

## **FVEE-Forschungsstrategie für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität**

**Der stetig steigende Anteil der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien wie Wind- und Sonnenenergie wird zukünftig vermehrt den Einsatz von elektrischen Speichern erfordern um Angebot und Nachfrage nach Elektrizität besser zur Deckung zu bringen. Zusätzlicher Bedarf erwächst aus der zu erwartenden Transformation des mobilen Sektors hin zum Elektro- und Hybridfahrzeug. Hierbei werden sowohl elektrochemische Speicher wie Batterien als auch Superkondensatoren und Brennstoffzellen zum Einsatz kommen.**

**Die Forschung und Entwicklung von elektrischen Energiespeichern ist in Deutschland lange vernachlässigt worden. Um den dadurch entstandenen Rückstand aufzuholen, müssen große Anstrengungen unternommen werden. Dabei liegen die Herausforderungen in der raschen Entwicklung von kostengünstigen Speichern mit hoher Energie- und Leistungsdichte sowie langer Lebensdauer. Für die nächste Generation elektrochemischer Energiespeicher ist eine Intensivierung der Forschung im Bereich Materialien und Zellchemie notwendig, um signifikant höhere Speicherdichten zu schaffen.**

### **Einführung**

Elektrische Stromspeicher haben eine Schlüsselrolle bei der Nutzung regenerativer Energiequellen, da sie aufgrund ihres hohen Energiewirkungsgrades optimal zur Pufferung von fluktuierenden regenerativen Stromquellen wie Photovoltaik oder Windenergie geeignet sind. Sie fangen Spannungsschwankungen ab, erlauben die Nutzung kabelloser oder netzunabhängiger Bauelemente und gewährleisten damit zum Beispiel Mobilität auf der Basis elektrischer Energie. Die elektrochemische Stromspeicherung in Batterien, ergänzt durch Kondensatoren bekommt eine zunehmende Bedeutung für die sich entwickelnde nachhaltige Energiewirtschaft

Die zurzeit massiv vorangetriebene Entwicklung von Elektrofahrzeugen eröffnet darüber hinaus langfristig die Möglichkeit, eine elektrifizierte Fahrzeugflotte als großes dezentrales Stromspeicherwerk einzusetzen. Dafür müssen Verknüpfungen der Elektrifizierung des Mobilitätssektors mit der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien geschaffen werden. Denn zum einen können erneuerbare Energien einschließlich der Nutzung von Brennstoffzellen den Energiebedarf zukünftiger Mobilität prinzipiell vollständig decken, zum anderen kann langfristig die Einbindung der Elektromobilität in das Netzmanagement zur optimalen Integration stetig wachsender Mengen fluktuierender Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien beitragen. So eignen sich sowohl Batterien (in Kombination mit Superkondensatoren) in Fahrzeugen als auch elektrolytisch erzeugter Wasserstoff zur Betankung von Brennstoffzellenfahrzeugen für ein intelligentes Lastmanagement und damit für eine optimale Nutzung der vorhandenen erneuerbaren Energieressourcen.

### **Strategische Forschungs- und Entwicklungsziele**

Genereller Nachteil heutiger Batterien ist, dass sie nur eine relativ kleine Menge Energie pro Volumen oder Gewicht speichern können und relativ kurze Lebensdauern besitzen. Die Speicherdichten sind im Vergleich zu bekannten flüssigen Treibstoffen mehr als eine Größenordnung geringer. Zuverlässige, langlebige und sichere Speichersysteme sind aber eine Voraussetzung für ihren erfolgreichen Einsatz im Bereich elektrischer Energiesysteme. Die Anforderungen an künftige Batterien sind dabei je nach Anwendung und Einsatzprofil sehr hoch: Einsatzfähigkeit bei Umgebungstemperaturen von minus 30°C bis plus 50°C, Lebensdauern von mehr als 10 Jahren, Stabilität der Speicherkapazität über möglichst viele Be- und Entladezyklen, hohe Leistungsdichten, d.h. kurze Lade- und Entladezeiten, und unter allen Bedingungen eine extrem hohe Betriebssicherheit.

## **FVEE-Forschungsstrategie für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität**

Die heute eingesetzten großskaligen Batteriesysteme – einige 10 kWh für Batteriefahrzeuge bis einige 10 MWh für Batteriespeicherwerke – haben eine relativ geringe Energiedichte. Sie beruhen auf Zellen verschiedener Materialkombinationen wie Nickel-Metallhydrid, Nickel-Cadmium, Blei-Säure, Natrium-Schwefel und Vanadium-Redox-Zellen. Letztere sind weltweit aber nur von wenigen Herstellern in geringen Stückzahlen und nur im Kilowattstunden-Bereich verfügbar.

Kleinskalige Batteriesysteme für portable Anwendungen (1-100 Wh für Handys, Laptops etc.) sind dagegen in den letzten 10 Jahren durch den nahezu vollständigen Übergang auf Lithium-Ionen-Zellen mit höherer Energiedichte geprägt.

