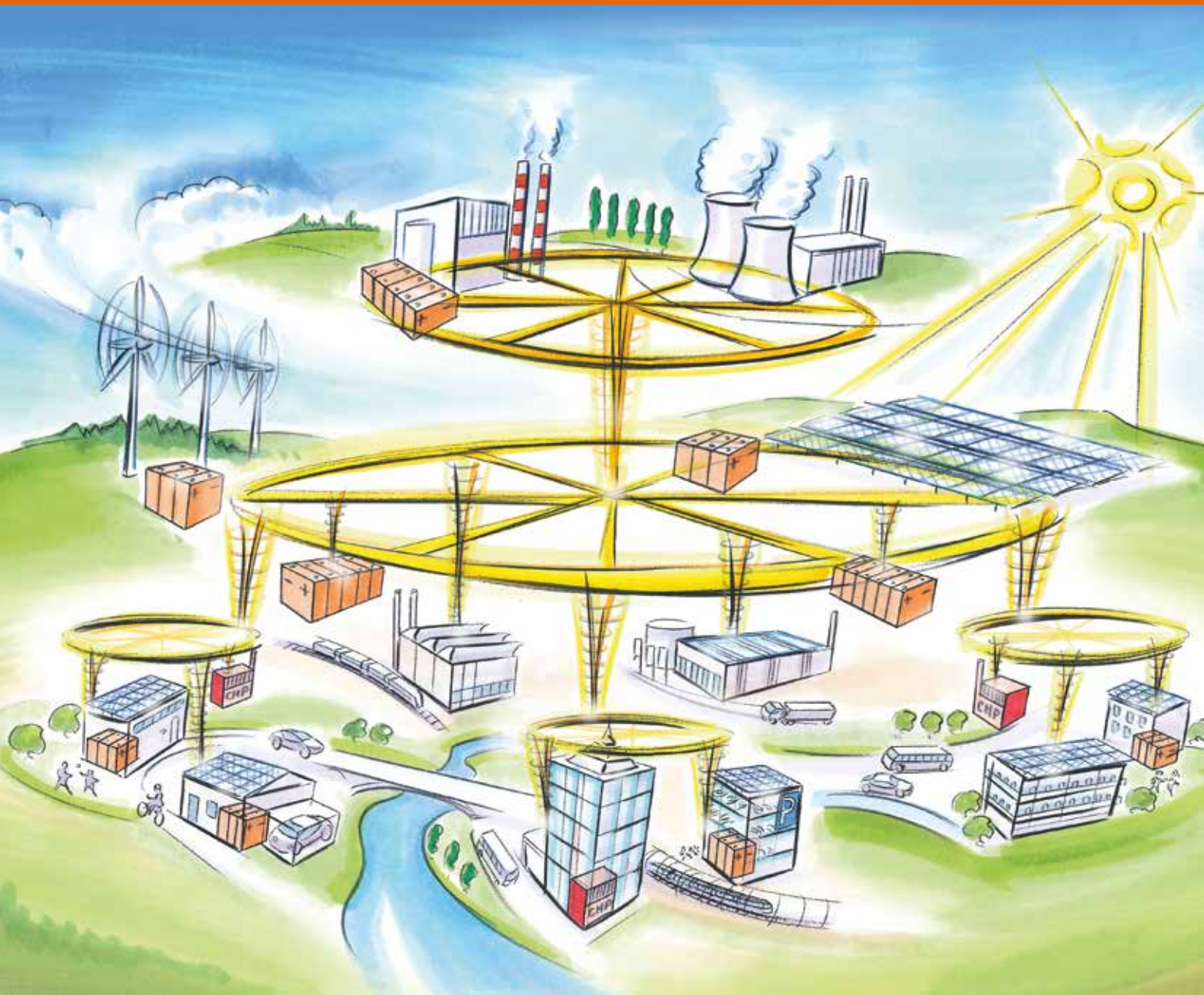


# PRODUKT-ROADMAP STATIONÄRE ENERGIESPEICHER 2030





# VORWORT



Schon in den letzten Jahren gab es einige nennenswerte Meilensteine, die den Erfolg der Erneuerbaren Energien (EE) im Rahmen der nationalen Energiewende greifbar machen: Beispielsweise die sogenannte Netzparität, d. h. gleich hohe Stromgestehungskosten von EE im Vergleich zum Endkundenpreis herkömmlicher elektrischer Energie aus dem Stromnetz. Am 1. Juli 2013 erreichte die Vergütung für Strom aus neuen Freiflächenanlagen wie z. B. Windparks die geschätzten Vollkosten für fossil-nuklearen Strom.<sup>1</sup> Und am Pfingstmontag, den 9. Juni 2014, stieg der Anteil der Solarenergie an der Brutto-Stromerzeugung in Deutschland erstmals auf 50,6 Prozent an, bei einer erzeugten Leistung von 23,1 Gigawatt.<sup>2</sup>

Neben den reinen Erzeugungskosten für Strom aus EE geht es zunehmend auch um Kosten für den Aufbau von netzdienlichen Speicher- und Wandlerkapazitäten, also stationäre Energiespeicher und Elektromobilität, Pumpspeicher, Wärmepumpen, Wärmespeicher und Power-To-Gas-Technologien. Investitionen in die Energiespeicher lohnen sich dann, wenn häufig große Preisdifferenzen für Strombezug auftreten, sei es an der Strombörse oder bei Endabnehmern. Diese Preisunterschiede schaffen die Grundlage für einen rentablen Energiespeicherbetrieb. Werden sie über die Tarifgestaltung an den Endabnehmer weitergereicht, wird ihr Einsatz auch für ihn interessant. Ferner ermöglichen die drastisch gefallen Preise für PV-Anlagen und die zu erwartenden Preissenkungen für Batterien zukünftig einen

wirtschaftlichen Betrieb von dezentralen PV-Batteriesystemen, sowohl im Wohnungssektor als auch im gewerblichen Umfeld. Die vorliegende „Produkt-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030“ geht auf Anwendungen, Produkte bzw. Geschäftsmodelle für (elektrochemische) Energiespeichertechnologien ein, welche in den kommenden Jahren bis 2030 sowie langfristig erschlossen werden können, und unterteilt dabei die lokale (privat, gewerblicher Besitz), Verteilnetz- sowie Übertragungsnetzebene. Anhand dreier spezifischer Anwendungsfälle, der dezentralen, netzgekoppelten PV-Batteriesysteme (On-Grid-PV) zur Eigenverbrauchs-optimierung, der Eigenverbrauchsoptimierung mit größeren Speichern (Campus/Gewerbe/Industrie) sowie dem Peak Shaving und Time Shifting werden Anforderungen an die Leistungsparameter einer technischen Lösung identifiziert und bewertet. Diese können durchaus sehr unterschiedlich ausfallen.

Rahmenbedingungen wie Regulierung und Förderung, Infrastruktur sowie gesellschaftliche und Kundenakzeptanz können zudem auf die Nachfrage nach elektrochemischen Speichern förderlich oder hemmend wirken und werden entsprechend diskutiert. Ein verbesserter Zugriff auf leistungsfähige, effiziente und wirtschaftlich zu betreibende Energiespeicher wird voraussichtlich von strategischer Bedeutung für den Übergang zu einer überwiegend auf EE basierenden Energieversorgung sein, denn sie trennen den Zeitpunkt der Erzeugung und des Verbrauchs voneinander.<sup>3</sup> Die Bundesregierung stellt in den Jahren 2013 bis 2016 im Rahmen der Energieforschung rund 3,5 Mrd. Euro für die Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien bereit.<sup>4</sup> Ziel ist es, eine große Bandbreite von Energiespeichertechnologien für Strom, Wärme und andere Energieträger zu entwickeln.<sup>5</sup> Die Roadmap soll hierbei einen Beitrag leisten und Akteuren der Energiewirtschaft, -politik und -forschung sowie der interessierten Öffentlichkeit Orientierung geben. Sie soll Anreize bei der weiteren Entwicklung, Unterstützung und Verbreitung von Energiespeichern für stationäre Anwendungen im Kontext der Energiewende schaffen.

Dr.-Ing. Matthias Vetter

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Abteilungsleiter PV-Inselanlagen und Batteriesystemtechnik

# EINLEITUNG

## PRODUKT-ROADMAP STATIONÄRE ENERGIESPEICHER

Die „Produkt-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030“ geht auf mögliche Anwendungen, Produkte bzw. Geschäftsmodelle für die in der „Technologie-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030“ dokumentierten Technologien mit Fokus auf den elektrochemischen Energiespeichern und insbesondere Lithium-Ionen-Batterien (LIB) im Zeitraum zwischen 2015 und 2030 ein und unterteilt dabei die Lokal-, Verteil- sowie Übertragungsebene. Dazu werden auch die Rahmenbedingungen diskutiert, welche auf die Nachfrage nach elektrochemischen Energiespeichern förderlich oder hemmend wirken können. Für drei ausgewählte Anwendungsfälle werden spezifische Produkthanforderungen bzw. Anforderungen an die Leistungsparameter qualitativ bewertet. Die Aussagen der Roadmap beziehen sich zunächst auf Deutschland bzw. Deutschland als Teil Europas. Einige spezielle Fälle mit

internationalem bzw. weltweitem Hintergrund und einem großen Marktvolumen in z. B. asiatischen Ländern sind mit entsprechenden Hinweisen versehen. Der Unterschied hinsichtlich der stationären Energiespeicherung ist zwischen Europa und der restlichen Welt (vor allem Asien) nicht mehr so groß wie er einmal war. Da aber nicht alle länderspezifischen Besonderheiten z. B. in der Regulierung berücksichtigt werden können, wird diese Abgrenzung vorgenommen. Deutsche Unternehmen finden zwar auch außerhalb von Deutschland bzw. Europa sehr gute Geschäftsmöglichkeiten, da jedoch die Rahmenbedingungen in Deutschland (z. B. nationale Energiewende) bzw. Europa (z. B. europäischer Stromverbund) speziell sind, fokussiert sich diese Roadmap auf dieses geographische Gebiet.



## VORGEHEN UND METHODIK

Der Erstellung aller Roadmaps liegt ein methodisch gestütztes Vorgehensmodell zugrunde. Hierbei werden qualitative und quantitative Forschungsmethoden kombiniert. Ebenso erfolgt jeweils (soweit möglich) ein Abgleich der nationalen (bzw. teilweise EU-) Perspektive der Roadmap mit internationalen Entwicklungen, wodurch das Roadmapping durch ein Monitoring ergänzt und gestützt wird.

Das Vorgehen folgt den in der Abbildung angedeuteten vier Schritten: In einem ersten Schritt wird auf Basis von Desk-Recherchen und Studienanalysen ein Rahmen für einen Zukunftsentwurf methodisch vorbereitet, welcher die Roadmap-Architektur darstellt und in Expertenworkshops (mit typischerweise 10 bis 20 für den Abdeckungsbereich der Roadmap einschlägigen Experten aus Wissenschaft und Industrie) inhaltlich erarbeitet wird. Hierdurch wird eine interaktive Diskussion und Konsensbildung ermöglicht. Vertiefende Expertengespräche gehen der Roadmap-Entwicklung teilweise voraus oder werden bei offenen Fragen im Nachgang geführt.

In einem zweiten Schritt wird die Roadmap erstellt und visualisiert. Handlungsoptionen können schließlich akteursspezifisch abgeleitet werden.

In einem dritten Schritt folgt eine Analyse und Konsistenzprüfung (z. B. durch Publikations-, Patentanalysen, Technologie- und Marktstudien etc.) sowie ggf. eigene Modellberechnungen, um die Aussagen der Roadmap über eine Szenarienbildung quer zu prüfen bzw. neben der qualitativen Experteneinschätzung auch quantitativ abzustützen und möglichst zu bestätigen.

In einem vierten Schritt erfolgt schließlich der Abgleich realer/aktueller Entwicklungen (z. B. erreichte Leistungsparameter, Beobachtung der Marktentwicklung) mit den aus der Roadmap abgeleiteten Handlungsoptionen. Die Verknüpfung mit dem (internationalen) Monitoring ist wichtig, um für Deutschland bzw. akteursspezifisch zugeschnittene Schlussfolgerungen und Handlungsoptionen ableiten zu können.

## KERNAUSSAGEN

Der Einsatz und die Verbreitung von stationären elektrochemischen Energiespeichern beginnen auf Lokal- (privat, gewerblicher Besitz) und Verteilnetzebene (umfasst Nieder- und Mittelspannungsnetz) und sind getrieben durch einen zunehmenden Bedarf nach Autarkie und Ausbau von Erneuerbaren Energien (EE) in der Energieversorgung. Dezentrale Speicher werden bereits heute als Photovoltaik (PV)-Batteriesysteme zur Eigenbedarfsoptimierung in privaten Haushalten, in der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) etc. eingesetzt und werden aller Voraussicht nach mit zunehmend verbesserter Wirtschaftlichkeit weiter diffundieren.

Die Eigenbedarfsoptimierung im gewerblichen Bereich und mit größeren Speichern folgt diesem Trend. Neben der Erschließung von Anwendungen mit größeren Energiespeicherklassen ergeben sich aber auch zunehmend differenzierte Geschäftsmodelle wie das Peak Shaving und Time Shifting, Systemdienstleistungen, die Direktvermarktung von Solar- oder Windenergie über Kurzfristspeicher, Microgrids mit kommunalen Kleinspeichern etc. Allerdings stehen einem Bedarf von elektrochemischen Energiespeichern zumeist alternative Flexibilisierungsoptionen wie z. B. Wärmepumpen in Kombination mit thermischen Speichern, aber auch die Abregelung von EE durch die noch zu geringe Wirtschaftlichkeit (elektrochemischer) Energiespeicherung in diesem Bereich entgegen. Erst mit dem deutlichen Ausbau der fluktuierenden EE wie Solar- und Windenergie und gleichzeitig einer signifikanten Kostenreduktion von Speicherlösungen kann sich hier ggf. langfristig ein Markt ab 2030 entwickeln.

Anhand drei spezifischer Anwendungsfälle, der dezentralen, netzgekoppelten PV-Batteriesysteme (On-Grid-PV) zur Eigenverbrauchsoptimierung, der Eigenbedarfsoptimierung mit größeren Speichern (Campus/ Gewerbe/Industrie) sowie dem Peak Shaving, werden Anforderungen an die Leistungsparameter einer technischen Lösung identifiziert. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Energiespeicherlösungen in konkreten Anwendungen/ Geschäftsmodellen sind neben den Investitionen und Betriebskosten oftmals auch die Kosten pro ausgespeicherter kWh oder Kosten über die gesamte Lebensdauer und damit „Levelized cost of energy“ (LCOE)-Bewertungen zentral. Zwar gelten Kosten, Lebensdauer (kalendarisch, zyklisch) und Sicherheit prinzipiell als Schlüsselparame-ter und viel weniger die Energiedichte wie für elektromobile Anwendungen, jedoch können auch deutlich andere Anforderungsprofile vorliegen (z. B. ohne besondere Anforderungen an Kosten pro ausgespeicherter Energie wie für das Peak Shaving bzw. Lastmanagement oder auch die USV).



# PRODUKT-ROADMAP STATIONÄRE ENERGIESPEICHER 2030

| ZEIT →   |  | 2015  |  |   | KURZFRISTIG   |   |
|--|--|---|--|---|---|---|
| RAHMENBEDINGUNGEN  | Regulierung und Förderung (z. B. EE-Förderung, Anreize für Speicher) | Entfall der Netzentgelte für eigene Erzeugung und eigenen Verbrauch<br>Novellierung Niederspannungsrichtlinie und EEG | Marktanreizprog. (MAP) für PV-Energiespeicher und Investitionszuschüsse<br>Energiemanagement zur Erhöhung der Betriebsflexibilität von Kraftwerken | Regierung beschließt Smart Meter-Rollout<br>Vereinfachte Reservebereitstellung (aus dem Verteilnetz)        | Ausbau des MAP auch für große stationäre Energiespeicher<br>EEG-Novellierung für Energiespeicher im Stromnetz (NS/MS) |   |
|  | Infrastruktur (z. B. Stromnetz, Kraftwerkspark)                      | Begrenzung der vergütungsfähigen Erzeugung (PV)   | PV-Kostendegression (anhaltend)  | Anstoß zur Normung von stationären Speichern<br>Standardisiertes Kommunikationssystem                       | Konkurrenztechnologien (z. B. Power-to-heat, Latent-/Wärmespeicher, Brennstoffzelle/Elektrolyse)                      |   |
|  | Gesellschaftliche/Kundenakzeptanz (z. B. Kosten, Geschäftsmodelle)   | Eigensichere Hausbatterien für Privatkunden   | Spektakuläre Unfälle, vor allem in Privathaushalten  | Regierung beschließt Smart Meter-Rollout<br>Endkundenkompatible Anforderungen an Betriebsstätte u. Logistik | Neue Geschäftsmodelle für Speicher-„Bewirtschafter“   |   |
| ANWENDUNGEN & PRODUKTE   | Lokale Ebene (privat, gewerblicher Besitz)                           | Off-Grid-PV zur Einzelhausversorgung  | On-Grid-PV zur Eigenbedarfsoptimierung <sup>1</sup>  | Schnellladestationen (xEV, Logistik)  | On-Grid-PV zur Eigenbedarfsoptimierung <sup>1</sup>   | Nutzung variabler Tarife                                      |
|  |  | Off-Grid-PV für Inselnetze  | Telekom-Funkmasten mit PV-Speicher   | USV   | Telekom-Funkmasten mit PV-Speicher  | Eigenbedarfsoptim. Campus/Gewerbe/Ind. mit >5 MW <sup>2</sup> |
|  | Verteilnetzebene   | Inselnetze (<10 kW)   | Peak Shaving (regelbare Ortsnetztransformation)  | Systemdienstleistungen (VN/ÜN)  | Inselnetze (<10 kW)   | Rekuperation über Oberleitungen (Bahn, Tram, Bus)             |
|  |  | Minimierung Strombezug Kommunen durch Peak Shaving  | Erzeuger-Peak Shaving (gewerblich)   | Direktvermarktung PV/Wind-Park mit Kurzfristspeicher  | Treibstoff für Mobilität (z. B. H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> )  |   |
|  | Übertragungsnetzebene  |   |  | Systemdienstleistungen (VN/ÜN)  |   |   |
| Zur Bewertung der Produktanforderungen ausgewählte Anwendungen | On-Grid-PV zur Eigenbedarfsoptimierung <sup>1</sup>                  | On-Grid-PV zur Eigenbedarfsoptimierung <sup>1</sup>   | Eigenbedarfsoptim. Campus/Gew./Ind. mit >5 MW <sup>2</sup>   |   |   |   |
| PRODUKTANFORDERUNGEN   | Kosten   | Pro ausg. kWh   | +  | ++  | ++  |   |
|  |  | Investition   | +  | ++  | ++  |   |
|  | Wirkungsgrad   | +   | ++   | +   |   |   |
|  | Lebensdauer  | Kalendarisch  | +  | ++  | 0   |   |
|  |  | Zyklisch  | +  | ++  | 0   |   |
|  | Umgebungsbedingungen   | -   | -  | +   |   |   |
|  | Sicherheit   | +++   | +++  | ++  |   |   |
|  | Volumetrische Energiedichte  | 0   | +  | 0   |   |   |
| Volumetrische Leistungsdichte                                  | -  | 0   | 0  |   |   |   |

Zeiträumen  
Gegenüberstellung der Rahmenbedingungen mit den Anwendungen und Produkten für stationäre Energiespeicher und ihren spezifischen Produktanforderungen

Skala zur Bewertung der Produktanforderungen  
 -- unwichtig + wichtig  
 - weniger wichtig ++ sehr wichtig  
 0 neutral +++ Voraussetzung

⊗ Nummerierung  
Bewertung der Produktanforderungen verschiedener Anwendungsfälle zu Markteintritt und Massenproduktion

| MITTELFRISTIG   |  |  | 2020  |   | LANGFRISTIG   |   | 2030   |                           |
|---|--|--|---|---|---|---|--|---------------------------|
| Anpassung von Regularien für Systemdienstleist.   | Redispatch-Sp. im Verteilnetz (Unbundling als Hemmnis) | Speicher-/Kraftwerksallokation                                   | Mehr als 35 % EE-Anteil   | Leistungsbezogene Netznutzungsentgelte                                    | Hoher CO <sub>2</sub> -Zertifikatspreis                                     | Mehr als 50 % EE-Anteil (in Deutschland bzw. EU insgesamt)    |  |                           |
| Gesetzliche Regelungen für Erzeuger/Verbraucher zur Verstetigung von Erzeugung/Verbrauch (Peak Shaving) |  |  | Regelzonen-Ausweitung   |   |   |   |  |                           |
| Finanzierung des Netzausbau/-umbaus   |  |  | Netzausbau  | Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur                           | Reduktion des Must-run  | Zu wenig Schwungmasse im Netz                                 |  |                           |
|   |  |  | 2nd use vs. Recycling (Konzepte)                                      |   |   |   |  |                           |
| Allgemeine Strompreissteigerung   | Steigerung des industriellen Strompreises              | Fortschritte in der Elektromobilität (z. B. Kosten)              |   | Akzeptanz H <sub>2</sub> -basierender Technologien (Speicher, Verteilung) |   |   |  |                           |
| Ind.: Deckelung Anschlusswerte Peak Shaving (Korea) <sup>3</sup>  | PV-Eigenverbrauch Remote & Notstromversorg.            | Ind.: Deckelung Anschlusswerte Peak Shaving (Korea) <sup>3</sup> | PV-Eigenverbrauch Remote & Notstromversorg.                           | Schnellladestationen (EV, Logistik)                                       | Nutzung variabler Tarife  |   |  |                           |
| Peak Shaving (regelbare Ortsnetztransformat.)   | Microgrid: Kommunale Kleinspeicher                     | Rekuperation über Oberleitungen (Bahn, Tram, Bus)                | Ladestationen (xEV, Logistik)   | Direktvermarktung PV/Wind-Park mit Kurzfristspeicher                      | Systemdienstleistungen (VN/ÜN)  | Netzintegration Elektromobile (V2G)                           |  |                           |
| Industrie: Deckelung Anschlusswerte Peak Shaving (Korea) <sup>3</sup>                                   |  |  | Wirkleistungsbilanzierung   | Systemdienstleistungen (VN/ÜN)  | Treibstoff für Mobilität (z. B. H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> )          | Momentanreserven  | Saison-speicher  | Wirkleistungsbilanzierung |
| Industrie: Deckelung Anschlusswerte Peak Shaving (Korea) <sup>3</sup>                                   |  |  | Industrie: Deckelung Anschlusswerte Peak Shaving (Korea) <sup>3</sup> |   | Eigenbedarfsoptimierung Campus/Gew./Ind. mit >5 MW <sup>2</sup>             |   |  |                           |
| 0   | ++   | 0  | ++  | 0   | ++  | ++  |  |                           |
| ++  | 0  | ++   | 0   | ++  | 0   | ++  |  |                           |
| 0   | +  | 0  | +   | 0   | +   | ++  |  |                           |
| +   | +  | +  | +   | +   | +   | +   |  |                           |
| +   | +  | +  | +   | +   | +   | +   |  |                           |
| ++  | ++   | ++   | ++  | ++  | ++  | ++  |  |                           |
| --  | --   | --   | --  | --  | --  | +   |  |                           |
| ++  | ++   | ++   | ++  | ++  | ++  | +   |  |                           |
| Markteintritt im Sinne der kommerziellen Verfügbarkeit  |  |  | Massenproduktion bzw. Anwendung im Massenmarkt                        |   | Aspekt wirkt sich förderlich für den Ausbau stationärer Energiespeicher aus | Aspekt ist neutral für den Ausbau stationärer Energiespeicher | Aspekt wirkt sich hemmend auf den Ausbau stationärer Energiespeicher aus |                           |

# ANWENDUNGEN UND PRODUKTE

Anwendungen & Produkte werden auf einer Gesamtsystemebene verstanden, wobei die konkrete Energiespeichertechnologie als „Black Box“ betrachtet werden kann. Jedoch fokussiert die Roadmap auf Anwendungsbereiche mit besonderer Relevanz für elektrochemische Energiespeicher und speziell Lithium-Ionen-Batterien (LIB).

