



ERFOLGSKONTROLLE DER FÖRDERINITIATIVE ENERGIESPEICHER

Öffentlicher Abschlussbericht
Juni 2017

INHALT

1.	EINLEITUNG UND METHODIK DER ERFOLGSKONTROLLE.....	2
2.	ERGEBNISSE: WURDEN DIE ZIELE DER FÖRDERINITIATIVE ERREICHT?.....	5
2.1.	184,3 MILLIONEN EURO FÖRDERVOLUMEN REGEN RELEVANTE WEITERENTWICKLUNGEN AN	5
2.2.	VERSTÄNDNIS DER ROLLE VON SPEICHERN IM ENERGIESYSTEM ERWEITERT	8
2.3.	KOOPERATION ZWISCHEN WISSENSCHAFT UND WIRTSCHAFT VERBESSERT	9
2.4.	WESENTLICHE IMPULSE ZUR VERBESSERUNG INTERNATIONALER FORSCHUNGSKOOPERATION BLEIBEN AUS.....	11
2.5.	ANWENDUNGSORIENTIERTE GRUNDLAGENFORSCHUNG ERZIELT ERFOLGE	11
2.6.	HEMMNISSE GEGEN MARKTEINFÜHRUNG VERRINGERT, ABER NICHT BESEITIGT.....	13
3.	AUSBLICK: KONTEXT UND OPTIONEN EINER MÖGLICHEN WEITEREN FORSCHUNGSFÖRDERUNG	17
4.	AUSWAHL ANALYSIRTER UND WEITERFÜHRENDER LITERATUR.....	20

1. EINLEITUNG UND METHODIK DER ERFOLGSKONTROLLE

Am 21. April 2011 hat die Bundesregierung die Bekanntmachung einer gemeinsamen Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet von Energiespeichertechnologien (*Förderinitiative Energiespeicher*) publiziert. Diese ist unter anderem unter www.foerderinfo.bund.de verfügbar. Die Initiative unterstützte mit 184,3 Millionen Euro Fördermitteln die Entwicklung verschiedener Speichertechnologien (vgl. Abbildung 1). Insgesamt haben die beteiligten Bundesministerien 259 Teil- bzw. Einzelprojekte gefördert. Davon arbeiteten 237 Teilprojekte in 66 Verbänden zusammen. Der inhaltliche Schwerpunkt lag auf der Entwicklung von Technologien zur stationären Energiespeicherung vor dem Hintergrund des sich wandelnden Energiesystems.

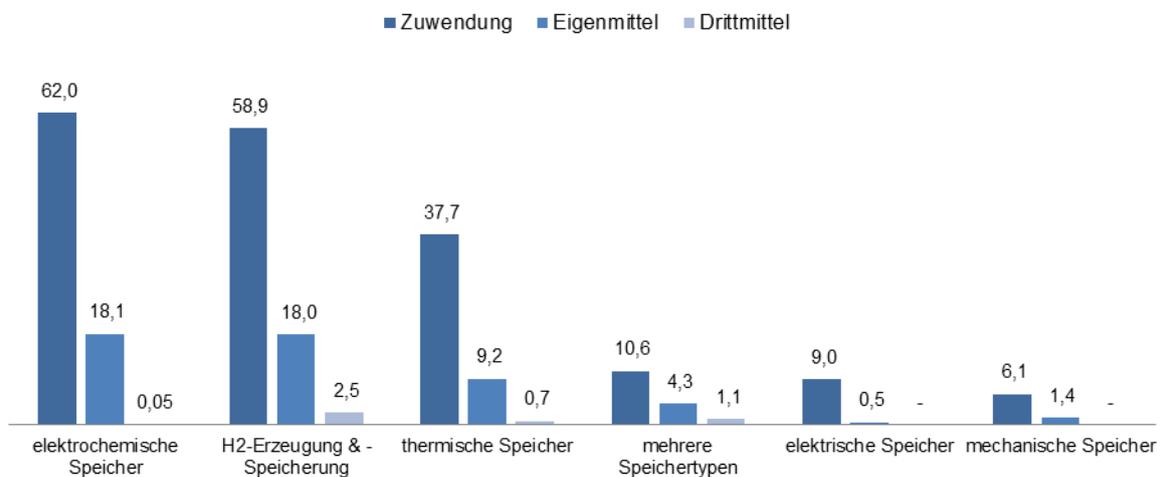


Abbildung 1: Zuwendung, Eigenmittel und Drittmittel in Millionen Euro, die im Rahmen der *Förderinitiative Energiespeicher* je Speichertyp eingesetzt wurden.

In einer begleitenden Erfolgskontrolle hat der Projektträger Jülich (PtJ) das Erreichen der Ziele der *Förderinitiative Energiespeicher* untersucht. Hierfür wurden die Projektdatenbank, mit zentralen, meist quantitativen Informationen zu den Projekten, ausgewertet, die geförderten Vorhaben qualitativ analysiert, eine Online-Umfrage mit den Zuwendungsempfängern durchgeführt, Literatur Dritter ergründet und die Informationen systematisch aufbereitet.

Diese systematische Aufbereitung ist nach der Logic-Framework-Methode erfolgt. Mit dieser Herangehensweise werden Maßnahmen detailliert strukturiert und geplant, während gleichzeitig festgehalten wird, wie der Maßnahmenenerfolg überprüft werden soll.¹ Für die Erfolgskontrolle wurde diese Methode in angepasster Form rückwirkend zur Analyse der *Förderinitiative Energiespeicher* bzw. der Programmlogik der Initiative eingesetzt und für die Detaillierung des Indikatoren-Systems zur Messung des Erreichens der gesteckten Ziele herangezogen. Tabelle 1 listet die wesentlichen Ziele auf, welche in der Förderbekanntmachung zur *Förderinitiative Energiespeicher* formuliert wurden und legt offen,

¹ Zur Erläuterung der Methode siehe z. B. European Commission: „Aid Delivery Methods – Project Cycle Management Guidelines“, 2003

mit welchen Indikatoren der Erfolg dieser Vorsätze überprüft wurde. Darüber hinaus stellt die Übersicht die herangezogenen Quellen dar.

Eines der Ziele, die „Erhöhung des Verständnisses der Rolle von Speichern im Energiesystem“ nimmt aus methodischer Sicht eine Sonderstellung ein. Um diesen Vorsatz zu realisieren, wurden systemanalytische Forschungsprojekte gefördert. Diese Projekte überprüfen dabei, ob und unter welchen Umständen eine beschleunigte Entwicklung von Energiespeichertechnologien einen Beitrag zu dem übergeordneten politischen Ziel der Förderinitiative Energiespeicher leistet: der Umsetzung der Energiewende.

Tabelle 1: Übersicht zu den Zielen der Förderinitiative Energiespeicher, Indikatoren und Quellen (ZE = Zuwendungsempfänger, DB = Datenbank, intern = interne Abfrage bei den Projektbetreuern bei PtJ)²

	Indikator	Quelle(n)
Outcome „Beschleunigte Entwicklung von Energiespeichertechnologien“	O.1 Eingesetzte Fördermittel O.2 Erfolgreiche Projekte O.3 Verwertungsaktivitäten O.4 Fachliche Analyse des F&E-Bedarfs und der Ziele/Erfolge der Projekte	O.1 ProjektDB O.2 ZE-Umfrage O.3 ZE-Umfrage O.4 Primär- und Sekundärliteratur, Projektunterlagen, intern, ZE-Umfrage
Output A: Erhöhung des Verständnisses der Rolle von Speichern im Energiesystem	A.1 Eingesetzte Mittel für systemanalytische Projekte A.2 Erfolgreiche systemanalytische Projekte A.3 Fachliche Analyse der geförderten Projekte und weiterer Publikationen	A.1 ProjektDB A.2 ZE-Umfrage A.3 Primär- und Sekundärliteratur, Projektunterlagen, intern, ZE-Umfrage
Output B: Verbesserung der Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft	B.1 Anteil Verbünde zwischen Forschung und Unternehmen B.2 Neue und/oder intensivierete Zusammenarbeit zwischen Forschung und Unternehmen B.3 Anzahl Erst-Zuwendungsempfänger B.4 F&E-Folgeprojekte unter Einbindung von Unternehmen B.5 Teilnahme Status-Workshop	B.1 ProjektDB B.2 ZE-Umfrage B.3 ProjektDB B.4 ZE-Umfrage B.5 intern
Output C: Verbesserung internationaler Forschungskoperationen	C.1 internationale Aktivitäten in den Projekten C.2 internationale Verbundprojekte	C.1 ZE-Umfrage, intern, ProjektDB C.2 interne Abfragen, ProjektDB
Output D: Verständnis der Grundlage von Speichertechnologien erhöhen	D.1 Eingesetzte Mittel für Grundlagenforschung und Verbundstruktur D.2 Erfolgreiche Projekte in der Grundlagenforschung D.3 Relevante Verwertungsaktivitäten D.4 Fachliche Analyse der geförderten Projekte	D.1 ProjektDB D.2 ZE-Umfrage D.3 ZE-Umfrage D.4 Projektunterlagen, ZE-Umfrage, intern
Output E: Hemmnisse für Markteinführung überwinden	E.1 Eingesetzte Mittel in der angewandten Forschung und Verbundstruktur E.2 Eingesetzte Mittel für Demonstrationsprojekte und Weiternutzung von Demonstrationsanlagen E.3 Erfolgreiche Projekte in der angewandten Forschung E.4 Erzielte kostenrelevante Weiterentwicklungen E.5 Marktrelevante Verwertungsaktivitäten E.6 Fachliche Analyse der geförderten Projekte	E.1 ProjektDB, ZE-Umfrage E.2 intern, ProjektDB, ZE-Umfrage E.3 ZE-Umfrage E.4 ZE-Umfrage E.5 ZE-Umfrage E.6 Projektunterlagen, ZE-Umfrage, intern

² Die bereitgestellten Fördermittel für bestimmte Themen und Akteure sind laut methodischer Definition „Inputs“, werden jedoch in der hier durchgeführten Erfolgskontrolle vereinfacht Indikatoren genannt. Sie belegen nicht die Zielerreichung, geben aber darüber Aufschluss, ob und in welcher Größenordnung Mittel zur Erreichung bestimmter Ziele eingesetzt wurden.