**Um auch große elektrische Speicher für stationäre und mobile Anwendungen möglichst schnell alltagstauglich zu machen, besteht die Herausforderung der aktuellen Batterieentwicklung in der Übertragung der so genannten „Lithium-Revolution“ auf großskalige industrielle Batteriesysteme mit hoher Energiedichte.**

**Für kostengünstige große stationäre Speicher auf Basis der Redox-Flow Technologie besteht die Herausforderung darin, die im Kilowattstunden-Bereich prototypisch existierende Technologie in die Megawattstunden-Klasse hoch zu skalieren.**

Vor allem bei den stationären Systemen ist eine häufige Aufgabenstellung das Engineering von Komponenten, die maßgeschneidert sind für spezielle Anwendungen, welche dann meist aber aus Kostengründen nicht in ausreichenden Stückzahlen für diese Anwendungen bereitgestellt werden können. Um schnell und kosteneffizient Lösungen hierfür zu finden, ist es notwendig, möglichst flexibel einsetzbare Komponenten zu entwickeln, wie Module, elektrische und hydraulische Verbinder und eine rechnerbasierte Steuerung dieser modularen Systeme. Häufig sind die gestellten Anforderungen ähnlich, aber die Kapazität oder die Systemspannung müssen flexibel angepasst werden können. Diese Strategie würde einen großen potentiellen Markt erschließen.

Während Hybrid-Fahrzeuge schon kommerziell verfügbar sind und Brennstoffzellen-Fahrzeuge seit Jahren in Flotten getestet werden, steht die Vermarktung von Batterie-Elektrofahrzeugen noch ganz am Anfang. Aufgrund der eingeschränkten Energiedichte der Batterie und der damit sehr geringen Reichweite, sowie den derzeit noch hohen Kosten muss sich der Markt für diese relativ kurzfristig verfügbaren reinen Stadtfahrzeuge erst noch entwickeln.

**Eine Kostensenkung in allen Bereichen der elektrochemischen Energiespeicher ist daher ein zentrales Ziel.**

### **I. Elektrochemische Stromspeicherung für stationäre Anwendungen**

Stationäre Stromspeicher werden beim weiteren relativ schnellen Ausbau von erneuerbaren Energien benötigt für den Ausgleich zwischen Energieangebot und Energienachfrage und für eine Vergleichmäßigung der Einspeisung von erneuerbaren Energien in das Netz, wenn beispielsweise die Grenzen der Aufnahmekapazität der Netze erreicht sind. Letzteres erlaubt in Inselsystemen, aber auch in Verbundnetzen, eine Anpassung des erneuerbaren Energieangebots an den aktuellen Energiebedarf. So kann beispielsweise die Integration eines Speichers in ein Versorgungsobjekt mit einer dezentralen PV-Anlage sowohl aus technischer als auch aus ökonomischer Sicht sinnvoll sein, beispielsweise wenn Eigenverbrauch gegenüber Einspeisung in das öffentliche Stromnetz begünstigt wird. Mit der durch die Bundesregierung verstärkt geförderten Eigennutzung photovoltaischen Stroms wird sich die Nachfrage nach individuellen Stromspeicherlösungen in Deutschland verstärken. Dezentrale elektrische Speicherung beim Kunden kann aber auch dann schon sinnvoll sein, wenn gespeicherter Strom preiswer-

## **FVEE-Forschungsstrategie für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität**

ter ist als Spitzenstrom. Derartige Kostenreduktionspotenziale können nutzbar werden, wenn in Deutschland ab 2011 die Neufassung des Energiewirtschaftsgesetzes in Kraft tritt, die zeit- und lastvariable Stromtarife erlaubt.

In Schwellen- und Entwicklungsländern, aber auch in Ländern mit Netzstrukturen, wie sie beispielsweise in den USA oder Japan anzutreffen sind, werden Systemlösungen von erneuerbaren Energien mit Stromspeichern besonders wichtig. Es zeichnet sich ab, dass eine weltweite erneuerbare Energienvermarktung im Gigawatt-Maßstab nur über Systemlösungen mit integrierter Speicherung möglich ist. Die Erschließung dieser Märkte ist folglich nur dann möglich, wenn neben dezentralen Speichern im kWh Bereich für kleine autonome Systeme und dezentrale netzgekoppelte erneuerbare Energien-Systeme auch Speichersysteme im MW (Netzstabilisierung) und MWh-Bereich (Kompensation von Zeiten ohne erneuerbare Energien-Erzeugung) für erneuerbare Energien-Kraftwerke zur Verfügung stehen. Letztere werden auch für große Inselnetze benötigt, die heutzutage meist von Dieselgeneratoren versorgt werden und aufgrund mangelnder Speicherlösungen höchstens zu einem geringen Prozentsatz mit erneuerbaren Energien hybridisiert sind. Sollen folglich deutsche erneuerbare Energie-Technologien international eine große Verbreitung finden, müssen auch entsprechende Speicherlösungen angeboten werden können.

Eine Zusammenarbeit mit der Autoindustrie, die eigene Batterieproduktionskapazitäten aufbaut, ist auf dem Gebiet der Batteriesysteme insbesondere deshalb vorteilhaft, weil der Markt für Batterien im Bereich der PV-Systeme (netzunabhängig und netzgekoppelt) bereits existiert. Der Absatzmarkt im Bereich der Elektromobilität muss erst mit der Produktion von E-Fahrzeugen und der Sicherung der Nutzerakzeptanz geschaffen werden.