Weiterhin werden die Anwendungen nach unterschiedlichen Netzebenen kategorisiert, genauer auf Lokal- (privat, gewerblicher Besitz), Verteil- (umfasst Nieder- und Mittelspannungsnetz) und Übertragungsnetzebene (Hochspannungsnetz, Fokus auf kurzfristig einsetzbare Energiespeicher zur Netzstabilisierung, auch saisonale Speicher fallen hierunter). Damit entfällt in dieser Roadmap die Unterteilung nach „zentralen“ und „dezentralen“ Energiespeichern, da viele Anwendungen nicht eindeutig zuzuordnen wären.

Lokale Energiespeicher umfassen Speicher, welche durch sogenannte „single stakeholder“ entweder privat oder gewerblich genutzt werden, und damit vor allem im Privatbesitz befindlich und nicht zwingend an die Netzinfrastruktur/an das Verteilnetz angeschlossen sind. Sogenannte „Contracting“-Geschäftsmodelle, in welchen der Eigenheimbesitzer nicht zwingend der Besitzer der Batterie sein muss, sind noch die Ausnahme.

Auch große Batterien werden als lokale Energiespeicher betrieben, aber häufig an das Verteilnetz angeschlossen, weshalb der Übergang von lokalen Speichern zu Speichern auf Verteilnetzebene nicht trennscharf ist. Große Gewerbespeicher sind in der Regel im Mittelspannungsnetz (zum Teil auch im Hochspannungsnetz) angeschlossen. Dann muss ein Gewerbebetreibender letztlich ähnliche Anforderungen erfüllen wie ein Verteilnetz-Betreiber: Eine bestimmte Anzahl von Leistungsspitzen darf nicht überschritten werden. Für beide Betreiber ist deshalb z. B. unter „Peak Shaving“ das Gleiche zu verstehen. Damit ist auch die Abgrenzung zur Hausbatterie als „lokalem“, vom Verteilnetz unabhängigen Energiespeicher, noch nicht trennscharf erfolgt.

Eine alternative, zusätzliche Sichtweise kann über die Betrachtung der Kosten erfolgen, welche als Schlüsselparameter bei der Bewertung von Speichertechnologien gelten: Das letztliche Aussehen der Anwendungen und Produkte kann sich strikt nach der Nachfrage am Markt orientieren – ein potenzieller Betreiber meldet einen bestimmten Bedarf mit spezifischen Kosten und für eine bestimmte Zeit an und danach dürfte sich das Aussehen der Technologie richten. Wichtig ist in diesem Zusammenhang der sogenannte Return on Investment (ROI) als Maßstab der Rentabilität über einen bestimmten Zeitraum, wie oft arbeitet ein Energiespeicher mit welcher Speicherleistung und was bekommt der Betreiber „pro Arbeit“ (z. B. pro ausgespeicherter kWh) – entsprechend möchte der Betreiber auch die Gewährleistung und Sicherheit vom Anbieter garantiert haben. Somit wären idealerweise die Anwendungen bzw. Geschäftsmodelle weiterhin bzgl. der Anforderungsprofile spezifiziert. Dies geht jedoch über den Rahmen der vorliegenden Roadmap hinaus.

Weiterhin sind Blockheizkraftwerke (BHKW) bzw. Energiespeicher zur Speicherung von Überschusswärme und zur Erhöhung der Energieeffizienz aus der Roadmap zwecks Fokussierung ausgeklammert. Da BHKW schon weit verbreitet sind, kann man außerdem sogar schon von einem existierenden Massenmarkt sprechen.

Die Anwendungen und Produkte sind in der Roadmap hinsichtlich der Kriterien Markteintritt (ab wann ist eine Anwendung als Produkt kommerziell verfügbar) sowie Massenmarktfähigkeit (wann beginnt die Volumenproduktion bzw. werden entsprechend größere Stückzahlen nachgefragt) verortet. Demnach lassen sich die Phasen der Markt- und Technologievorbereitung (vor dem Markteintritt), dem Markthochlauf (zwischen Markteintritt und Massenmarkt) sowie der Marktdiffusion (nach Erreichen des Massenmarktes) unterteilen.



## **LOKALE EBENE (PRIVAT UND GEWERBLICHER BESITZ)**

Photovoltaik (PV)-Inselssysteme zur autarken Einzelhausversorgung bzw. PV-(Hybrid)-Inselnetze (**Off-Grid-PV**) bezeichnen stationäre PV-Anlagen, welche nicht an das öffentliche Stromnetz angebunden sind und vor allem mit einem angebundenen Energiespeicher eingesetzt werden, um z. B. einzelne Häuser oder autarke Lokalnetze (isolierte Stromnetze) mit Energie zu versorgen. Der Marktanteil dieser Anwendungen und Produkte wächst vor allem in Entwicklungsländern. Sie sind heute bereits vorhanden und stellen einen Massenmarkt dar, vielfach sind heute schon Lösungen mit hohen solaren Deckungsanteilen gegenüber der Dieselgenerator-basierten Stromerzeugung wirtschaftlicher. Wichtig zu erwähnen ist, dass in PV-Inselssystemen zwar die Sonne als dominierende Energiequelle fungiert, aber durchaus auch andere Energiequellen (wie z. B. Wind) mit eingebunden werden können. Dies ist in der Regel nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch absolut sinnvoll und ratsam für alle autarken Systeme. Wenn sie also lokal verfügbar sind, sollten auch andere Energiequellen (Biowärme, Erdwärme, Wasser, Wind) mit einbezogen werden, und für die letzten kWh im Jahr und für wenige Leistungsspitzen steht ein Dieselgenerator als Backup zur Verfügung.

Dezentrale netzgekoppelte PV-Batteriesysteme (**On-Grid-PV**) zur Eigenverbrauchsoptimierung (z. B. eines privaten Familienhaushaltes) stellen eine separat einzuordnende Anwendung dar. Sie unterscheiden sich dadurch, dass die Anlagen durchaus über eine Netzkoppelung verfügen und damit nicht autark eingesetzt werden und sich die Speicherauslegung beispielsweise von der netzunabhängigen Anwendung unterscheidet. Netzgekoppelte Systeme können dank der Anbindung an das Verteilnetz im Allgemeinen kleiner ausgelegt werden, da keine Autonomiezeiten von mehreren Tagen benötigt werden. In der Regel reicht es aus, den Speicher so auszulegen, dass die Abend- und Nachtstunden abgedeckt werden können. Der Markteintritt in diesen Anwendungen zeigt sich z. B. aktuell in Deutschland, wobei kurzfristig sogar mit einer Wirtschaftlichkeit (engl. „Grid parity“) und daher der breiteren Marktdiffusion zu rechnen ist (zur Überbrückung der wirtschaftlichen Defizite gibt es hierzu seit 2013 ein KfW-Förderprogramm<sup>6</sup>, es wurde zum 1. April 2015 sogar bereits novelliert<sup>7</sup>). Mit diesen Kategorien sind sogenannte Eigenheim-Zwischenspeicher bzw. Hausbatterien umfassend abgedeckt.

**Telekom-Funkmasten mit PV-Speicher** sind von den oben beschriebenen dezentralen PV-Anwendungen separat zu betrachten. Es handelt sich dabei um sogenannte technische Stromversorgungen, welche teilweise Autonomiezeiten von bis zu sieben Tagen aufweisen. Dieses Produkt ist ebenfalls bereits am Markt, eine breitere Diffusion ist kurzfristig zu erwarten.

**Schnellladestationen (xEV, Logistik)** stellen eine separate Anwendung dar und werden einzeln aufgeführt. Über Schnellladestationen allgemein und ihre Durchsetzung im Speziellen denken verschiedene Marktteilnehmer noch unterschiedlich: Aus der Sicht von befürwortenden Experten könnte der Markteintritt schon kurzfristig erfolgen, während der Massenmarkt jenseits 2020 gesehen wird und eng an die Markthochlaufkurve für die Elektromobilität in Deutschland gekoppelt ist. Es handelt sich hierbei aber nicht nur um Ladestationen für Elektromobile (xEV), sondern um elektrische Fahrzeuge aus dem gesamten Logistik-Bereich, was eine große Menge batteriebetriebener Fahrzeuge (wie z. B. auch Gabelstapler) umfasst. Der Aspekt der stationären Energiespeicherung ist dabei, dass Ladeleistung zur Verfügung gestellt werden kann, wenn das Stromnetz ggf. nicht ausreicht.

**USV-Anwendungen und Produkte** werden zur unterbrechungsfreien Stromversorgung eingesetzt, wo sie die Versorgung (USV) von für das Funktionieren einer Gesellschaft wichtige Verbraucher (z. B. Krankenhäuser) sicherstellen sollen, indem die Energiespeicher Aussetzer im Stromnetz überbrücken. Diese Anwendungen werden bereits kommerziell angeboten und sollten kurzfristig in die Marktdiffusion gehen.

Bezüglich der **Nutzung variabler Tarife** wird nach der kurzfristig erwarteten Markteinführung ein Massenmarkt eher langfristig gesehen.

Die **Eigenbedarfsoptimierung Campus/Gewerbe/Industrie mit >5 MW** ist notwendigerweise als separates Geschäftsmodell zu berücksichtigen. Ein Massenmarkt in diesem Bereich wird (anders als im privaten Bereich bzw. in Haushalten) erst jenseits 2020 erwartet.

**Industrie: Deckelung Anschlusswerte Peak Shaving (Korea)** deutet auf ein neues Gesetz in Korea hin, durch welches jedes Unternehmen jährlich gezwungen wird, seine Maximalleistung um 10 bis 20 Prozent zu reduzieren, um die dortige Stromnetzsteuerung in den Griff zu bekommen. Wie die Unternehmen dies erreichen, ist prinzipiell egal und liegt in ihrer Eigenverantwortung – manche setzen hierbei auch auf Batterien als Energiespeicherlösung. Der Markteintritt wird vor diesem Hintergrund nach 2015 (kurz-/mittelfristig) gesehen und eine dann schnell folgende Marktdiffusion nach 2020 erwartet. Dieses Geschäftsmodell ist sehr stark abhängig von den in Korea herrschenden Rahmenbedingungen, und ist wohl vor allem vor dem Hintergrund der überragenden Rolle der Industrie in Korea notwendig und möglich. Für Deutschland zeigt es vor allem einen anderen Ansatz, welcher einen gesellschaftlichen Bedarf (die Netzstabilität) hoch priorisiert und die Unternehmen dazu auffordert, selbstständig zufriedenstellende Lösungen zu finden und zu implementieren.

| ZEIT →                 |  | 2015                                 |  | KURZFRISTIG  |  |
|------------------------|--|--------------------------------------|--|--|--|
| ANWENDUNGEN & PRODUKTE | Lokale Ebene (privat, gewerblicher Besitz) | Off-Grid-PV zur Einzelhausversorgung |  | Diffusion  |  |
|                        |  | Off-Grid-PV für Inselnetze           |  | Diffusion  |  |
|                        |  | M. u. T. Vorb.                       | On-Grid-PV zur Eigenbedarfsoptimierung             | Markthochl.  | On-Grid-PV zur Eigenbedarfsoptimierung                             |
|                        |  | M. u. T. Vorb.                       | Telekom-Funkmasten mit PV-Speicher                 | Markthochl.  | Telekom-Funkmasten mit PV-Speicher                                 |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   | Schnellladestationen (xEV, Logistik)               |  | Markthochlauf  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  | USV  |  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  | Nutzung variabler Tarife   |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  | Eigenbedarfsoptimierung Campus/ Gewerbe/Industrie mit >5 MW        |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  |  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  |  |
|                        | Verteilnetzebene                           | Inselnetze (<10 kWh)                 |  | Markthochlauf                                      | Inselnetze (<10 kWh)   |
|                        |  | M. u. T. Vorb.                       | Minimierung Strombezug Kommunen durch Peak Shaving |  |  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   | Erzeuger-Peak Shaving (gewerblich)                 |  |  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  | Peak Shaving (regelbare Ortsnetz-Transformat.)     | Markthochlauf  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  | Systemdienstleistungen (VN/ÜN)                     |  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  | Direktmarketing-PV/Wind-Park mit Kurzfristspeicher |  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  | Rekuperation über Oberleitungen (Bahn, Tram, Bus)                  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  | Markthochlauf  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  |  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  |  |
|                        | Übertragungsnetzebene                      | Markt- und Technologievorbereitung   |  | Systemdienstleistungen (VN/ÜN)                     |  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  | Treibstoff für Mobilität (z. B. H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ) |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  |  |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  | Markt- und Technologievorbereitung                                 |
|                        |  | Markt- und Technologievorbereitung   |  |  | Markt- und Technologievorbereitung                                 |

| MITTELFRISTIG  |               | 2020   | LANGFRISTIG  | 2030          | >2030                     |
|--|---------------|--|--|---------------|---------------------------|
|  |               | Diffusion  |  |               |                           |
|  |               | Diffusion  |  |               |                           |
|  |               | Diffusion  |  |               |                           |
|  |               | Diffusion  |  |               |                           |
|  |               | Schnellladestationen (xEV, Logistik)                     | Diffusion  |               |                           |
|  |               | Diffusion  |  |               |                           |
|  | Markthochlauf |  | Nutzung variabler Tarife   | Diffusion     |                           |
|  | Markthochlauf |  | Eigenbedarfsoptimierung Campus/ Gewerbe/Industrie mit >5 MW        | Diffusion     |                           |
| Industrie: Deckelung Anschlusswerte Peak Shaving (Korea) | Markthochl.   | Industrie: Deckelung Anschlusswerte Peak Shaving (Korea) | Diffusion  |               |                           |
| PV-Eigenverbrauch Remote & Notstromversorgung            | Markthochl.   | PV-Eigenverbrauch Remote & Notstromversorgung            | Diffusion  |               |                           |
|  |               | Diffusion  |  |               |                           |
|  |               | Markthochlauf  |  |               |                           |
|  |               | Markthochlauf  |  |               |                           |
| Peak Shaving (regelbare Ortsnetz-Transformat.)           |               |  | Diffusion  |               |                           |
| Markthochlauf  |               |  | Systemdienstleistungen (VN/ÜN)                                     | Diffusion     |                           |
| Markthochlauf  |               |  | Direktmarketing-PV/Wind-Park mit Kurzfristspeicher                 | Diffusion     |                           |
| Markthochlauf  |               | Rekuperation über Oberleitungen (Bahn, Tram, Bus)        | Diffusion  |               |                           |
|  |               | Ladestationen (EV, Logistik)                             | Diffusion  |               |                           |
|  |               |  | Netzintegration Elektromobile (V2G)                                | Markthochlauf |                           |
| Microgrid: Kommunale Kleinspeicher                       |               | Markthochlauf  | Microgrid: Kommunale Kleinspeicher                                 | Diffusion     |                           |
| Markthochlauf  |               |  | Systemdienstleistungen (VN/ÜN)                                     | Diffusion     |                           |
| Markthochlauf  |               |  | Treibstoff für Mobilität (z. B. H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ) | Diffusion     |                           |
|  |               | Wirkleistungsbilanzierung                                | Markthochlauf  |               | Wirkleistungsbilanzierung |
|  |               |  | Momentanreserven   |               |                           |
|  |               |  |  |               | Saisonspeicher            |

**Zeitraumen**  
Frage nach der zeitlichen Einordnung verschiedener Anwendungen und Produkte für stationäre Energiespeicher nach Markteintritt und Massenproduktion bzw. Anwendung im Massenmarkt

Markteintritt im Sinne der kommerziellen Verfügbarkeit

Massenproduktion bzw. Anwendung im Massenmarkt

Andeutung der verschiedenen Marktphasen für eine Anwendung Markt- und Technologievorbereitung / Markthochlauf / Diffusion

**PV-Eigenverbrauch Remote & Notstromversorgung** bezeichnet Energiespeicher, welche vom Energieversorger angesteuert werden können und damit im Kontrast zu anderen Eigenverbrauchs-Anwendungen stehen. Die Energiespeicher sollen 3–10kW leisten und geringe Kosten pro ausgespeicherter kWh ermöglichen. Der Markteintritt könnte um 2016–2017 erfolgen, und ein Massenmarkt um 2020 entstehen. Diese Zeitpunkte sind aber abhängig von den dann bestehenden Rahmenbedingungen, z. B. im Bereich Regulierung. Weil die Besitzgrenze für diese Speicher heute noch nicht eindeutig zu definieren ist, könnte diese Anwendung auch in der Kategorie „Verteilnetz“ stehen.

## VERTEILNETZEBENE

**Inselnetze (<10kW)** bis in die MW-Klasse gibt es schon heute, der Markteintritt ist erfolgt. Eine Marktdiffusion kann kurzfristig nachfolgen.

Das Geschäftsmodell der **Minimierung des Strombezugs von Kommunen durch Peak Shaving** erlebt bereits seinen Markteintritt. Diese Anwendung wird auf absehbare Zeit noch keinen Massenmarkt erreichen, anders als bei Systemdienstleistungen (VN/ÜN), die langfristig einen Massenmarkt darstellen werden.

Mit **Erzeuger-Peak Shaving (gewerblich)** sind Erzeuger-Höchstleistungen gemeint, welche mit Solar- oder Windenergieparks erzeugt werden. Ähnlich der Eigenbedarfsoptimierung wird ein Energiespeicher eingesetzt, um Erzeugung und Verbrauch der eigenen Energie zu steuern. Außerdem würden solche (größeren) Energiespeicher ihren Beitrag zur Netzstabilisierung erbringen. Bereits vorhandene Produkte in diesem Bereich sind dezentrale Photovoltaik (PV)-Batteriesysteme. Momentan sind sie aber nur im Stadium der Pilotprojekte befindlich, der Markteintritt wird kurzfristig erfolgen und der Markthochlauf relativ langsam anlaufen.

**Peak Shaving (regelbare Ortsnetztransformation)** hat einen globalen Bezug, es steht für den Markteintritt verschiedenster Anwendungen und Produkte spätestens ab 2015. Rein technologisch gesehen geht es hier z. B. um Natrium-Schwefel-Batterien (NaS), aber anwendungsbezogen z. B. um Quartierspeicher aller Art. Der Massenmarkt könnte schon mittelfristig erreicht werden.

Mit Systemdienstleistungen (VN/ÜN) sind verschiedene Netzdienstleistungen im Verteil- (VN) und Übertragungsnetz (ÜN) unter einem Sammelbegriff zusammengefasst. Der Zeitpunkt des Markteintrittes ist durch diese Zusammenfassung daher auch nicht klar definiert, da die Energiespeicher nicht ausschließlich

für eine einzige Anwendung in Frage kommen, sondern viele Arten von Systemdienstleistungen abdecken können, z. B. Blindleistungskompensation, Netzstabilität etc. Dies verbessert ihre Wirtschaftlichkeit.

Eines der Argumente gegen die Energiewende ist, dass „weniger konventionelle Kraftwerke“ die stabile Energieversorgung nicht gewährleisten können. Dies erscheint zu vereinfacht: 5000–6000 MW schon heute installierter Biomasse-Kapazität in Deutschland ist gut regelbar, aber ob die Biomasse wie konventionelle Kraftwerke zur Regelleistungsvorhaltung eingesetzt wird, ist dem Geschäftsmodell der jeweiligen Betreiber überlassen – und eine Option von vielen. Außerdem kann man nur relativ schwer einschätzen, welche Energiespeichertechnologien bei der Regelleistung eingesetzt werden. Sie dürften zwar als Teilmodell eine Rolle spielen, aber nicht als Hauptgeschäftsmodell. Dieser Massenmarkt könnte also zu früh verortet sein – noch wird relativ viel konventionelle Kraftwerksleistung als Regelleistung an der Börse vermarktet. Selbst wenn in Deutschland 100 Prozent erneuerbare Energiequellen eingesetzt würden, wäre kein konventionelles Gaskraftwerk mehr notwendig, weil es genügend regelbare (also nicht fluktuierende) Erneuerbare Energien (EE) gibt, z. B. Biomasse oder Erdwärme. Auch Langzeitspeicher können hier bei Bedarf einspringen, z. B. Pumpspeicher oder Wasserstoffspeicher. Der europäische Stromverbund kann hier mithelfen, lokale bzw. temporäre Energiebedarfe auszugleichen.

