gekrönt sein, wenn die Bürger und Gemeinden diese auch wollen und mit tragen. Hier zeigt sich ein klarer Trend: Die Bürger stehen dem Netzausbau, insbesondere geplanten Trassen, kritisch gegenüber. Die Bürger fordern Stromspeicher. Ein Netzausbau wird deshalb zwar nicht überflüssig, der Rahmen kann aber sinnvoll begrenzt werden.

Jetzt ist deshalb die richtige Zeit die Weichen für eine erfolgreiche Energiezukunft zu stellen!



Herbert Schein
Vorstandsvorsitzender
VARTA Micro Gruppe

Kontakt:
VARTA Storage GmbH
Emil-Eigner-Straße 1
86720 Nördlingen

Telefon: +49 7961 921 752
Fax: +49 7961 921 73 121

Im Bereich Energiespeicherung des ZAE Bayern wird seit über 20 Jahren intensiv an innovativen Techniken zum thermischen Management technischer Systeme geforscht – unter anderem an Gebäuden, Elektrofahrzeugen und Brennstoffzellensystemen. Im Projekt EEBatt wird ein aktives Klimamanagement für das in einem gemeinsamen Gehäuse integrierte Gesamtsystem aus Batteriezellen, Leistungselektronik und Energiemanagementsystem entwickelt. Durch eine optimierte Kombination von thermischer Isolierung, passiver Kühlung durch PCM-Materialien und aktiver Wärmeabfuhr nach außen soll dieses Klimasystem sicherstellen, dass die Betriebstemperaturen der Zellen bei allen im realen Betrieb auftretenden Lade- und Entladezuständen und

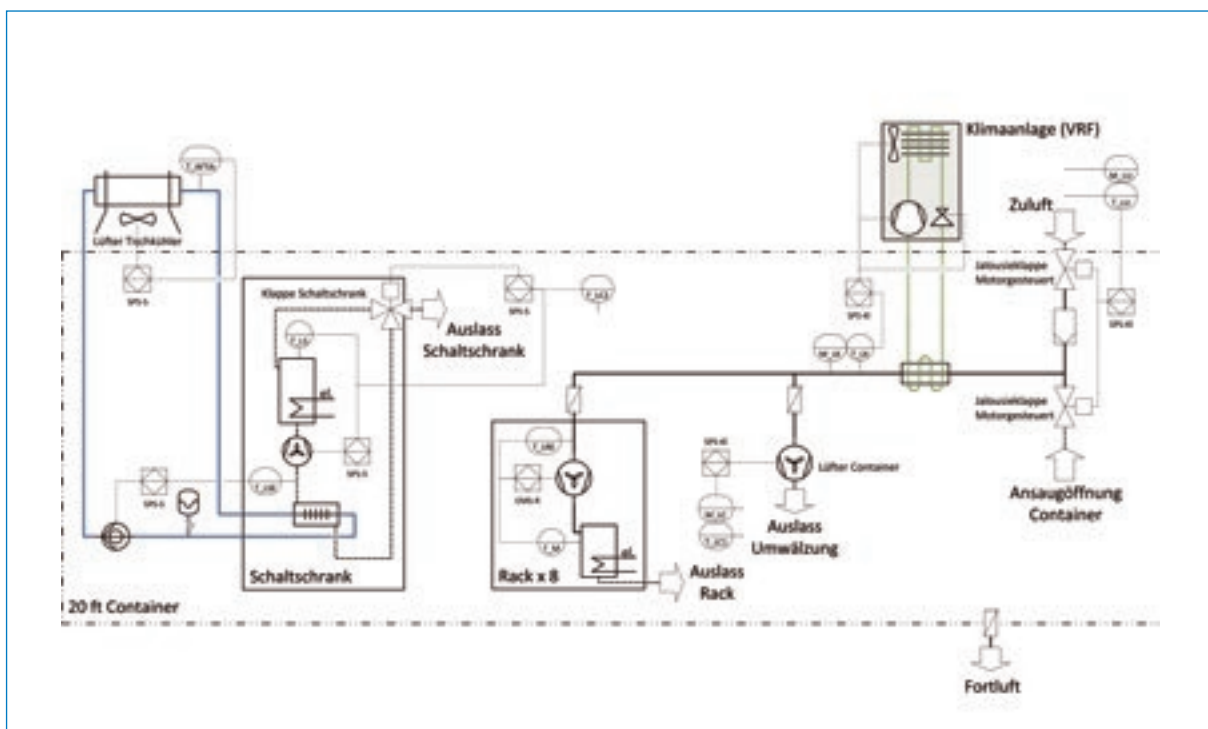
unter allen für einen gewählten Standort auftretenden Klimabedingungen in einem vorher definierten Temperaturbereich gehalten werden.