Ein wichtiges Instrument für das Erweitern des bestehenden Datensatzes, in Form der Projektdatenbank und der Informationen aus der Literatur, war der Einbezug der Zuwendungsempfänger über eine Online-Befragung. Die erste Erhebung fand Anfang 2016 statt, die zweite Ende 2016. Dabei wurden alle Teil- bzw. Einzelprojekte zur Teilnahme eingeladen, die zum jeweiligen Zeitpunkt der Befragung bereits ausgelaufen waren oder innerhalb der anschließenden drei Monate enden sollten (insgesamt 166). Es liegen Antworten von 121 der 259 geförderten Projekten (47 Prozent) vor. Detaillierte Informationen hierzu liefert Tabelle 2.

Tabelle 2: Übersicht zu Zuwendungsempfängern und Akteuren, die an der Online-Befragung teilgenommen haben. Aufteilung nach beforschten Speichertypen sowie nach Förderreferat (BMBF = anwendungsorientierte Grundlagenforschung; BMWi = angewandte Forschung und Entwicklung)

	Forschungs- & Bildungseinrichtungen, Sonstige		Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft		Insgesamt		
	Anzahl geförderter Akteure	davon an der Umfrage teilgenommen	Anzahl geförderter Akteure	davon an der Umfrage teilgenommen	Anzahl geförderter Akteure	davon an der Umfrage teilgenommen	Anteil
elektrochemische Speicher	48	24	36	18	84	42	50%
H2-Erzeugung & Speicherung	47	25	21	11	68	36	53%
thermische Speicher	41	17	28	9	69	26	38%
mehrere Speichertypen	15	10	5	2	20	12	60%
elektrische Speicher	7	4	4	1	11	5	45%
mechanische Speicher	4	0	3	0	7	0	0%
BMBF-gefördert	72	33	15	6	87	39	45%
BMWi-gefördert	90	47	82	35	172	82	48%
Summe	162	80	97	41	259	121	47%

Der Fokus des Berichtes liegt auf der kompakten Darstellung der Ergebnisse und legt aus Vertraulichkeitsgründen keine Hintergrundinformationen aus den Projekten offen. Mehr Informationen über die geförderten Projekte aus der *Förderinitiative Energiespeicher* bietet das Webportal <http://forschung-energiespeicher.info>. Darüber hinaus stellt EnArgus (www.enargus.de), die Projektdatenbank des BMWi zur Energieforschung, umfangreiche Einblicke in die öffentlichen Projektförderaktivitäten in und außerhalb der *Förderinitiative Energiespeicher* bereit. Der Bericht listet zudem am Ende des Dokuments zentrale Literaturquellen, die für die Ergebnisse und Aussagen herangezogen wurden. Diese stellen weitere Hintergrundinformationen zu den geförderten Technologien bereit, wie z. B. zum Entwicklungsstand, dem Forschungsbedarf und zukünftigen Marktperspektiven.

2. ERGEBNISSE: WURDEN DIE ZIELE DER FÖRDERINITIATIVE ERREICHT?

In der *Förderinitiative Energiespeicher* hat die Bundesregierung eine Reihe von Zielen definiert und durch Erläuterungen spezifiziert. Zusammenfassend handelt es sich um folgende Ziele:

- › Entwicklung von Energiespeichertechnologien beschleunigen
- › Verständnis der Rolle von Speichern im Energiesystem erhöhen
- › Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft verbessern
- › Internationale Forschungsk Kooperationen verbessern
- › Verständnis der Grundlagen von Speichertechnologien erhöhen
- › Hemmnisse für die Markteinführung überwinden

Bei den meisten Vorsätzen konnten deutliche Erfolge erzielt werden: Von der grundlagen-nahen Materialforschung bis hin zur anwendungsnahen Demonstration wurden alle relevanten Forschungsfelder durch die geförderten Projekte abgedeckt. Dies trifft für eine große Bandbreite an Speichertypen und Anwendungsfällen zu. Dabei haben Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen intensiv an Möglichkeiten zur Kostenreduktion geforscht und haben dabei ihre Zusammenarbeit untereinander intensiviert. Zudem haben systemanalytische Studien bestehende Erkenntnisse zur Notwendigkeit sowie Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Speichern überprüft und ergänzt. Allein das Ziel, internationale Forschungsk Kooperationen über die üblichen Aktivitäten hinaus zu verbessern, wurde verfehlt. In den nachfolgenden Kapiteln wird das Erreichen der Einzelziele näher erläutert.

2.1. 184,3 MILLIONEN EURO FÖRDERVOLUMEN REGEN RELEVANTE WEITERENTWICKLUNGEN AN

Wesentliches Ziel der *Förderinitiative Energiespeicher* war die Entwicklung geeigneter stationärer Speicher für einen Einsatz im sich wandelnden Energiesystem zu beschleunigen.

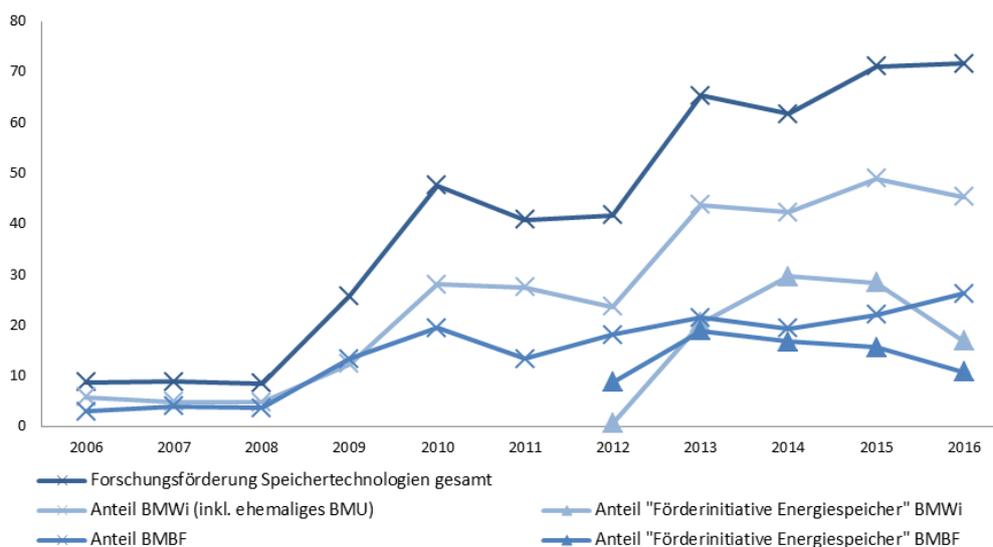


Abbildung 2: Mittelabwurf in Millionen Euro der Projekte mit Fokus auf Speicherforschung im Rahmen des Energieforschungsprogramms. Auswertungen auf Basis der Auswerteroutinen für die Bundesberichte Energieforschung 2013, 2016 und 2017. BMBF einschließlich Innovationsallianz LIB2015, die zum Teil außerhalb des Energieforschungsprogramms budgetiert ist, sowie relevante Projekte aus dem Forschungsfokus „Energimaterialien“. Nicht inflationsbereinigt.

Ob dies erreicht wurde, lässt sich methodisch-formal zwar nicht eindeutig belegen. Mit den herangezogenen Informationen (vgl. Indikatoren, Tabelle 1) kann jedoch nachvollziehbar begründet werden, dass eine Beschleunigung wahrscheinlich ist: Die notwendige Basis wurde gelegt, indem mit der Förderbekanntmachung die Mittel für die betreffende Forschungsförderung insgesamt angehoben wurden (vgl. Abbildung 2). Besonders in den Bereichen Batterien, Wasserstofferzeugung und -speicherung sowie thermische Speicher unterstützen die Ministerien die Forschung und Entwicklung mit signifikanten Budgets.

Die geförderten Projekte wurden fachlich analysiert und mit dem Forschungs- und Entwicklungsbedarf (F&E-Bedarf) abgeglichen, welcher u. a. in der Primär- und Sekundärliteratur beschrieben wird. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Fördermittel bei den oben genannten drei Speichertypen sowie den Superkondensatoren breit entlang des jeweiligen offenen F&E-Bedarfs – von der Materialforschung bis zum Demonstrationsprojekt – eingesetzt wurden und die Vorhaben wichtige Weiterentwicklungen erzielen konnten. Elektrische und mechanische Speicher wurden nur punktuell gefördert. Abbildung 3 zeigt hierzu die Gesamtvolumina der Projekte, untergliedert nach Forschungsschwerpunkten.