Die Regelleistung im energiewirtschaftlichen Sinn umfasst Regelleistung, welche im Minuten- oder Viertelstunden-Bereich ansetzt und über den Intraday-Handel allerletzte, kurzfristige Fahrplanänderungen für den laufenden Betrieb ausgleicht (in Deutschland etwa 3000 MW Regelleistung). Innerhalb einer Regelzone muss eine gewisse Regelleistung vorgehalten werden, das wird auch weiterhin gefordert, und sollten Energiespeicher hinreichend günstig sein, könnten sie so ein Geschäftsmodell darstellen. Insgesamt beläuft sich die klassische Regelleistung auf 6000–7000 MW, und diese wird nicht mehr so weit ansteigen, dass sie nicht mit alternativen Erzeugungseinheiten (und Energiespeichern) abgedeckt werden könnte. Auf der anderen Seite ist sowohl umstritten, dass die Situation schnell eintritt, dass keine konventionellen Kraftwerke mehr am Netz sind, und dass jemand Energiespeicher zur Regelleistungsbereitstellung erwirbt. Die ersten Forschungsprojekte, diese mit Energiespeichern abzudecken, laufen bereits, da der Markteintritt kurzfristig gesehen wird, dürfte es nicht mehr als acht bis zehn weitere Jahre bis zur Entstehung eines Massenmarktes dauern. Da „Regelleistung“ ein Terminus Technicus ist, wird hierfür der übergreifende Begriff **Systemdienstleistungen (VN/ÜN)** verwendet.

Das Geschäftsmodell der **Direktvermarktung PV/Windpark mit Kurzfristspeicher** wird nach 2015 erwartet. Ein Massenmarkt könnte sich langfristig etablieren. Gemeint ist die Stromglättung von PV-Parks, also eine fahrplanmäßige, gleichmäßige Lieferung des Stroms („Stromveredelung“). Es ist hierbei nicht die Verbrauchsseite, sondern die Erzeugerseite gemeint – und auch Windenergie-Parks sind mit einbezogen. Insgesamt zielt diese Initiative u. a. in Richtung eines Marktmodells für (erneuerbare) Regelleistung. Diese Anwendung wird speziell in Verbindung mit einem Energiespeicher je nach Experteneinschätzung teilweise aber auch erst später gesehen, da noch sehr viel konventionelle Leistung im Markt vorhanden ist. Den durch Speicherintegration höheren Stromgestehungskosten steht eine höhere Wertigkeit des PV- und Windstroms gegenüber.

Für die **Rekuperation über Oberleitungen (Bahn, Tram, Bus)** gibt es bereits Pilotprojekte, aber der Markt ist noch nicht etabliert. Gerade im Hinblick auf neu zu strukturierende Bahnnetze (z. B. in Russland) ist es wichtig, diesen Punkt mitzudenken, da es hier durchaus konkrete Anfragen gibt, entlang der Bahnlinien zur Leistungsregelung bzw. Stromversorgung auch Energiespeicher einzusetzen. Weil es sich aber um 10–15 GW Leistung handelt, müssten die Energiespeicher entsprechend groß ausgelegt werden. Nach einem evtl. kurzfristigen Markteintritt wird ein Massenmarkt jenseits 2020–2022 erwartet.

Unter **Microgrid: Kommunale Kleinspeicher** werden größere Eigenversorgungsnetze verstanden, welche an das öffentliche Stromnetz gekoppelt, aber eben nicht vorrangig von ihm abhängig sind. Damit kann z. B. die kommunale Industrie in versorgungsschwachen Zeiten auf das Stromnetz zurückgreifen, und ist ansonsten unabhängig von ihm. Es stellt sich bei diesem Modell nur die Frage, wer für die Reststrommenge aufkommt, und wie viel diese kosten wird. Der Markteintritt für diesen Anwendungsfall wird für einen mittelfristigen Zeitpunkt erwartet, der Massenmarkt eher langfristig. In Asien gibt es bereits erste Beispiele, aber die Fragestellung der Reststrommenge ist ungeklärt. Technisch machbar ist das Vorhaben (und wird als notwendig für die erfolgreiche Umsetzung der nationalen Energiewende angesehen), aber die Regulierung und Umsetzung im Verteilnetz wird beliebig komplex.

**Ladestationen (xEV, Logistik)** stellen die wichtigste Schnittstelle zur Netzintegration von Elektromobilen dar (siehe auch nächster Punkt). Sie sind ein bedeutender Teil des zukünftigen Smart Grid, und mit ihnen kann ein Fahrzeug auch von Netzdienstleistern verwendet werden, z. B. als verlagerbare Last im Zusammenhang mit dem gesteuerten Laden und zumindest theoretisch sogar zur Rückspeisung von Energie. Der Massenmarkt wird hierfür jenseits 2020 erwartet, eingehend mit der Marktentwicklung bei den Elektrofahrzeugen.

Hinter der **Netzintegration Elektromobile (V2G)** steckt der Gedanke, dass die Energiespeicher der Elektrofahrzeuge auch von einem Netzdienstleister über eine Integration in das Smart Grid (engl. „Vehicle to grid“, Abkürzung V2G) genutzt werden können (siehe oben). Energie könnte aus geladenen, stehenden Fahrzeugen in der Mittagszeit ausgespeichert werden, wenn sie sonst nur auf dem Markt teuer zu kaufen wäre, und am Nachmittag wieder eingespeichert werden, wenn sie billiger ist. Dies macht allerdings überhaupt erst dann Sinn, wenn es eine kritische Masse an elektrischen Fahrzeugen auf dem Markt in Deutschland gibt. Aus diesem Grund wird der Markteintritt ab 2020 verortet. Wann hier ein Massenmarkt erreicht wird, ist noch unklar. Neben technischen Herausforderungen bleiben in diesem Bereich auch noch erhebliche regulierungsbezogene Fragen offen. Japan könnte hier Vorreiter werden.

## ÜBERTRAGUNGSNETZEBENE

Unter **Treibstoff für Mobilität (z. B. H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>)** wird die Bereitstellung von unter anderem Wasserstoff, Methan bzw. Methanol (CH<sub>3</sub>OH) für Brennstoffzellenfahrzeuge zusammengefasst. Wasserstoff kann durchaus auch erst einmal (in geringen Mengen) ins bereits vorhandene Erdgas-Netz gespeist werden. Erste Erdgas-Fahrzeuge gibt es auf dem Markt erhältlich, welche von Kunden gekauft werden, welche für „grüne“ Mobilität einen Aufpreis in Kauf nehmen (engl. „early adopter“). Dazu kommt die Idee hinter der Power-to-X-Technologie, dass mit dem zunehmenden Einsatz fluktuierender EE temporär anfallende Stromüberschüsse in Prozessen eingesetzt werden, um einen ansonsten eher energieintensiven und deshalb ggf. eher nicht umgesetzten Verwendungszweck „X“ zu realisieren. Besonders diskutiert wird in diesem Zusammenhang „Power-to-gas“ bzw. die Herstellung von Wasserstoff, Methan bzw. Methanol. Hier wird über eine Elektrolyse oder reversible Brennstoffzellen elektrische Energie aus den EE in chemische Energie umgewandelt und Gas gewonnen, teilweise Methan über eine der Elektrolyse folgende Methanisierung oder reiner Sauerstoff und Wasserstoff, der z. B. in geologischen Kavernen zwischengespeichert werden kann. Der große Vorteil von Power-to-X-Technologien ist die Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz „grünen“ Stroms für ansonsten durch den Einsatz fossiler Brennstoffe eher emissionsreiche Prozesse.

Unter der **Wirkleistungsbilanzierung** (elektrochemisch) wird eine klassische Energiespeicherfunktion verstanden. Der Markteintritt wird frühestens mittelfristig bzw. im Jahr 2020 erwartet, der Massenmarkt um das Jahr 2030.

Für **Momentanreserven** gibt es noch keine Anwendungen und Produkte auf dem Markt, aber in Hinblick auf die zu diskutierenden Rahmenbedingungen sollten auch diese Reserven mitgedacht werden. Für Kraftwerksbetreiber, welche zur Netzstabilisierung im Sekunden-Bereich drehende Massen vorhalten müssen, bieten sich Energiespeicher an. In diesem Falle könnte durch die Vermarktung als Reserveleistung eine solche Anwendung auch die Wirtschaftlichkeit einer für einen anderen Zweck angeschafften Speicher-Anwendung verbessern. Das könnte sogar zu wettbewerbsfähigen Preisen geschehen, denn wenn man mit einem Kraftwerk die Reserveleistung bereitstellen wollte, müsste es definitiv im Teillast-Bereich gefahren werden, d. h., es entstehen durch die Wirkungsgradabweichungen Opportunitätskosten, die beim Speicher nicht entstehen – und letztlich dürfte auch die Speicher-Anschaffung keine Rolle spielen, denn im Optimalfall wird er nicht nur für die Reserveleistung angeschafft, sondern es ist einer von vielen Anlässen: Ein Energiespeicher kann beitragen zum Blindleistungshaushalt, zur Netzstabilität, zur Schwarzstartfähigkeit. Alles muss berücksichtigt werden, um den Bedarf an Kraftwerken im Stromnetz zu ermitteln, um auszurechnen, wie viel Regelleistung die erneuerbaren Energien selbst liefern müssen und wie groß letztlich die Lücke dann noch für einzelne Teilaspekte ist, wo Energiespeicher eine Rolle spielen können.

Für **Saisonspeicher** (elektrochemisch) wird ein Markteintritt erst jenseits 2030 erwartet – wobei der Einsatz von Wasserstoff als am realistischsten gilt. Der Massenmarkt folgt entsprechend später. Experten sind sich aber sicher, dass die Speicher ihre Nachfrage finden werden und für die nationale Energiewende eine technische Notwendigkeit darstellen.

## **WEITERE ASPEKTE UND EINFLUSS-FAKTOREN**

Das **Second Use/Recycling** bzw. die Nutzung von ausgedienten Speichern ist ein Aspekt, welcher in dieser Roadmap nicht vertieft wird. Jedoch sind gerade mit Blick auf eine schnelle Erreichung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Energiespeichertechnologien auch derartige Geschäftsmodelle bzw. ihre Zweitnutzung mitzudenken.

Auch die **Kombinierte Nutzung/Auslegung von Energiespeichern** für mehrere Anwendungsfälle kann ggf. überhaupt erst zu einem Markteintritt und breiteren Diffusion führen, solange elektrochemische Energiespeicher gegenüber anderen Flexibilisierungsoptionen noch nicht wirtschaftlich sind. Dies erfordert aber eine vertiefte Betrachtung und Spezifizierung der Anwendungen/Geschäftsmodelle hinsichtlich der Anforderungs-/Nutzungsprofile.

Während elektrochemische Energiespeicher somit auf Lokal- und Verteilnetzebene bereits in ersten Anwendungen wirtschaftlich werden, werden wirtschaftliche Geschäftsmodelle auf Übertragungsnetzebene (sowie der Bedarf nach stationären Energiespeichern) erst langfristig und ganz eng verbunden mit dem **Ausbau der Erneuerbaren Energien** erwartet. Gleichzeitig kann sich eine rasche Kostendegression von Energiespeichern wie z. B. Lithium-Ionen-Batterien (LIB), insbesondere durch eine **positive Entwicklung der Elektromobilität** förderlich auf eine sukzessive Erschließung neuer Geschäftsmodelle auswirken, weshalb die Entwicklung von Energiespeichern für elektromobile und stationäre Anwendungen dringend gemeinsam beobachtet werden sollte.



# RAHMENBEDINGUNGEN

Die tatsächlichen Entwicklungsmöglichkeiten der identifizierten Anwendungen & Produkte bzw. damit verbundenen Geschäftsmodelle hängen besonders von den rahmensetzenden Bedingungen in Deutschland bzw. Europa ab. Für die Aspekte der Regulierung und Förderung, Infrastruktur sowie Gesellschaftliche Kunden-Akzeptanz werden daher aktuelle und künftig zu erwartende Einflussfaktoren identifiziert, welche sich auf einen Ausbau stationärer Energiespeicher hemmend (rot), neutral (gelb) bzw. förderlich (grün) auswirken können.

## REGULIERUNG UND FÖRDERUNG

Hinsichtlich der Regulierung und Förderung wirkt sich der **Entfall der Netznutzungsentgelte für eigene Erzeugung und eigenen Verbrauch** förderlich aus. Der Koalitionsvertrag der Bundesregierung sieht allerdings vor, Kleinverbraucher mit Eigenerzeugungsanlagen weniger stark aus der Beteiligung an den Netzkosten zu entlassen.<sup>8</sup> Das System der Netznutzungsentgelte für Großverbraucher wiederum ist maßgeblich durch Sonderregelungen und Ausnahmen geprägt, so dass seine Fortschreibung und die Einführung neuerlicher Ermäßigungen als wenig effizient gelten. Während es also im erstgenannten Fall aus Sicht der Förderung von Energiespeichern keine dringende Handlungsnotwendigkeit gibt, ist diese im letztgenannten Fall umso größer.

Eine **EEG-Novellierung** trat zum 1. August 2014 in Kraft, berücksichtigt „Energiespeicher“ allerdings nicht.<sup>9</sup> Ganz im Gegenteil stand die vorrangige Einspeisung des „grünen“ Stroms in das Stromnetz im Vordergrund. Die nächste Novelle wird für das Jahr 2016 erwartet. Ob damit der große Wurf einer EEG-Novellierung für Energiespeicher im Stromnetz (NS/MS) für ihren Einsatz unter Niederspannung/Mittelspannung kommt, kann bezweifelt werden, da auch in der „10-Punkte-Energie-Agenda“ des BMWi zur aktuellen Legislaturperiode „Energiespeicher“ nicht auftauchen.<sup>10</sup>

Die **Niederspannungsrichtlinie** wurde zum 1. Januar 2012 aktualisiert, womit die Spannungsstabilität im europäischen Verbundnetz erhöht werden sollte.<sup>11</sup> Dazu kam die Richtlinie

2014/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt.<sup>12</sup> Mit diesen Rahmenbedingungen ist der Einsatz von Energiespeichern mit Anbindung an das Stromnetz zur Einspeisung von z. B. über Photovoltaik (PV)-Anlagen gewonnenem Strom planbar und sicher geworden.

Ein **Marktanreizprogramm (MAP) für PV-Energiespeicher und Investitionszuschüsse** wurde rückwirkend zum 1. Januar 2013 eingerichtet<sup>13</sup>, es wurde zum 1. April 2015 sogar bereits novelliert<sup>14</sup>. Es gilt als guter erster Schritt, der jedoch nicht ausreichend ist, um das Potenzial von Energiespeichern zur Systemdienlichkeit zu erschließen.<sup>15</sup> Ein **Ausbau des MAP auch für große stationäre Energiespeicher** wäre notwendig, wenn diese stärker gefördert werden sollten. Auf der anderen Seite werden MAP auch umstritten diskutiert, denn der Strompreis stellt eigentlich auch einen Marktanreiz dar, über welchen es ggf. zum flächendeckenden Einsatz von Energiespeichern kommen könnte.

Alle Arten der Flexibilitätserhöhung zwischen Angebot und Nachfrage tragen dazu bei, den Energiespeicherbedarf zu reduzieren. Das zunehmend betriebene **Energiemanagement zur Erhöhung der Betriebsflexibilität von Kraftwerken** senkt den Bedarf nach Energiespeichern und wirkt sich damit hemmend für deren Marktentwicklung aus.

Der flächendeckende **Smart Meter-Rollout** in Deutschland ist Teil des am 4. November 2015 durch das Bundeskabinett beschlossenen Regierungsentwurfes für ein Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende.<sup>16</sup> Das BMWi hatte zu dessen Vorbereitung schon am 9. Februar 2015 sieben Eckpunkte für ein Regelungspaket präsentiert<sup>17</sup>, die in einem Konsultationsprozess diskutiert wurden. Am 21. September legte das BMWi auf Basis der Konsultationsergebnisse einen Referentenentwurf für das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende vor, der den Einsatz intelligenter Messsysteme sicher und kosteneffizient vorantreiben sollte. Die Bundesländer und Verbände konnten sich zum Entwurf äußern und haben entsprechende Stellungnahmen

| ZEIT →            |   | 2015  |  | KURZFRISTIG   |   |
|-------------------|---|---|--|---|---|
| RAHMENBEDINGUNGEN | Regulierung und Förderung<br>(z. B. EE-Förderung, Anreize für Speicher) | Entfall der Netzentgelte für eigene Erzeugung und eigenen Verbrauch<br>Novellierung Niederspannungsrichtlinie und EEG | Marktanreizprog. (MAP) für PV-Energiespeicher und Investitionszuschüsse<br>Energiemanagement zur Erhöhung der Betriebsflexibilität von Kraftwerken | Regierung beschließt Smart Meter-Rollout<br>Vereinfachte Reservebereitstellung (aus dem Verteilnetz)        | Ausbau des MAP auch für große stationäre Energiespeicher<br>EEG-Novellierung für Energiespeicher im Stromnetz (NS/MS) |
|                   | Infrastruktur<br>(z. B. Stromnetz, Kraftwerkspark)                      | Begrenzung der vergütungsfähigen Erzeugung (PV)   | PV-Kostendegression (anhaltend)  | Anstoß zur Normung von stationären Speichern<br>Standardisiertes Kommunikationssystem                       | Konkurrenztechnologien (z. B. Power-to-heat, Latent-/Wärmespeicher, Brennstoffzelle/Elektrolyse)                      |
|                   | Gesellschaftliche/Kundenakzeptanz<br>(z. B. Kosten, Geschäftsmodelle)   | Eigensichere Hausbatterien für Privatkunden   | Spektakuläre Unfälle, vor allem in Privathaushalten  | Regierung beschließt Smart Meter-Rollout<br>Endkundenkompatible Anforderungen an Betriebsstätte u. Logistik | Neue Geschäftsmodelle für Speicher-„Bewirtschafter“   |

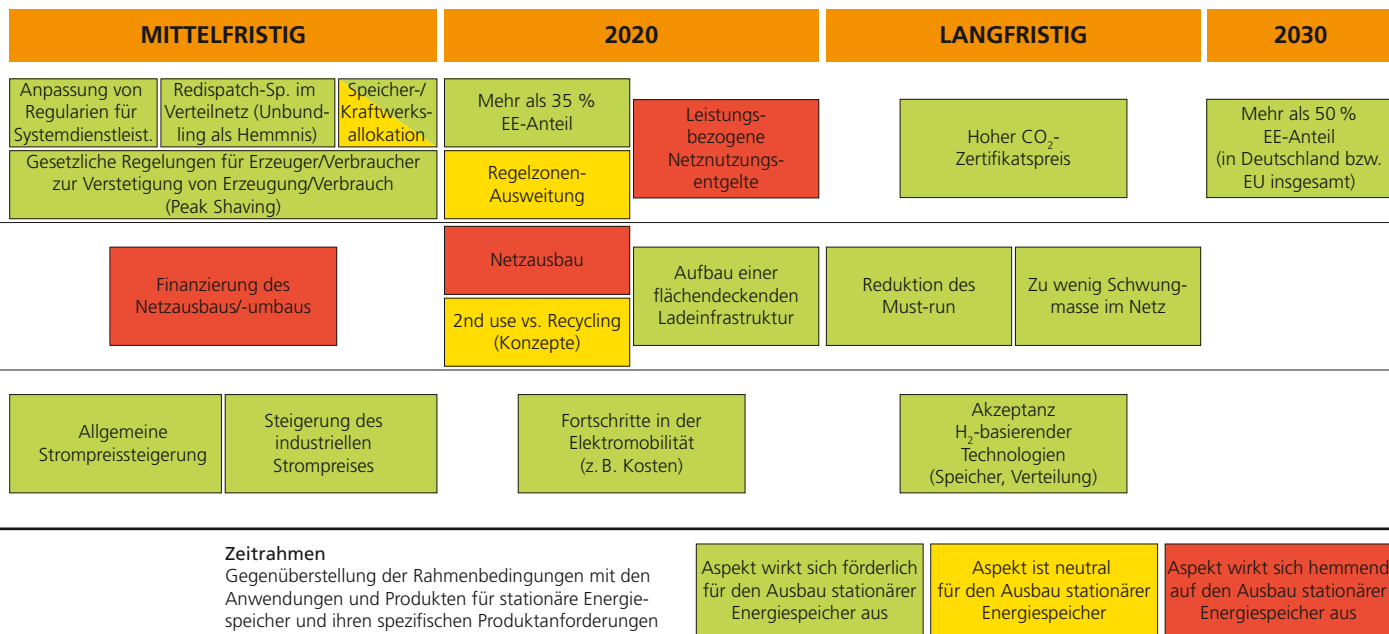
eingereicht. Der Nutzen für Privathaushalte ist nach wie vor umstritten<sup>18</sup>, für Endkunden ergeben sich insbesondere hohe Kosten ohne größeren Nutzen, der mit den Smart Metern einherginge. Der Rollout stellt allerdings einen zentralen Punkt für die Entwicklung eines intelligenten Stromnetzes dar und erst im Smart Grid können Energiespeicher ihre volle Wirkung entfalten und für alle möglichen Funktionen eingesetzt werden. Smart Meter sind für Neubauten schon heute Gesetz. Für die Energiespeicherentwicklung ist eine quasi „erzwungene“ Einführung in allen Gebäuden positiv zu bewerten, für die Gesellschaftliche/Kunden-Akzeptanz vermutlich überwiegend negativ.

Die Bereitstellung von Reserveleistung ist momentan noch auf konventionelle Systeme ausgelegt. Weil dies nicht optimal ist bzw. mit dem Aufkommen der Erneuerbaren Energien (EE) zurückgeht, wird sich die **Vereinfachte Reservebereitstellung (aus dem Verteilnetz)** positiv auf die Energiespeicherentwicklung auswirken und schon kurzfristig erwartet.

Die **Anpassung von Regularien für Systemdienstleistungen** zum Erhalt der Netzstabilität geht mit dem eben genannten Aspekt einher, ist dringend notwendig<sup>19</sup> und wird spätestens mittelfristig erwartet. Durch neue Regularien sollen (Reserve-) Energiespeicher insofern begünstigt werden, als dass anders als in den aktuellen Regularien ein Energiespeicher nicht mehr nur Kurzzeitspeicher sein kann, denn für manche Bedarfe sind auch

Mittelfrist und Langzeitspeicher erforderlich. Deshalb handelt es sich bei der Anpassung der Regularien um einen förderlichen Aspekt. EE können technisch schon heute wichtige Systemdienstleistungen erbringen, die Rahmenbedingungen zur Markt- und Systemintegration müssen dafür aber angepasst werden.<sup>20</sup>

Die **Redispatch-Speicher im Verteilnetz (Unbundling als Hemmnis)** und die **Speicher-/Kraftwerksallokation** arbeiten bzw. erfolgen aus der gleichen Motivation. Bei den sogenannten Redispatch-Speichern, welche im Verteilnetz installiert werden sollen und Übertragungsnetzbetreibern helfen, präventiv in die Fahrpläne von Kraftwerken einzugreifen, um kurzfristig auftretende Engpässe zu vermeiden oder zu beseitigen, handelt es sich um einen förderlichen Aspekt für die Marktentwicklung von Energiespeichern. Die Speicher-/Kraftwerks-Allokation würde sich ebenfalls eher positiv auswirken, denn es geht dabei um die Frage der Standortentscheidung für Energiespeicher bzw. Kraftwerke (z. B. erzeugungsnah oder verbrauchsnah), bei welcher sich die betriebswirtschaftlich oder gesamtwirtschaftlich effiziente Standortwahl voneinander unterscheiden. Eine effiziente Allokation würde sich wie eine Art Skaleneffekt positiv bzw. mindestens neutral auf die Energiespeicherentwicklung auswirken. Dadurch könnten auch Netzbetreiber Effizienzanstiege verzeichnen, wenn sie einen Einfluss auf die Standortwahl der Kraftwerke hätten.