Im Rahmen der Entwicklung dieses Klimasystems wurde zunächst ein Simulationsmodell erstellt, mit dem die

relevanten Betriebszustände abgebildet werden. Darauf aufbauend wird ein geeignetes Kühlkonzept erarbeitet, das möglichst energiesparend die Batteriezellen und die zugehörige Elektronik im geforderten Temperaturbereich hält. Dieses Klimamanagementsystem wird anschließend in Funktionsmustern aufgebaut und getestet.

Das ZAE Bayern betreut seit vielen Jahren Feldversuche – unter anderem zur Integration von elektrischen Speichern in Stromnetze – und hat in diesem Zusammenhang umfangreiches Know-How aufgebaut. Zur Datenfernanalyse und Prozessvisualisierung hat das ZAE spezielle Software entwickelt, mit der sich Messdaten sammeln, verarbeiten und graphisch darstellen lassen und Anlagenschemen dynamisch visualisiert werden können. Beispiele für diese Programme sind die Datenbank MedLix und das Visualisierungs-Tool MedView2.

Im Forschungsprojekt EEBatt hat das ZAE unter anderem die Aufgabe übernommen, die aus den unter-



Fließschema des Klimatisierungskonzeptes für den Energy Neighbor

schiedlichen Kanälen (Batteriespeicher, PV-Anlage und Netzeinbindung) stammenden Daten zentral zu sammeln, aufzubereiten und in ein gemeinsames Datenbank-System zu integrieren. Darüber hinaus stellt das ZAE diese Informationen den Projektpartnern über ein zu entwickelndes webbasiertes, bedienerfreundliches System zur Verfügung.

Die webbasierte Software erlaubt insbesondere, den Betrieb eines dezentralen Batteriespeichers in Kombination mit einer PV-Anlage zu überwachen und den Einfluss des Batteriespeichers auf das Verteilnetz über einen längeren Zeitraum unter realistischen Einsatzbedingungen detailliert zu untersuchen. Damit ist diese Software auch die Basis für die Optimierung der Strategie zum Betrieb des Batteriespeichers.

Zu den wichtigsten Aktivitäten zur Unterstützung des Feldtests zählten die Festlegung und Ausgestaltung der Übertragungsprotokolle, die Abstimmung der zu erfassenden Messgrößen und geeigneter Sensorik sowie die Konkretisierung der erforderlichen Abtast- und Schreibraten für den Aufbau eines DBMS (Database Management System).



**Dipl.-Phys., Dipl.-Wi.-Ing.
Dr. Bernd Malkowski**
Vorstand, Geschäftsführer

Kontakt:

ZAE Bayern
Am Galgenberg 87
97074 Würzburg

Telefon: +49 931 70564-300
Fax: +49 931 70564-600
Mobil/Cell: +49 171 1111227

bernd.malkowski@zae-bayern.de
<http://www.zae-bayern.de>

Die Kraftwerke Haag Gruppe versorgt ein ländliches Gebiet mit ca. 15.000 Kunden 30 km westlich von München. Aufgrund dieser Struktur mit vielen landwirtschaftlichen Betrieben stehen wir im Zuge der Energiewende vor großen Herausforderungen. Insgesamt werden ca. 120 Mio. kWh an Letztverbraucher verteilt und im Gegenzug etwa 80 Mio. kWh aus Anlagen mit erneuerbaren Energien erzeugt. Mehr als jeder zehnte Kunde ist zugleich Stromerzeuger in den meisten Fällen als Betreiber von PV-Anlagen.

Diese Entwicklung ist Ausdruck der vorangetriebenen Energiewende, welche zu einem echten Paradigmenwechsel in der Stromwirtschaft führt und zwar nicht nur was die Art der Stromerzeugung angeht, sondern auch in der Stromübertragung, -verteilung und dem Stromvertrieb. In der Vergangenheit wurde mit der Erzeugung auf Basis von Kernenergie und Braunkohle auf Großkraftwerke gesetzt, deren Erzeugung es galt über verschiedene Netz- und Vertriebs Ebenen an die Letztverbraucher zu verteilen. Der Ausbau der Erzeugung aus erneuerbaren Energien führt dazu, dass die Erzeugung zukünftig dezentral im ländlichen Raum erfolgt.