### **Smart Grids als Ergänzung und Alternative zur Speicherung**

Da Speicherung und Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen immer mit zusätzlichen Kosten und Verlusten verbunden ist, sollten besonders die Potenziale des Energiemanagements ausgeschöpft werden, die eine Verschiebung des Verbrauchs in Zeiten erlauben, in denen die Einspeisung durch fluktuierende Erzeuger hoch ist. Allerdings lassen sich dadurch in der Regel nur Lastverschiebungen von wenigen Stunden bis maximal wenigen Tagen erreichen, weshalb zum saisonalen Ausgleich dieser Einspeisung zusätzliche Speicherkapazitäten notwendig sein werden.

Im elektrischen Verbundnetz können die Fluktuationen der Einspeisung aus Wind- und PV-Anlagen durch großräumige Verteilung sowie dezentrales Energiemanagement ausgeglichen werden. Neue Potenziale bestehen hier vor allem beim Lastmanagement sowie bei der Regelung dezentraler Erzeugungsanlagen, die Biomasse und/oder Kraftwärmekopplung nutzen.

Forschungsbedarf besteht hier vor allem hinsichtlich der Erschließung der Managementpotenziale bei unterschiedlichen dezentralen Verbraucher- und Erzeugergruppen sowie der Weiterentwicklung geeigneter Regelungs- und Anreizmodelle, um ein optimales Zusammenspiel mit den erneuerbaren Erzeugern sicherzustellen.

## **Forschungs- und Entwicklungsbereiche**

### **Batteriesysteme für stationäre Anwendungen**

Im Vordergrund steht die Entwicklung von kostengünstigen Batteriesystemen für PV-Anwendungen mit einer kalendarischen Lebensdauer von bis zu 20 Jahren und einer Zyklendifestigkeit von über 7200 Zyklen. Dazu ist ein detailliertes Verständnis der wesentlichen Alterungs-

## **FVEE-Forschungsstrategie für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität**

mechanismen erforderlich. Auf dieser Basis lassen sich Alterungsmodelle generieren, die auch für systemtechnische Fragestellungen eingesetzt werden können. Ziele sind ein optimiertes Zelldesign, optimierte Moduldesigns und Batteriesysteme inklusive eines optimierten Batteriemanagements. Wichtige Punkte sind dabei die Aufbau- und Verbindungstechniken sowie ein möglichst hochautomatisierter Produktionsprozess, sowohl auf Zell- als auch Modul/-Systemebene dar (analog zur PV-Modulproduktion).

- **Redox-Flow-Batterien für stationäre Anwendungen im Megawattstunden-Maßstab**

Entwicklung von optimierten Stackdesigns und Aufbau von großen Stacks für Redox-Flow-Batterien, die eine kostengünstige und zuverlässige Realisierung von Systemen im Megawattstundenbereich ermöglichen. Des Weiteren sind systemische Punkte wichtig, dazu gehören: Optimierung des Anlagenaufbaus, Tankkonzepte und Verschaltung, Reduzierung des Leistungsbedarfs der Peripherie, Batteriemangement mit optimierten Betriebsführungs- sowie Lade- und Entladestrategien. Ferner müssen Konzepte zur optimierten Integration von in PV- und Windparks entwickelt werden.

### **Materialforschung**

Kathoden-, Anoden- und Elektrolytmaterialien haben einen entscheidenden Einfluss auf die Eigenschaften des elektrischen Speichers. Ob Energie- oder Leistungsdichte, Kosten oder Lebensdauer, Sicherheit oder Tieftemperatureigenschaften – die Auswahl und Kombination der Materialien bestimmt die Charakteristika der Zellen. Im Vordergrund zukünftiger Forschungs- und Entwicklungs-Aktivitäten steht die Erhöhung der Energiedichte durch neue Elektrodenmaterialien. Abhängig von der Anwendung sind die eingesetzten Materialien und Komponenten z. T. auch hinsichtlich Energie- **und** Leistungsdichte auszulegen.

Für Batteriesysteme der nächsten Generation kommen zum Beispiel Lithium-Luft- oder Lithium-Schwefel-Zellen in Frage. Diese ermöglichen eine Steigerung der Energiedichte um einen Faktor 2-5 im Vergleich zu heutigen Lithium-Ionen-Zellen. Die Lücke zwischen Speichern mit hoher Leistungsdichte und hoher Energiedichte könnte auch durch Hybridsysteme geschlossen werden, bei denen Batterie- und Superkondensatorfunktionalitäten makroskopisch oder mikroskopisch kombiniert und aufeinander abgestimmt sind. Die Entwicklung entsprechender Elektroden findet heute im Labormaßstab statt. Bei der Materialoptimierung werden die Funktionseigenschaften und die zukünftigen Anwendungsbereiche berücksichtigt.