Beim sogenannten „Unbundling“ wiederum geht es im energie-wirtschaftlichen Sinn um die Aufrechterhaltung der Entflechtung von Energieerzeugung und Stromnetzen, welche ein Hemmnis für die Marktentwicklung von Energiespeichern darstellt, weil die Übertragungsnetzbetreiber nicht diejenigen sind, welche Energiespeicher bewirtschaften können, aber diejenigen sind, welche genau wissen, wo die Bedarfe entstehen, wenn es um die Engpassbewirtschaftung geht. Deshalb sollte das „Unbundling“ aufgelöst werden, was die Energiespeicherentwicklung fördern würde. Fortschritte hat es hierzu in den letzten Jahren allerdings keine gegeben, weil z. B. die Bundesnetzagentur das „Unbundling“ selbst bzw. die damit erreichte Transparenz und diskriminierungsfreie Gestaltung des Netzbetriebes als Grundvoraussetzungen bzw. als marktrelevant ansieht.<sup>21</sup> Deshalb sind auch Zweifel angebracht, ob das „Unbundling“ als europäische Vorgabe einfach aufgelöst werden kann. Schließlich ist sogar unklar, ob es überhaupt aufgelöst werden sollte, denn in einem integrierten System bliebe auch die Interessensfrage zu stellen, ob bzw. wie die beteiligten Akteure tatsächlich das Gemeinwohl zu verfolgen hätten.

**Gesetzliche Regelungen für Erzeuger/Verbraucher zur Verstetigung von Erzeugung/Verbrauch (Peak Shaving)** stellen die Grundlage für die Deckelung der Anschlusswerte in der Industrie durch Peak Shaving im Bereich der „Anwendungen und Produkte“ dar. Es geht darum, „stromnetzfreundliches“

Verhalten von allen beteiligten Akteuren einzufordern, um sie so im gesellschaftlichen bzw. Gesamtstromnetz-Interesse handeln zu lassen und das Stromnetz insgesamt handhabbar zu machen. Dadurch würden sich neue Geschäftsmodelle, neue Anwendungen und neue Produkte ergeben und sich das Marktumfeld so wesentlich verändern. Dieser Aspekt wird als sehr förderlich für die Marktentwicklung von Energiespeichern angesehen.

Der **EE-Anteil** im Jahr 2014 am Bruttostromverbrauch war 27,8 Prozent und damit nicht mehr weit von den 35 Prozent entfernt, die für das Jahr 2020 erwartet werden.<sup>22</sup> Es gibt allerdings hinsichtlich der Endenergieverbräuche Wärme und Verkehr noch viel zu tun, wo der Anteil nur bei 9,9 bzw. 5,4 Prozent liegt. Der Ausbau von EE in Deutschland (mit der hohen Fluktuation bei der Energieerzeugung mit Sonne und Wind) wird als absolut förderlich für die Energiespeicherentwicklung angesehen. Der Anteil bis zum Jahr 2030 soll (in Deutschland bzw. EU insgesamt) bei mehr als 50 Prozent liegen.

In Deutschland sind vor dem historischen Kontext vier Regelzonen entstanden, in welchen der jeweilige Übertragungsnetzbetreiber für die Systemstabilität verantwortlich ist und welche die vier Betreiber nach wie vor nicht zusammenlegen möchten. Zuletzt wurde im Jahr 2008 vereinbart, beim Einsatz von Regelleistung zusammenzuarbeiten.<sup>23</sup> Damit wurde auf die Möglichkeit zur Realisierung von Einsparungspotenzialen und einen

besser funktionierenden Markt verzichtet.<sup>24</sup> Die Einbringung aller Transportnetze mit ihren Regelzonen in eine „Deutsche Netz AG“ scheiterte im Jahr 2009 endgültig.<sup>25</sup> Eine Regelzonen-Ausweitung hätte Auswirkungen sowohl auf die Regulierung und Förderung als auch auf die Infrastruktur. Sie wird frühestens für das Jahr 2020 erwartet, und ihr Einfluss auf die Marktentwicklung von Energiespeichern wird noch als eher neutral eingeschätzt – ein Resultat aus förderlichen und hemmenden Faktoren, welche durch sie zum Tragen kommen könnten.

**Leistungsbezogene Netznutzungsentgelte** sind eine Forderung, welche nach wie vor nicht umgesetzt wurde.<sup>26</sup> Sollten sie eingeführt werden, würde sich das auf die Marktentwicklung von Energiespeichern wie auch für PV-Hausanwendungen bzw. die ganze PV-Eigenverbrauchsthematik hemmend auswirken: Wenn das Netznutzungsentgelt nicht mehr pro Kilowattstunde berechnet würde, sondern pro Kilowatt Anschlussleistung der Verbraucher, würden die Arbeitspreise der Verbraucher deutlich zurückgehen, und die lokale Installation von Energiespeichern in Privathaushalten zurückgehen. Der Zeitpunkt der Einführung von leistungsbezogenen Netznutzungsentgelten hängt mit der Anschaffung von Eigenverbrauchssystemen zusammen und wird für das Jahr 2020 erwartet, wenn eine annähernd große Anzahl in Deutschland existieren könnte. Es gibt allerdings auch Gegenstimmen, welche die Einführung als Grundlage dafür sehen, dass

sich mehr und mehr Verbraucher komplett „autark“ machen (bzw. die externe Bezugsleistung auf ein absolutes Notfallniveau herunterfahren), die Anschlussleistungsentgelte größtenteils einsparen und viel eher in die Energiespeicher investieren (wobei vermutlich auf einen Netzanschluss nicht verzichtet werden würde, der dann entsprechend teuer ist). Ob dies allerdings die negativen Auswirkungen für die Marktentwicklung von Energiespeichern ausgleicht, ist fraglich.

Ein hoher  $\text{CO}_2$ -Zertifikatspreis würde langfristig einen positiven Einfluss auf die Marktentwicklung von Energiespeichern haben. Mittelfristig, mit einem großen Anteil an konventioneller Erzeugung im Netz bzw. der Verstetigung des Speichereinsatzes, entsteht allerdings noch kein Vorteil: Eine Ersparnis würde erst dann resultieren, wenn der Anteil an EE im Gesamtsystem signifikant steigt. Dazu kommt, dass der  $\text{CO}_2$ -Preis in den letzten Jahren auf unter sechs Euro pro Tonne im Jahr 2014 deutlich gefallen und damit weit davon entfernt ist, ein für die Regulierung relevantes Instrument darzustellen. Eine regulatorische Preiserhöhung durch die Senkung der Anzahl von ausgegebenen Emissionszertifikaten wurde auf europäischer Ebene zuletzt im Jahr 2013 heftig diskutiert und war sehr umstritten. Eine Reform des europäischen Emissionshandelssystems als zentralem Instrument zur Reduktion der Emissionen in den Bereichen Energie und Industrie bleibt Gegenstand der EU-Beratungen<sup>27</sup> und ist dringend notwendig.





## INFRASTRUKTUR

Im Bereich der Infrastruktur wurde die **Begrenzung der vergütungsfähigen Erzeugung (PV)** im Jahr 2012 rückwirkend zum 1. April 2012 eingeschränkt, was als förderlich für die Marktentwicklung von Energiespeichern angesehen wird.<sup>28</sup> Wenn nämlich die Anlagenbetreiber eine niedrigere Vergütung für ihren erzeugten Strom erhalten, rechnet es sich zunehmend, die Energie zwischenspeichern und selbst zu verbrauchen. Der Gegen effekt, dass eine Förderungseinschränkung auch den Ausbau der PV insgesamt hemmen und damit die Notwendigkeit zum Speicherausbau einschränken könnte, ist nicht stark in Erscheinung getreten.

Die **PV-Kostendegression (anhaltend)** geht außerdem weiter und wirkt förderlich: Ein höherer PV-Anteil zieht einen höheren Energiespeicherbedarf nach sich. Die Kostendegression schreitet sogar schneller fort als ursprünglich angenommen.<sup>29</sup>

Ein **Anstoß zur Normung von stationären Speichern** würde sich förderlich für die Marktentwicklung von Energiespeichern auswirken und sollte bestenfalls schon kurzfristig erfolgen. Der Gesetzgeber hat zwar keinen Einfluss auf den Normungsprozess selbst, kann ihn aber auf den Weg bringen. Im Moment kann von „dem“ genormten stationären Energiespeicher noch keine Rede sein.<sup>30</sup> Parallel zur Normung von Speichersystemen muss auch die Normung ihrer Kommunikation erfolgen: Ein **standardisiertes Kommunikationssystem** wäre deshalb ebenso förderlich für stationäre Energiespeicher, kam über den Einsatz in Pilotprojekten allerdings noch nicht hinaus. Ihr Einsatz wiederum macht nur Sinn, wenn die notwendige Infrastruktur zur Verfügung steht und sie so ihre volle Funktionalität entfalten können und nicht nur zur Einzelanwendung kommen. Diese „ideale“ bzw. „smarte“ Infrastruktur gibt es noch nicht, sie kann deshalb durchaus als Engpass für den flächendeckenden Einsatz vieler weiterer Technologien betrachtet werden.

**Konkurrenztechnologien (z. B. Power-to-heat, Latent-/Wärmespeicher, Brennstoffzelle/Elektrolyse)** werden natürlich parallel zu den Energiespeichern weiterentwickelt und könnten sich für deren Marktentwicklung hemmend auswirken. Die fortlaufende Forschung und Entwicklung ist deshalb ganzheitlich zu beobachten, damit Fortschritte bei spezifischen Technologien ggf. auch Komplementärtechnologien voranbringen.

Die Notwendigkeit, eine Lösung für die **Finanzierung des Netzausbaus/-umbaus** zu finden, ist eine Herausforderung, welche sich ab dem Jahr 2015 als Hemmnis für die Marktentwicklung von Energiespeichern herausstellen könnte. Wichtig ist die Unterscheidung, welche Stromnetze in den nächsten Jahren gebaut werden sollen: Sollte es mehr dezentrale Energie-

versorgung geben, wird sich die Entwicklung letztlich doch förderlich für Energiespeicher auswirken. In den letzten Jahren diskutiert wurde im Zusammenhang mit der Finanzierung des Netzausbaus/-umbaus auch eine Bürgerbeteiligung, konkrete Maßnahmen/Investitionsangebote fehlen aber noch.

Der **Netzausbau** selbst wird ab dem Jahr 2020 als hemmend für die Marktentwicklung von Energiespeichern eingestuft. Hinsichtlich des oben genannten Redispatch-Einsatzes können Speicher durchaus zum Zuge kommen, aber wenn der Netzausbau kommt, ist das für Energiespeicher erst einmal abträglich. Zu diesem Zeitpunkt ist dann sowohl das deutsche Überleitungsnetz gemeint, als auch Ausgleichseffekte durch den Ausbau der Kapazitäten auf europäischer Ebene, was zu einer Verstärkung der hemmenden Wirkung führen könnte. Der Netzausbau ist als unverzichtbarer Teil der Energiewende politisch größtenteils gewollt<sup>31</sup> und die Netzausbau-Planung läuft bereits<sup>32</sup>, allerdings mit zahlreichen Hindernissen vor allem durch die notwendige Bürgerbeteiligung (insbesondere auf lokaler Ebene).

**2nd use vs. Recycling (Konzepte)** ist ein Aspekt, der mit frühestens ab dem Jahr 2020 und ebenfalls im Zusammenhang mit der Durchsetzung von Elektromobilität und einem hohen Volumen an „gebrauchten“ (für die weitere Nutzung in der ursprünglichen, ersten Anwendung nicht mehr einsetzbar) Energiespeichern eine Rolle spielen wird. Noch wird das Thema als neutral für stationäre Energiespeicher eingeschätzt, denn die Frage ist, welche Vorgaben sich für das Batterie-Recycling (mutmaßlich schon vor dem Jahr 2020) ergeben werden und wie sie sich dann auf Konzepte zum 2nd use niederschlagen werden, welche teilweise umstritten sind. Die Automobilhersteller z. B. beschäftigt dieser Aspekt schon heute, nicht mehr nur im Rahmen von Pilotprojekten: Beispielsweise wirbt Toyota Motor Europe mit einer 91-prozentigen Wiederverwertung der Energiespeicher von Hybridfahrzeugen (das Ziel sind 100 Prozent)<sup>33</sup> und setzt damit auch Standards für Plug-in-Hybridfahrzeuge und reine Elektromobile. Sollten tragfähige 2nd use-Konzepte gefunden werden, dürften ihnen mit einem erfolgreichen Markthochlauf der Elektromobilität eine Menge günstiger Energiespeicher zur Verfügung stehen und so auch der Ausbau von stationären Energiespeichern gefördert werden. Das Neugeschäft im Bereich stationärer Anwendungen würde allerdings reduziert werden.

Ebenfalls für das Jahr 2020 wird der **Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur** für die Elektromobilität anvisiert, was sich mit zunehmendem Markthochlauf auch auf die Marktentwicklung von Energiespeichern förderlich auswirken wird. Fortschritte sind diesbezüglich zu verzeichnen, wenn auch nur sehr langsam hinsichtlich der Anzahl von Ladepunkten.<sup>34</sup> Diese liegt selbst heute noch deutlich unter der Anzahl der auf der Straße befindlichen Elektromobile.

Die **Reduktion des Must-run** ist notwendig, da konventionelle „Must-run“-Kapazitäten (welche zur Netzstabilisierung eingesetzt werden) bereits heute zu Netzengpässen führen und die Einspeisung von EE verhindern. Die Reduktion soll mittelfristig erfolgen und würde sich auf die Marktentwicklung von Energiespeichern im Zuge der erhöhten Einspeisung von EE förderlich auswirken. Die Maßnahme wird offensiv angeraten<sup>35</sup>, Fortschritte zeigen sich allerdings nur sehr langsam. Eine Studie der RWTH Aachen ging im Jahr 2014 von der Annahme aus, dass die Must-run-Kapazitäten 10 Gigawatt bei 60 Prozent EE betragen und 0 Gigawatt bei 80 Prozent EE.<sup>36</sup>

Zu wenig Schwungmasse im Netz gilt als langfristiger Treiber für die Marktentwicklung von Energiespeichern. Es müssen nämlich nicht unbedingt fossile Kraftwerke sein, die rotierende Masse bereitstellen, es kann ebenso gut eine Konkurrenztechnologie verwendet werden. Weniger Kraftwerke bringen prinzipiell eine höhere Stromnetzinstabilität mit sich, der Bedarf von zuverlässiger Reserveleistung wächst dann für den Fall, dass ein Kraftwerk ausfällt. Diese könnten durch stationäre Energiespeicher bereitgestellt werden, sollten es nicht andere Technologien billiger ermöglichen.

## GESELLSCHAFTLICHE/KUNDEN- AKZEPTANZ

Zur Gesellschaftlichen/Kundenakzeptanz tragen z. B. **eigensichere Hausbatterien für Privathaushalte** bei, die bereits auf dem Markt etabliert sind und sich auf die weitere Marktentwicklung von Energiespeichern förderlich auswirken: Es darf unter keinen Umständen passieren, dass in der aktuellen Markteinführungsphase ein Energiespeicher in einem Ein- oder Mehrfamilienhaus zu brennen beginnt, weshalb Sicherheit in Hinblick auf die Akzeptanz der Technologie an erster Stelle steht. **Spektakuläre Unfälle, vor allem in Privathaushalten**, wären nicht nur heute, sondern auch in den nächsten Jahren als katastrophal für die gesamte Energiespeicher-Industrie einzustufen.

Der flächendeckende **Smart Meter-Rollout** wurde unter „Regulierung und Förderung“ bereits erläutert, hätte für die Gesellschaftliche/Kundenakzeptanz aufgrund des fehlenden Nutzens für die Endkunden eher negative bzw. hemmende Auswirkungen auf die Marktentwicklung von Energiespeichern durch die signifikanten Mehrkosten in Höhe einiger hundert Euro. Außerdem spielt ein gewisses Informationsdefizit eine Rolle für die Akzeptanz – die Vorteile des neuen Systems bzw. eines Smart Grid müssen deutlich besser kommuniziert werden. Letztlich spielt auch der Datenschutz eine Rolle: Einige Endkunden dürften Angst davor haben, dass ihr Energieversorger die Datenhoheit erhält

und die z. B. sekundengenauen Daten zweckentfremdet. Das Aufsehen der Datenschützer wäre sofort erregt und die Akzeptanz würde einen weiteren Dämpfer erleiden.

**Endkundenkompatible Anforderungen an Betriebsstätte und Logistik** bezieht sich auf die Energiespeichersysteme im Endkunden-Bereich, da sich z. B. die Logistik für den Installateur einer Batterie nicht trivial gestaltet. Werden diese Anforderungen kurzfristig definiert, wirkt sich dies förderlich auf die Marktentwicklung von Energiespeichern aus.

**Neue Geschäftsmodelle für Speicher-„Bewirtschafter“** sind bereits kurzfristig notwendig, damit sich potenzielle Betreiber finden lassen. Im Moment fehlen auch noch die passenden Rahmenbedingungen, damit ein Betreiber mit einem Energiespeicher im Privathaushalt auf dem Strommarkt Geld verdienen kann bzw. es gibt im Moment kein Geschäftsmodell für Energiespeicher, welche nicht im Privathaushalt oder im gewerblichen Umfeld zur Erhöhung des Eigenverbrauchs stehen. Das Fehlen „neuer“ Geschäftsmodelle wird auch auf die fehlende Standardisierung zurückgeführt, welche neue Geschäftsmodelle für stationäre Energiespeicher (z. B. als Quartierspeicher) erschließen könnte.<sup>37</sup> Die Auswirkung dieses Aspekts wird deshalb noch als „neutral“ eingeschätzt.

Der allgemeine Strompreis ist in den letzten Jahren immer weiter angestiegen und erst im Jahr 2015 wieder leicht gefallen. Eine deshalb auch für die nächsten Jahre zu erwartende **allgemeine Strompreisteigerung** wirkt sich förderlich auf die Marktentwicklung von Energiespeichern aus, denn steigt der Strompreis, ist die Akzeptanz z. B. in Privathaushalten eher da, selbst erzeugte Energie zum Eigenverbrauch zwischen zu speichern und dafür in einen Energiespeicher zu investieren. Diese Entwicklung hängt aber auch davon ab, wie die Ausgestaltung des EEG durch neuerliche Novellierungen in den nächsten Jahren aussieht.

Der industrielle Strompreis liegt deutlich unter dem für Privathaushalte in Deutschland und sank seit dem jüngsten Maximalwert im Jahr 2009 deutlich. Dies erhöht die Akzeptanz der breiten Bevölkerung nicht, auch deshalb, weil vor allem sie die Energiewende in den vergangenen Jahren bezahlen musste und vor allem die Industrie von der strompreissenkenden Wirkung der erneuerbaren Energien profitierte. Eine **Steigerung des industriellen Strompreises** als Konsequenz aus der Wirtschaftspolitik würde sich positiv auf die Marktentwicklung von stationären Energiespeichern auswirken. Im Vergleich zu der allgemeinen Strompreisteigerung geht es hier um die Frage, in wie weit die Industrieunternehmen, die bis jetzt von den Preissteigerungen befreit sind, in die künftig zu erwartende Kostensteigerung durch den Einsatz von EE eingebunden werden. Dies ist eine Frage der



aktuellen deutschen Wirtschaftspolitik und eine Beteiligung der Industrie würde direkt förderliche Auswirkungen auf die Gesellschaftliche/Kundenakzeptanz der Energiewende im Allgemeinen und von stationären Energiespeichern im Besonderen haben.

**Fortschritte in der Elektromobilität (z. B. Kosten)** dürften sich ab dem Jahr 2020 auch positiv auf den Ausbau von stationären Energiespeichern auswirken, da die Technologie insgesamt eine höhere Akzeptanz in der Gesellschaft bzw. bei potenziellen Endkunden gewinnen würde. Geht das gleichzeitig mit sinkenden Kosten für stationäre Anwendungen einher, steigt die Akzeptanz noch schneller. Allerdings verläuft der Markthochlauf in der Elektromobilität im Moment noch sehr langsam, weshalb dieser Effekt erst ab dem Jahr 2020 zu erwarten ist.

Eher langfristig ist die **Akzeptanz H<sub>2</sub>-basierter Technologien (Speicher, Verteilung)** als förderlich für die Marktentwicklung von Energiespeichern einzuschätzen. Da bisher eher zurückhaltend mit Wasserstoff umgegangen wurde, ist die Akzeptanz

in der Gesellschaft sehr gering. Es wäre wünschenswert, dass die Aktivitäten und Strukturen in diesem Bereich (und damit auch für stationäre, saisonale Energiespeicher) ausgebaut werden und so die H<sub>2</sub>-basierten Technologien eine größere Akzeptanz erfahren. Im Bereich der Elektromobilität hat mit der Toyota Motor Corporation und ihrem Toyota Mirai der erste Elektromobil-Hersteller ein Brennstoffzellen-Fahrzeug auf die Straße gebracht<sup>38</sup>, was die Akzeptanz langfristig auch im stationären Bereich der Energiespeicherung steigern dürfte.

Umgekehrt wären Bedenken und Akzeptanzprobleme der Bevölkerung bzgl. Wasserstoff-basierter Technologien und Anwendungen (Power-to-gas, saisonale Großspeicher, Brennstoffzellenfahrzeuge) gerade mit Blick auf die Elektromobilität ein zusätzlicher Treiber für batteriegebundene Elektrofahrzeuge. Hier sind noch grundsätzliche Fragen einer „grünen“ Wasserstoffwirtschaft und -infrastruktur offen und fallen ganz sicher in den Zeitraum jenseits 2020 bis 2030.