Für einen regionalen Versorger, wie die KWH Netz, bedeutet dies bezüglich der Netzinfrastruktur enorme Herausforderungen. In der Vergangenheit wurde diese ausgerichtet auf die Bezugserfordernisse aus der übergelagerten Netzebene und die Verteilung an die Letztverbraucher. Heutzutage sorgt die Notwendigkeit den aus EEG-Anlagen erzeugten Überschussstrom an die nächst höhere Ebene zu übergeben, zu Engpässen im Netzgebiet. Hieraus ergibt sich ein Ausbaubedarf im Bereich Leitungsverstärkung und Erhöhung der Leistungen der eingesetzten Transformatoren. Oftmals befinden sich die auszutauschenden Anlagenteile aber weder am Ende ihrer wirtschaftlichen noch technischen Lebensdauer.

Hier erhoffen wir uns von dem Projekt EEBatt Aufschlüsse dahingehend, inwieweit Ortsnetzspeicher den Bedarf hinsichtlich Netzausbau verringern können, da der Überschussstrom nicht in die nächsthöhere Ebene geleitet werden muss, sondern stattdessen

eingespeichert und zu erzeugungsarmen Zeiten ausgespeichert werden kann. Letztlich ist die Überlastung der Anlagenteile und damit die Situation, die einen Netzausbau erfordert, nur zu wenigen Zeiten im Jahr gegeben. Aufgrund dessen liegt die Vermutung nahe, dass Speicher mit ihrer im Verhältnis zur Gesamtleistung zwar geringen Kapazität aber mit der Fähigkeit sehr kurzfristig Leistung aufzunehmen bzw. abzugeben zu einer echten Entlastung der Netzinfrastruktur führen. Neben diesen Herausforderungen im Netz muss der Vertriebsbereich über alternative Geschäftsmodelle nachdenken und sich ein neues Rollenverständnis schaffen. In der Vergangenheit war dieser, vereinfacht ausgedrückt, der Weiterverteiler vom Energieangebot von Großkraftwerken am Handelsmarkt hin zur Energienachfrage von Letztverbrauchern. In Zukunft wird die Rolle des Netzes die einer regionalen Energiedrehscheibe sein. Der Vertrieb optimiert demnach die regionale Stromerzeugung und den regionalen Strombedarf unter Einbezug von Großhandelsmärkten.

Voraussetzung für das erfolgreiche Umsetzen dieses Geschäftsmodells ist es, dass der Vertrieb in der Lage ist, regionale Erzeugung und regionalen Vertrieb zu synchronisieren und hierfür ist ein Speicherkonzept von zentraler Bedeutung. Letztlich wird durch die Energiewende auch eine Regionalisierung der Synchronisierungsfunktion notwendig. Auf Dauer gilt es, die Herausforderung aus der Zeitungleichheit von regionaler Erzeugung und regionalem Verbrauch nicht über den Umweg der Hochspannungs- bzw. Großhandelsebene zu lösen, sondern vielmehr dort, wo es entsteht, nämlich in der Region mittels intelligenter, dezentraler Speicherkonzepte.

Aus den genannten Gründen ist das Forschungsprojekt EEBatt für uns von herausragender Bedeutung.

Damit diese hohen Ansprüche erfüllt werden können, bedarf es neben dem Know How aller Beteiligten auch einer effektiven Projektorganisation und zielorientierten Zusammenarbeit. Die bisherigen Erfahrungen in diesem Bereich lassen für uns den eindeutigen Schluss zu, dass wir mit der TU München als dem Projektverantwortlichen, eine gelungene Partnerschaft eingegangen zu



sein. Insbesondere im sensiblen Umgang mit den Anwohnern hat sich gezeigt, dass die Kollegen der TU München Fragen und Bedenken mit dem notwendigen Einfühlungsvermögen und der gebotenen Professionalität bearbeiten.