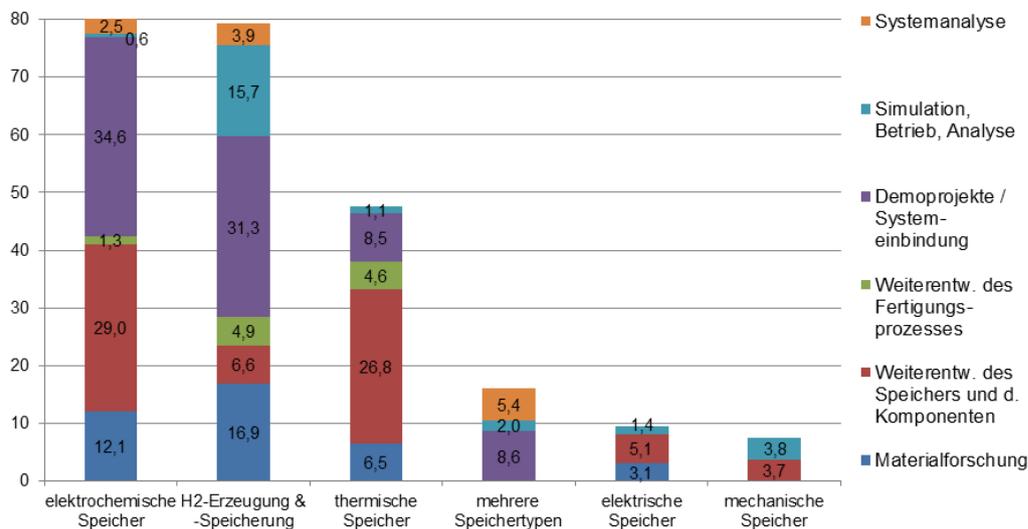


Abbildung 3: Gesamtvolumen der Projekte je Speichertyp und Forschungsschwerpunkt in Millionen Euro³

Viele Projekte haben einen starken Anwendungsbezug auf die Herausforderungen im sich wandelnden Energiesystem und gehen damit weit über eine allgemeine Speicherforschung hinaus. Abbildung 4 zeigt, in welchen Gebieten die befragten Akteure den Einsatz der beforschten Speicher sehen. Im Folgenden werden zudem einige Beispiele genannt, die stellvertretend für die vielen relevanten und erfolgreichen Forschungsprojekte stehen.

³ Die Zuordnung eines Projektes zu einem Speichertyp und insbesondere zu einem Forschungsschwerpunkt ist bei vielen Projekten eine starke Vereinfachung. In der Regel wurde einem Verbundprojekt ein Forschungsschwerpunkt zugeordnet. Bei deutlich unterschiedlichen Schwerpunkten innerhalb eines Verbundes wurde hiervon abgewichen.

In der Batterieforschung liegen nun u. a. Erkenntnisse zu völlig neuartigen Batteriechemie-Typen vor (wie beispielsweise neuartige Metall/Metalloxid-Hochtemperatur-Batterien). Auf deren Basis können zukünftig leistungsfähigere bzw. kostengünstigere Batterien entwickelt werden. Im angewandten Bereich wurden unter anderem standardisierte Performance-Tests entwickelt und ein wesentlicher Schritt zum Upscaling hin zu größeren Redox-Flow-Batterien gelegt. Auch konnte der Einfluss spezifischer Betriebsweisen auf Zellchemien beim Einsatz für Regelenergie und anderen Systemdienstleistungen umfangreich untersucht werden.

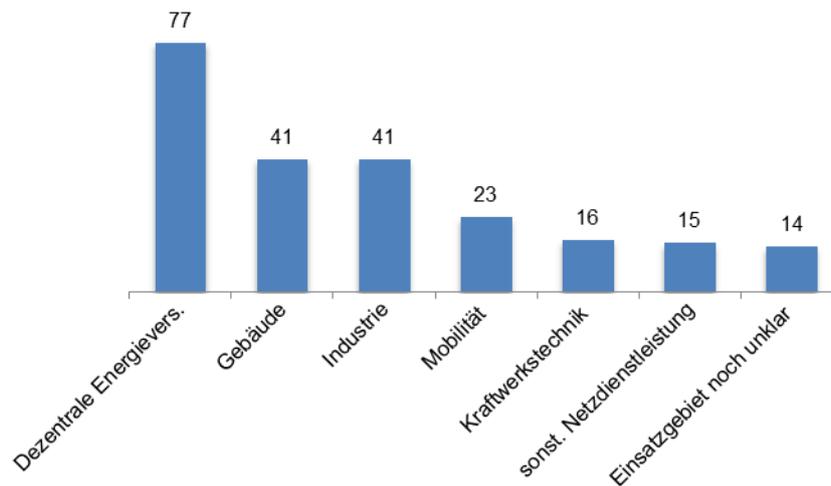


Abbildung 4: Anzahl Antworten zur Frage, in welchem Gebiet der oder die untersuchten Speicher zum Einsatz kommen (sollen). (Mehrfachnennung möglich, n=121)

Im Themenkomplex Wasserstoffspeicher konnten unter anderem durch Innovationen auf Komponenten- und Systemebene Kostensenkungen erreicht werden. So wurde beispielsweise für die alkalische Druckelektrolyse in der Größenordnung 1 MW eine Reduktion um 50 Prozent gezeigt. Projekte zur geologischen Speicherung von Wasserstoff in Kavernen- oder Porenspeichern haben grundlegende Erkenntnisse zu den Potenzialen und der technischen Machbarkeit erarbeitet. Demonstriert und analysiert wurden auch neue Einsatzgebiete: So wurde z. B. eine PEM-Elektrolyse-Anlage im MW-Bereich in ein volatiles Mittelspannungsnetz eingebunden, um Wasserstoff ins Erdgasnetz einzuspeisen und gleichzeitig Regelleistung zu erbringen.

Bei den thermischen Speichern wurden im angewandten Bereich wichtige technische und wirtschaftliche Erkenntnisse zum Beitrag dieses Speichertyps zur Entlastung elektrischer Netze ermittelt. Ein Beispiel hierfür ist die Einbindung eines Latentwärmespeichers in ein Kühlgerät, um letztlich etwa den halben elektrischen Tagesleistungsbedarfs des Gerätes zu verschieben. Zudem wurden Einsatzmöglichkeiten von thermischen Speichern zur Abwärmenutzung in diskontinuierlichen Hochtemperaturprozessen erprobt. Im stärker grundlagenorientierten Bereich wurde unter anderem eine Messmethodik zur Charakterisierung von Materialien für Latentwärmespeicher weiterentwickelt.

Fast alle Akteure, die an der Online-Umfrage teilgenommen haben, haben angegeben, dass sie ihre Projektziele vollständig erreichen konnten. Zudem haben alle Befragten mitgeteilt, umfangreiche Verwertungsaktivitäten umzusetzen (vgl. Abbildung 5). Die wissenschaftliche Nutzung steht im Vordergrund, doch auch die Ableitung von neuen bzw. verbesserten Produkten oder Dienstleistungen sowie die Anmeldung von Patenten und Schutzrechten wurden in nicht unerheblichem Maße durchgeführt bzw. werden angestrebt. Darüber hinaus

verwertet ein sehr hoher Anteil Akteure ihre Ergebnisse in der Akquise und der Umsetzung von F&E-Nachfolgeprojekten.

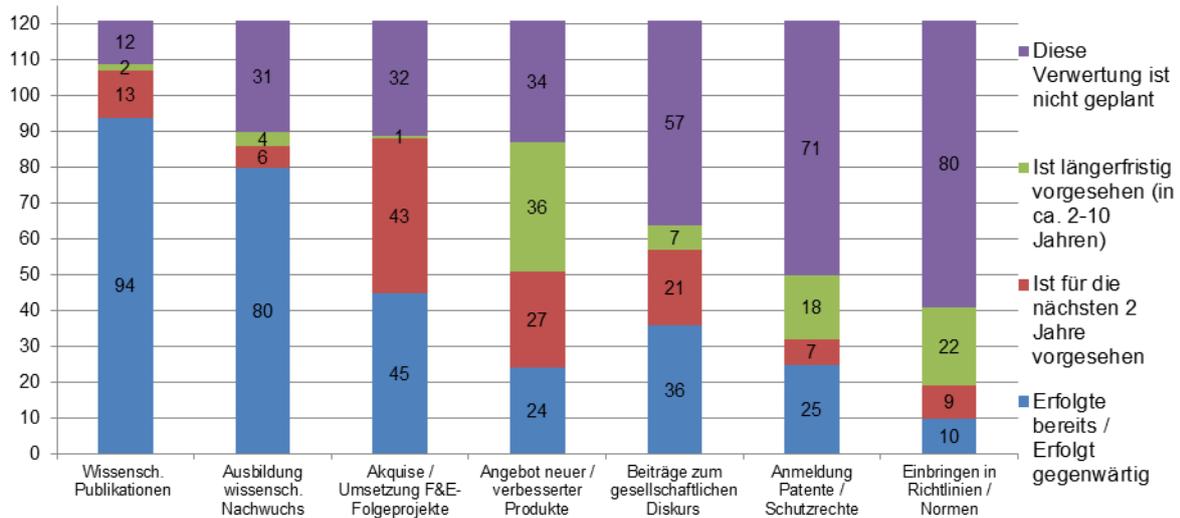


Abbildung 5: Verwertungsaktivitäten der befragten Zuwendungsempfänger (in Anzahl der Antworten, n=121)

2.2. VERSTÄNDNIS DER ROLLE VON SPEICHERN IM ENERGIESYSTEM ERWEITERT

Ein weiteres Ziel der *Förderinitiative Energiespeicher* war es, die Rolle stationärer Speicher im (zukünftigen) Energiesystem besser zu verstehen. Mit 10,3 Millionen Euro haben die beteiligten Bundesministerien daher Projekte mit systemanalytischem Schwerpunkt gefördert. In diesen Vorhaben wurden Methoden entwickelt und verbessert, die eine Beurteilung verschiedener Speicher hinsichtlich ihrer Eignung für unterschiedliche Anwendungsfälle im Energiesystem im Vergleich zu anderen Optionen ermöglichen. Dabei handelt es sich z. B. um übergreifende Betrachtungen, bei denen eine höhere Anzahl technischer oder Markt-Optionen als in früheren Studien berücksichtigt wurde oder Projekte, die detailliert die Möglichkeiten einer Technologie (z. B. Batterien) im künftigen Energiesystem auf Basis neuester Erkenntnisse ausloten.

Auch wenn im Detail relevantes zusätzliches Wissen generiert wurde, bleibt die grundsätzliche Einschätzung zur Rolle von stationären Speichern im Stromsystem seit einigen Jahren relativ konstant: Erst bei sehr hohen Anteilen (je nach Studie ab circa 60 Prozent, meist jedoch ab circa 80 Prozent) erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung werde ein Einsatz von stationären Speichern in größerem Maßstab im Stromsystem zwingend nötig. Die Studien gehen davon aus, dass bis dahin die benötigte Flexibilität durch andere Optionen voraussichtlich kostengünstiger zur Verfügung gestellt werden kann. Abhängig sind diese Aussagen insbesondere von den angesetzten Kostenprognosen der berücksichtigten Technologien.