### **Systemtechnik**

Neben der Suche nach kostengünstigen und leistungsfähigen Materialien kommt der Batteriesystemtechnik eine entscheidende Rolle zu. Hierzu gehört der Aufbau von Batteriemodulen und Batteriesystemen. Es müssen beispielsweise Fragen geeigneter Verbindungstechniken gelöst werden, die einerseits einen zuverlässigen Betrieb gewährleisten und andererseits in großem Maßstab produzierbar sind. Während es heute bereits Produktionslinien für Lithiumzellen gibt, besteht im Modulbau und in der Fertigung von Batteriesystem noch enormer Entwicklungsbedarf, um einen hochautomatisierten Produktionsprozess von der Zelle bis zum System zu realisieren. Weitere wichtige Themen sind Lade-/ Entladestrategien, ein gutes Wärmemanagement und eine Sicherheitsüberwachung für alle denkbaren Betriebszustände und Fehlerfälle. Damit Batterien – von der Zelle bis zum kompletten Batteriesystem – hinsichtlich ihrer Sicherheit und ihrem Betriebsverhalten überprüft werden können, bedarf es umfangreicher und sehr spezieller Prüfeinrichtungen. Hierzu gehören eine Vielzahl elektrischer, mechanischer und thermischer Tests auf der Basis bestehender oder noch zu entwickelnder Normen und Prüfvorschriften.

## **FVEE-Forschungsstrategie für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität**

### **Recycling**

Neben der Leistungs- und Energiedichte spielt auch die Recyclingfähigkeit der unterschiedlichen Materialien und Systeme in der Praxis eine zunehmend wichtige Rolle. Vor allem Lithium ist eine begrenzte Ressource. Es muss daher in einen technologischen Recyclingprozess gebracht werden

## **II. Elektrochemische Stromspeicherung für Elektromobilität**

Der Verkehr ist in Deutschland für etwa 20% der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Dabei ist der Individualverkehr, also PKW- und LKW-Verkehr, mit etwa 80% der Hauptverursacher. Der Durchschnittsverbrauch an fossilen Treibstoffen pro Fahrzeug ist zwar in den letzten Jahren gesunken, weltweit steigt aber die Gesamtzahl der Fahrzeuge von derzeit etwa 900 Millionen weiter an und damit auch der Verbrauch an fossilen Energien und die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Dies erfordert neue Wege der Mobilität. Die Bundesregierung hat das erkannt und unterstützt mit ihrem "Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität" die Entwicklung von Technologien für batterie- und brennstoffzellengestützte Elektrofahrzeuge. Beiden gemeinsam sind der extrem energieeffiziente Elektroantrieb sowie die Möglichkeit, die Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen wie Sonnen- oder Windenergie zu leisten.

Unter dem Begriff "Elektromobilität" wird eine Vielzahl von technischen Systemen zusammengefasst: vom Full-Hybrid-System und den Plug-In-Hybrid – die jeweils eine Kombination des konventionellen Verbrennungsmotors mit einem Elektromotor darstellen – bis hin zum reinen Elektroantrieb, bei dem der Strom für Personenkraftwagen, leichte Nutzfahrzeuge, Stadtbusse und Zweiräder entweder aus der Batterie kommt oder über eine Brennstoffzelle bereit gestellt wird. Zur effizienten Auslegung eines Gesamtsystems ist häufig der Einsatz von Superkondensatoren, z.B. beim regenerativen Bremsen, sinnvoll.

Da heutige Batterien nur eine relativ kleine Menge an Energie pro Volumen oder Gewicht speichern können, sind die Reichweiten solcher Elektrofahrzeuge noch auf etwa 150-200 km begrenzt. Dennoch sind solche Fahrzeuge für viele Anwendungen ausreichend, da die meisten der täglichen Fahrten relativ kurz sind; etwa die Fahrt zur Arbeitsstätte oder zum Supermarkt. Sie sind deshalb ideal als Pendler-, Zweit- oder Stadtfahrzeug.

Für Fahrzeugnutzer, die weitere Strecken zurück legen müssen, eignen sich allerdings so genannte Plug-In-Hybride (PHEV)<sup>1</sup> bzw. Elektrofahrzeuge mit Range Extender besser. Diese Fahrzeuge besitzen neben einem Elektroantrieb noch eine Verbrennungsmaschine, so dass diese bei leerer Batterie zugeschaltet werden kann. Im fortgeschrittensten Fall fungiert der Verbrennungsmotor nur als Antrieb für die Stromerzeugung zur Ladung der Batterie. Dies ermöglicht eine besonders einfache Fahrzeugkonstruktion ohne mechanische Verbindung zwischen Verbrennungsmotor und Rädern.

### **Forschungs- und Entwicklungsbereiche**

Es ist heute noch unklar, welche elektrischen Speichersysteme im Hinblick auf verschiedene Nutzungskonzepte im stationären oder mobilen Bereich sich eines Tages durchsetzen werden.

Sicher ist, dass es nicht nur eine Batterietechnologie sein wird, sich daher vielmehr eine Reihe von Batteriesystemen für unterschiedliche Anwendungen etablieren werden. Dazu gehören aus heutiger Sicht Lithiumbatterien und Redox-Flow-Batterien, die Bleibatterie wird aber

---

<sup>1</sup> PHEV – plug in hybrid electric vehicle

## **FVEE-Forschungsstrategie für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität**

nicht vollständig verschwinden. Aus heutiger Sicht muss daneben die Natriumsulfid (NaS)-Batterie mit aufgelistet werden. Lithium-Luft und Lithium-Schwefel Batterien werden als Batterien der nächsten Generation gehandelt.

