

Zusammenfassung

Der stetig steigende Anteil der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien wie Wind und Sonne wird zukünftig vermehrt den Einsatz von stationären elektrischen Speichern erfordern, um Angebot und Nachfrage von Elektrizität besser zur Deckung zu bringen. Zusätzlicher Bedarf erwächst aus der zu erwartenden Transformation des mobilen Sektors hin zu Elektro- und Hybridfahrzeugen.

Für beide Bereiche – die stationären und mobilen Anwendungen – werden elektrochemische Speicher wie Batterien und Akkumulatoren zum Einsatz kommen; in diesem Papier wird der Begriff Batterie als Synonym für beide Speichersysteme verwendet.

Die Erforschung und Entwicklung von elektrischen Energiespeichern ist in Deutschland lange vernachlässigt worden. Um den dadurch entstandenen Rückstand aufzuholen, müssen große Anstrengungen unternommen werden.

Der Forschungsbedarf liegt 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. Intensive Forschungsarbeiten sind auch nötig, um ein optimales Zusammenspiel von elektrochemischen Energiespeichern und anwendungsbezogenen Energiesystemen zu entwickeln.

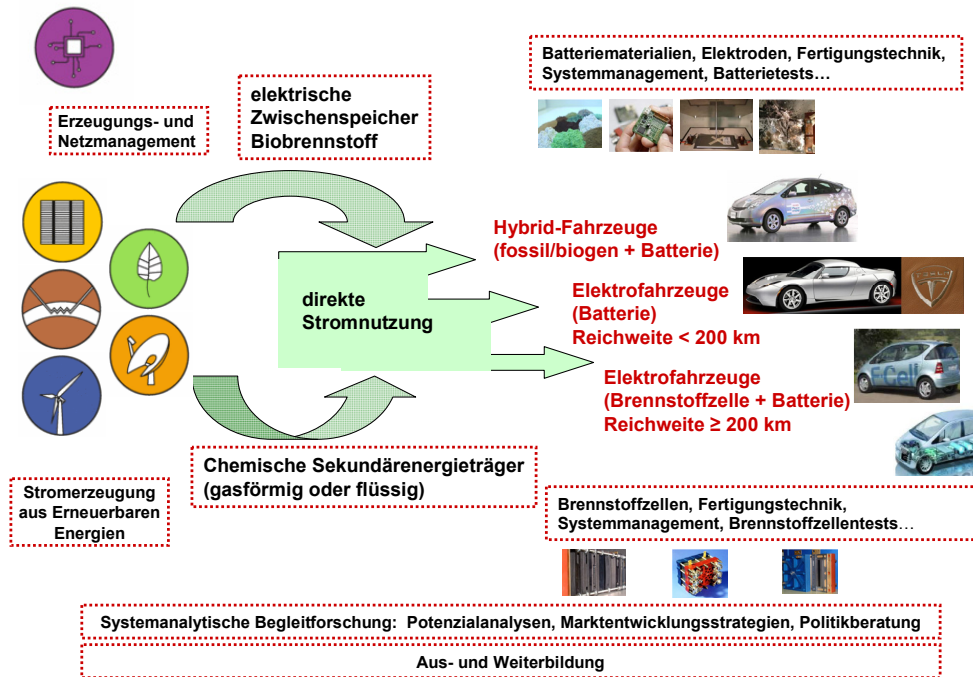
Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE) begrüßt die von der Bundesregierung geplante „Nationale Plattform Elektromobilität“, die zu einer bundesweiten koordinierten Förderung der Elektromobilität führen soll, denn es gilt, die durch die Bundesregierung bereits initiierten Förderprogramme unter Beteiligung von Forschung und Industrie zu verstetigen und in einem ganzheitlichen Ansatz in einen strategischen Vorteil für die deutsche Wirtschaft zu transferieren

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

1. 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 (siehe Abb.). 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



Übersicht über die Nutzung elektrischer Speicher und Brennstoffzellen für stationäre und mobile Anwendungen

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-Flow-Systemen. Letzere 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.

Batteriesysteme der nächsten Generation sollten eine Steigerung der Energiedichte um einen Faktor 2-5 im Vergleich zu heutigen Lithium-Ionen-Zellen ermöglichen.

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.