Ein kurzfristiger wirtschaftlicher Einsatz von Speichern im Strommarkt unter Nutzung der erwarteten Stromüberschüsse erscheint nur für einzelne, zum Teil kleinere Anwendungen und Märkte realistisch. Ein Beispiel sind Photovoltaik-Batterie-Heimspeicher: Sie bringen meist noch keine wirtschaftlichen Vorteile für den Besitzer und sind dennoch schon jetzt im Markt erfolgreich. Ganz allgemein werden Batterien vergleichsweise gute Chancen zugesprochen, sich auf weiteren kleineren Märkten z. B. für Netzdienstleistungen zu

behaupten. Auch Wärmespeicher scheinen ohne größere weitere Forschung und Entwicklung für Nischenmärkte infrage zu kommen, da sie sehr kostengünstig sind.

Nicht ganz eindeutig sind die Aussagen zu Power-to-Gas als Speicheroption für das Stromnetz – also mit dem Ziel, das Gas wieder zurück zu verstromen. Viele Forschende halten es für unrealistisch, dass dies zukünftig wirtschaftlich möglich werden kann – insbesondere da man erwartet, dass günstigere Flexibilitätsoptionen zur Verfügung stehen werden. Andere sehen Bedarf bei sehr hohen Erneuerbaren-Energie-Anteilen und betonen das technische Alleinstellungsmerkmal zur Langfristspeicherung von Strom. Wird die Dekarbonisierung in allen Sektoren (Strom, Wärme, Verkehr, Industrie) in den Studien berücksichtigt oder zumindest diskutiert, so gehen mehr Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von der Notwendigkeit eines Einsatzes der Wasserstofftechnologie aus.

Anstatt stationäre Speicher als reine Stromspeicher anzusehen, wird generell in den letzten Jahren die Verknüpfung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr vermehrt betrachtet. Ziel der Verknüpfung ist die Flexibilisierung des Strommarkts bei gleichzeitiger Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in anderen Energiesektoren (Power-to-X). Die Potenziale für thermische Speicher im Bereich Power-to-Heat sowie für chemische Speicher und Batterien im Bereich Power-to-Vehicle werden gerade in neueren systemanalytischen Studien hervorgehoben. Auch wird betont, dass mithilfe der Wasserstofftechnologie Ersatzstoffe für die chemische Industrie über erneuerbare Energien bereitgestellt werden können (Power-to-Liquids) – wenn auch zu noch sehr hohen Kosten. Die Aussagen zu Power-to-X betreffen jedoch sehr langfristige Zeiträume und Zielsetzungen und die Modelle berücksichtigen oft noch nicht alle Optionen, sodass hohe Unsicherheiten bestehen.

Wärmespeicher können auch ohne Verbindung zum Stromsystem wertvoll für die Umsetzung der übergeordneten politischen Ziele der Energiewende sein. Dieser Aspekt war allerdings kein Bestandteil der systemanalytischen Projekte der *Förderinitiative Energiespeicher*. Wohl aber wurden auch ökonomische und systemische Untersuchungen hierzu in den technologisch fokussierten Projekten durchgeführt. So können beispielsweise Wärmespeichertechnologien im industriellen Kontext zu höherer Energieeffizienz beitragen.

2.3. KOOPERATION ZWISCHEN WISSENSCHAFT UND WIRTSCHAFT VERBESSERT

Die Forschungsförderung innerhalb der *Förderinitiative Energiespeicher* sollte dazu beitragen, die Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu verbessern. Daher war ein wesentliches Auswahlkriterium der Projektideen, ob innerhalb eines Verbundes eine Zusammenarbeit zwischen wissenschaftlichen Einrichtungen (Bildungs- und Forschungseinrichtungen) und Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft vorlag. Dank der großen Auswahl hochwertiger Skizzen weisen 46 von 66 Verbundprojekten dieses kooperative Element auf (vgl. Abbildung 6). Dass die unterschiedlichen Akteure auch über verschiedene Speichertypen hinweg erreicht wurden, zeigt Abbildung 7.

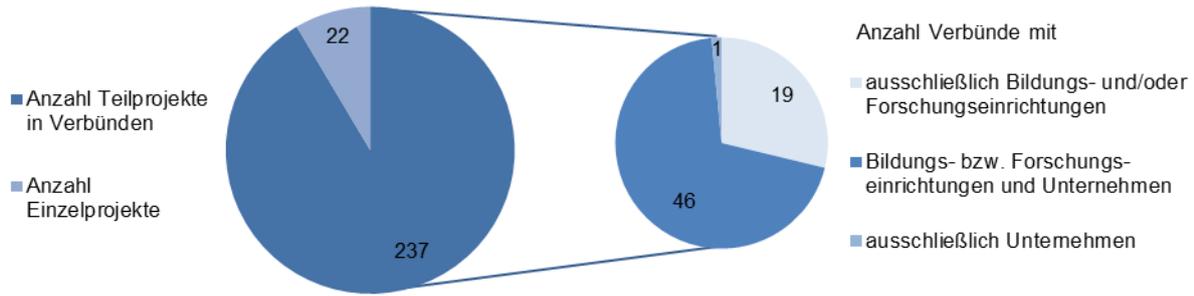


Abbildung 6: Links: Anzahl der Teilprojekte, die in Verbänden zusammenarbeiten, bzw. Anzahl der Einzelprojekte. Rechts: Anzahl der Verbände, aufgeschlüsselt nach Kooperationsstruktur.

Um die Kooperation weiter zu fördern, wurden zwei Vernetzungstreffen durchgeführt. Während des ersten Treffens im Januar 2013 waren 128 Teilnehmer aus 86 verschiedenen Institutionen anwesend. Am zweiten Statusseminar im April 2015 haben 253 Teilnehmer aus 147 Institutionen teilgenommen. Jeweils circa die Hälfte der anwesenden Institutionen waren Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft bzw. Forschungs- und Bildungseinrichtungen.

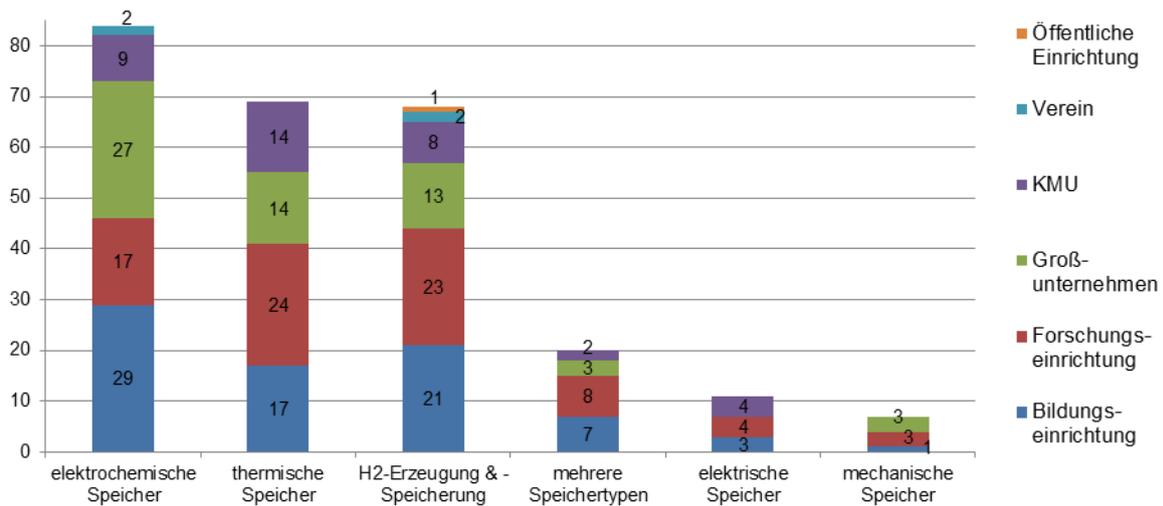


Abbildung 7: Anzahl der Teil- bzw. Einzelprojekte pro Speicher- und Zuwendungsempfängertyp

Dass die Vernetzung intensiviert werden konnte, zeigten auch die Umfrageergebnisse: 92 von 121 befragten Zuwendungsempfängern haben angegeben, dass eine Zusammenarbeit zwischen wissenschaftlichen Einrichtungen und Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft vorlag – ob als Verbundpartner oder durch Einbindung von Unternehmen durch Projektbeiräte. Von diesen 92 Akteuren haben wiederum 64 bestätigt, neue Kooperationen innerhalb der Projekte eingegangen zu sein bzw. diese während der Projekte intensiviert zu haben. Zudem wurde untersucht, ob neue Akteure erreicht wurden, die bislang keine Fördermittel der Bundesministerien für Energieforschungsaktivitäten erhalten. Im Vergleich zur bisherigen gesamten Energieforschungsförderung seit dem Jahr 2000 konnten 40 neue Zuwendungsempfänger erreicht werden. Dabei handelt es sich um 19 kleine und mittlere Unternehmen, 17 Großunternehmen und vier Bildungs- bzw. Forschungseinrichtungen.

2.4. WESENTLICHE IMPULSE ZUR VERBESSERUNG INTERNATIONALER FORSCHUNGSKOOPERATION BLEIBEN AUS

Die Förderinitiative Energiespeicher hatte das Ziel, internationale Forschungsk Kooperationen zu unterstützen. Laut der Umfrage bei den Zuwendungsempfängern stehen drei Viertel der Projekte im Austausch mit der internationalen Forschungsgemeinschaft. Abbildung 8 zeigt, dass dies meist über die Teilnahme an internationalen Konferenzen bzw. über die Mitarbeit in internationalen Gremien, u. a. in Technology Collaboration Platforms der Internationalen Energieagentur (IEA), geschieht. PtJ hat z. B. in seiner Funktion als Delegierter in der *Technology Collaboration Platform Research and Development on Energy Conservation through Energy Storage* (ECES TCP) den Impuls für die aktive Teilnahme von 15 Teilprojekten der Förderinitiative Energiespeicher aus dem Bereich der thermischen Speicherforschung gegeben.