**Es ist wichtig, dass nicht einseitig auf eine Batterietechnologie gesetzt wird, sondern potenziell in Frage kommende Technologien zielführend unter Berücksichtigung ihrer Stärken für die unterschiedlichen Anwendungsgebiete weiter entwickelt werden.**

Es ist folglich notwendig, verschiedene Systeme parallel zu erforschen und weiter zu entwickeln, denn es ist heute schon absehbar, dass sich elektrische und elektrochemische Systeme mit unterschiedlichen Material- und systemtechnischen Eigenschaften entwickeln werden. Dabei sind viele ungelöste Probleme unabhängig vom Anwendungsbereich sehr ähnlich, weil die Basistechnologien ähnlich sind. Erst bei systemtechnischen Optimierungen spaltet sich das Feld auf.

- **Batterien**

Entwicklung von Zellen und Batteriesystemen auf Basis heute bekannter Technologien. Dabei muss der Schwerpunkt vor allem auf Energie- und Leistungsdichte, hohe Lebensdauer, sicherer Betrieb und niedrige Herstellkosten gelegt werden. Technologieentwicklung und Herstellungsprozesse müssen auf Zellebene und Systemebene hinsichtlich der Kosten und des Ressourceneinsatzes optimiert werden. Parallel dazu ist es nötig, an neuen, heute zwar bekannten aber noch im Forschungsstadium befindlichen elektrochemischen Systemen zu arbeiten. Ziel ist es mit diesen Systemen mittelfristig eine weitere signifikante Steigerung der Leistungsdichten um einen Faktor 2 bis 5 zu realisieren.

- **Superkondensatoren als Systemkomponenten**

Superkondensatoren können Systeme mit geringen Leistungsdichten so ergänzen, dass auch kurzfristig hohe Leistungen umgesetzt werden können. Dies ermöglicht oft eine besonders günstige Systemauslegung. Auch in Fahrzeugen des öffentlichen Nahverkehrs können solche Systeme besonders vorteilhaft sein. Aufgrund der kurzen Fahrabschnitte können zum Beispiel bei Straßenbahnen Superkondensatoren als ultraschnelle Kurzzeitspeicher eine sehr große Rolle spielen und sogar zur Hauptspeicherkomponente gegenüber Batterien werden. Erste Prototypen sind bereits im Einsatz. Eine breite Einführung erfordert allerdings eine weitere Steigerung der Energiedichten bei an die Anwendung angepassten Leistungsdichten.

- **Systemtechniken und Systementwicklungen**

Ebenso wichtig wie Zelle und Batterie ist die optimale Auslegung des Systems. Die optimierte Verschaltung von Zellen zu Modulen und von Modulen zu Batteriesystemen, das mechanische und thermische Design des Systems und Batterie- und Energiemanagementsysteme sind speziell im Fahrzeug von entscheidender Bedeutung. Entwickelt werden müssen aber auch hocheffiziente und kompakte Umrichter um die Energie möglichst verlustarm vom Netz ins Fahrzeug und zurück zu bringen. Weitere Aspekte sind Ladeinfrastruktur und die Fahrzeug-Netzchnittstelle mit den Aspekten Identifikation, Metering, Abrechnung und Kommunikation (zwischen Fahrzeug, Netz und Nutzer).

**Intensive Forschungsarbeiten sind nötig, um ein optimales Zusammenspiel von Batterie und anwendungsbezogenem Energiesystem zu entwickeln:**

- Analytische Untersuchung von elektrischen Energiespeichern und -speicherkomponenten, Charakterisierung des Systemzustandes (Ladezustand, Alterung)
- Berechnung der Systemleistungsfähigkeit inklusive mathematische Modellierung und Simulation der Systeme und Komponenten.

## **FVEE-Forschungsstrategie für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität**

- Entwicklung von Alterungsmodellen, die einerseits die relevanten Mechanismen abbilden und andererseits für die Systemsimulation geeignet sind, um Systeme und ihre Komponenten über ihre Lebensdauer und unter verschiedenen Umweltbedingungen analysieren und bewerten zu können.
- Entwicklung eines Gesamtenergiemanagements im Elektrofahrzeug, das ein thermisches Management einschließt: aufeinander abgestimmte Hybridsysteme mit Superkondensatoren für optimale Auslegung bzgl. Leistungs- und Energiedichte, Erwärmung von E-Fahrzeugen allein mit Strom (Innenraum, Fenster und Scheibenheizung).
- Kernelement der Elektromobilität sind neben dem Batteriespeicher und dem Elektromotor leistungselektronische Komponenten. Diese werden als Antriebsumrichter zwischen Batterie und Elektromotor sowie als Ladegerät zwischen Batterie und Netz eingesetzt. Hier besteht ein hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, denn künftige leistungselektronische Komponenten im Elektrofahrzeug erfordern hohe Leistungsdichten und gleichzeitig hohe Wirkungsgrade.