# PRODUKTANFORDERUNGEN

Hinsichtlich der Produktanforderungen werden

- Kosten (pro ausgespeicherter Kilowattstunde und Investitionen),
- Wirkungsgrad,
- Lebensdauer (kalendarisch und zyklisch),
- Umgebungsbedingungen,
- Sicherheit,
- Volumetrische Energiedichte und
- Volumetrische Leistungsdichte

bewertet. Die Kosten werden (im Vergleich zu den vorigen Roadmaps) als Schlüsselparameter direkt als Erstes aufgeführt. Im Bereich stationärer Energiespeicher spielen die volumetrische Energie- und Leistungsdichte aufgrund des typischerweise begrenzten Platzes in einem Privathaushalt eine wichtige Rolle.

Die Produktanforderungen werden für ausgewählte Anwendungsfälle bewertet (für die beiden Zeitpunkte des „Markteintrittes“ und zur Entstehung eines „Massenmarktes“), um einzuschätzen, welche Faktoren an Bedeutung gewinnen oder verlieren. Für die Bewertung wird folgende Skala zugrunde gelegt: Unwichtig (--), weniger wichtig (-), neutral (0), wichtig (+), sehr wichtig (++) und Voraussetzung (+++).

Ausgewählte Anwendungsfälle (welche in der „Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030“ und der „Gesamt-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030“ den Fällen 1 und 2 entsprechen) sind aufgrund der höchsten Relevanz von Lithium-Ionen-Batterien (LIB) als stationäre Speicher:

- On-Grid-Photovoltaik (PV) zur Eigenbedarfsoptimierung,
- Eigenbedarfsoptimierung Campus/Gewerbe/Industrie mit >5 MW,
- Industrie: Deckelung Anschlusswerte Peak Shaving (Korea).

## ON-GRID-PV ZUR EIGENVERBRAUCHS-OPTIMIERUNG

### Kosten

Für eine bessere Vergleichbarkeit werden neben den Investitionskosten auch die Kosten pro ausgespeicherter Kilowattstunde für jede Technologie und Anwendung betrachtet. Beide Kostenarten sind für die Eigenbedarfsoptimierung mit dezentralen PV-Batteriesystemen beim Markteintritt wichtig (+), werden aber mit Aufkommen des Massenmarktes noch wichtiger (++) . Zu Beginn spielt auch noch die staatliche Förderung eine Rolle, welche die tatsächlichen Kosten für den Kunden reduziert und so den Markt bereitet. Weiterhin wird zu Beginn eher noch die reine Praktikabilität einer Anwendung getestet und die Betonung liegt noch nicht sehr stark auf den Kosten.

Zu unterscheiden sind hinsichtlich der Kosten zwei (erste, frühe) Kundengruppen: Kunden, welche mit dem Energiespeicher Rendite machen wollen und diesen sonst nicht kaufen würden. Diese Gruppe kommt vermutlich erst mit dem Massenmarkt bzw. der dann erhöhten Leistungsfähigkeit der Anwendungen auf ihre Rendite. Eine zweite Gruppe sind Kunden, welche sich vor allem die Optimierung zum Status quo wünschen. Sie kauft ihren Strom bei einem Stadtwerk, und sobald sie eine günstigere Alternative sieht, wird sie diese Alternative umsetzen. Diese Gruppe kommt bereits beim Markteintritt zum Tragen, wenn sich die Kosten entsprechend verhalten.

### Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad ist wichtig, im Massenmarkt (++) noch wichtiger als zum Markteintritt (+), damit sich das neue Produkt leistungsbezogen gegen die Konkurrenz durchsetzen kann. Zu Beginn ist der Wirkungsgrad noch nicht so sehr wichtig, weil es eher darum geht, die Funktionsweise einer Anwendung überhaupt zu demonstrieren.

Insgesamt gesehen ist schon der Wirkungsgrad (sowie alle weiteren Energiespeichereigenschaften, welche noch folgen) der Wichtigkeit der Kosten deutlich untergeordnet. Ein schlechter Wirkungsgrad spielt bei geringen (Energie-)Kosten kaum eine Rolle für einen Kunden.

### **Lebensdauer**

Die Anforderungen an die Lebensdauer sind ähnlich einzuschätzen: Zum Markteintritt ist die Lebensdauer zwar wichtig (+), aber erst zur Durchsetzung am Massenmarkt (++) kommt der Lebensdauer sowohl kalendarisch als auch zyklisch eine große Bedeutung zu. Befindet sich eine Anwendung in einem eher niedrigen Zyklen-Bereich, ist wichtig, dass sie lange „hält“, d. h. die kalendarische Lebensdauer ist für die Wirtschaftlichkeit ausschlaggebend.

Gerade bei kleinen PV-Batteriesystemen reichen im Moment noch 200 bis 250 Zyklen pro Jahr (je kleiner ein System, desto mehr Zyklen fallen an), zur Serienreife werden es mehr sein müssen. Die Energiespeicher sollten kalendarisch so lange halten wie das PV-System insgesamt, also für etwa 15 bis 20 Jahre bei „vernünftiger“ Betriebsweise (und üblicherweise 4000 Vollzyklen). Das größte Risiko für die kalendarische Lebensdauer besteht neben den technologiespezifischen Faktoren v. a. in der mangelnden Langzeiterfahrung mit vielen Technologien auf Produktebene, die zyklische Lebensdauer wird durch die Inanspruchnahme der Zyklen nach und nach erschöpft. Wichtig ist festzuhalten, dass kalendarische und zyklische Lebensdauer ähnlich bzw. in Kombination zu bewerten sind. Das Anforderungsprofil dieses Anwendungsfalls zeigt in Abgleich mit der „Technologie-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030“, weshalb sich die rapide in den Kosten fallenden LIB mit deutlich höherer Lebensdauer als Blei-Batterien spätestens um 2020 völlig gegenüber diesen durchsetzen sollten.

### **Umgebungsbedingungen**

Die Umgebungsbedingungen gelten bei stationären Energiespeichern als eher unkritisch (die Toleranz der Energiespeicher ihnen gegenüber muss nicht optimiert werden), sowohl zum Markteintritt (-) als auch für den Massenmarkt (-). Das liegt zum einen daran, dass sie oft innerhalb von Gebäuden (im Privathaushalt z. B. im Keller) und damit in einem gemäßigten Temperaturbereich betrieben werden. Container-Lösungen für PV- oder Windparks müssen davon getrennt betrachtet werden.

### **Sicherheit**

Die Sicherheit ist für die Anwendung von stationären Energiespeichern im Privathaushalt der mit Abstand wichtigste technische Parameter, welcher sowohl zum Markteintritt (+++), als auch für den Massenmarkt (+++) optimiert werden bzw. gegeben sein muss.

### **Volumetrische Energiedichte**

Hinsichtlich der volumetrischen Energiedichte besteht zum Markteintritt keine besondere Anforderung (0), mit Aufkommen eines Massenmarkts sollte sie sich aber verbessern (+), da Privathaushalte z. B. im Keller nicht unbegrenzt Platz haben für einen Energiespeicher. Ein Produkt für den Massenmarkt fällt im besten Fall gar nicht auf im Haushalt, und darf deshalb nicht übermäßig viel Platz einnehmen. Für größere Speicher, beispielsweise für Mehrfamilienhäuser, muss dies separat betrachtet werden.

### **Volumetrische Leistungsdichte**

Diese ist noch weniger kritisch als die Energiedichte, weshalb sie zum Markteintritt als unwichtig (-), und zum Massenmarkt (0) neutral eingestuft wird.

## **EIGENBEDARFSOPTIMIERUNG CAMPUS / GEWERBE/INDUSTRIE MIT > 5 MW**

### **Kosten**

Die Bewertungen der Anforderungen im gewerblichen Bereich macht nur im Vergleich mit der Bewertung des Privatbereiches Sinn. Im Unterschied zum Privatbereich kommt den Kosten im gewerblichen Einsatz eine überragende Rolle zu, weshalb ihre Optimierung (bzw. Senkung) sowohl zum Markteintritt (++) als auch zum Massenmarkt (++) als sehr wichtig bewertet ist.

### **Wirkungsgrad**

Die Bedeutung des Wirkungsgrades verhält sich im gewerblichen Bereich wie bei den Privathaushalten: Er ist zum Markteintritt wichtig (+), im Massenmarkt sehr wichtig (++) . Auch sind zwei Aspekte festzuhalten: Der Wirkungsgrad ist fast irrelevant, wenn ein potenzieller Betreiber trotzdem Geld mit einer Anlage verdienen kann. Der „Business Case“ einer Anlage wiederum errechnet sich aus einer Kombination von Kosten, Wirkungsgrad und Lebensdauer, weshalb deren Zusammenspiel wichtig ist. Das heißt, die Optimierung der Parameter in ihrer Kombination bietet Möglichkeiten – überwiegende Bedeutung hat aber die Kostenreduktion.

| ZEIT →               |                               | 2015          |  | KURZFRISTIG                            |   |
|----------------------|-------------------------------|---------------|--|--|---|
| PRODUKTANFORDERUNGEN | Ausgewählte Anwendung         |               | On-Grid-PV zur Eigenbedarfsoptimierung | On-Grid-PV zur Eigenbedarfsoptimierung | Eigenbedarfsoptim. Campus/Gew./Ind. mit >5 MW |
|                      | Kosten                        | Pro ausg. kWh | +                                      | ++                                     | ++  |
|                      |                               | Investition   | +                                      | ++                                     | ++  |
|                      | Wirkungsgrad                  |               | +                                      | ++                                     | +   |
|                      | Lebensdauer                   | Kalendarisch  | +                                      | ++                                     | 0   |
|                      |                               | Zyklisch      | +                                      | ++                                     | 0   |
|                      | Umgebungsbedingungen          |               | -                                      | -                                      | +   |
|                      | Sicherheit                    |               | +++                                    | +++                                    | ++  |
|                      | Volumetrische Energiedichte   |               | 0                                      | +                                      | 0   |
|                      | Volumetrische Leistungsdichte |               | -                                      | 0                                      | 0   |

### Lebensdauer

Die Lebensdauer wird sowohl kalendarisch als auch zyklisch als neutral zum Markteintritt (0) und wichtig zum Massenmarkt (+) bewertet. Wenn eine Anlage nicht 20 Jahre am Stück laufen kann, muss sie sich trotzdem rechnen – dann findet sie auch Absatz. Geht man von normalen Abschreibungszeiten aus, dann sind diese im gewerblichen Bereich sicherlich kürzer als beim Privathaushalt. Das heißt, dann ist die Lebensdauer weniger interessant – weil man nach einigen Jahren ohnehin wieder (re-)investieren würde. Wichtig ist aber, dass zum Ende der kalendarischen Lebensdauer die Zyklenzahl möglichst voll ausgeschöpft wird, denn die Anlage muss arbeiten, solange sie genutzt werden kann.

### Umgebungsbedingungen

Die Toleranz von Umgebungsbedingungen ist im gewerblichen Bereich relevanter als im Privathaushalt – deshalb wird sie zum Markteintritt (+) und für den Massenmarkt (+) als wichtig betrachtet.

### Sicherheit

Die Sicherheitsanforderungen sind auch im gewerblichen Bereich sehr hoch, sowohl zum Markteintritt (++) , als auch im Massenmarkt (++) . Auch hier sollten sich keine Zwischenfälle ereignen.

Die Unterscheidung zum Privatbereich erfolgt dadurch, dass die Sicherheit einer gesamten Anlage in einem wohl definierten, industriellen Umfeld auch durch andere Maßnahmen/Randbedingungen hergestellt werden kann, welche im Privathaushalt nicht möglich sind (z. B. durch die Zuteilung von gesonderten Räumlichkeiten). Deshalb sind die Anforderungen an die stationären Energiespeicher selbst immer noch sehr hoch, aber nicht so hoch wie im Privatbereich (wo die Sicherheit ein absolut kritischer Faktor ist).

### Volumetrische Energiedichte

Die volumetrische Energiedichte wird zum Markteintritt als neutral (0), und zum Massenmarkt als wichtig (+) bewertet. Die Unterscheidung zum Privatbereich liegt darin, dass in der Industrie durchaus mehr Platz zur Verfügung steht für die Unterbringung eines Energiespeichers – der Platz aber natürlich auch z. B. für andere Anlagen eingesetzt werden könnte.

### Volumetrische Leistungsdichte

Auch hier wird die Anforderung zum Markteintritt als neutral (0), und zum Massenmarkt als wichtig (+) bewertet.

| MITTELFRISTIG   | 2020  | LANGFRISTIG  | 2030 |
|---|---|--|------|
| <b>Industrie:<br/>                     Deckelung Anschlusswerte<br/>                     Peak Shaving (Korea)</b> | <b>Industrie:<br/>                     Deckelung Anschlusswerte<br/>                     Peak Shaving (Korea)</b> | <b>Eigenbedarfsoptimierung<br/>                     Campus/Gew./Ind.<br/>                     mit &gt;5 MW</b> |      |
| 0   | 0   | ++   |      |
| ++  | ++  | ++   |      |
| 0   | 0   | ++   |      |
| +   | +   | +  |      |
| +   | +   | +  |      |
| +   | +   | +  |      |
| ++  | ++  | ++   |      |
| --  | --  | +  |      |
| ++  | ++  | +  |      |

|   |   |                  |
|---|---|------------------|
| Skala zur Bewertung der Produktanforderungen<br>-- unwichtig      + wichtig<br>- weniger wichtig    ++ sehr wichtig<br>0 neutral            +++ Voraussetzung | Markteintritt<br>im Sinne der kommerziellen Verfügbarkeit | Massenproduktion |
|---|---|------------------|

## INDUSTRIE: DECKELUNG ANSCHLUSSWERTE/PEAK SHAVING (KOREA)

### Kosten

Beim Peak Shaving spielen die Kosten pro ausgespeicherter Kilowattstunde keine Rolle, weshalb sie sowohl zum Markteintritt (0) als auch für den Massenmarkt (0) neutral bewertet werden. Anders verhält es sich für die Investitionskosten: Sie sind sowohl zum Markteintritt (++) als auch für den Massenmarkt (++) sehr wichtig.

### Wirkungsgrad

Da es beim Peak Shaving darum geht, den Leistungsbezug zu senken, werden auch die Anforderungen an den Wirkungsgrad zum Markteintritt (0) und für den Massenmarkt (0) neutral bewertet.

### Lebensdauer

Sowohl die Anforderungen für die kalendarische und die zyklische Lebensdauer werden zum Markteintritt (+) und für den Massenmarkt (+) als wichtig bewertet. Mehr ist nicht notwendig, weil z. B. keine Tiefenentladung im Peak Shaving zu erwarten ist.

## Umgebungsbedingungen

Die Umgebungsbedingungen werden wie im gewerblichen Bereich zum Markteintritt (+) und für den Massenmarkt (+) als wichtig eingestuft.

### Sicherheit

Auch hier werden die Sicherheitsanforderungen zum Markteintritt (++) und für den Massenmarkt (++) als sehr wichtig bewertet.

### Volumetrische Energiedichte

Die Energiedichte spielt hier gar keine Rolle, weil es nur um die Leistungsdichte geht. Deshalb werden die Anforderungen an die Energiedichte sowohl zum Markteintritt (--) als auch für den Massenmarkt (--) als unwichtig eingestuft.

### Volumetrische Leistungsdichte

Die Leistungsdichte ist dagegen sehr wichtig, sowohl zum Markteintritt (++) als auch für den Massenmarkt (++)



# FAZIT UND AUSBLICK

## FAZIT

Die vorliegende „Produkt-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030“ gibt einen umfassenden Überblick über heutige und sich künftig abzeichnende Geschäftsmodelle für den Einsatz stationärer Energiespeicher auf Lokal-, Verteil- und Übertragungsebene. Da Rahmenbedingungen bzgl. Regulierung und Förderung, Stromnetz-/Energieerzeugungsinfrastruktur sowie die Gesellschaftliche/Kundenakzeptanz unter Berücksichtigung der Entwicklungen in Deutschland bzw. in der EU insgesamt ganz wesentlich für die Entwicklung des Energiespeicherbedarfs und die Bewertung der Geschäftsmodelle sein werden, geht die Roadmap in besonderem Maß auf fördernde und hemmende Rahmenbedingungen ein.

Daneben ergeben sich je nach Anwendungsfall konkrete Anforderungen an die Leistungsparameter einer potenziellen technischen Lösung. Neben Anforderungen an die Sicherheit solcher technischen Lösungen ist die Rolle der Energiespeicherkosten besonders zu betonen. Diese entwickelt sich nicht linear: Für eine Gesamtbewertung müssen letztlich aber eine Vielzahl Faktoren in Betracht gezogen werden, denn sie hängt unter anderem ab von der Marktumgebung, von der Regulierung, dem Strompreis und zur Verfügung stehenden Fördermitteln. Sobald die Gewinnschwelle (engl. „break-even point“) überschritten ist, liegt eine eindeutige Situation vor, und eine Investition wird lohnenswert. Die Entscheidung hängt also immer vom einzelnen Betrachter und Geschäftsfall des Kunden ab.

Die Roadmap stellt diese komplexen Abhängigkeiten, vielfältigen relevanten Einflussgrößen sowie deren künftige Entwicklung in einem Gesamtkontext dar.

Dabei wurden in der Roadmap ausschließlich singuläre Anwendungen betrachtet. Generell gilt jedoch, dass die meisten Speicher multifunktionale Anwendungen darstellen. Die Gewichtung und Bewertung der Anwendungsfälle könnte sich dann ggf. weiter ändern (zu Gunsten stationärer Energiespeicherlösungen). Dies würde aber auch die Komplexität einer Roadmap weiter erhöhen.

## AKTUALISIERUNG DER ROADMAP

Die „Produkt-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030“ ist ein lebendiges Planungsdokument. Sie wurde in dem durch das BMBF geförderte Roadmapping-Begleitvorhaben zur Innovationsallianz LIB 2015 entwickelt und wird in der Begleitmaßnahme Batterie 2020 weiterhin aktualisiert und vertieft werden. Beim Fraunhofer ISI ist eine Projektwebseite eingerichtet, um die Roadmap zu kommentieren und Anregungen für die Weiterentwicklung einfließen zu lassen. Die Roadmap kann unter dem folgenden Link heruntergeladen werden: [www.isi.fraunhofer.de/prm-sesroad.php](http://www.isi.fraunhofer.de/prm-sesroad.php).

Die vorliegende Produkt-Roadmap wird durch die „Technologie-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030“ und die „Gesamt-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030“ ergänzt.

## BENACHBARTE PROJEKTE ZUR ELEKTROMOBILITÄT

Das Fraunhofer ISI bearbeitet eine Reihe von Forschungsprojekten rund um Energiespeichertechnologien, für die Elektromobilität und stationäre Energiespeicherung jeweils mit spezifischen Arbeitsschwerpunkten. Das Spektrum reicht von einem systemischen Ansatz mit einer Untersuchung sozio-ökonomischer Aspekte in diesen Bereichen über Fragen der Energiebereitstellung, der Ausgestaltung einer Ladeinfrastruktur und der Entwicklung von Batterie- und Fahrzeugkonzepten, Geschäftsmodellen für stationäre Speicher bis hin zu neuen Mobilitätskonzepten und der Nutzerakzeptanz.



# AUSGEWÄHLTE PROJEKTE

| PROJEKT  | ARBEITSSCHWERPUNKTE<br>DES FRAUNHOFER ISI  | FÖRDERUNG  |
|--|--|--|
| Roadmapping-Begleitvorhaben zur Innovationsallianz LIB 2015  | Roadmapping hinsichtlich der technologie- und marktseitigen Entwicklungsmöglichkeiten für Lithium-Ionen-Batterien (LIB)  | BMBF   |
| Energiespeicher-Monitoring für die Elektromobilität (EMOTOR)   | Projekt mit Schwerpunkt Technologie-Monitoring im Rahmen der Fördermaßnahme Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)   | BMBF   |
| BEMA 2020 – Begleitmaßnahme zu Batteriematerialien für zukünftige elektromobile und stationäre Anwendungen | Fortführung des Monitoring (EMOTOR) und Roadmapping (LIB2015) zu Energiespeichertechnologien für die Elektromobilität und stationäre Anwendungen, gemeinsam mit dem Kompetenznetzwerk Lithium Ionen Batterien (KLIB) und dem Münster Electrochemical Energy Technology (MEET) der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (WWU Münster) | BMBF   |
| Themenfeld Nutzerakzeptanz   | Sozialwissenschaftlich orientierte Vernetzung von Projekten zur Kundenakzeptanzforschung   | BMVBS  |
| Innovationsreport „Systembetrachtung Elektromobilität“   | Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt  | TAB  |
| Regional Eco Mobility (REM) 2030   | Entwicklung eines Konzeptes für und Umsetzung einer effizienten regionalen Individualmobilität für 2030  | FhG, Land Baden-Württemberg  |
| Studie „Elektromobilität weltweit: Baden-Württemberg im internationalen Vergleich“                         | Benchmarking der Leistungsfähigkeit von in der Elektromobilität weltweit führenden Automobil-Regionen, zum Beispiel Aichi und Tokio in Japan oder Seoul in Südkorea  | e-mobil BW GmbH  |
| Studie „Wertschöpfungspotenziale im Leichtbau und deren Bedeutung für Baden-Württemberg“                   | Analyse und Darstellung der Leichtbau-Wertschöpfungsketten im Land Baden-Württemberg für ausgewählte Technologien inklusive technischer und wirtschaftlicher Potenziale und Hemmnisse für die Zukunft  | Leichtbau BW GmbH  |
| Studie „Leichtbau – Trends und Zukunftsmärkte und deren Bedeutung für Baden-Württemberg“                   | Identifikation von Anwendungsfeldern für Leichtbautechnologien und Quantifizierung von sowohl Marktgröße als auch -wachstum bis ins Jahr 2020 anhand einer breit angelegten Patent- und Publikationsanalyse  | Leichtbau BW GmbH  |
| Technologiebericht „Nanotechnologie in den Sektoren Solarenergie und Energiespeicherung“                   | Analyse des Einflusses von Nanotechnologie auf die zukünftige Entwicklung von Produkten und Märkten der Solarenergie und Energiespeicherung  | International Electrotechnical Commission (IEC)  |
| Studie „Markthochlaufszzenarien für Elektrofahrzeuge“  | Szenarientwicklung und technisch-wirtschaftliche Analyse rund um die Frage, welchen Marktanteil Elektrofahrzeuge in Deutschland im Jahr 2020 haben werden, Darstellung von Hemmnissen und Treibern   | acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) |
| Studie „Energiespeicherung: Welche Marktdesigns und regulatorischen Anreize werden benötigt?“              | Analyse des aktuellen Standes der Technik und der Potenziale von Energiespeicherung in der EU und Ableitung von Handlungsempfehlungen, welche Marktrahmenbedingungen und regulatorischen Änderungen weitere Kostensenkungen und eine breite Diffusion von Energiespeichertechnologien fördern könnten                                      | Industry, Research and Energy Committee (ITRE) of the European Parliament  |

## GLOSSAR

### Blindleistungskompensation

Auf Übertragungsnetzebene wird neben elektrischer Wirkenergie auch Blindenergie pro Zeiteinheit von Erzeugern zu Verbrauchern übertragen: Während die am Netz angeschlossenen elektrischen Verbraucher die Wirkenergie umsetzen, wird die Blindenergie nicht verbraucht.<sup>39</sup> Die Blindleistung verrichtet keine nutzbare Arbeit auf der Seite der Verbraucher, sie dient nur der Erzeugung von elektromagnetischen Feldern z. B. für den Betrieb von Elektromotoren. Blindleistung ergibt sich, wenn Leistung aus dem Übertragungsnetz bezogen, dann aber zeitversetzt wieder in das Stromnetz eingespeist wird und auf diese Weise zwischen Verbraucher und Erzeuger pendelt. Durch diese zusätzliche Belastung müssen die Netze größer dimensioniert werden, um neben der zur Verfügung gestellten Wirkleistung auch noch die pendelnde Blindleistung aufzunehmen. Bei einem steigenden Anteil von Blindleistung im Netz verringert sich die Kapazität für die Wirkleistung, weniger Strom in Form von elektrischer Ladung kann transportiert werden. Blindströme belasten nicht nur Übertragungsnetze, sondern auch Transformatoren und führen in Leitungen zu Übertragungsverlusten. Daher wird Blindleistung auch als Ballast in Wechselstromnetzen bezeichnet. Und da sich Wechselstrom sehr gut zum Ferntransport von elektrischer Energie eignet, tritt das technische Phänomen Blindleistung auch in öffentlichen Netzen auf. Wird jedoch eine Blindleistungskompensationsanlage, welche die Blindleistung erzeugt und wieder aufnimmt, verbrauchernah installiert, kann das Stromnetz entlastet und daher kleiner dimensioniert werden. In so entlasteten Stromnetzen entspricht die gesamte Leistung eines Übertragungsnetzes der tatsächlichen Wirkleistung, mehr Kapazität steht zum Stromtransport zur Verfügung. Großformatige stationäre Energiespeicher werden in der Zukunft zum Blindleistungshaushalt positiv beitragen können.