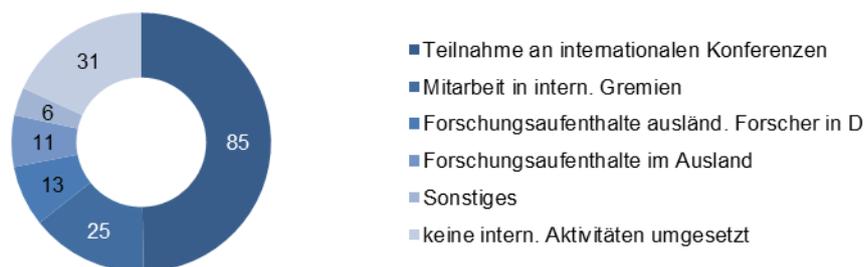


Abbildung 8: Angaben der Akteure in der Online-Umfrage zur Frage „In welcher Form fanden internationale Aktivitäten im Rahmen Ihres (Teil-)Projektes statt?“ (n=121, Mehrfachangaben möglich)

Solche und weitere Aktivitäten, wie z. B. Forschungsaufenthalte ausländischer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Deutschland, werden von den Ministerien über die Bereitstellung entsprechender Fördermittel unterstützt. Dies entspricht der üblichen Förderpraxis der Ministerien, wie sie auch in anderen Förderinitiativen umgesetzt wird.

Eine Verzahnung mit Programmen der EU besteht unabhängig von der Förderinitiative Energiespeicher über die Zuarbeit der Ministerien zum Programmausschuss der EU und des SET-Plans. Auch die in der Förderinitiative Energiespeicher geförderten Projekte liefern hierfür fachlichen Input. Eine darüber hinausgehende Verzahnung mit Programmen der EU oder anderer EU-Mitgliedsstaaten sowie weitere Maßnahmen, die internationale Forschungsk Kooperationen erleichtern, wurden durch die Ministerien und PtJ nicht eingeleitet. In der Bekanntmachung zur Förderinitiative Energiespeicher wurde darauf hingewiesen, dass internationale Kooperationsprojekte gewünscht sind. Skizzen wurden jedoch hierzu nicht eingereicht.

2.5. ANWENDUNGSORIENTIERTE GRUNDLAGENFORSCHUNG ERZIELT ERFOLGE

Die Förderinitiative Energiespeicher hatte das Ziel, das Verständnis der Grundlagen von Speichertechnologien zu erhöhen. Daher wurde die anwendungsorientierte Grundlagenforschung mit umfangreichen Fördermitteln des BMBFs unterstützt (ca. 75,1 Millionen Euro). Die Förderung ging an elf Einzelprojekte und 23 Verbände mit insgesamt 76 Teilprojekten. Bei zehn vom BMBF geförderten Verbundprojekten traten Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft als Verbundpartner auf. Insgesamt gingen rund 135,9 Millionen Euro Fördermittel aus der Initiative an Universitäten und Forschungseinrichtungen.

Mit diesen Mitteln konnten sowohl die BMBF- als auch die BMWi-geförderten Projekte erfolgreich zur Erweiterung des Wissens zu Grundlagen der Speichertechnologien beitragen. Entsprechend wurden die Ergebnisse umfangreich wissenschaftlich publiziert. Dies wird

durch die Umfrage bestätigt, bei der die Akteure – bis auf wenige Einzelfälle – angegeben haben, diese Form der Verwertung umgesetzt zu haben (vgl. Abbildung 5). Die fachlichen Recherchen und Analysen der Projekte haben ferner ergeben, dass wichtige Weiterentwicklungen mit den geförderten Vorhaben angestoßen wurden. Im eher grundlagenorientierten Bereich betrifft dies insbesondere die Materialforschung.

Eine Nachwuchsgruppe hat z. B. an Materialien für wässrige Lithium-Ionen-Batterien geforscht, eine andere hat zur virtuellen Materialentwicklung an der Multiskalen-Modellierung von Lithiumbatterien gearbeitet. Zudem gab es Projekte, die sich der Verbesserung von Materialeigenschaften von Metall-Luft-Batterien gewidmet haben. Andere Projekte haben ganz neue Batteriechemie-Typen erforscht, wie beispielsweise ein neuartiges Dual-Ionen-System aus Lithium- und Graphitionen. Im Bereich der Wasserstofferzeugung wurde z. B. an der Verbesserung von Katalysatormaterialien geforscht. Eines der Ziele ist hierbei, edelmetallfreie Katalysatoren zu entwickeln – ein Durchbruch steht hier jedoch noch weltweit aus. Im Bereich der geologischen Wasserstoffspeicherung gab es z. B. Arbeiten zum Einfluss von eingelagertem Wasserstoff auf die umgebenden Gesteine. Weiterentwicklungen in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung wurden zudem bei latenten und thermochemischen Speichern erzielt: Neben der Verbesserung des Verständnisses von Phasenwechselfvorgängen gab es Untersuchungen zu Hydrid-Graphit-Verbund-Materialien.

Fortschritte werden in anwendungsorientierte Projekte überführt

Die Bekanntmachung zur *Förderinitiative Energiespeicher* hat den Anspruch formuliert, dass die Ergebnisse aus der Grundlagenforschung „möglichst nahtlos in Projekte zur anwendungsnahen Forschung und technologischen Entwicklung überführt werden“ sollen. Die Umfrage bei den Zuwendungsempfängern ergab hierzu, dass die BMBF-geförderten, grundlagenorientierten Projekte Verwertungen anstreben, die auf einen anwendungsorientierten Anschluss hinweisen. Abbildung 9 zeigt auf der linken Seite, dass zwei Drittel der BMBF-geförderten Akteure, die an der Umfrage teilgenommen haben, Nachfolgeprojekte planen oder schon umsetzen. Von diesen 31 Akteuren geben wiederum 20 an, Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft dabei einbinden zu wollen. In der Umfrage wurde auch nach der Anzahl der Folgeprojekte gefragt sowie ob und in welcher Form eine Einbindung von Unternehmen jeweils angedacht bzw. umgesetzt wird. Die rechte Seite der Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse hierzu. Bei circa der Hälfte der geplanten oder schon gestarteten Folgeprojekte werden Unternehmen eingebunden.

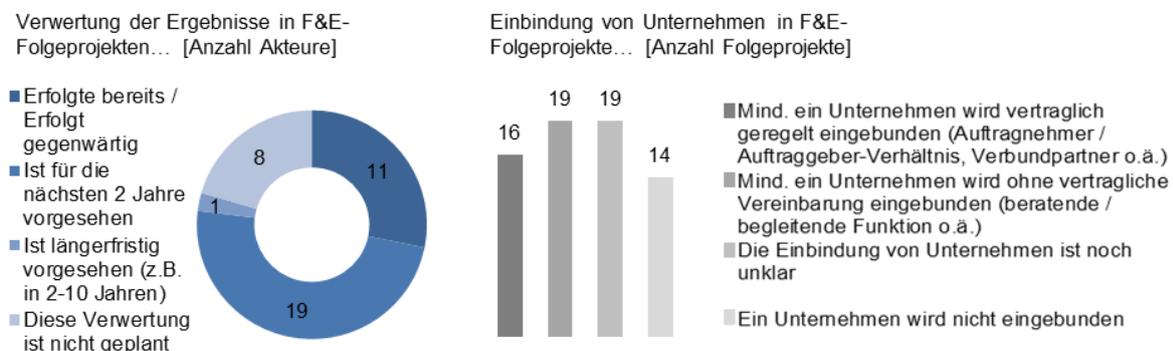


Abbildung 9: Ergebnisse aus der Online-Umfrage. Links: Anzahl Akteure zur Frage, ob die Ergebnisse im Rahmen von F&E-Folgeprojekten verwertet werden. Rechts: Anzahl an F&E-Folgeprojekten, bei denen eine bestimmte Art der Einbindung von Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft (nicht) angestrebt oder umgesetzt wird. n=39, nur BMBF-geförderte Akteure

Die Analyse der Projekte und Projekterfolge unterstützt die Ergebnisse der Umfrage. Im Bereich der Redox-Flow-Batterien gab es beispielsweise eine so vielversprechende Materialentwicklung, dass diese direkt von der Industrie auf wirtschaftliche Anwendbarkeit überprüft und zudem schon in einem anwendungsorientierten Nachfolgeprojekt mit Industriepartnern aufgegriffen wird. In einem weiteren grundlagenorientierten Projekt zur Beeinflussung von Materialeigenschaften von Blei-Schwefelsäure-Akkumulatoren kam es zu einer ursprünglich gar nicht anvisierten vielversprechenden Weiterentwicklung in der Galvanik. Diese führte zu Forschungsverträgen mit der Industrie.

Im Themenfeld der thermischen Speicher konnten z. B. das Verständnis von Phasenwechselmaterialien für Latentwärmespeicher deutlich verbessert und damit negative Materialeigenschaften (hier Unterkühlungseffekte) verringert werden. Dies soll in einem anwendungsorientierten Nachfolgeprojekt unter Industriebeteiligung weiter untersucht werden. Auch sind z. B. anwendungsorientierte Forschungsprojekte mit Industriebeteiligung geplant, die grundlegende Erkenntnisse zu Verbundwerkstoffen zur thermochemischen Speicherung aufgreifen.