Die sich abzeichnende große Vielfalt von Elektro-Batterie-Systemen – jeweils angepasst an die Anforderungen verschiedener Anwendungen – erschwert eine Kostendegression durch Massenfertigung. Die Entwicklung einer Modularität kann einen Ausweg bieten, um unterschiedliche Systeme aus Masseneinzelementen zusammensetzen. Notwendig sind:

### **Sicherheitstechniken**

Herausforderung an die Sicherheitstechnik von Lithium-Batterien ist die unbedingte Vermeidung eines „thermischen Durchgehens“. Gleichzeitig soll aber eine Schnellladefähigkeit der Zellen ermöglicht werden. Dies erfordert ein detailliertes Verständnis der thermochemischen Mechanismen, eine optimale Auslegung des thermischen Managements, sowie die Entwicklung von thermisch stabilen Elektrodenmaterialien. Diese Fragestellungen werden im Zusammenspiel von detaillierten Simulationen mit experimentellen Messungen untersucht:

- Untersuchung des Verhaltens von Energiespeichersystemen, unter verschiedenen Betriebsbedingungen sowie bei Fehlbedienung und in Unfallsituationen.
- Mit einer zukünftigen Erhöhung der Energiedichte durch neue Elektrodenmaterialien und neue Batteriesysteme um einen Faktor 2-5 in einem Elektroauto vergrößern sich auch die Anforderungen an die Sicherheitstechniken: Es müssen Fehlerstromkonzepte entwickelt werden.
- Wichtig ist vor allem, die Möglichkeiten und Grenzen der Absicherung durch die Systemtechnik aus zu analysieren und so für verschiedene Batteriechemien und Anwendungen passende Lösungen zu konzipieren. Es gilt zu vermeiden, dass durch das Sicherheitskonzept Batteriechemien mit hoher theoretischer Energiedichte durch die Sicherheitsmaßnahmen auf technische Kenngrößen konventioneller Technologien reduziert werden.

### **Integration von Elektrofahrzeugen ins Stromnetz**

Für eine breite Einführung von batterieelektrischen Fahrzeugen (Ziel der Bundesregierung sind 1 Mio. Fahrzeuge in 2020) ist die Entwicklung von intelligenten Ladestationen ein wesentliches Element. Über die Ladestationen werden die elektrischen Speicher an Bord der Fahrzeuge mit dem Stromnetz – und so mit regenerativ erzeugtem Strom – verknüpft. Dabei kann die Fahrzeugbatterie auch für die Rückspeisung von Strom ins Netz genutzt werden

- Diese Schnittstelle muss untersucht und optimiert werden

## **FVEE-Forschungsstrategie für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität**

### **Schlussfolgerungen**

Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE) sieht in der Elektromobilität und in der Entwicklung kostengünstiger und zuverlässiger stationärer Stromspeicher – dezentral (kWh-Bereich), zentral (MWh-Bereich) – für Deutschland die Chance, ökonomisch und ökologisch in eine neue Dimension vorzustoßen. Mit dem notwendigen Technologiewandel im Mobilitätssektor sollte die Chance ergriffen werden, unser heutiges Energiesystem nicht nur anzupassen, sondern strukturell zu transformieren.

Diese Transformation führt in der Gesamtbilanz langfristig zu einem geringfügig höheren Strombedarf, der jedoch aus heimischen erneuerbaren Energiequellen gedeckt werden kann. Zudem haben Elektroantriebe ungleich höhere Wirkungsgrade und sind bei der Nutzung der erneuerbaren Energie nicht nur lokal, sondern auch über die gesamte Energiekette emissionsfrei, bzw. emissionsneutral. Um diese Vorteile nutzen zu können, müssen jetzt die Voraussetzungen für den viele Jahre dauernden Einstieg in das Zeitalter der Elektromobilität geschaffen werden.

**In diesem Sinne ist die Notwendigkeit der parallelen Weiterentwicklung der elektrischen Energiespeicher (Batterietechnologie) und der Brennstoffzellentechnologie zu betonen, denn nur über die Erschließung beider Technologiepfade sind die Transformation des Mobilitätssektors und eine internationale Technologieführerschaft möglich.**

**Es gilt, die durch die Bundesregierung bereits initiierten Förderprogramme unter Beteiligung von Forschung und Industrie zu verstetigen und in einem ganzheitlichen Ansatz in einen strategischen Vorteil für die deutsche Wirtschaft zu transferieren.**

Aus Sicht des FVEE kann gerade aufgrund der Vielzahl der beteiligten Akteure aus Ministerien, Politik, Industrie und Forschung und Entwicklung nur die gemeinsame, konsequente Verfolgung eines in sich geschlossenen Konzeptes zum Erfolg führen.

**Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien begrüßt daher die durch Bundesregierung geplante „Nationale Plattform Elektromobilität“, die zu einer bundesweiten koordinierten Förderung der Elektromobilität führen soll.**

Denn es besteht dringender Nachholbedarf, wenn aus der Elektromobilität in Deutschland eine Erfolgsgeschichte werden soll und Deutschland nicht nur seinem Ruf als einer führenden Automobilnation gerecht werden, sondern auch nachhaltig die bestehenden Arbeitsplätze und die Zukunft der Automobilbranche sichern will.

**Das zukünftige Elektroauto wird aus einer technologischen Kombination von Brennstoffzellen, Batterien und Superkondensatoren bestehen, dessen Versorgung aus verschiedenen erneuerbaren Energiequellen kommen kann und mit einem Wirkungsgrad von 80% sehr energieeffizient ist.**

Die Batterie wird auch in einer Welt mit Brennstoffzelle gebraucht. Sie wird helfen, die Leistungsanforderungen an eventuelle Brennstoffzellenantriebe zu vergleichmäßigen und ermöglicht die Pufferung zurück gewonnener Bremsenergie.