### BMBF

Bundesministerium für Bildung und Forschung. Im November 2015 geleitet von Bundesministerin Prof. Dr. Johanna Wanka (CDU).

### BMVBS

Vormals Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, heute Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Im November 2015 geleitet von Alexander Dobrindt (CSU).

### BZ

Die Brennstoffzelle repräsentiert einen Energiewandler und kann deshalb nicht für sich selbst stehen, wenn es um die stationäre Energiespeicherung geht: Das üblicherweise favorisierte System ist die sogenannte Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle

(engl. „proton exchange membrane fuel cell“, Abkürzung PEM-FC) als Niedrigtemperatur-Brennstoffzelle, allerdings mit Stack und Wasserstoff-Tank. In dieser Aufstellung ist das System mit seinen Eigenschaften näherungsweise vergleichbar mit den anderen Energiespeichertechnologien. Es gibt verschiedene weitere Typen von Brennstoffzellen.

### CH<sub>3</sub>OH

Die Summenformel für Methanol, ein einwertiger Alkohol. Methanol ist unter normalen Standardbedingungen eine klare, farblose, entzündliche und leicht flüchtige Flüssigkeit.

### CH<sub>4</sub>

Die Summenformel für Methan, das einfachste Alkan und der einfachste Kohlenwasserstoff. Methan ist unter normalen Standardbedingungen ein farb- und geruchloses, brennbares Gas.

### CO<sub>2</sub>

Die Summenformel für Kohlenstoffdioxid, eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Kohlenstoffdioxid gilt als das wichtigste Treibhausgas, weil es für den durch die Menschheit verursachten Klimawandel verantwortlich gemacht wird und seine Emission deshalb zunehmend restriktiv eingeschränkt wird.

### Direktvermarktung

Die Direktvermarktung Erneuerbarer Energien ist Teil des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und wird dort in Abschnitt 2 bzw. den Paragraphen 34 bis 36 abgehandelt. Der Betreiber einer regenerativen Stromerzeugungsanlage kann seine elektrische Energie insofern direkt vermarkten, als dass er sie nicht an das zuständige regionale Energieversorgungsunternehmen bzw. den Stromnetzbetreiber überstellt und dafür eine umlagefinanzierte Vergütung kassiert, sondern durch ein öffentliches Stromnetz leitet und direkt an einen interessierten Abnehmer verkauft. Für diese Direktvermarktung kann der Anlagenbetreiber eine sogenannte Marktprämie vom Stromnetzbetreiber verlangen, ein Anreiz, Stromerzeugungsanlagen markt- bzw. nachfrageorientiert zu betreiben: Während die Marktprämie mit der aktuellen Stromnachfrage bzw. dem aktuellen Strompreis variiert, bleibt die oben genannte Vergütung immer konstant.

### EE

Abkürzung für Erneuerbare Energien.

### EEG

Das Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (auch Erneuerbare-Energien-Gesetz genannt, Abkürzung EEG) trat zum 1. April 2000 in Kraft und soll die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und Kernkraft in der Stromerzeugung reduzieren und damit dem Klimaschutz dienen.

## **Elektrolyse**

Unter einer Elektrolyse wird allgemein der Prozess verstanden, bei dem in einer Redoxreaktion elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt und chemische Verbindungen gespalten werden. In Bezug auf die vorliegende Roadmap gilt als Elektrolyse v. a. ein Vorgehen zur Gewinnung von Wasserstoff aus Wasser: Durch den Einsatz von elektrischer Energie wird das Wasser in den in der Natur nicht in Reinform vorkommenden Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Später kann die in den Einzelstoffen gespeicherte chemische Energie z. B. in einer Brennstoffzelle wieder in nutzbare elektrische Energie umgewandelt werden.

## **EU**

Die Europäische Union umfasst im November 2015 28 europäische Staaten mit rund 500 Millionen Einwohnern.

## **FES**

Engl. „flywheel energy storage“, siehe Schwungrad.

## **FhG**

Die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. ist mit knapp 24 000 Mitarbeitern (Stand: November 2015) die größte Organisation für angewandte Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen in Europa und betreibt mehr als 80 Forschungseinrichtungen in Deutschland, davon 66 Fraunhofer-Institute.

## **Gesamt-Roadmap**

Eine Variante des allgemeinen Begriffs Roadmap, in der es darum geht, eine Technologie-Roadmap und eine Produkt-Roadmap so zu integrieren, dass eine Lücke zwischen dem, was eine Technologie leistet (engl. „technology push“) und dem, was von einem Markt gefordert wird (engl. „market pull“) festzustellen ist und daraus entstehende Herausforderungen identifiziert werden können.

## **Grid parity**

Die sogenannte Netzparität bezeichnet den Zeitpunkt, ab dem die Stromgestehungskosten pro erzeugter Kilowattstunde für aus Erneuerbaren Energien erzeugten Strom genau so hoch sind wie die Stromgestehungskosten pro erzeugter Kilowattstunde des herkömmlichen Stroms, der bei einem Netzbetreiber eingekauft wird. Unterschieden wird die Netzparität aus Sicht eines Endverbrauchers, der die Kosten des z. B. mit einer eigenen Solaranlage produzierten Stroms mit den Kosten des von einem Energieversorgungsunternehmen zu beziehenden Stroms vergleichen muss, und die Netzparität aus Sicht eines Stromkonzerns, der die Erwerbskosten für Strom aus Erneuerbaren Energien mit den Erzeugungs- oder Erwerbskosten herkömmlichen Stroms vergleicht.

## **H<sub>2</sub>**

Die Summenformel für Wasserstoff, ein chemisches Element mit dem Symbol H.

## **Inselnetze**

Inselnetze sind kleine autonome Stromnetze, die von einem übergeordneten Verbundnetz unabhängige, abgeschlossene Energieversorgungssysteme darstellen. Inselnetze bestehen oft nur aus einem oder wenigen Elektrizitätswerken und versorgen ein räumlich abgegrenztes Gebiet, z. B. eines oder mehrere beieinander liegende Krankenhäuser, abgelegene Dörfer oder eben Inseln per se, wo die öffentliche Stromversorgung nicht gewährleistet ist und ein erhöhter Bedarf von Versorgungssicherheit sowie Versorgungsqualität besteht. Die Energieversorgung wird auf herkömmliche Art mit Hilfe von durch fossile Brennstoffe angetriebenen Stromgeneratoren sichergestellt, und seit jüngerer Zeit auch durch den Einsatz von erneuerbaren Energien, wie z. B. Solar- oder Windenergieanlagen. Da Stromausfälle bei Inselnetzen häufig vorkommen können, stellen große Energiespeicher, die im Fall der Fälle temporär ein hohes Leistungsvolumen abgeben können, eine wichtige Komponente innerhalb des Stromnetzes zur Sicherstellung der Energieversorgung dar. Kleinere und autonome Stromversorgungsanlagen z. B. auf einer einzeln stehenden Gebirgshütte werden nicht als Inselnetze, sondern als Inselanlagen bezeichnet (siehe Off-Grid-Anwendungen).

## **Intraday-Handel**

Allgemein wird das Kaufen und Verkaufen von börsennotierten Wertpapieren innerhalb eines Handelstages als Intraday-Handel bezeichnet, eine sehr spekulative Handelsform, weil auf kurzfristige Tagesschwankungen des Aktienkurses gewettet wird. Im kurzfristigen Stromgroßhandel bezeichnet er den kontinuierlichen Kauf und Verkauf von Strom, der noch am gleichen Tag geliefert wird.<sup>40</sup> In der Regel werden Stromlieferungen in sowohl Viertelstunden- als auch Stunden-Blöcken gehandelt, wobei auch der Handel von größeren Blöcken möglich ist. Eine Position kann bis zu 30 Minuten, bevor sie fällig ist, gehandelt werden.

## **kW**

Abkürzung für Kilowatt.

## **kWh**

Abkürzung für Kilowattstunde.

## **Latentwärme**

Latentwärmespeicher sind Energiespeicher, deren Speichermedium durch Wärme eine Zustandsänderung erfährt und dadurch thermische Energie einspeichert. Latentwärmespeicher mit z. B. Paraffin werden vor allem dort eingesetzt, wo viel Wärme entsteht, verborgen (lat. „verborgen sein“) eingespeichert wird und zeitverzögert wieder zur Verfügung stehen soll. Die Energie-

speicher gelten als sehr effizient, weil sie Wärme verlustarm über einen längeren Zeitraum hinweg einspeichern und nahezu beliebig oft neu aufgeladen werden können, ohne nennenswerte Kapazitätsverluste hinnehmen zu müssen. In der stationären Energiespeicherung finden sie ihren Einsatz z. B. beim Speichern der von Solarenergie-Anlagen erzeugten Wärme, die während des Sommers eingespeichert und während des Winters abgerufen werden kann.

### **LCOE**

Engl. „levelized cost of energy“, Abkürzung für die Methode zur Berechnung der sogenannten Stromgestehungskosten bzw. zur Ermittlung einer Kostenvergleichsbasis von Kraftwerken unterschiedlicher Erzeugungs- und Kostenstruktur.<sup>41</sup> Der Grundgedanke ist, aus allen anfallenden Kosten für Errichtung und Betrieb einer Anlage eine Annuität (jährliche Durchschnittskosten) zu bilden und diese der durchschnittlichen jährlichen Erzeugung gegenüberzustellen. Daraus ergeben sich dann die sogenannten Stromgestehungskosten in Euro pro Kilowattstunde. Es ist wichtig zu betonen, dass diese Methode eine Abstraktion von der Realität darstellt, mit dem Ziel, verschiedene Erzeugungsanlagen vergleichbar zu machen. Die Methode ist nicht geeignet, um die Wirtschaftlichkeit einer konkreten Anlage zu bestimmen. Dafür muss eine Finanzierungsrechnung unter Berücksichtigung aller Einnahmen und Ausgaben auf Basis eines Cashflow-Modells durchgeführt werden.

### **LIB**

Abkürzung für das elektrochemische Energiespeicherkonzept der sogenannten Lithium-Ionen-Batterie.

### **LIB 2015**

Die Innovationsallianz „Lithium Ionen Batterie LIB 2015“ wurde 2007 gegründet. Sie setzte sich zusammen aus rund 60 Projektpartnern aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, deren gemeinsames Ziel es war, für Fortschritt in der Forschung und Entwicklung von effizienten Lithium-Ionen-Batterien zu sorgen. Die Fördermaßnahme ist abgeschlossen.

### **Microgrid**

Als Bestandteil eines Smart Grid sind sogenannte Microgrids bzw. synonym auch virtuelle Kraftwerke regionale, in sich geschlossene und damit stromnetzunabhängige Verteilnetze.<sup>42</sup> Dezentrale Anlagen zur Energieerzeugung speisen elektrische Energie in das relativ kompakte Microgrid ein, die in Energiespeichern zwischengespeichert oder direkt von Energieverbrauchern genutzt wird. Mit dem Einsatz stationärer Energiespeicher wird auch Versorgungssicherheit und Preisstabilität gewährleistet. Die Microgrids und ihr übergeordnetes Smart Grid können

elektrische Energie austauschen, je nachdem, wie sich Angebot und Nachfrage bzw. die Strompreise auf beiden Netzebenen entwickeln.

### **Momentanreserven**

Das Trägheitsmoment rotierender Massen eines synchron am Netz operierenden Generators (Synchrongenerator), welches sich vorrangig aus dem großen Radius des Läufers und der schweren Masse der Welle zusammensetzt, speichert im laufenden Betrieb kinetische Energie.<sup>43</sup> Diese gespeicherte Energie steht zur Stabilisierung der Netzfrequenz bzw. Herstellung der Netzstabilität im Gegensatz zur Regelleistung sofort zur Verfügung und wird als Momentanreserve bezeichnet. Die Energiewende in Deutschland geht jedoch mit einer Reduktion der synchron mit dem Netz umlaufenden Schwungmassen einher, da die regenerativen Energiequellen durch leistungselektronische Umrichter ihre Leistung ins Netz einspeisen und somit keine Kopplung rotierender Schwungmassen mit dem Netz gewährleisten und die großen thermischen Kraftwerke verdrängt werden. Eine unzulässige Reduktion der Schwungmassen im Netz und die mögliche Bereitstellung künstlicher Schwungmasse durch genügend große Umrichter, mit Hilfe derer erneuerbare Energiequellen ihre Leistung ins Netz einspeisen, wird für einen Zeitraum nach dem Jahr 2050 prognostiziert. Soll sich die Systemstabilität im Kurzzeitbereich in Deutschland nicht auf die Momentanreserve ausländischer konventioneller Kraftwerke stützen, besteht schon vorher Handlungsbedarf.

### **Must-Run**

Für einen ungefährdeten Betrieb des Verbundnetzes muss europaweit zu jedem Zeitpunkt eine Äquivalenz zwischen Erzeugung und Verbrauch gelten.<sup>44</sup> Für die Einhaltung der Äquivalenz ist zu beachten, dass der Prognosen unterlegene, volatile Verbrauch der Lasten eine vorgegebene Regelgröße darstellt, nach der sich die Erzeugung zwingend richten muss. Dies setzt eine Flexibilität auf der Erzeugerseite voraus. Diese kann nur zum Teil gewährleistet werden, denn eine gewisse Starrheit im Kraftwerkspark ist immer vorhanden. In diesem Zusammenhang hat sich der Begriff „Must-Run-Kapazitäten“ bzw. synonym auch Mindeststromerzeugung etabliert. Als solche gelten die vom Netzbetreiber ausgewählten, meist konventionelle Kraftwerke, welche im Betrieb bleiben müssen, um einen sicheren Netzbetrieb durch Bereitstellung von Systemdienstleistungen wie Regelenergien und Blindleistungsbereitstellung zu gewährleisten. Zusätzlich gelten nach Vorgaben des Gesetzgebers auch die fluktuierende, dargebotsabhängige Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen sowie die wärmegeführten, d. h. vom Wärmebedarf abhängende Kraftwärmekopplungsanlagen als „Must-Run-Kapazitäten“.

## MW

Abkürzung für Megawatt.

## MWh

Abkürzung für Megawattstunde.

## NaS

Natrium-Schwefel-Akkumulatoren, in denen Elektroden aus ebenen den genannten Elementen zum Einsatz kommen und als fester Elektrolyt eine Natriumionen leitende Keramik verwendet wird.

## NCA

Engl. „nickel cobalt aluminium (oxide)“, Abkürz. für Nickel-Kobalt-aluminium(-oxid) mit der Summenformel  $\text{Li}(\text{Ni}_{0,85}\text{Co}_{0,1}\text{Al}_{0,05})\text{O}_2$  ist ein Kathodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien. Vorteile dieses Materials bestehen in der relativ hohen Lebensdauer, der spezifischen Energie und der spezifischen Leistung, als Nachteile sind relativ hohe Kosten und ein erhöhtes Sicherheitsrisiko zu nennen.

## Netzdienstleistungen

Synonym auch Systemdienstleistungen.

## Netznutzungsentgelte

Netzentgelte sind von den Netznutzern für die Inanspruchnahme des Stromnetzes bzw. zur Durchleitung von Strom zu entrichten.<sup>45</sup> Netzentgeltspflichtig sind allerdings nur die Entnahmen, für die Einspeisung von Strom in das Netz müssen, anders als teilweise im Gasbereich, keine Netzentgelte entrichtet werden. Mit den Netznutzungsentgelten begleichen die Netzbetreiber die Kosten für Errichtung, Ausbau und Instandhaltung sowie Betrieb des Stromnetzsystems. Privatkunden sowie kleineren Unternehmen werden die Netznutzungsentgelte von den Strom- bzw. Gaslieferanten über die Strom- bzw. Gasrechnung in Rechnung gestellt, Großverbraucher z. B. in der Industrie bezahlen sie direkt.<sup>46</sup> Weil Kleinverbraucher mit Niederspannungsanschlüssen die vollen Netznutzungsentgelte für alle Netzebenen bezahlen müssen, liegen ihre Kosten höher als für größere Verbraucher, die am Mittelspannungsnetz oder auf höheren Spannungsebenen angeschlossen sind und nur für diese und alle höheren Ebenen bezahlen, da die Kosten der Verteilungsnetze (vor allem der auf der Niederspannungsebene) am höchsten sind.

## Netzstabilität

Der Begriff der Netzstabilität beschreibt die Anforderung einer stabilen Netzfrequenz an das Stromnetz als dynamisches System. Diese wird durch die lokalen Netzbetreiber gewährleistet und beträgt in Europa 50 Hertz. Probleme mit ihrer Aufrechterhaltung entstehen insbesondere bei Frequenz-, Spannungs- und Lastfluss-

abweichungen.<sup>47</sup> Um entsprechende Spannungs- und Frequenzschwankungen auszugleichen und damit die regionale Netzstabilität zu erhalten, ist eine systemweite Koordination der Lastflüsse (Stromeinspeisung und -entnahme) notwendig. – Gerade durch den zunehmenden Ausbau der fluktuierenden Erneuerbaren Energien entstehen hier neue Herausforderungen hinsichtlich der Netzstabilität. Durch den Einsatz großformatiger stationärer Energiespeicher kann eine stabile Netzfrequenz leichter aufrecht erhalten werden.

## Notstromversorgung

Bei der Notstromversorgung wird grundsätzlich zwischen der sogenannten Unterbrechungsfreien Stromversorgung und Netzersatzanlagen (NEA) unterschieden.<sup>19</sup> Letztere bestehen in der Regel aus Generatoren, die von Dieselmotoren angetrieben werden. Sie werden zur Versorgung des Stromnetzes/Notstromnetzes der jeweiligen Liegenschaft eingesetzt. Die Übernahme der Netzversorgung erfolgt nicht unterbrechungsfrei; d. h. im günstigsten Fall liegt die Anlaufzeit der Netzersatzanlage im Sekundenbereich. Die Betriebsdauer der Netzersatzanlage ist in hohem Maße abhängig von einer unterbrechungsfreien Versorgung mit qualitativ einwandfreiem Kraftstoff. Alternativ hierzu werden auch Brennstoffzellen als Netzersatzanlagen angeboten. Der Wasserstoff kann dazu in zusammengeschalteten „Flaschenbatterien“ gelagert werden, der Sauerstoff wird der Umluft entnommen. Die Betriebsdauer hängt hier von der Versorgung mit Wasserstoff ab.

Das Notstromnetz ist ein Teil des gesamten Stromnetzes einer Liegenschaft mit separat geführten und abgesicherten Stromkreisen. Um einen Zusammenbruch der Notstromversorgung zu vermeiden, muss sichergestellt werden, dass nur diejenigen Verbraucher an die Notstromversorgung angeschlossen sind, die für den definierten Notbetrieb der Einrichtung festgelegt wurden. Der sichere und stabile Betrieb der Notstromversorgung (USV/NEA) setzt voraus, dass der Energiebedarf der angeschlossenen Verbraucher die Leistungsfähigkeit der Notstromversorgung nicht überschreitet. Vor einer Erhöhung der Last durch zusätzliche oder andere Verbraucher ist die Leistungsfähigkeit der Notstromversorgung zu überprüfen und ggf. anzupassen.

Falls für bestimmte Aufgaben Hochverfügbarkeitsanforderungen bestehen (z. B. Lagezentrum, Rechenzentrum) oder einzelne Bereiche der Einrichtung als besonders kritisch identifiziert wurden, sind entsprechende Redundanzen der Notstromversorgung erforderlich. Im Übrigen lassen sich Risiken einer lokalen Störung bzw. Unterbrechung der Stromeinspeisung aus dem öffentlichen Netz durch eine zweite, örtlich getrennte Energieeinspeisung (wenn möglich eines zweiten Energieversorgungsunternehmens) deutlich minimieren.