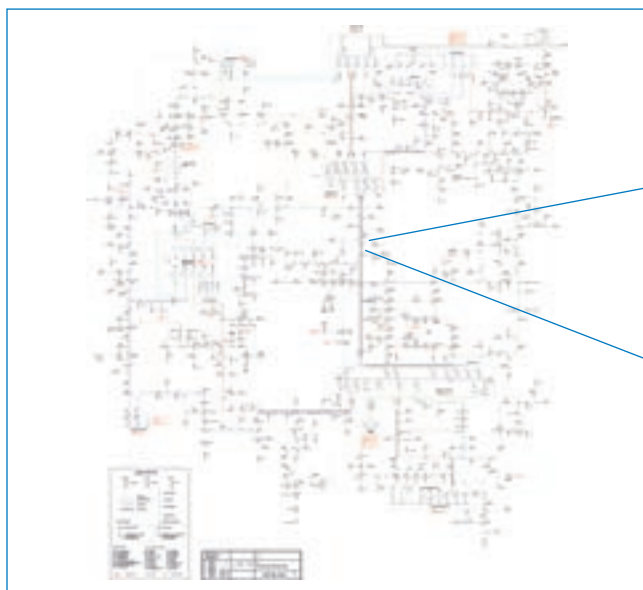
Dies ist umso bedeutsamer, da sich unser gesamtes Umfeld angefangen bei der Bevölkerung bis hin zur lokalen und regionalen politischen Ebene intensiv mit dem Thema Energiewende und deren Konsequenzen auseinandersetzt. Eine Befragung unserer Kunden hat ergeben, dass die Themen Einsatz neuer Technologien in der Energieversorgung und der proaktive Umgang mit erneuerbaren Energien nach „Preis“ und „Kundenservice“ die wichtigsten Anforderungen an den Energieversorger darstellen. Diese Einschätzung wurde gestärkt durch das rege Interesse am Tag der offenen Tür, wo der Stand der TU München eine der Hauptanlaufstellen für Kunden und interessierte Bürger war. In Gesprächen mit vielen Bürgermeistern und lokalen Interessensvertretern hat sich gezeigt, dass auch hier das Thema Speicher zur Unterstützung der Energiewende von sehr hohem Interesse ist, sei es im Rahmen von Energiekonzepten oder bei der Gründung von Projektgesellschaften im Bereich erneuerbarer Energien.

Letztlich sind alle Beteiligten: die Projektpartner, die betroffenen Bürger und das gesamte Umfeld vor Ort am Gelingen und den Ergebnissen dieses Projektes interessiert. Insofern freuen wir uns auf die weitere Zusammenarbeit im Projekt und die anstehende Feldtestphase.

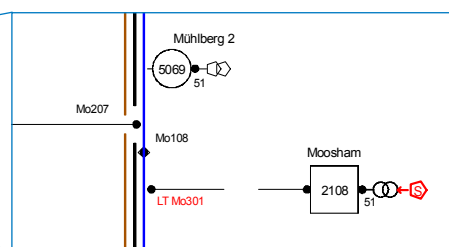


Dr. Ulrich Schwarz
Geschäftsführer der
Kraftwerke Haag GmbH

Kontakt:
Kraftwerke Haag Gruppe
Gabelsbergerstrasse 25
83527 Haag in Oberbayern
Telefon: +49 8072 9171-0
ulrich.schwarz@kraftwerke-haag.de
<http://www.kraftwerke-haag.de/>



Netzplan der KWH



Moosham im Netz der KWH

Das Projekt in Zahlen

Technik, Kosten, Öffentlichkeit

Technische Daten	96
Energy Neighbor in Zahlen	
Verbundlabore	97
Gemeinsam Expertise schaffen	
Ausblick	98
Moment nutzen	
Danksagung	99
Publikationen	100
Fortschritt öffentlich machen	

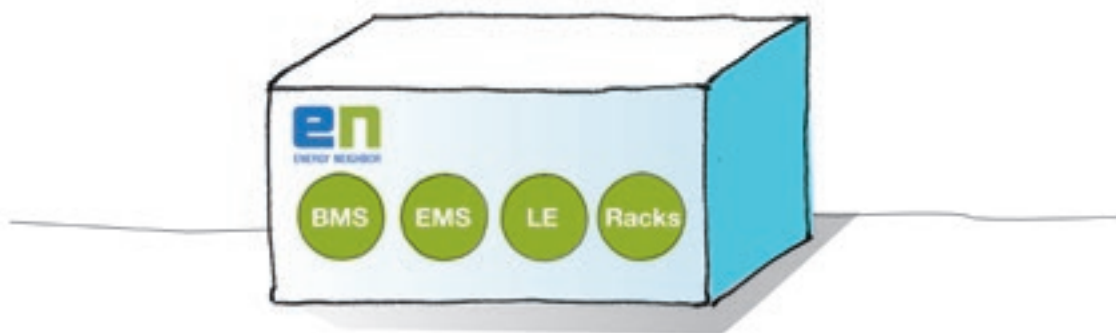
Technische Daten

Energy Neighbor in Zahlen

Technische Daten des Energy Neighbor

Der dezentrale stationäre Batteriespeicher TUM Energy Neighbor ist ein netzdienlich eingesetzter Energiespeicher in der 400 V Ortsnetzebene. Der TUM Energy Neighbor wird mit besonders sicheren und langlebigen Lithium Eisenphosphat Zellen aufgebaut.