Kostensenkungen in allen Bereichen der elektrochemischen Energiespeicher sind ein zentrales Ziel für beide – die stationären und mobilen Anwendungen. Dieses Ziel kann nur durch Forschung und Entwicklung zusammen mit Massenfertigung erzielt werden kann. Da es aber heute noch nicht absehbar ist, welche elektrischen Speichersysteme sich im Hinblick auf verschiedene Nutzungskonzepte im stationären oder mobilen Bereich eines Tages durchsetzen werden, ist es wichtig, dass nicht einseitig auf eine Batterietechnologie gesetzt wird, sondern alle potenziell in Frage kommenden Technologien sollten zielführend unter Berücksichtigung ihrer Stärken für die unterschiedlichen Anwendungsgebiete weiter entwickelt werden. In den folgenden zwei Kapiteln werden die Anwendungen und die Forschungs- und Entwicklungsbedarfe elektrochemischer Stromspeicher für stationäre Anwendungen und die Elektromobilität getrennt behandelt, obwohl beide Entwicklungsrichtungen im Grundlagenbereich vieles gemeinsam haben.

2. Elektrochemische Stromspeicherung für stationäre Anwendungen

Stationäre Stromspeicher dienen einer Vergleichmäßigung der Einspeisung von erneuerbaren Energien in das Netz, wenn beispielsweise die Grenzen der Aufnahmekapazität der Netze erreicht sind. Sie dienen auch einer Anpassung des erneuerbaren Energieangebots an den aktuellen Energiebedarf in Verbundnetzen. Außerdem kann die Integration eines Speichers zum Beispiel bei einer dezentralen PV-Anlage sinnvoll sein, wenn Eigenverbrauch gegenüber Einspeisung in das öffentliche Stromnetz begünstigt wird. Dies wird in Zukunft durch die Bundesregierung verstärkt gefördert. Dezentrale elektrische Speicherung beim Kunden wird immer dann genutzt werden, wenn der gespeicherte Strom preiswerter ist als Spitzenstrom aus dem Netz. 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 schwächeren Netzstrukturen, wie beispielsweise in den USA oder Japan, werden Systemlösungen von erneuerbaren Energien mit Stromspeichern besonders wichtig.

Es zeichnet sich ab, dass eine weltweite Vermarktung erneuerbare Energien im Gigawatt-Maßstab nur über Systemlösungen mit integrierter Speicherung möglich ist.

2.1 Forschung und Entwicklung für stationäre Anwendungen

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 auch hinsichtlich Energie- und Leistungsdichte auszuwählen.

Batteriesysteme der nächsten Generation sollten eine Steigerung der Energiedichte um einen Faktor 2-5 im Vergleich zu heutigen Lithium-Ionen-Zellen ermöglichen.

Eine Zusammenarbeit mit der Autoindustrie, die eigene Batterieproduktionskapazitäten aufbaut, ist auf dem Gebiet der Batteriesysteme 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.

- **Batteriesysteme für stationäre Anwendungen**
Im Vordergrund steht die Entwicklung von kostengünstigen Batteriesystemen für PV-Anwendungen mit einer Lebensdauer von bis zu 20 Jahren und einer Zyklusfestigkeit von über 7200 Zyklen. Dazu ist ein detailliertes Verständnis der wesentlichen Alterungsmechanismen erforderlich.
- **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. Derartige Speicher sollen optimal in PV- und Windparks integriert werden.

Des Weiteren ist die Erforschung systemischer Aspekte 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 Speichersystemen in PV- und Windparks entwickelt werden.

3. Elektrochemische Stromspeicherung für Elektromobilität

Die Klimaproblematik erfordert neue Wege der Mobilität. Die Bundesregierung unterstützt mit ihrem "Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität" die Entwicklung von Technologien für batterie- und brennstoffzellengestützte Elektrofahrzeuge. Beiden gemeinsam sind der extrem energieeffiziente Elektroantrieb mit Wirkungsgraden von bis zu 80% sowie die Möglichkeit, die Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen wie Sonnen- oder Windenergie zu realisieren.

Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE) sieht in der Elektromobilität und in der Entwicklung kostengünstiger und zuverlässiger stationärer Stromspeicher 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.

Elektroantriebe sind bei der Nutzung der erneuerbaren Energie nicht nur lokal, sondern auch über die gesamte Energiekette nahezu emissionsfrei. Um diese Vorteile nutzen zu können, müssen jetzt die Voraussetzungen für den viele Jahre dauernden Einstieg in das Zeitalter der Elektromobilität geschaffen werden.