## **NPE**

Abkürzung für Nationale Plattform Elektromobilität. Ein Expertengremium, welches die deutsche Bundesregierung seit Mai 2010 berät und Empfehlungen zur Verwirklichung von Elektromobilität in Deutschland ausspricht. Setzt sich zusammen aus Vertretern der Gewerkschaften, Industrie, Politik, Verbänden und Wissenschaft.

## **NS/MS**

Abkürzung für Niederspannung/Mittelspannung. Stromnetze arbeiten mit unterschiedlichen Spannungsbereichen: Höchstspannungsnetze für den Ferntransport, Hochspannungsnetze für den überregionalen Transport, Mittelspannungsnetze für die regionale Verteilung mit einer Spannung zwischen 1 und 30 Kilovolt sowie Niederspannungsnetze für die Feinverteilung an die Endverbraucher mit einer Spannung zwischen 220 und 380 Volt.<sup>49</sup>

## **Off-Grid-PV**

Off-Grid-Photovoltaik wird oft als eine Inselanlage betrieben, die sich von Inselnetzen allerdings durch ihren geringeren Umfang unterscheidet (siehe Inselnetze). Sie ist nicht an ein ggf. landesweites, öffentliches Stromnetz angeschlossen bzw. wird vor allem dort eingesetzt, wo der Anschluss an das jeweils übergeordnete Stromnetz nicht möglich oder nicht wirtschaftlich ist. Off-Grid-Photovoltaik funktioniert daher nur mit einem (oder mehreren) dem Bedarf entsprechend dimensionierten Energiespeichern.

## **On-Grid-PV**

On-Grid-Photovoltaik ist an ein ggf. landesweites, öffentliches Stromnetz angeschlossen bzw. wird vor allem dort eingesetzt, wo der Anschluss an das jeweils übergeordnete Stromnetz möglich bzw. wirtschaftlich ist. On-Grid-Photovoltaik funktioniert auch ohne einen (oder mehrere) dem Bedarf entsprechend dimensionierten Energiespeicher, wenn der Strom nicht zur Eigenverbrauchsoptimierung eingesetzt und direkt ins Stromnetz eingespeist werden soll.

## **Peak Shaving**

Durch den Einsatz von großen Energiespeichersystemen sollen die Spitzen der Lastnachfrage aus Erzeugungsperspektive gleichmäßig werden (engl. „shaving“). Die Energiespeicher werden dann aufgeladen, wenn die Energieversorgung auf relativ niedrigem Niveau erfolgt und die Kosten für zusätzliche Energieerzeugung gering sind, also v. a. in der Nacht. Wenn die Lastnachfrage dann wieder ansteigt und die Energienutzungspreise wieder höher liegen, werden die Energiespeicher entladen und das Stromnetz bzw. die Erzeugungskapazität kann entlastet werden. Die erzielte Preisdifferenz abzüglich der Speicherverluste und der variablen Betriebskosten stellt die Gewinnmarge des

Energiespeicher-betreibenden Unternehmens dar, aus der auch die Investitionen refinanziert werden können.<sup>50</sup>

## **Produkt-Roadmap**

Eine Variante des allgemeinen Begriffs Roadmap, in der es darum geht, die Entwicklung der Marktanforderungen z. B. an eine bestimmte Technologie zu dokumentieren.

## **Pumpspeicher**

Große, zentrale Pumpspeicher werden für die Speicherung und Erzeugung elektrischer Energie eingesetzt: In Zeiten von niedriger Stromnachfrage und/oder -preisen wird Wasser von einem niedriger liegenden Reservoir in ein höher liegendes Reservoir gepumpt. In Zeiten von hoher Stromnachfrage und/oder -preisen wird das Wasser dann wieder abgelassen, um über Turbinen und daran angeschlossene Generatoren Strom zu erzeugen und zu verkaufen. Pumpspeicher können somit sowohl positive als auch negative Regelenergie (siehe Regelleistung) herstellen und besitzen die Fähigkeit zum Schwarzstart. Aus diesen Gründen spielen sie für die Versorgungssicherheit und Netzstabilität eine wichtige Rolle, insbesondere im Zuge der Energiewende und der zunehmenden Einbindung fluktuierender erneuerbarer Energien. Weil sie außerdem keine CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweisen, sind sie deutlich umweltfreundlicher als z. B. die alternativ eingesetzten Kohlekraftwerke.

## **PV**

Abkürzung für Photovoltaik.

## **Quartierspeicher**

Quartierspeicher nehmen in Zeiten von niedriger Stromnachfrage und/oder -preisen zu viel produzierten Strom aus lokalen Stromerzeugungsanlagen auf. In Zeiten von hoher Stromnachfrage und/oder -preisen können die angeschlossenen Haushalte und Gewerbebetriebe ihren gespeicherten Strom wieder selbst verbrauchen.

## **Redispatch-Speicher**

Unter Redispatch (engl. „weiterversenden“) sind Eingriffe in die Erzeugungsleistung von Kraftwerken zu verstehen, um Leitungsabschnitte vor einer Überlastung zu schützen.<sup>51</sup> Droht an einer bestimmten Stelle im Netz ein Engpass, so werden Kraftwerke diesseits des Engpasses angewiesen, ihre Einspeisung zu drosseln, während Anlagen jenseits des Engpasses ihre Einspeiseleistung erhöhen müssen. Auf diese Weise wird ein Lastfluss erzeugt, der dem Engpass entgegenwirkt. Der schrittweise Ausstieg aus der Kernenergie und die vermehrte Einspeisung von Strom aus Erneuerbaren Energien wirken sich auf die Lastflüsse im Netz aus und führen dazu, dass Netzbetreiber häufiger als bisher Redispatch-Maßnahmen vornehmen müssen.



## Regelleistung

Mit Regelleistung bzw. synonym auch Regelenergie genannt bezeichnet man die Energie, die ein Netzbetreiber benötigt, um unvorhergesehene Leistungsschwankungen in seinem Stromnetz auszugleichen.<sup>52</sup> Es wird zwischen positiver und negativer Regelenergie unterschieden: Übersteigt die ins Netz eingespeiste Energie die zum selben Zeitpunkt entnommene Energie, liegt ein Leistungsüberschuss im Netz vor. In diesem Fall benötigt der Netzbetreiber negative Regelenergie durch Stromabnehmer, welche kurzfristig dem Netz Strom entziehen. Bei nicht prognostizierter, erhöhter Stromnachfrage ist positive Regelenergie erforderlich. Der Netzbetreiber benötigt in diesem Fall kurzfristig Einspeisungen in sein Netz. Die Regelleistung bzw. synonym auch die Regelenergie ermöglicht es den Netzbetreibern, auf unvorhergesehene Leistungsschwankungen im Stromnetz flexibel zu reagieren und Änderungen der Stromnetznachfrage ausgleichen zu können.

Für den Ausgleich von Leistungsungleichgewichten sind die Übertragungsnetzbetreiber 50 Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, EnBW Transportnetze GmbH und TenneT TSO GmbH für ihre jeweiligen Regelzonen verantwortlich. Den Übertragungsnetzbetreibern stehen die drei Regelenergiequalitäten Primärregelenergie; Sekundärregelenergie und Minutenreserve zur Verfügung. Primärregelenergie wird zur schnellen Stabilisierung des Netzes innerhalb von 30 Sekunden benötigt. Die Sekundärregelenergie muss innerhalb von fünf Minuten in voller Höhe zur Verfügung stehen. Minutenreserve wird zur Ablösung der Sekundärregelenergie eingesetzt, ist mit einer Vorlaufzeit von bis hinunter zu 7,5 Minuten zur Erbringung und wird mindestens 15 Minuten lang in konstanter Höhe abgerufen.

## Rekuperation

Verfahren zur Rückgewinnung von ansonsten verlorengegangener Energie werden als Rekuperation bezeichnet. Ein Rekuperationssystem z. B. in einem konventionellen Fahrzeug kann Bewegungsenergie im Bremsvorgang in nutzbare elektrische Energie umwandeln und in der Bordnetz-Batterie zwischenspeichern, so dass die Energieeffizienz steigt und Kraftstoff eingespart werden kann.<sup>53</sup>

## Remote

Engl. „abgelegen, entfernt liegend“, siehe Inselnetze bzw. siehe Off-Grid-PV.

## Reserveleistung

Bei einer unvorhergesehenen Störung des Stromnetzes setzt das Energieversorgungsunternehmen Reserveleistung ein, um Stromausfällen entgegenzuwirken. Eine Reserveleistung kann auch vom Endverbraucher bei Stromausfällen eingesetzt werden, insofern dieser eine eigene Stromerzeugungsquelle besitzt.

## Roadmap

Unter einer Roadmap wird im Allgemeinen ein vorbereitender Projektplan verstanden, in dem noch auszuführende Schritte ggf. bis weit in die Zukunft verortet werden. Es gibt verschiedene Typen von Roadmaps, z. B. die Produkt-Roadmap oder die Technologie-Roadmap. Allen Roadmaps ist gemein, dass durch ihre Erstellung Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Schritten und damit Risiken und Unsicherheiten aufgedeckt werden können.

## Saisonspeicher

Saisonal überschüssige Energie, meist in Form von thermischer Energie bzw. Wärme, kann in großen Saisonspeichern für Zeiten mit höherem Bedarf und geringerer Produktion länger zwischengespeichert werden. So kann die aus der Sonneneinstrahlung gewonnene Wärme über den Sommer gespeichert werden, um dann im Winter genutzt zu werden.

## Schwarzstart

Bei einem Schwarzstart wird ein Kraftwerk unabhängig vom Stromnetz angefahren. Weil die dafür notwendige Energie weder aus dem Kraftwerk selbst noch aus dem Stromnetz kommen kann, empfiehlt sich dafür die Nutzung großer stationärer Energiespeicher auf elektrochemischer Basis.

## Schwungmasse

Schwungmasse bzw. synonym oft auch ein „Schwungrad“ speichert elektrische Energie als kinetische Bewegungsenergie durch eine Drehbewegung mit kaum Reibungsverlust. Wird die Geschwindigkeit der Umdrehungen gedrosselt, kann elektrische Energie entnommen werden, soll elektrische Energie eingespeichert werden, erhöht sich die Umdrehungsgeschwindigkeit. Schwungräder werden eingesetzt, um bei Bedarf bzw. falls Leistungsschwankungen im Stromnetz auftreten, schnell Energie abzugeben oder auch aufzunehmen.

## Second use

Engl. „Zweitverwendung“, synonym auch „Second life“, engl. „zweites Leben“. Neben dem Recycling haben diese Konzepte für am Ende der Hauptnutzungsdauer z. B. in der Elektromobilität angekommene Lithium-Ionen-Batterien sowohl ein großes ökologisches als auch ein ökonomisches Potenzial.<sup>54</sup> Derartige Batterien haben in der Regel noch ausreichende Kapazitäten für Zweitanwendungen mit geringeren Anforderungen z. B. in der stationären Energiespeicherung und können dadurch je nach Anwendung eine Lebensdauer von zwanzig Jahren und mehr erreichen. Durch die Zweitvermarktung der Batterien kann ihre Ökobilanz verbessert und es können zusätzliche Einnahmen zur Verbesserung ihrer Wirtschaftlichkeit generiert werden.

### Smart Grid

Engl. „intelligentes Netz“, wodurch ein Stromnetz bezeichnet wird, das auf kosteneffiziente Weise das Verhalten und die Handlungen aller daran angeschlossenen Nutzer – einschließlich Erzeuger, Verbraucher und Akteure, die sowohl Erzeuger als auch Verbraucher sind – integrieren kann, damit ein wirtschaftlich effizientes und nachhaltiges Stromnetz mit geringen Verlusten, hoher Qualität, großer Versorgungssicherheit und hoher technischer Sicherheit gewährleistet wird.<sup>55</sup>

### Smart Meter-Rollout

Im Gegensatz zu intelligenten Messsystemen, den sogenannten „Smart Meter“, machen die herkömmlichen elektromechanischen Stromzähler dem Kunden weder seinen Verbrauch transparent, noch können sie elektronisch Daten übertragen oder bieten Möglichkeiten für eine automatische Steuerung und Schaltung von Geräten.<sup>56</sup> Ein intelligentes Messsystem besteht aus einem digitalen Stromzähler und einer Kommunikationseinheit, dem sogenannten „Smart Meter Gateway“. Letzteres ermöglicht eine Datenschutz- und Datensicherheitskonforme Einbindung von Zählern in das intelligente Stromnetz. Mit intelligenten Messsystemen soll die sichere und standardisierte Kommunikation in den Energienetzen der Zukunft (siehe Smart Grid) ermöglicht werden. Insbesondere durch den steigenden Anteil fluktuierender Erneuerbarer Energien können intelligente Messsysteme einen wichtigen Beitrag leisten, die Erzeugung und den Verbrauch von Strom besser miteinander zu verknüpfen und es dem Energieverbraucher ermöglichen, aktiv am Energiemarkt teilzunehmen. Hierzu ist eine sichere und moderne Mess- und Steuerungstechnik im Stromversorgungsnetz erforderlich, die zuverlässige Einspeisewerte und Netzzustandsinformationen liefert. Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglichen dies. Intelligente Messsysteme können als sichere Kommunikationsplattformen für ein intelligentes Netz genutzt werden. – Die flächendeckende Installation von intelligenten Messsystemen wird als „Rollout“ für engl. „Markteinführung“ bezeichnet.

### Systemdienstleistungen

Unter Systemdienstleistungen bzw. synonym auch Netzdienstleistungen versteht man üblicherweise technische Dienstleistungen wie z.B. Betriebsführung, Instandhaltung oder Störungsbeseitigung an leitungsgebundenen Versorgungsinfrastrukturen wie Strom-, Gas-, Wasser-/Abwasser- und Fernwärmenetzen. Deren Bereitstellung obliegt den Stromnetzbetreibern und dient der Stabilisierung der Stromversorgung.<sup>57</sup> Dazu zählen insbesondere die Frequenzhaltung, Spannungshaltung, der Versorgungswiederaufbau. Die Systemdienstleistungen werden heute häufig durch konventionelle Kraftwerke bereit gestellt. In Zukunft werden auch stationäre Energiespeicher zur Bereitstellung von Systemleistungen eingesetzt.

### TAB

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag berät als selbständige wissenschaftliche Einrichtung den Deutschen Bundestag und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels.

### Technologie-Roadmap

Eine Variante des allgemeinen Begriffs Roadmap, in der es darum geht, den technologischen Fortschritt zu dokumentieren.

### Übertragungsnetz (ÜN)

Übertragungsnetze ermöglichen einen deutschlandweiten und grenzüberschreitenden Transport von Strom über große Entfernungen – möglichst verlustarm und direkt dorthin, wo viel Strom verbraucht wird.<sup>58</sup> Über sogenannte Kuppelleitungen ist das deutsche Höchstspannungsnetz an das europäische Verbundnetz angeschlossen. Übertragen wird bei Drehstrom mit Höchstspannung von 220 Kilovolt (kV) oder 380 kV, bei den geplanten neuen Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen mit bis zu 525 kV. Die Betreiber dieser Übertragungsnetze sind Dienstleistungsunternehmen, welche die Infrastruktur der überregionalen Stromnetze zur elektrischen Energieübertragung operativ betreiben, für die Instandhaltung des Netzes sorgen, Stromleitungen ausbauen und modernisieren und Stromhändlern/-lieferanten diskriminierungsfrei Zugang zu diesen Netzen gewähren. Darüber hinaus haben sie die Aufgabe, Netzschwankungen, welche sich durch Abweichungen zwischen aktuell erzeugter Strommenge und Stromnachfrage ergeben, möglichst gering zu halten. In Deutschland ist das Höchstspannungsübertragungsnetz im Wesentlichen Eigentum der vier Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) TenneT, 50Hertz Transmission, Amprion und TransnetBW. Im herkömmlichen Stromnetz dienten Übertragungsnetze der elektrischen Energieübertragung von großen Erzeugungsanlagen wie z. B. Kernkraftwerken hin zu Verbrauchsschwerpunkten, wo die elektrische Energie über Umspannwerke auf das sogenannte Verteilnetz übertragen wurde.

### Unbundling

Im Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) bzw. Paragraph 7 zur Rechtlichen Entflechtung von Verteilernetzbetreibern wird das Unbundling für Unternehmen mit mehr als 100 000 angeschlossenen Kunden festgelegt.<sup>59</sup> Es schreibt die Trennung von Energieerzeugung und Stromnetzbetreibern vor.

### USV

Abkürzung für Unterbrechungsfreie Stromversorgung. USV beziehen ihre Energie aus Akkumulatoren und werden zum Schutz hochsensibler technischer Systeme wie Großrechner, Server und Telefonanlagen eingesetzt.<sup>60</sup> Sie gewährleisten beim

Ausfall, bei Unter oder Überspannung der öffentlichen Stromversorgung einen unterbrechungsfreien Betrieb. USV-Anlagen sind in der Regel nur für eine kurze Überbrückungszeit dimensioniert. In dieser Zeit können technische Systeme in einen sicheren Betriebszustand zurückgefahren werden, oder eine Netzersatzanlage kann die weitere Stromversorgung übernehmen. In der Notstromversorgung wird grundsätzlich zwischen der sogenannten Unterbrechungsfreien Stromversorgung und Netzersatzanlagen (NEA) unterschieden.

## V

Abkürzung für Volt.

## V2G

Abkürzung für engl. „vehicle to grid“ bzw. „Fahrzeug ans Netz“, ein Konzept, in dessen Rahmen die großformatigen Batterien von Elektrofahrzeugen in Zukunft als Energiespeicher verwendet werden sollen. In Zeiten von niedriger Stromnachfrage und/oder -preisen (z. B. vor- oder nachmittags) könnte zu viel produzierter Strom in Elektrofahrzeugen zwischengespeichert werden, um ihn in Zeiten von hoher Stromnachfrage und/oder -preisen (z. B. mittags) wieder in das Stromnetz einzuspeisen. Als Teil des Smart Grid könnten Elektrofahrzeuge so bzw. vor allem in Standzeiten als eine Art riesiger Energiespeicher dienen. Einen großen Haken stellt in diesem Fall aber die Kompensation der Energiespeicher-Besitzer dar, die für zusätzliche Ladezyklen bzw. Batteriealterung entschädigt werden sollten. Das gesamte Konzept macht allerdings überhaupt erst dann Sinn, wenn es eine kritische Masse an Elektrofahrzeugen auf der Straße in Deutschland gibt.

## Variable Tarife

Variable Tarife gelten als Kernelement des zukünftigen Energiemarktes, Preissignale, die den Kunden die Möglichkeit bieten, Vorteile aus systemorientiertem Verhalten zu ziehen.<sup>61</sup> Gemäß dem Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) bzw. Paragraph 40 zu Strom- und Gasrechnungen, Tarife wird Stromlieferanten nahegelegt, soweit technisch machbar und wirtschaftlich zumutbar, für Letztverbraucher von Elektrizität einen Tarif anzubieten, der einen Anreiz zu Energieeinsparung oder Steuerung des Energieverbrauchs setzt.<sup>62</sup> Variable Tarife können im Sinne des Gesetzes insbesondere lastvariabel oder tageszeitabhängig ausgestaltet werden, woraufhin für Stromkunden in bestimmten Zeiten ein finanzieller Anreiz zur Lastverlagerung geschaffen werden soll. Dafür notwendig wird wiederum die Etablierung intelligenter Messsysteme (siehe Smart Meter-Rollout) sein, damit Lieferanten im Smart Grid die Datenaufzeichnung und -übermittlung von und für ihre Kunden mit relevanten verschiebbaren Stromnetzlasten leisten können.

## Verteilnetz (VN)

Aus dem Übertragungsnetz wird die elektrische Energie über Umspannwerke in Verteilnetze mit Hoch-, Mittel- und Niederspannung übertragen.<sup>63</sup> Das Hochspannungsnetz dient der Grobverteilung von Strom: Der Strom wird aus dem Höchstspannungsnetz zu Umspannwerken von Ballungszentren oder großen Industriebetrieben geleitet. Das Mittelspannungsnetz verteilt den Strom an regionale Transformatorstationen oder direkt an größere Einrichtungen wie beispielsweise Krankenhäuser oder Fabriken. Das Niederspannungsnetz dient der Feinverteilung. An das Niederspannungsnetz sind private Haushalte, kleinere Industriebetriebe, Gewerbe und Verwaltung angeschlossen. Die Netze mit niedrigeren Spannungsebenen dienen der Verteilung des Stroms an die Endverbraucher. In diesem Bereich ist eine Vielzahl von regionalen und kommunalen Netzbetreibern tätig.

## Vollzyklus

Als Vollzyklus bezeichnet man den Prozess einer vollständigen Entladung und Aufladung eines Energiespeichersystems.<sup>64</sup> Ein äquivalenter Vollzyklus wiederum wird definiert als Gesamtenergiefluss (gezählt in Aufladungs- oder Entladungsrichtung), mit entsprechender Entladungstiefe (engl. „Depth of discharge“, Abkürzung DOD) bzw. die Menge an entladener Energie pro Zyklus dividiert durch die gesamte verfügbare Batteriekapazität.

## Volumetrische Energie-/Leistungsdichte

Mit der physikalischen Größe der volumetrischen Energie-/Leistungsdichte wird die Verteilung von Energie/Leistung (in Wh bzw. W) pro Raumvolumen eines Stoffes (in l) bezeichnet. In diesem Sinne ist für Anwendungen wichtig, dass die Größe von potenziellen Energiespeichertechnologien im Vordergrund steht.

## W

Bei Watt (W) handelt es sich um die physikalische Einheit, welche Energie pro Zeit angibt und somit zur Beschreibung einer Leistung genutzt wird.

## Wh

Die Wattstunde (Wh) ist eine physikalische Einheit und dient als Maß für verrichtete Arbeit. Eine Wh ist die Energie, welche ein Energiewandler mit einer Leistung von einem Watt in einer Stunde aufnimmt oder abgibt.

## xEV

Ein als Sammelbegriff bzw. -kürzel für alle (batterie-)elektrisch angetriebenen Fahrzeugkonzepte (Elektrofahrzeuge, engl. „electric vehicle“ bzw. EV) gebrauchter Term, insbesondere hybrid-elektrische Fahrzeuge (engl. „hybrid electric vehicle“ bzw. HEV), Plug-in-hybridelektrische Fahrzeuge (engl. „plug-in hybrid electric vehicle“ bzw. PHEV) und rein batterieelektrische Fahrzeuge (engl. „battery electric vehicle“ bzw. BEV).