Größe	6058x2900x2438	Module	104 Stück
Energieinhalt	200 kWh	Zellverschaltung	16s12p
Leistung	250 kW	Zellen	19968 Stück
Lade-/Entladeströme	max. 1,3 C	Klimatisierung	Mehrzonenklimatisierung (inkl. Freie Kühlung)
Modularität	Ja	Einsatz	Niederspannungsnetz 400 V
Wechselrichter	36 kW & 16 kW	Anwendung	Eigenverbrauch, Regelleistung, Netzentlastung
Batterieracks	8 Stück		
Module pro Rack	13 Stück		



Verbundlabore

Gemeinsam Expertise schaffen

Gemeinsam Expertise schaffen

Für Analysen der in EEBatt aufgebauten Systeme und Baugruppen sind komplexe und kostenintensive Labore inklusive Laborgeräte notwendig. Mit der Entscheidung EEBatt als fakultätsübergreifendes Projekt aufzusetzen, konnte die TUM am Stammgelände in den Forschungsgebäuden des Fachgebietes Energiewandlungstechnik unter Prof. Dr.-Ing. Hans Georg Herzog Gemeinschaftsflächen für Labore gewinnen. Durch die zentrale Lage der Verbundlabore am Stammgelände im Zentrum Münchens, können die Wissenschaftler effektiv und schnell zusammenarbeiten.

Systemlabor

Der Um- und Aufbau der Räumlichkeiten für die Verbundlabore begann im März 2014 und wird im April 2015 seinen Abschluss finden. Mit über 200 kW zur Verfügung stehender Leistung, einem eigenen Transformatoranschluss und weitreichenden Sicherheitsvorkehrungen steht ab diesem Zeitpunkt eine hochintegrierte Plattform bereit, um die komplexen Systeme des TUM Energy Neighbors zu erforschen und verbessern zu können. In seiner Gesamtheit besteht das EEBatt Verbundlabor aus zahlreichen Komponenten. In Zusammenschluss mit den Hardware in the Loop Prüfständen des Teilprojekts 5 Energiemanagementsystem, des Teilprojekts 6 Leistungselektronik und des Fachgebietes Energiewandlungstechnik bietet das EEBatt Verbundlabor die Möglichkeit, das Gesamtsystem vom einzelnen Subsystem – beispielsweise dem Batteriemanagementsystem – bis hin zur Kommunikation mit einem simulierten Ortsnetztransformator abzubilden und zu prüfen.

Energy Neighbor an der TUM

Über die Fähigkeiten des Verbundlabors hinaus steht der Forschergruppe in EEBatt ein externer Netzanschluss für das komplette Energy Neighbor System zur Verfügung. Damit werden auf dem Gelände der TUM ab Juni 2015 weitreichende Tests durchgeführt und Forschungsergebnisse live im Stromnetz der TUM generiert. Mit dem Einbringen des TUM Energy Neighbors am Stammgelände in der Innenstadt setzt die TUM ein Zeichen für die Systemsicherheit, die einfache Handhabbarkeit und die technische Realisierbarkeit eines solchen Konzeptes.





Aufbau von Spitzenforschung

Mit den bisherigen Resultaten und Erkenntnissen konnte die TUM in vielen Bereichen des Projektes hervorragende Ergebnisse erzielen. Die Leistung, innerhalb von 2 Jahren ein gesamtes stationäres Batteriespeichersystem zu planen, aufzubauen und zu erforschen, ist allen Beteiligten hoch anzurechnen. Mit Fertigstellung des TUM Energy Neighbor Systems, Inbetriebnahme der Verbundlabore und Weiterführung der Spitzenforschung in der Zelltechnologie erfährt das Projekt in den Jahren 2015 und 2016 ein zusätzliches Moment. Dieses wird genutzt werden, um die Forschung in den einzelnen Disziplinen mit Hochleistungen voran zu treiben. Mit den anstehenden Themen, wie zum Beispiel die Erforschung des vollkybernetischen Regelansatzes im Energiemanagement, der Erforschung der vielversprechenden Multilevelrichter Technologie in der Leistungselektronik oder dem Aufbau und der Validierung gänzlich neuer marktfähiger Geschäftsmodelle wird das Projekt EEBatt seinen Beitrag zur Energiespeicherforschung leisten.