Auch im Bereich chemischer Speicher gab es insbesondere bei der Wasserelektrolyse und der geologischen Wasserstoffspeicherung grundlegende Erkenntnisse. Die Fortschritte in der Wasserelektrolyse werden punktuell in anwendungsorientierte Folgeprojekte mit Industriepartnern oder in die Produktentwicklung beteiligter Hersteller überführt. Angesichts des sehr langfristigen Zeithorizonts einer möglichen Markteinführung von geologischen Speichern ist hier der Anwendungsbezug nicht bei der Überführung in Industrieprojekte, sondern z. B. in der Ableitung von Kriterien für eine mögliche geologische Raumplanung hinsichtlich H₂-Speicherung zu finden.

Generell ist anzumerken, dass nicht jeder Erfolg aus der Grundlagenforschung schon jetzt in marktnahen Folgeprojekten aufgegriffen wird. Gründe hierfür sind z. B., dass die technologischen Fortschritte noch nicht ausreichen und/oder potenzielle Akteure noch keine wirtschaftliche Perspektive erkennen. So gab es auch einige wenige Projekte bei denen ursprünglich beteiligte Industriepartner noch während des Projektverlaufs aus strategischen Gründen ausgestiegen sind.

2.6. HEMMNISSE GEGEN MARKTEINFÜHRUNG VERRINGERT, ABER NICHT BESEITIGT

Ein zentrales Ziel der Förderinitiative war es, Hemmnisse für einen Einsatz der Speicher am Markt zu reduzieren. Entsprechend gingen 109,2 Millionen Euro Fördermittel in die überwiegend anwendungsnahe Forschung und Entwicklung (BMW_i-betreute Projekte). Unter Berücksichtigung sowohl der vom BMBF als auch vom BMW_i geförderten Vorhaben wurden 34,8 Millionen Euro Fördermittel an Großunternehmen und 12,0 Millionen Euro an KMUs vergeben, die in insgesamt 44 Verbänden zusammen mit Forschungs- bzw. Bildungseinrichtungen zusammengearbeitet haben. Durch die Zusammenarbeit mit Unternehmen wird ein hoher Fokus der Projekte auf die Verwertbarkeit der Ergebnisse in marktfähige Produkte unterstellt. Die befragten Akteure der BMW_i-Förderung bzw. die befragten Unternehmen geben an, ihre wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Projektziele überwiegend erreicht zu haben.

Umfangreiche Aktivitäten zur Reduzierung der Kosten

Neben den BMWi-geförderten Projekten tragen auch die BMBF-geförderten Projekte dazu bei, Kosten zu senken. So zeigen die Analyse aller Projekte der *Förderinitiative Energiespeicher* und die Ergebnisse der Umfrage, dass deutliche Anstrengungen zur Kostenreduktion unternommen wurden. 114 der insgesamt 121 befragten Akteure geben an, kostenrelevante Weiterentwicklungen in den Projekten umgesetzt zu haben. Schwerpunkte liegen bei der Betriebsoptimierung von Speichern für konkrete Anwendungen, der Entwicklung von günstigeren Materialien sowie der Verbesserung marktrelevanter technischer Speicherparameter, wie z. B. Stromdichte oder Wirkungsgrad (vgl. Abbildung 10).

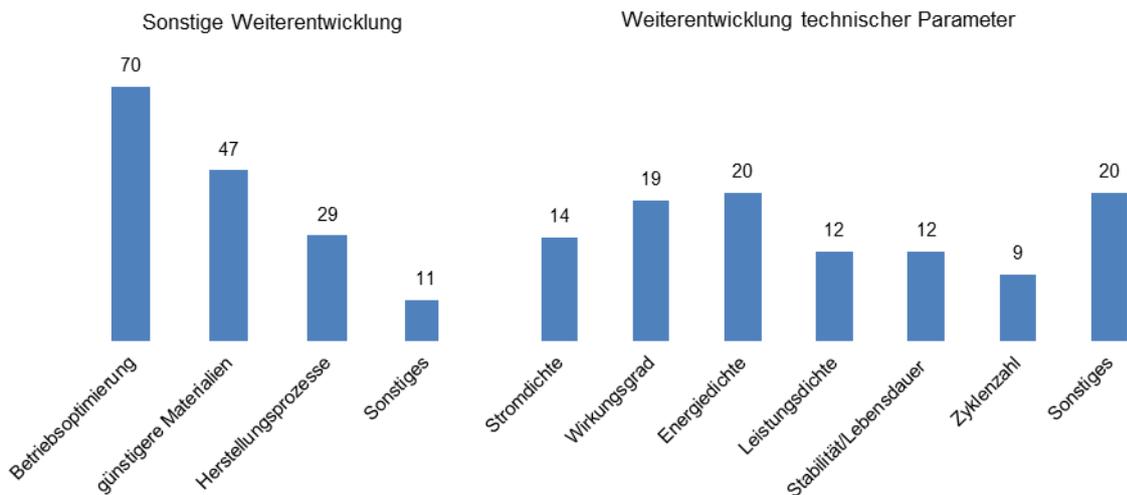


Abbildung 10: links: Anzahl der Angaben zur Frage „Für welche nicht bezifferbaren, jedoch kostenrelevanten Bereiche konnten Sie Weiterentwicklungen umsetzen?“; rechts: Anzahl der Angaben zur Frage „Bitte kreuzen Sie die für Speicherkosten relevanten Verbesserungen an, die Sie in Ihrem (Teil-) Projekt umsetzen“ konnten; Mehrfachnennung möglich, n=121

Die Antworten in der Umfrage zu wirtschaftlichen Verwertungsaktivitäten bieten eine gute Perspektive: Insgesamt 87 Akteure (72 Prozent) haben angegeben, neue oder verbesserte Produkte bzw. Dienstleistungen auf Basis der Projektergebnisse anbieten zu wollen. Sieben der 41 befragten Unternehmen haben dies nach eigenen Angaben schon getan, weitere 14 Unternehmen streben diese Verwertung innerhalb der nächsten zwei Jahre an. 25 aller Befragten (21 Prozent) geben an, bereits Patente oder Schutzrechte angemeldet zu haben, weitere 25 planen dies (vgl. Abbildung 5).

Ein konkretes positives Beispiel aus dem Bereich der Batterien ist eine Weiterentwicklung von Bipolarplatten für Redox-Flow-Batterien. Diese hat zur Anmeldung von Patenten geführt und zu einem Folgeprojekt unter Einbindung einer Firma, die die Produktion solcher Batterien in Deutschland anstrebt. Ein ganz anderes Beispiel ist die Einbindung von thermischen Speichern in Industrieprozesse mit dem Ziel, Primärenergie einzusparen. Hier wurden Hürden durch die Weiterentwicklungen der Speicherkomponenten und deren technischer Einbindung in komplexe Anlagen überwunden. Die wirtschaftliche Verwertung erfolgt unter anderem durch beteiligte Anlagenbauer.

Entwicklung kostenoptimierter Herstellungsprozesse kein Schwerpunkt, wird aber in einigen Projekten mit berücksichtigt

In der *Förderinitiative Energiespeicher* wurde formuliert, dass auch „anwendungsorientierte Maßnahmen bei der Zulieferindustrie und bei Geräteherstellern zur Entwicklung von kostenoptimierten Herstellprozessen unterstützt werden sollen“. Zwar war bei sehr wenigen Projekten die Entwicklung von Herstellungsprozessen das zentrale Forschungsthema; mitberücksichtigt wurde dieser Aspekt jedoch in vielen Projekten. Dies erfolgte insbesondere dann, wenn die technologische Weiterentwicklung von Speichern und ihrer Komponenten durch beteiligte Akteure auf eine potenzielle industrielle Herstellung zielten. In der Umfrage gaben entsprechend nur zwei der befragten 121 Projekteverantwortlichen an, Herstellungsprozesse als zentrales Forschungsthema zu haben. Dagegen haben 29 Akteure (24 Prozent) geäußert, sie hätten Kostenreduktionen in diesem Bereich erzielt.

Im Bereich der thermischen Speicher wurde z. B. in einem Verbund die Herstellung von Hochleistungsspeicherkapseln erforscht. Die technischen Hürden konnten zwar noch nicht überwunden werden, doch Fortschritte wurden erzielt. Die Erkenntnisse zum Thema Verkapselung wurden zudem im Rahmen von Vernetzungsaktivitäten zwischen 25 Akteuren aus Forschungseinrichtungen und Unternehmen, die überwiegend in der *Förderinitiative Energiespeicher* gefördert werden, ausgetauscht. Im Bereich der Wasserstoffforschung gab es beispielsweise Aktivitäten zur Optimierung der Herstellung von Bipolarplatten. Beteiligte Firmen konnten hierdurch die Herstellungskosten senken und den Fertigungsprozess verbessern. Im Bereich eher grundlagenorientierter Projekte zu elektrischen Speichern wurde z. B. ein Kondensatorhersteller zur Herstellung innovativer Superkondensatoren befähigt.

Erprobungsphasen unter realistischen Betriebsbedingungen vielfach umgesetzt

Nach eigener Einteilung entwickeln und erforschen 62 der insgesamt 259 Teil- bzw. Einzelprojekte Demonstrations- und Pilotanlagen. Dies zählt Projekte mit, die die technische Einbindung und Erprobung von Speichern in umgebende Systeme im Fokus haben. Von den 121 befragten Teil- bzw. Einzelprojekten haben 29 angegeben, an Demonstrationsanlagen zu forschen. Sieben dieser Anlagen sollen nach Projektende in eine kommerzielle Nutzung überführt werden und elf sollen im Rahmen weiterer F&E-Projekte zum Einsatz kommen. Bei den restlichen Anlagen ist die weitere Nutzung noch unklar oder wird nicht angestrebt. Auch wenn sich dies nicht nur auf Projekte mit Demonstrationscharakter bezieht, ist folgender Punkt hervorzuheben: 70 von 121 Akteuren haben in der Umfrage angegeben, den Betrieb von Speichern optimiert zu haben.