## QUELLEN

- <sup>1</sup> Fraunhofer ISE (2015): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland – Fassung vom 7.11.2015. Online-Ressource, Link: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>, abgerufen am 30.11.2015
- <sup>2</sup> Handelsblatt GmbH (WirtschaftsWoche Green Economy, 2014): Solar-Rekord: Deutschland erzeugt mehr als die Hälfte seines Stroms aus Sonnenenergie. Online-Ressource, Link: <http://green.wiwo.de/rekord-deutschland-erzeugt-mehr-als-die-haelfte-des-stroms-aus-solarenergie>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>3</sup> Bundesministerium für Bildung und Forschung (Forschung für Nachhaltige Entwicklung, 2015): Förderinitiative Energiespeicher. Online-Ressource, Link: <http://www.fona.de/de/9982>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>4</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi, 2015): Energiespeicher. Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energieforschung-und-Innovationen/foerderschwerpunkte,did=455452.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>5</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)/Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Förderinitiative Energiespeicher, 2015): Energiespeicher – Forschung für die Energiewende. Online-Ressource, Link: <http://forschung-energiespeicher.info>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>6</sup> BSW – Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW-Solar, 2013): Informationspapier des BSW-Solar, Stand: 30.08.2013 – Informationen zur Förderung von Solarstrom-Speichern. Online-Ressource, Link: [http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/Speicherprogramm\\_Hintergrundpapier.pdf](http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/Speicherprogramm_Hintergrundpapier.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>7</sup> BSW – Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW-Solar, 2015): Solarthermie – Marktanreizprogramm Wärme. Online-Ressource, Link: <http://www.solarwirtschaft.de/map.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>8</sup> The Regulatory Assistance Project (RAP, 2014): Netzentgelte in Deutschland – Herausforderungen und Handlungsoptionen (Studie im Auftrag von Agora Energiewende). Online-Ressource, Link: [http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Analysen/Netzentgelte\\_in\\_Deutschland/Agora\\_Netzentgelte\\_web.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Analysen/Netzentgelte_in_Deutschland/Agora_Netzentgelte_web.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>9</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi, 2015): Erneuerbare-Energien-Gesetz 2014. Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Erneuerbare-Energien/eeg-2014.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>10</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi, 2015): Zentrale Vorhaben Energiewende für die 18. Legislaturperiode (10-Punkte-Energie-Agenda des BMWi). Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/0-9/10-punkte-energie-agenda,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>11</sup> SEC SolarEnergyConsult Energiesysteme GmbH (SEC, 2014): Die neue Niederspannungsrichtlinie VDE-AR-N 4105 im Überblick. Online-Ressource, Link: <http://www.solar-energy-consult.de/index.php/de/news/item/140-die-neue-niederspannungsrichtlinie-vde-ar-n-4105-im-%C3%BCberblick>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>12</sup> The Publications Office / European Union (EUR-Lex, 2015): Richtlinie 2014/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt (Neufassung) (Text von Bedeutung für den EWR). Online-Ressource, Link: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2014.096.01.0357.01.DEU](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2014.096.01.0357.01.DEU), zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>13</sup> BSW – Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW-Solar, 2013): Informationspapier des BSW-Solar, Stand: 30.08.2013 – Informationen zur Förderung von Solarstrom-Speichern. Online-Ressource, Link: [http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/Speicherprogramm\\_Hintergrundpapier.pdf](http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/Speicherprogramm_Hintergrundpapier.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>14</sup> BSW – Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW-Solar, 2015): Solarthermie – Marktanreizprogramm Wärme. Online-Ressource, Link: <http://www.solarwirtschaft.de/map.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>15</sup> Sterner et al. (2015): Der positive Beitrag dezentraler Batteriespeicher für eine stabile Stromversorgung – Kurzstudie im Auftrag von BEE – Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE), Hannover Messe (HM) und Durchführung durch Forschungsstelle

Energienetze und Energiespeicher (FENES), Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg (OTH). Online-Ressource, Link: [http://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/BEE\\_HM\\_FENES\\_Kurzstudie\\_Der\\_positive\\_Beitrug\\_von\\_Batteriespeichern\\_2015.pdf](http://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/BEE_HM_FENES_Kurzstudie_Der_positive_Beitrug_von_Batteriespeichern_2015.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>16</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi, 2015): Intelligente Messsysteme – Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende. Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Netze-und-Netzausbau/intelligente-messsysteme,did=737214.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>17</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi, 2015): Staatssekretär Baake – Smart Meter wesentlicher Baustein für Energiewende und Energieeffizienz (Pressemitteilung, 9.2.2015). Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/DE/Presse/pressemitteilungen,did=689540.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>18</sup> Heise Medien GmbH & Co. KG (heise online, 2015): Smart Meter – Noch keine Argumente, um Privatanutzer zu locken. Online-Ressource, Link: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Smart-Meter-Noch-keine-Argumente-um-Privatanutzer-zu-locken-2648159.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>19</sup> Deutsche Energie-Agentur (dena, 2015): dena-Studie Systemdienstleistungen 2030. Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien (Endbericht). Online-Ressource, Link: [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Projekte/Energiesysteme/Dokumente/dena-Studie\\_Systemdienstleistungen\\_2030.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Energiesysteme/Dokumente/dena-Studie_Systemdienstleistungen_2030.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>20</sup> Fraunhofer IEWS/Siemens AG/Universität Hannover, IEH/CUBE Engineering GmbH (2014): Kombikraftwerk 2 – Kurzbericht. Online-Ressource, Link: [http://www.kombikraftwerk.de/fileadmin/Kombikraftwerk\\_2/Abschlussbericht/Kurzbericht\\_Kombikraftwerk2\\_final.pdf](http://www.kombikraftwerk.de/fileadmin/Kombikraftwerk_2/Abschlussbericht/Kurzbericht_Kombikraftwerk2_final.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>21</sup> Bundesnetzagentur (BNA, 2015): Entflechtung, Geschlossene Verteilernetze, Konzessionen. Online-Ressource, Link: [http://www.bundesnetzagentur.de/cln\\_1422/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Entflechtung\\_KonzessionenVerteilernetze/entflechtungskonzessionenverteiler\\_netze-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1422/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Entflechtung_KonzessionenVerteilernetze/entflechtungskonzessionenverteiler_netze-node.html), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>22</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)/Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (2015): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der AGEE-Stat.

Online-Ressource, Link: [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>23</sup> Udo Leuschner/www.energie-chronik.de (Energie-Chronik, 2008): E.ON, Vattenfall und EnBW kämpfen um Erhaltung ihrer Regelzonen (081005). Online-Ressource, Link: <http://www.energie-chronik.de/081005.htm>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>24</sup> Udo Leuschner/www.energie-chronik.de (Energie-Chronik, 2008): Stromhändler verlangen Vereinheitlichung der vier Regelzonen (080408). Online-Ressource, Link: <http://www.energie-chronik.de/080408.htm>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>25</sup> Udo Leuschner/www.energie-chronik.de (Energie-Chronik, 2010): Die vier Stromregler müssen kooperieren, behalten aber ihre eigenen Zonen (100301). Online-Ressource, Link: <http://www.energie-chronik.de/100301.htm>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>26</sup> Agora Energiewende (2014): Verteilernetze lassen sich mit einfachen Maßnahmen für die Energiewende fit machen. Online-Ressource, Link: <http://www.agora-energiewende.de/de/presse/agoranews/news-detail/news/verteilernetze-lassen-sich-mit-einfachen-massnahmen-fuer-die-energiewende-fit-machen>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>27</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB, 2015): „Das Stöhnen aus der Industrie ist nicht ganz verständlich“ – Hendricks zur Reform des Emissionshandels. Online-Ressource, Link: <http://www.bmub.bund.de/presse/interviews-und-artikel/hendricks-zum-emissionshandel>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>28</sup> BSW – Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW-Solar, 2012): Stand: 27.Juni 2012 – Zusammenfassung der wichtigsten Änderungen der EEG-Solarstromförderung. Online-Ressource, Link: [http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/eeg\\_anpass\\_2012\\_zusammenf.pdf](http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/eeg_anpass_2012_zusammenf.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>29</sup> Agora Energiewende (2013): Studie zum kostenoptimalen Ausbau der Erneuerbaren Energien – Hintergrunddokument, Kostenannahmen und Szenarien. Online-Ressource, Link: [http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Agora\\_Studie\\_Kostenoptimaler\\_EE-Ausbau\\_Annahmen\\_Voraussetzungen\\_Praesentation.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Agora_Studie_Kostenoptimaler_EE-Ausbau_Annahmen_Voraussetzungen_Praesentation.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015



- <sup>30</sup> Solarpraxis Neue Energiewelt AG (2015): Energiespeicher für Photovoltaik-Strom – Workshopreihe für Anwender. Online-Ressource, Link: [http://www.speicherworkshops.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/Seminarunterlagen.pdf](http://www.speicherworkshops.de/fileadmin/user_upload/downloads/Seminarunterlagen.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>31</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi, 2015): Stromnetze der Zukunft – Netzausbau. Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Netze-und-Netzausbau/stromnetze-der-zukunft,did=354044.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>32</sup> Bundesnetzagentur (BNA, 2015): Netzentwicklungspläne 2024 und Umweltbericht. Online-Ressource, Link: <http://www.netzausbau.de/bedarfsermittlung/2024/nep-ub/de.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>33</sup> Toyota Deutschland GmbH (2015): Toyota Motor Europe weitet Batterie-Recycling aus – 100prozentige Wiederverwertung der Energiespeicher von Hybridfahrzeugen. Online-Ressource, Link: <http://www.toyota-media.de/Article/view/2015/02/06/Toyota-Motor-Europe-weitet-Batterie-Recycling-aus/13231?c=technology>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>34</sup> BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (bdew, 2015): BDEW-Erhebung Elektromobilität. Online-Ressource, Link: <https://www.bdew.de/internet.nsf/id/bdew-erhebung-elektromobilitaet-de?open&ccm=900030>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>35</sup> BEE – Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE, 2014): Aktiver Klimaschutz im Rahmen der Energiewende: Erneuerbare statt Kohle. Online-Ressource, Link: [http://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Positionspapiere\\_Stellungnahmen/BEE/20141111\\_BEE-Kohlestrategiepapier.pdf](http://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Positionspapiere_Stellungnahmen/BEE/20141111_BEE-Kohlestrategiepapier.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>36</sup> Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen, IAEW/VOITH Hydro GmbH & Co. KG (2014): Die Energiewende erfolgreich gestalten – Mit Pumpspeicherkraftwerken. Online-Ressource, Link: [http://voith.com/de/PSP\\_Studie.pdf](http://voith.com/de/PSP_Studie.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>37</sup> Roland Berger Strategy Consultants/Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) (2012): Zukunftsfeld Energiespeicher – Marktpotenziale standardisierter Lithium-Ionen-Batteriesysteme (Studie). Online-Ressource, Link: [http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland\\_Berger\\_Zukunftsfeld\\_Energiespeicher\\_20120912.pdf](http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Zukunftsfeld_Energiespeicher_20120912.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>38</sup> Toyota Motor Europe (2014): The Toyota Mirai. Online-Ressource, Link: <https://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/articles-news-events/2014/the-toyota-mirai.json>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>39</sup> Amprion GmbH (2015): Blindleistung, Wirkleistung. Online-Ressource, Link: <http://www.amprion.net/blindleistung-wirkleistung>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>40</sup> Next Kraftwerke GmbH (2015): Intraday-Handel – Definition. Online-Ressource, Link: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/strommarkt/intraday-handel>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>41</sup> Fraunhofer ISE (2013): Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien – Studie. Online-Ressource, Link: <https://ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>42</sup> Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (2014): Erneuerbare Energien – Microgrids als Chance für Energiespeicher-Anbieter. Online-Ressource, Link: <http://www.springerprofessional.de/microgrids-als-chance-fuer-energiespeicher-anbieter/4938002.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>43</sup> Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (efzn, 2013): Studie Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsicherheit – Abschlussbericht. Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/eignung-von-speichertechnologien-zum-erhalt-der-systemsicherheit,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>44</sup> Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (efzn, 2013): Studie Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsicherheit – Abschlussbericht. Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/eignung-von-speichertechnologien-zum-erhalt-der-systemsicherheit,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015
- <sup>45</sup> Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (efzn, 2013): Studie Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsicherheit – Abschlussbericht. Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/eignung-von-speichertechnologien-zum-erhalt-der-systemsicherheit,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>46</sup> Dr. Rüdiger Paschotta/RP Photonics Consulting GmbH (2015): Netznutzungsentgelt. Online-Ressource, Link: <https://www.energie-lexikon.info/netznutzungsentgelt.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>47</sup> Klaus (2009): DeRegulierung der netzbasierten Infrastruktur – Identifikation und Analyse von Lenkungsinstrumenten im Rahmen von De-/Regulierungsvorgängen in Primärinfrastruktur-sektoren (Dissertation der Rechtswissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich). Books on Demand GmbH, Norderstedt, Seite 619f.

<sup>48</sup> Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK, 2015): Notstromversorgung in Unternehmen und Behörden. Online-Ressource, Link: [https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis\\_Bevoelkerungsschutz/Band\\_13\\_Notstromversorgung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis_Bevoelkerungsschutz/Band_13_Notstromversorgung.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>49</sup> Deutsche Energie-Agentur (dena, 2015): Höchst-, Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetz. Online-Ressource, Link: <http://www.effiziente-energiesysteme.de/glossar/glossar/h/hoechst-hochmittel-und-niederspannungsnetz.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>50</sup> Höfling, International Renewable Energy Storage Conference (IRES, 2010): Energiespeicherung – Herausforderungen bei der Bestimmung des Bedarfs und der Förderung. Online-Ressource, Link: [http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/06\\_Hintergrundinformationen/2011\\_01\\_SAZ\\_4\\_Beitrag\\_H\\_Hoefling.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/06_Hintergrundinformationen/2011_01_SAZ_4_Beitrag_H_Hoefling.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>51</sup> Bundesnetzagentur (BNA, 2015): Redispatch. Online-Ressource, Link: [http://www.bundesnetzagentur.de/cIn\\_1421/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Redispatch/redispatch-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/cIn_1421/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Redispatch/redispatch-node.html), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>52</sup> Bundesnetzagentur (BNA, 2015): Regelenergie. Online-Ressource, Link: [http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Engpassmanagement/Regelenergie/regelenergie-node.html), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>53</sup> Audi AG (2015): Rekuperation – Wer brems, gewinnt. Online-Ressource, Link: <http://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen/layer/technologien/rekuperation.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>54</sup> Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE)/Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (DKE) (2015): Kompendium: Li-Ionen-Batterien im BMWi Förderprogramm IKT für Elektromobilität II: Smart Car – Smart Grid – Smart Traffic – Grundlagen, Bewertungskriterien, Gesetze und Normen. Online-Ressource, Link: [http://schaufenster-elektromobilitaet.org/media/media/documents/dokumente\\_der\\_begleit\\_und\\_wirkungsforschung/Kompendium\\_Li-Ionen-Batterien.pdf](http://schaufenster-elektromobilitaet.org/media/media/documents/dokumente_der_begleit_und_wirkungsforschung/Kompendium_Li-Ionen-Batterien.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>55</sup> The Publications Office / European Union (EUR-Lex, 2015): Verordnung (EU) Nr. 347/2013 des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2013 zu Leitlinien für die transeuropäische Energieinfrastruktur und zur Aufhebung der Entscheidung Nr. 1364/2006/EG und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 713/2009, (EG) Nr. 714/2009 und (EG) Nr. 715/2009 (Text von Bedeutung für den EWR). Online-Ressource, Link: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013R0347&from=EN>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>56</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi, 2015): Intelligente Messsysteme – Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende. Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Netze-und-Netzausbau/intelligente-messsysteme,did=737214.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>57</sup> Deutsche Energie-Agentur (dena, 2015): dena-Studie Systemdienstleistungen 2030. Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien (Endbericht). Online-Ressource, Link: [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Projekte/Energiesysteme/Dokumente/dena-Studie\\_Systemdienstleistungen\\_2030.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Energiesysteme/Dokumente/dena-Studie_Systemdienstleistungen_2030.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>58</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi, 2015): Stromnetze der Zukunft – Stromnetze und Infrastruktur. Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Netze-und-Netzausbau/stromnetze-der-zukunft.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>59</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (BJV, 2015): Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) § 7 Rechtliche Entflechtung von Verteilernetzbetreibern. Online-Ressource, Link: [http://www.gesetze-im-internet.de/enwg\\_2005/\\_7.html](http://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/_7.html), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>60</sup> Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK, 2015): Notstromversorgung in Unternehmen und Behörden. Online-Ressource, Link: [https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis\\_Bevoelkerungsschutz/Band\\_13\\_Notstromversorgung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis_Bevoelkerungsschutz/Band_13_Notstromversorgung.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

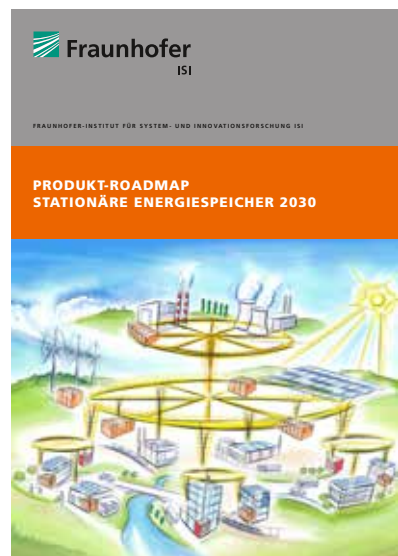
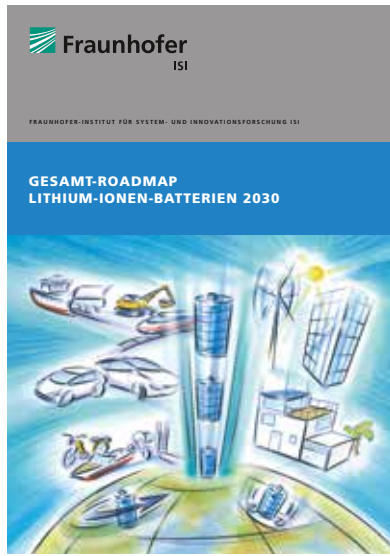
<sup>61</sup> BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (bdew, 2013): BDEW-Roadmap – Realistische Schritte zur Umsetzung von Smart Grids in Deutschland. Online-Ressource, Link: [https://www.bdew.de/internet.nsf/res/074ED767BD2E1480C1257BEF002F16A6/\\$file/Anlage\\_6\\_Endversion\\_BDEW-Roadmap-Smart-Grids.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/res/074ED767BD2E1480C1257BEF002F16A6/$file/Anlage_6_Endversion_BDEW-Roadmap-Smart-Grids.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>62</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (BJV, 2015): Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) § 40 Strom- und Gasrechnungen, Tarife. Online-Ressource, Link: [http://www.gesetze-im-internet.de/enwg\\_2005/\\_40.html](http://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/_40.html), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>63</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi, 2015): Stromnetze der Zukunft – Stromnetze und Infrastruktur. Online-Ressource, Link: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Netze-und-Netzausbau/stromnetze-der-zukunft.html>, zuletzt abgerufen am 30.11.2015

<sup>64</sup> Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen, ISEA (2012): Technologischer Überblick zur Speicherung von Elektrizität – Überblick zum Potenzial und zu Perspektiven des Einsatzes elektrischer Speichertechnologien (im Auftrag der Smart Energy for Europe Platform GmbH (SEFEP), Übersetzung der englischen Originalversion). Online-Ressource, Link: [http://www.sefep.eu/activities/projects-studies/Ueberblick\\_Speichertechnologien\\_SEFEP\\_deutsch.pdf](http://www.sefep.eu/activities/projects-studies/Ueberblick_Speichertechnologien_SEFEP_deutsch.pdf), zuletzt abgerufen am 30.11.2015

# LIB-ROADMAPPING AM FRAUNHOFER ISI



## IMPRESSUM

### Herausgeber

Fraunhofer-Institut für System-  
und Innovationsforschung ISI  
Breslauer Straße 48  
76139 Karlsruhe  
info@isi.fraunhofer.de  
www.isi.fraunhofer.de  
Projektleitung: Dr. Axel Thielmann

### Förderung

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat 511, Neue Werkstoffe, Nanotechnologie  
53170 Bonn  
www.bmbf.de

### Projektträger

Projektträger Jülich  
Geschäftsbereich Neue Materialien und Chemie, NMT  
52425 Jülich  
www.fz-juelich.de

### Autoren

Dr. Axel Thielmann  
Andreas Sauer  
Prof. Dr. Martin Wietschel

### Gestaltung

MarketingConsulting Liljana Groh, Karlsruhe

### Illustrationen

Heyko Stöber, Hohenstein

### Kontakt

Fraunhofer-Institut für System-  
und Innovationsforschung ISI  
Competence Center Neue Technologien  
Dr. Axel Thielmann  
Breslauer Straße 48  
76139 Karlsruhe  
Telefon +49 721 6809-299  
Fax +49 721 6809-315  
axel.thielmann@isi.fraunhofer.de  
www.isi.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Institut für System-  
und Innovationsforschung ISI,  
Karlsruhe, Dezember 2015

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung





Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI analysiert Entstehung und Auswirkungen von Innovationen. Wir erforschen die kurz- und langfristigen Entwicklungen von Innovationsprozessen und die gesellschaftlichen Auswirkungen neuer Technologien und Dienstleistungen. Auf dieser Grundlage stellen wir unseren Auftraggebern aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft Handlungsempfehlungen und Perspektiven für wichtige Entscheidungen zur Verfügung. Unsere Expertise liegt in der fundierten wissenschaftlichen Kompetenz sowie einem interdisziplinären und systemischen Forschungsansatz.

Heute beschäftigt das Fraunhofer ISI rund 240 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, darunter Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Natur-, Ingenieur-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, die pro Jahr an rund 370 Forschungsprojekten arbeiten. Das jährliche Budget, knapp 23 Millionen Euro im Jahr 2014, wird vornehmlich durch Aufträge der nationalen und internationalen öffentlichen Hand, aus der Wirtschaft sowie von Stiftungen und Wissenschaftsorganisationen eingenommen.

Als international führendes Innovationsforschungsinstitut pflegen wir einen intensiven wissenschaftlichen Dialog mit den USA, Japan sowie den BRICS-Ländern, beispielsweise durch den Austausch von Gastwissenschaftlern.

Das Fraunhofer ISI arbeitet eng mit seinen Partnern, dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), der Universität Kassel, der Universität Straßburg, der ETH Zürich, dem Virginia Tech in den USA und dem Institute of Policy and Management (IPM) in Peking zusammen.