Der Energy Neighbor

Ab Oktober 2015 wird der TUM Energy Neighbor in Moosham bei Haag in Oberbayern in Betrieb genommen sein. Der stationäre Batteriespeicher wird in Moosham in einem realen Umfeld direkt im Netz des Ortes eingesetzt und analysiert werden. Hier kann die TUM verschiedenste Betriebsstrategien testen und erforschen, um beispielsweise den Eigenverbrauch und die Autarkie des Ortes zu erhöhen. Der Energy Neighbor wird darüber hinaus den weiteren Zubau von Photovoltaikanlagen ermöglichen, was heute nicht mehr machbar ist. Außerdem wird der Energy Neighbor den Ortsnetztransformator entlasten und einen wichtigen Beitrag zum Netzausbau leisten.

Unter Einbindung der Bevölkerung vor Ort und der Umgebung wird der Energy Neighbor sich nahtlos in das Leben der Bürger einfügen und netzdienlich arbeiten. Durch den flächendeckenden Einsatz von Smart Metern in der Ortschaft kann die TUM Geschäftsmodelle, Abrechnungsmodelle, Steuerungsmodelle und volkswirtschaftlich optimierte Betriebsweisen ableiten. Durch die vorhandenen Daten können die Wissenschaftler heute die Möglichkeiten von morgen betrachten.

EEBatt und die Energiewende

Mit der Erforschung stationärer Ortsnetzspeicher hat die TUM einen Schwerpunkt in der stationären Energiespeicherforschung gesetzt. Im Auftrag des Freistaats Bayern versteht die TUM ihren Auftrag als gemeinschaftlichen Dienst und ist volkswirtschaftlich an den Notwendigkeiten der aktuellen Lage in Energiethemen orientiert. Bisherige Ergebnisse zeigen, dass stationäre Ortsnetzspeicher einen Baustein der Energiewende in Bayern und Deutschland bilden können. Mit der Durchführung des Feldtests in Oberbayern kann die TUM faktenbasierte Ergebnisse liefern und Empfehlungen aussprechen. Es ist absolut notwendig, visionäre Betrachtungen mit in die Ergebnisse einfließen zu lassen und keine Technologien auszuschließen. Die TUM wird eine Fortführung der Forschung auf Basis des TUM Energy Neighbors anstreben und mit einem flächendeckenden Feldversuch eine Forschungsplattform vorschlagen, welche offene Fragen zur Energiewende in Bayern beantworten kann. Bereits heute lassen die Simulationsergebnisse des EEBatt Forscherteams weitreichende Aussagen zur Eignung und dem Anwendungsfeld stationärer Batteriespeicher in Stromnetzen zu. Diese Ergebnisse müssen aus der Ortsnetzseite auf die Mittelspannungsnetze übertragen und weiter erforscht werden.

Partner

VARTA Storage



Danksagung

Die Technische Universität München
dankt dem Bayerischen Staatsministerium
für Wirtschaft und Medien, Energie und
Technologie für die Förderung.

Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie



Publikationen

Fortschritt öffentlich machen

Die Technische Universität München zählt in diversen Forschungsdisziplinen zu einer der führenden Universitäten weltweit. Die effiziente und wirtschaftliche Speicherung von Strom ist eine der ambitioniertesten Herausforderungen im Zuge der Energiewende in Deutschland. Mehr als 48 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten an Lösungen zur Energiespeicherung im Rahmen von EEBatt mit Hilfe von Ortsnetzspeichern. Untersuchte Methoden, entwickelte Prototypen und erlangte Forschungsergebnisse stellen sie der Allgemeinheit durch Vorträge, wissenschaftliche Publikationen und Öffentlichkeitsarbeit zur Verfügung. Die TUM sieht in EEBatt auch einen Aus- und Bildungsauftrag. Neuste Ergebnisse des Energy Neighbor fließen direkt in die Lehre ein und Studenten lernen bereits morgen die Ergebnisse des Projektes von heute kennen.