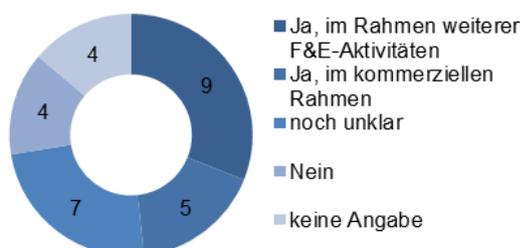


Abbildung 10: Anzahl der Angaben zur Frage „Wird der Betrieb der Demonstrationsanlage weitergeführt?“, n=29

Die fachliche Analyse der Projekte und die Umfrage haben ergeben, dass die geförderten Projekte den Nachweis über neue System- und Anwendungskonzepte teilweise schon erfolgreich erbracht haben. Zudem wurden technische Weiterentwicklungen umgesetzt und/oder weitere notwendige Entwicklungen aufgezeigt. Die in den Projekten gewonnenen Erkenntnisse können bereits heute als Wissens- und Entscheidungsbasis zur Entwicklung von Geschäftsmodellen herangezogen werden. Dies haben auch die Fachgespräche auf dem zweiten Statusseminar bestätigt: In allen Fachgruppen wurden Fragen zu konkreten Geschäftsmodellen auf Basis der Projektergebnisse diskutiert und erörtert.

Ein Beispiel für ein erfolgreiches Pilotprojekt ist der virtuelle Zusammenschluss von Klein- und Großbatteriespeichern als Speicherwolke. Hier wurden erfolgreich technische und digitale Entwicklungen zusammengeführt und auf den Einsatz in einem zukünftigen Strommarkt erprobt. Es ist absehbar, dass die entwickelte Speicherwolke weiterbetrieben wird und die Erkenntnisse in konkrete Geschäftsideen umgesetzt werden. Auch Ergebnisse aus Demonstrationsprojekten, bei denen thermische Speicher (beispielsweise Kühlgeräte) zur Entlastung des Stromnetzes erprobt und weiterentwickelt wurden, zeigen interessante wirtschaftliche Verwertungspotenziale auf.

Generell sind die erzielten Ergebnisse aus den Demonstrationsprojekten vor dem Hintergrund technischer Notwendigkeiten, regulatorischer Parameter und wirtschaftlicher Perspektiven zu spiegeln. So wurde eine Vielzahl neuer Geschäftsmodelle untersucht, viele können aber unter den gegebenen Randbedingungen heute noch nicht umgesetzt werden.

3. AUSBLICK: KONTEXT UND OPTIONEN EINER MÖGLICHEN WEITEREN FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Die zum Zeitpunkt der Bekanntmachung der *Förderinitiative Energiespeicher* in der Fachwelt diskutierte Dringlichkeit zur schnellen Bereitstellung von stationären Speichern im Energiesystem kann heute nicht mehr aufrechterhalten werden. Während kleinere Märkte aktuell schon erobert werden, besteht laut Fachliteratur der Bedarf an Speichern in größerem Maßstab wohl erst zukünftig bei sehr hoher Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien (circa 80 Prozent). Doch sind solche Angaben mit hohen Unsicherheiten verbunden und der Speicherbedarf kann auch schon früher deutlich steigen – aber auch geringer ausfallen als angenommen. Auch die Aussagen zu den Marktchancen sind nicht absolut, da sie u. a. stark von den in den Studien zu Grunde gelegten Kostenprognosen abhängen.

Damit zukünftig kostengünstige technische Optionen zur Verfügung stehen, ist eine Forschungsförderung weiterhin sinnvoll. Im eher grundlagennahen Bereich ist z. B. nach wie vor die Entwicklung und Erprobung von Materialien mit besseren Eigenschaften – hinsichtlich optimierter Speicherparameter, geringerer Kosten und/oder besserer Umwelteigenschaften – relevant. Im anwendungsnahen Bereich ist beispielsweise die Weiterentwicklung von Speichern und ihren Komponenten im Kontext zur technologischen Peripherie weiterhin ein untersuchungswürdiger Schwerpunkt.

Da aktuell nur relativ wenige stationäre Speicherkonzepte tatsächlich in den Strommarkt gebracht werden können⁴, erscheint es sinnvoll, marktnahe Projekte heute eher punktuell zu fördern. Aktuelle Themen sind hier z. B. die Kombinationen verschiedener Speichertechnologien bzw. die Erprobung von Betriebsführungskonzepten und IT-Systemen, die Vermarktungsstrategien für mehrere Anwendungen gleichzeitig ermöglichen.

Neben der heute schon begonnenen Eroberung von Marktnischen im Stromsektor werden Nutzen und Chancen für Speichertechnologien in der Dekarbonisierung der Sektoren Wärme und Verkehr (und der chemischen Industrie) bei einer gleichzeitigen Verknüpfung mit dem Stromsektor gesehen. Bei Demonstrations- oder Pilotprojekten ist daher zu empfehlen, den Schwerpunkt von der reinen Aufnahme und späteren Abgabe von Stromüberschüssen auf die Verknüpfung der Sektoren zu verschieben – wie dies auch schon in der neueren Forschungsförderung umgesetzt wird (z. B. Energiewende im Verkehr, Kopernikus-Projekte, Großprojekt Carbon2Chem).

Grundsätzlich besteht bei Speichern weiterhin Forschungs- und Entwicklungsbedarf auf allen Ebenen – von der Materialforschung über die Weiterentwicklung von Speichern und ihren Komponenten bis hin zu Demonstrationsprojekten. Das Ziel der Kostenreduktion bleibt dabei wesentlich. Speichertyp und Anwendungsfall können jedoch extrem unterschiedlich sein – sowohl hinsichtlich des technologischen Entwicklungsstands als auch heutiger und zukünftiger Marktperspektiven. Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf lässt sich daher nicht zusammenfassend darstellen und jede neue Projektidee muss entsprechend einzeln bewertet werden. Im Folgenden werden dennoch grundsätzliche mögliche Richtungen einer weiteren Forschungsförderung von Speichern dargestellt.

⁴ Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass viele Akteure die Anpassung des regulatorischen Rahmens einfordern, damit Speicher am Markt agieren können. Diese Argumente wurden im Rahmen der Erfolgskontrolle nicht analysiert und können daher nicht differenziert bewertet werden.

Batterien – Allrounder mit Marktpotenzial, aber hoher Importabhängigkeit

Weiterentwicklung und Kostenreduktion von Batterien werden wesentlich durch den Einsatz in tragbaren Geräten und – im Kontext zur Energiewende – dem Einsatz in der Elektromobilität vorangetrieben. Allerdings dominieren asiatische Länder und die USA den Markt der gegenwärtig verfügbaren und eingesetzten Batterien – zum Teil bis hin zum Rohstoffmarkt. Ein Einsatz für die Energiewende schafft somit neue Importabhängigkeiten. Für Forschung und Entwicklung können daher in Deutschland alternative Zellchemien ein mögliches Ziel sein, die dann in den Markt drängen können. Eine andere Strategie ist es, Fachkompetenzen entlang der Wertschöpfungskette gegenwärtig auf dem Markt befindlicher Batterietypen auf- und auszubauen – mit dem Ziel eine konkurrenzfähige Produktion in Deutschland zu ermöglichen. Entsprechende Akzente können auch in der Forschung zum stationären Einsatz von Batterien gesetzt werden. Der Forschungsbedarf liegt dabei weiterhin darin, Batterien in die technische Peripherie von Stromnetzen einzubinden und neue Geschäftsmodelle zu entwickeln. Die Senkung der Kosten, Hochskalierung und neue Anwendungskonzepte bleiben wesentliche Forschungsfelder, wobei F&E-Bedarf auf der Material-, Komponenten- und Systemebene besteht.

Wasserstoffspeicherung – teure Technologie unter Konkurrenzdruck, aber mit technologischen Alleinstellungsmerkmalen

Eine kommerzielle Verbreitung der Wasserstofferzeugung per Elektrolyse zusammen mit der Brennstoffzellentechnologie ist gegenwärtig kaum vorhanden und die weitere Marktentwicklung schwer abschätzbar. Einer der Haupttreiber ist eine mögliche Nutzung in der Mobilität mit Brennstoffzellenfahrzeugen. Das Marktpotenzial ist entsprechend theoretisch hoch, die Technologie konkurriert jedoch vor allem im Straßenverkehr mit der Elektromobilität mit Batterien. So bleibt unklar, ob zukünftig hohe Absätze erzielt werden können, die die Entwicklung und Kostenreduktion deutlich beschleunigen. Die hohen Kosten dieser Technologie bleiben dabei ein großes Hemmnis. Energiesystemanalytische Studien sehen daher kaum Chancen, dass Wasserstoff sich in einer Funktion als reiner Stromspeicher gegen andere stationäre Stromspeicher bzw. andere Flexibilitätsoptionen durchsetzen kann. Die Studien betonen aber auch das Alleinstellungsmerkmal für eine langfristige (Strom-) Speicherung im großen Maßstab sowie Potenziale bei der Dekarbonisierung anderer Sektoren wie Verkehr (Brennstoffzelle, synthetische Kraftstoffe) und chemischer Industrie (Power-to-Chemicals). Eine Strategie der Forschungsförderung kann daher sein, weitere kostenreduzierende Maßnahmen zu fördern, z. B. die Optimierung des technischen Gesamtsystems oder Fertigung und Hochskalierung. Forschungsbedarfe für einen Einsatz im stationären Bereich liegen auf Anwendungen zur Langfristspeicherung im großen Maßstab und zur Verknüpfung der Sektoren. Synergien zur Materialforschung und der Forschung für den mobilen Einsatz können dabei genutzt werden.