Um den Rückstand in der Batterieforschung aufzuholen, ist eine kontinuierliche und langfristige Forschungsförderung sowohl im Grundlagenbereich als auch im systemtechnischen Bereich notwendig. Die Konzepte der Brennstoffzelle und der Batterie sind gleichwertig zu behandeln. Der FVEE bietet mit seinen Forschungs- und Entwicklungsnetzwerken insbesondere bei der Materialforschung sehr gute Voraussetzungen, um auch im Bereich der Elektromobilität eine Spitzenstellung zu erarbeiten.



## **FVEE-Forschungsstrategie für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität**

Die **Zeiteinschätzung des FVEE** für verschiedene Entwicklungsstadien der Elektromobilität bis zur Serienreife sind folgende:

- Reines Elektroauto: Fahrzeuge ausländischer Hersteller ab 2011, deutsche Hersteller ab 2013
- Brennstoffzellenfahrzeuge für Reiselimousinen und Busse: **etwa ab 2015**
- Plug-In-Hybridfahrzeuge sind kurzfristiger realisierbar und dienen als Brückentechnologie für eine Markteinführung der Elektroautos: **ca. 2 - 5 Jahre**
- Kommerzialisierung eines reinen Elektroautos: Brennstoffzellen für Reiselimousinen und Busse sowie batterieelektrische Stadtfahrzeuge: **mindestens 5 Jahre**

**Dafür sind günstige forschungspolitische Rahmenbedingungen notwendig:**

- Verstetigung der im Konjunkturprogramm II gestarteten Aktivitäten
- Förderung langlebiger und kostengünstiger Batterien und Hybridsysteme (Batterie/ Superkondensator) für dezentrale PV-Systeme mit intelligenter Netzanbindung
- Förderung der Wasserstoffherzeugung und Speicherung in Kopplung mit Windkraftanlagen

### **Forschungsprofil des FVEE für Stromspeicherung, Kompetenzen und Expertisen**

Der FVEE bietet mit seinen Mitgliedsinstituten und deren internationalen Netzwerken ideale Voraussetzungen, sich in weiten Bereichen der Elektromobilität eine Spitzenstellung zu erarbeiten und stellt einen kompetenten Forschungs-Entwicklung-Partner für die deutsche Industrie dar.

Im Folgenden werden die Komponenten und Expertisen im FVEE vorgestellt:

**Neue Batteriematerialien:** Grundlegendes Verständnis mikroskopischer Prozesse und Entwicklung neuer Materialien und Systemkomponenten:

- Synthese neuer Elektrodenmaterialien und Materialkombinationen – ZAE, ZSW
- Synthese neuer Materialien für Anoden, Kathoden und Elektrolyte, zum Verständnis von Transport- und Grenzflächeneigenschaften, – FZ Jülich
- Modellierung elektrochemischer Materialeigenschaften und strukturelle Charakterisierung – DLR, ZAE
- Nanotechnologische Verfahren und Materialherstellung – ZSW, ZAE Bayern

**Neue Batteriekonzepte und Zelltechnologie**

- Neue Zellkonzepte und Fertigungstechnologien – ZSW
- Lithiumbatterien der nächsten Generation (Lithium-Schwefel, Lithium-Luft) – DLR, ZSW
- Superkondensatoren – ZAE Bayern
- Entwicklung von Redox-Flow-Batterien – ZAE Bayern, ZSW, Fraunhofer ISE

**Alterungsmechanismen**

- Alterung, Zyklisierbarkeit und Lebensdauervorhersage – DLR, ZSW, Fraunhofer ISE

**Batteriesystemtechnik, Systemsicherheit und Testverfahren**

- Systemtechnologien, Modellierung und Simulation – ZSW, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES
- Systemintegration – FZ Jülich
- Leistungselektronik – Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES

## **FVEE-Forschungsstrategie für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität**

- Thermisches Management – DLR
- Erprobung im Feld, Rückkopplung an Forschung und Entwicklung – ZSW, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES
- Test von Zellen-Modulen und Batteriesystemen und Optimierung von elektrischen Komponenten – Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES, ZSW
- Leistungs-, Lebensdauer-, Umwelt- und Sicherheitstests – ZSW, DLR
- Gesamtenergiemanagement im Elektroauto – Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES
- Fraunhofer-Systemforschung Elektromobilität (FSEM) – Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES
- Aufbau von Batteriemodulen -systemen und Batteriemanagementsysteme – Fraunhofer ISE

### **Systemanalyse und Netzintegration – Smart Grids**

- Flottenversuch Elektromobilität Fahrzeug-Netz-Schnittstelle – Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES
- Standardisiertes Kommunikationsprotokoll – Universal Energy Supply Protocol (UESP) – Fraunhofer ISE
- Standardisierte Netzschnittstelle – Open Gateway Energy Management Alliance (OGEMA) – Fraunhofer IWES
- Umrichter und Ladestationen für Elektrofahrzeuge – Fraunhofer ISE
- Identifikations-, Metering-, Abrechnungs- und Kommunikationslösungen für Elektrofahrzeuge – Fraunhofer ISE
- Kontaktlose Ladeverfahren – Fraunhofer IWES
- Optimierte hybride PV-Mini-Grids – Fraunhofer ISE – Fraunhofer IWES
- Energiemanagement – Fraunhofer IWES, Fraunhofer ISE
- Integration von Stromspeichern in autonome und Inselnssysteme – Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES
- Dezentrale Netzdienstleistungen mit Batterien – Fraunhofer IWES
- Systemanalyse, Technikfolgen-Abschätzung und Politikberatung – ZSW, FZ Jülich