Müller M., Jossen A.: **„Einführung in Elektrochemische Speicher“**, OTTI-Seminar Stationäre Energiespeicher in regionalen Netzen, Regensburg, 02.–03. Feb. 2015

Müller M., Jossen A.: **„Einführung in stationäre Energiespeichertechnik“**, OTTI-Seminar Stationäre Energiespeicher in regionalen Netzen, Regensburg, 02.–03. Feb. 2015

Müller M., Jossen A.: **„Ortsnetzspeicher in regionalen Netzen“**, OTTI-Seminar Stationäre Energiespeicher in regionalen Netzen, Regensburg, 02.–03. Feb. 2015

Zeh A., Witzmann R.: **„Einsatz von Solarbatterien zur Netzunterstützung“**, OTTI-Seminar Stationäre Energiespeicher in regionalen Netzen, Regensburg, 02. – 03. Feb. 2015

Meir S., Zeh A., Hirnet A.: **„Stationäre Speichersysteme für Eigenheime und Quartiere“**, Batterieforum Deutschland 2015, Berlin, 21. – 23. Jan. 2015

Müller M., Jossen A.: **„EEBatt - A Project Overview“**, Batterieforum Deutschland 2015, Berlin, 21.–23. Jan. 2015, DOI: 10.13140/2.1.3754.0161

Chang W., Pröbstl A., Goswami D., Zamani M., Chakraborty S.: **„Battery- and Aging-Aware Embedded Control Systems for Electric Vehicles“**, IEEE Real-Time Systems Symposium - RTSS 2014, Rome, Italy, 02. – 05. Dec. 2014

Müller S., Welpel I.: **„Collective ownership of energy storage and the scope for replicating this model“**, Community Energy Scotland Conference, Edinburgh, Scotland, 27. Nov. 2014

Müller M., Jossen A.: **„Dezentrale Speichersysteme in Energienetzen“**, 2. Fachtagung PV-Stromspeicherung in Gebäuden, Augsburg, 09. Oct. 2014

Rohr S., Kerler M., Burrow S., Müller M., Lienkamp M., Jossen A.: **„Risk Analysis of Lithium-Ion Energy Storage Systems in Grid Applications – a Norm-Based Approach“**, Battery Safety 2014, Washington DC, USA, October 2014, DOI: 10.13140/2.1.1132.5762

Erhard S., Wilhelm J., Osswald P., Rumpf K., Jossen A.: **„Multi-Dimensional Modelling of Lithium-Ion Cell Physics“**, Poster Presentation, Batteries 2014, Nizza, Italy, 24.–26. Sep. 2014

Zeh A., Witzmann R., Rau M.: **„Comparison of decentralized and centralized grid-compatible battery storage systems in distribution grids with high pv-penetration“**, 29th European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2014), Amsterdam, Netherlands, 22. – 26. Sep. 2014, DOI: 10.1002/pip.2566

Neelima P., Brumbarov J., Paul A., Chen Y., Moulin J.-F., Müller-Buschbaum P., Kunze-Liebhäuser J., Gilles R.: **„X-ray and neutron scattering study on self-organised anodic TiO₂ nanotubes for battery applications“**, Deutsche Tagung für Forschung mit Synchrotronstrahlung, Neutronen und Ionenstrahlen an Großgeräten 2014, Bonn, 21.–23. Sep. 2014

Paul N., Moulin J.-F., Brumbarov J., Paul A., Chen Y., Müller-Buschbaum P., Kunze-Liebhäuser J., Gilles R.: „**Untersuchungen an geordneten anodischen TiO₂-Nanoröhren für Batterieanwendungen mittels Neutronenstreuung**“, VDI-TUM Expertenforum 2014, Garching, 11. Sep. 2014

Kim J., Pröbstl A., Chakraborty S., Chang N.: „**Aging mitigation of power supply-connected batteries**“, ISLPED, 14: 233-238, La Jolla USA, 11.–13. Aug. 2014, DOI: 10.1145/2627369.2627622

Mueller SC., Sandner PG., Welpel IM.: „**Monitoring innovation in electrochemical energy storage: A patent based approach**“, Applied Energy, 28. Jul. 2014, DOI:10.1016/j.apenergy.2014.06.082

Lahlou T., Herzog H.-G.: „**EEBatt Leistungselektronik**“, MATLAB Expo, München, 9. Jul. 2014

Paul N., Brumbarov J., Paul A., Chen Y., Moulin J.-F., Müller-Buschbaum P., Kunze-Liebhäuser J., Gilles R.: „**X-ray and neutron scattering study on self-organised anodic TiO₂ nanotubes for battery applications**“, 4. MSE Kolloquium 2014, Garching, 3. Jul. 2014

Sonsaard P., Dorfner J., Hamacher T.: „**Optimization of Distribution Transformer Energy Management System with Stationary Battery and Electric Vehicle Charger**“, 4. MSE Kolloquium 2014, Jun. 2014

Müller S., Welpel I.: „**Energy (storage) cooperatives – a new ownership model for future decentralized energy systems?**“, Energy Systems Conference, London UK, 24.–25. Jun. 2014