Thermische Speicher – günstige Technologie mit vielen Einsatzmöglichkeiten und Weiterentwicklungspotenzial

Thermische Speicher können auch ohne Verknüpfung zum Stromsektor zur Umsetzung energiepolitischer Ziele beitragen. Potenzial zur Durchsetzung am Markt besteht sowohl bei der Verknüpfung der Sektoren Strom und Wärme als auch im Wärme- und Industriesektor. Als Treiber für Weiterentwicklungen dient beispielsweise eine Anbindung an industrielle Prozesse, bei der Primärenergie eingespart werden kann und Abwärme prinzipiell kostenlos zur Verfügung steht. Eine Strategie der Forschungsförderung kann es auch in Zukunft sein, Kosten durch Verbesserung der Komponenten zu reduzieren und wirtschaftliche Konzepte

zum Beispiel über Demonstrationsprojekte zu entwickeln (beispielsweise Abwärmenutzung bei diskontinuierlichen Hochtemperaturprozessen). Auch im Gebäudebereich besteht weiterhin Bedarf an anwendungsnaher F&E. Insgesamt erscheint es sinnvoll, die bisherigen Schwerpunkte der Forschungsförderung fortzuführen: Demonstrationsprojekte im Gebäude- und Industriebereich sowie die Weiterentwicklung neuer, noch nicht wirtschaftlicher Technologien oder Komponenten (bessere Materialien, neue Wärmemedien, latente und thermochemische Speicher), die aufgrund besserer technischer Spezifika Vorteile für alte und neue Anwendungsbereiche bieten. Anlagen für Power-to-Heat Anwendungen (Elektrokessel, Regelheizung und Tauchsieder) sind dagegen technisch nahezu ausgereift und wirtschaftlich einsetzbar. Hier besteht somit relativ wenig F&E-Bedarf.

Elektrische Speicher – Nischentechnologien mit besonderen Eigenschaften

Zu den elektrischen Speichern zählen die Superkondensatoren und supraleitenden magnetischen Energiespeicher. Zumindest erstere werden schon heute in Nischenmärkten eingesetzt (z. B. Notstromversorgung von Krankenhäusern, schnelle Rotorblatteinklappung von Windkraftanlagen) und die besonderen technischen Eigenschaften (schnelle Bereitstellung hoher Leistung) bieten Chancen für weitere Anwendungen im Energiesystem sowie in der Elektromobilität; die möglichen Märkte sind jedoch überschaubar und die elektrischen Speicher stehen in Konkurrenz zu anderen Speichertechnologien wie Batterien bzw. ergänzen diese. Zudem ist zu berücksichtigen, dass der Herstellermarkt aktuell von anderen Ländern dominiert wird. Dennoch gibt es einige deutsche Unternehmen, die Kondensatoren herstellen sowie Forschungsgruppen, die dieses Themenfeld weiter aufbauen und durch eine Forschungsförderung gestärkt werden können. Strategisch ist dafür die Weiterführung der Forschungsförderung im behutsamen Maße vorwiegend in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung sinnvoll. Die weitere Entwicklung von Technologie und Märkten muss dabei im Auge behalten werden.

Mechanische Speicher – Marktführer der Stromspeicherung mit begrenztem Zubaupotenzial in Deutschland

Die mechanischen Speicher dominieren mit einem Anteil von 99 Prozent den Markt der weltweit installierten Speicherkapazität in Form von Pumpspeicherkraftwerken (PSW). F&E in der Komponenten-Weiterentwicklung klassischer PSW (insbesondere Turbinentechnologie) ist zielführend, um das Know-how und die Exportfähigkeit deutscher Hersteller zu erhalten bzw. zu unterstützen. In Deutschland ist der Ausbau klassischer PSW jedoch wegen der begrenzten topographischen Möglichkeiten und der geringen Akzeptanz für große Landschaftseingriffe bereits nahezu ausgereizt. Zudem führen die Änderungen im Strommarkt wegen der vielen neuen Akteure und sinkender Preise auf den Regelmärkten möglicherweise zu einer geringeren Rentabilität. Daher ist es empfehlenswert, den bisherigen Schwerpunkt der Forschungsförderung mechanischer Speicher weiterzuführen. Das heißt, gänzlich neue mechanische Speicherkonzepte zu unterstützen: Bei den Pumpspeicherkraftwerken sind dies beispielsweise unterirdische oder Unterwasser-Konzepte. Bei den Druckluftspeicherkraftwerken können dies kleine, dezentrale oder adiabate Speichersysteme sein. Bei den Schwungradspeichern ist zudem eine Weiterentwicklung der Komponenten (z. B. Lager, Radmaterialien, Leistungselektronik) zielführend. Insgesamt scheint es hier ebenfalls sinnvoll, solche neuen Ideen punktuell zu fördern und die weitere Entwicklung der Technologie und der Märkte zu beobachten.

4. AUSWAHL ANALYSierter UND WEITERFÜHRENDER LITERATUR

Die folgende Aufstellung zeigt die zentralen Literaturquellen, die für Erfolgskontrolle und somit für die hier dargestellten Ergebnisse herangezogen wurden. Nicht aufgelistet sind die Publikationen, die aus den Projekten der *Förderinitiative Energiespeicher* entstanden sind. Mehr Informationen zu den in der *Förderinitiative Energiespeicher* geförderten Projekten finden Sie unter <http://forschung-energiespeicher.info>.

Alexander Buttler & Hartmut Spliethoff: „Kampf der Studien - Metaanalyse aktueller Energiesystemstudien zum Bedarf an Speichern und konventionellen Kraftwerken im Kontext der Annahmen und der historischen Entwicklung“, Technische Universität München (Hrsg.), Januar 2016

Marcelo Carmo et al.: „A comprehensive review on PEM water electrolysis“, Elsevier International Journal of Hydrogen Energy Vol.38, April 2013

Jaephil Cho, Sookyung Jeong & Youngsik Kim.: „Commercial and research battery technologies for electrical energy storage applications“, Elsevier Progress in Energy Combustion and Combustion Science Vol.48, Juni 2015

Christian Doetsch et al.: „Metastudie Energiespeicher“, Studie im Auftrag des BMWi, Oktober 2014

Berit Erlach, Benedikt Lunz & Matthias Merzkirch: „Materialien Energiespeicher - Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050“, Schriftenreihe „Energiesysteme der Zukunft“ der Acatech, Peter Elsner und Dirk Uwe Sauer (Hrsg.), gefördert durch das BMBF und die Robert-Bosch-Stiftung, November 2015

Daniel Fürstenwerth et al.: „Stromspeicher in der Energiewende - Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienstleistungen und im Verteilnetz“, Agora Energiewende (Hrsg.), September 2014

Hans-Martin Henning & Adreas Palzer: „Was kostet die Energiewende? - Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050“, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Hrsg.), gefördert durch das BMWi, November 2015

International Energy Agency (IEA): „Technology Roadmap Energy storage“, aus der Reihe „Energy Technology Perspectives“ der IEA, 2014

Stephan Kohler et al.: „dena-Netzstudie II - Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 - 2020 mit Ausblick auf 2025“, Deutsche Energie-Agentur GmbH (Auftraggeber und Hrsg.), November 2010

Xing Luo et al.: „Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation“, Elsevier Applied Energy Vol.137, Januar 2015

Joachim Nitsch et al.: „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global“, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, Ingenieurbüro für neue Energien (Hrsg.), gefördert durch das eh. BMU, März 2012

Carsten Pape et al.: „Roadmap Speicher - Bestimmung des Speicherbedarfs in Deutschland im europäischen Kontext und Ableitung von technisch-ökonomischen sowie rechtlichen Handlungsempfehlungen für die Speicherförderung – Kurzzusammenfassung“, Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Stiftung Umweltenergie recht (Hrsg.), gefördert durch das ehemalige BMU, Juni 2014

Tom Smolinka, Martin Günther & Jürgen Garcke: „Stand und Entwicklungspotential der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien - Kurzfassung des Abschlussberichtes“, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung und Fuel Cell and Battery Consulting (Hrsg.), Studie im Auftrag des BMVI, Juli 2011

Michael Sterner & Ingo Stadler: „Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014

Michael Sterner et al.: „Der positive Beitrag dezentraler Batteriespeicher für eine stabile Stromversorgung“, Kurzstudie im Auftrag des Bundesverband für erneuerbare Energien und der Hannover Messe, März 2014

Oliver Teller et al.: „Joint EASE/EERA recommendations for a European energy storage technology development roadmap towards 2030“, European Association for Storage of Energy und European Energy Research Alliance (Hrsg.), März 2013

Alex Thielmann, Andreas Sauer & Martin Wietschel: „Gesamt-Roadmap stationäre Energiespeicher 2030“ und „Produkt-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030“, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Hrsg.), gefördert durch das BMBF, Dezember 2015

Alex Thielmann et al.: „Energiespeicher-Monitoring 2016 - Deutschland auf dem Weg zum Leitmarkt und Leitanbieter?“, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Hrsg.), gefördert durch das BMBF, Dezember 2016

Bernd Wenzel & Claudia Kunz: „Metaanalyse -Stromspeicher in Deutschland“, im Rahmen des Forschungsradars Energiewende, Agentur für Erneuerbare Energien (Hrsg.), gefördert durch BMWi, Januar 2015

Antje Wörner et al.: „Thermische Energiespeicher als sektorenübergreifende Querschnittstechnologie“, Beitrag zur Jahrestagung 2015 des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien; Berlin, 03.-04.11.2015

IMPRESSUM

Herausgeber:

Projekträger Jülich (PtJ)
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Verantwortlich:

Dr. Johannes Tambornino, PtJ
j.tambornino@fz-juelich.de

Kerstin van Mark, PtJ
k.van.mark@fz-juelich.de

Projektteam:

Dr. Aleksandar Rakić, PtJ
Dr. Margret Waschbüsch, PtJ
Steffen Linsmayer, PtJ
Astrid Lewalter, PtJ

Druck:

Grafische Medien, Forschungszentrum Jülich GmbH

Stand:

Juni 2017

Bildnachweis:

Titel: Mareike Lenzen (PtJ)

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft
und Energie und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

Für die Inhalte der Studie ist der Projekträger Jülich verantwortlich.
Die Inhalte spiegeln nicht zwangsläufig die Meinung der Auftraggeber wieder.