## **ForschungsVerbund Erneuerbare Energien**

**Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE) ist eine bundesweite Kooperation von Forschungsinstituten. Die Mitglieder erforschen und entwickeln Techniken für erneuerbare Energien und deren Integration in Energiesysteme, für Energieeffizienz und für Energiespeicherung. Mit etwa 2000 Mitarbeitenden repräsentiert der FVEE rund 80% der Forschungskapazität für Erneuerbare in Deutschland und ist das größte koordinierte Forschungsnetzwerk für erneuerbare Energien in Europa.**

### **Mitgliedsinstitute:**

**DLR** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft Zentrum Köln-  
Porz

**Forschungszentrum Jülich**

**Fraunhofer IBP** Fraunhofer-Institut für Bauphysik

**Fraunhofer ISE** Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

**Fraunhofer IWES** Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik in Kassel und  
Bremerhaven

**GFZ** Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum

# FVEE-Forschungsstrategie für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität

**HZB** Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie

**ISFH** Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln/Emmerthal

**IZES** gGmbH Institut für ZukunftsEnergieSysteme

**ZAE** Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.

**ZSW** Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden Württemberg Gemeinnützige Stiftung

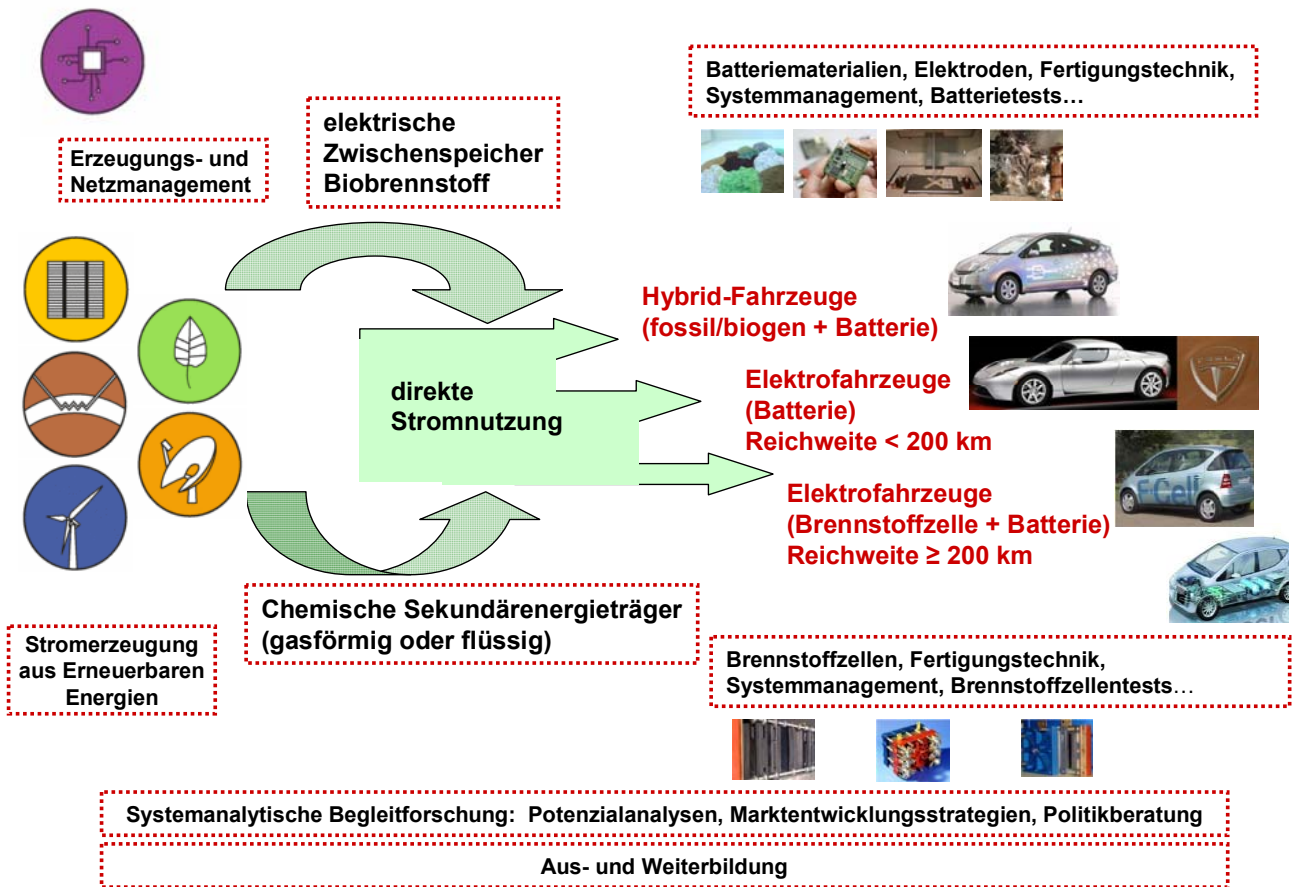


Abb. 1: Übersicht über die Nutzung elektrischer Speicher und Brennstoffzellen für stationäre und mobile Anwendungen