Müller S., Sadner P., Welpel I.: „**Monitoring innovation in electrochemical energy storage technologies: A patent-based approach**“, International Conference on Applied Energy, Taipei, Taiwan, 02. Jun. 2014, DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.06.082

Müller M.: „**Zukünftige Speichersysteme in Energienetzen**“, OTTI Fachforum Wiederaufladbare Batteriesysteme, Regensburg, 06.–07. May 2014

Dorfner J., Hamacher T.: „**Large-Scale District Heating Network Optimization**“, IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, 02. Apr. 2014, DOI: 10.1109/TSG.2013.2295856

Ehrl A., Landesfeind J., Tsiouvaras N., Gasteiger H.A., Gravemeier V., Wall W.A.: „**Experimental determination of transport parameters for binary electrolyte Solutions for use in numerical simulations**“, 11th Symposium on Fuel Cell and Battery Modeling and Experimental Validation, Winterthur CH, 18.–19. Mar. 2014

Zäh M., Reinhart G., Westermeier M., Schmitz P.: „**Dezentrale stationäre Batteriespeicher zur effizienten Nutzung erneuerbarer Energien und Unterstützung der Netzstabilität**“, Mar. 2014

Rumpf K., Erhard S., Jossen A.: „**Multidimensional physicochemical-thermal FEM model for commercial 26650 LiFePO₄ cells**“, 6. Fachtagung Kraftwerk Batterie, Münster, 24.–25. Mar. 2014

Zeh A., Witzmann R.: „**Einsatz von Solarbatterien zur Netzunterstützung**“, 2. Energiespeichertagung, Umwelt-Campus Birkenfeld, 11.–12. Mar. 2014

Müller M., Bernhard R., Müller S., Kalkbrenner B., Zeh A., Witzmann R., Roosen J., Welpel I., Gasteiger H., Jossen A.: „**Stationary Energy Storage: EEBatt - Stationary Battery Research at the TUM**“, 1st Singapore Battery Meeting 2014, Singapore SG, 27.–28. Feb. 2014

Zeh A.: „**Storage & Smart Grids - Offloading the grid**“, pv magazine, Feb. 2014

Bernhard R., Meini S., Gasteiger H.A.: „**On-Line Electrochemical Mass Spectrometry Investigations on the Gassing Behavior of Li₄Ti₅O₁₂ Electrodes and Its Origins**“, Journal of The Electrochemical Society, 24. Jan. 2014, DOI:10.1149/2.013404jes

Zeh A., Witzmann R.: „**Operational strategies for battery storage systems in low-voltage distribution grids to limit the feed-in power of roof-mounted solar power systems**“, 8th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition (IRES 2013), Berlin, 18.–20. Nov. 2013, DOI: 10.1016/j.egypro.2014.01.164

Müller M.: „**Konzeption eines dezentralen stationären Energiespeichersystems – Ergebnisse aus der Marktanalyse der TU München**“, Renexpo 2013, Augsburg, 28.–29. Sep. 2013

Müller S., Welpel I.: „**Batterietechnologien im Überblick – Anwendungsmöglichkeiten und Märkte stationärer Energiespeicher**“, Renexpo 2013, Augsburg, 29.–29. Sep. 2013

Ehrl A., Landesfeind J., Lee J., Tsiouvaras N., Gasteiger H.A., Gravemeier V., Wall W.A.: „**Experimental Determination of Transport Parameters for Binary Electrolyte Solutions for Use in Numerical Simulations**“, 3. MSE Kolloquium 2013, Garching, 4. Jul. 2013

Ehrl A., Landesfeind J., Lee J., Tsiouvaras N., Gasteiger H.A., Gravemeier V., Wall W.A.: „**Towards a computational method for advanced battery systems supported by experimentally determined parameters**“, 10th Symposium on Fuel Cell and Battery Modelling and Experimental Validation (ModVal 10), Bad Boll/Stuttgart, 19.–20. Mar. 2013

Impressum

Herausgeber

TUM
Lehrstuhl für Elektrische
Energiespeichertechnik
Projekt EEBatt
Karlstraße 45
80335 München

Redaktion

Prof. Dr.-Ing. Andreas Jossen
Prof. Dr. Hubert A. Gasteiger
Marcus Müller M. Sc.
Julia Veitl
Lea Ameres
Shun Long Hong

Mitarbeit

Alle Mitglieder des EEBatt
Forschungsprojektes

Gestaltung

Schließke Markenagentur GmbH
Hofmannstraße 9
81379 München

Druck

Offsetdruck Schwarz
Rohrauerstr. 70
81477 München

Auflage

500