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.

Deshalb ist es notwendig, Batterie- und Brennstoffzellentechnologie parallel zu entwickeln, beziehungsweise die Potenziale der Hybrid-Betriebsweise zu erforschen, denn nur über die Erschließung dieser Technologiepfade ist die Transformation des Mobilitätssektors und eine internationale Technologieführerschaft möglich.

Neben der Forschung im Bereich der Batteriesystemtechnik müssen auch geeignete Energiesysteme und Systemkomponenten entwickelt werden.

3.1 Forschung- und Entwicklung für Elektromobilität

Um den Rückstand in der Batterieforschung aufzuholen, ist eine kontinuierliche und langfristige Forschungsförderung sowohl im Material- als auch im Zell- und systemtechnischen Bereich notwendig. Dabei ist erforderlich, dass sich die Forschung und Entwicklung sowohl auf Systeme mit Batterien als auch mit Brennstoffzellen erstreckt. Von besonderer Bedeutung sind:

- **Batterien**

Entwicklung von Zellen und Batteriesystemen auf Basis heute bekannter Technologien. Dabei muss der Schwerpunkt vor allem auf hohe Energie- und Leistungsdichte, hohe Lebensdauer, sicheren 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**

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.

- **Systemkomponenten**

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-Netz Schnittstelle mit den Aspekten Identifikation, Metering, Abrechnung und Kommunikation (zwischen Fahrzeug, Netz und Nutzer).

- **Entwicklung von 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.

3.2 Zeiteinschätzung des FVEE und forschungspolitische Rahmenbedingungen

- 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

Dafür sind günstige forschungspolitische Rahmenbedingungen notwendig:

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

Grundsätzlich 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.

4. Forschungsprofil des FVEE für Stromspeicherung, Kompetenzen und Expertisen

Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien 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- und Entwicklungspartner für die deutsche Industrie dar. Im Folgenden werden die Komponenten und Expertisen im FVEE vorgestellt:

FVEE-Forschungsstrategie

für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität

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

- Synthese neuer Elektrodenmaterialien – ZAE Bayern
- Neue Materialien und Materialkombinationen – 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 Bayern
- 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, FZ Jülich
- Leistungselektronik – Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES
- Thermisches Management – DLR, FZ Jülich
- Erprobung im Feld, Rückkopplung an Forschung und Entwicklung – ZSW, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES
- Systemintegration – FZ Jülich
- Test von Zellen-Modulen und Batteriesystemen und Optimierung von elektrischen Komponenten – Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES, ZSW, FZ Jülich
- Leistungs-, Lebensdauer-, Umwelt- und Sicherheitstests – ZSW, DLR
- Gesamtenergiemanagement im Elektroauto – Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES
- Fraunhofer-Systemforschung Elektromobilität (FSEM) – Fraunhofer ISE
- Aufbau von Batteriemodulen und -systemen – Fraunhofer ISE
- Batteriemanagementsysteme – Fraunhofer ISE

Systemanalyse und Netzintegration – Smart Grids

- Energiemanagement – Fraunhofer IWES, Fraunhofer ISE
- 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
- Integration von Stromspeichern in autonome und Inselssysteme – Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES
- Umrichter und Ladestationen für Elektrofahrzeuge – Fraunhofer ISE
- Identifikations-, Metering-, Abrechnungs- und Kommunikationslösungen für Elektrofahrzeuge – Fraunhofer ISE
- Optimierte hybride PV-Mini-Grids – Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES
- Kontaktlose Ladeverfahren – Fraunhofer IWES
- Dezentrale Netzdienstleistungen mit Batterien – Fraunhofer IWES
- Systemanalyse, Technikfolgen-Abschätzung und Politikberatung – ZSW, FZ Jülich

FVEE-Forschungsstrategie

für elektrochemische Stromspeicher und Elektromobilität

4.1 Der 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

Forschungszentrum Jülich

Fraunhofer IBP Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Fraunhofer ISE Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

Fraunhofer IWES Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik

GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam / Deutsches GeoForschungsZentrum

HZB Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie

ISFH Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln/Emmerthal

IZES gGmbH Institut für ZukunftsEnergieSysteme

ZAE Bayern Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung

ZSW Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden Württemberg