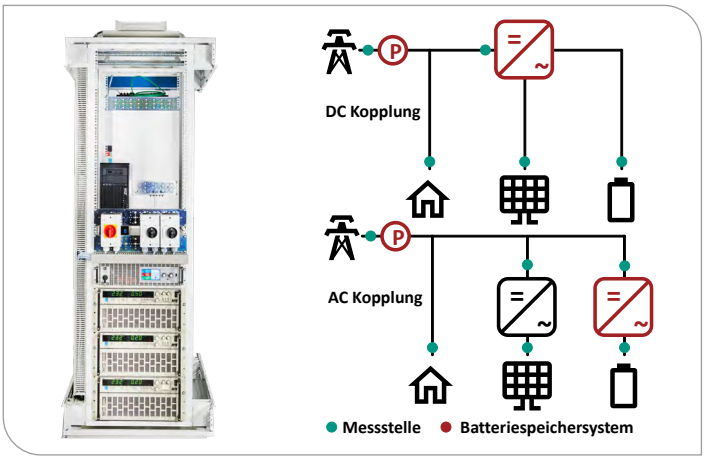
Karlsruher Institut für Technologie

Performancebewertung von Speichersystemen

Energiespeicher sind eine der Schlüsseltechnologien der Energiewende. Sie können das wechselnde Stromangebot von Photovoltaik (PV) und Windkraft mit dem Bedarf der Verbraucher in zeitliche Deckung bringen. In immer mehr privaten Haushalten kommen Heimspeicher zum Einsatz, um Strom aus PV-Anlagen zwischenzuspeichern und den Eigenverbrauch des Solarstroms zu erhöhen. Statt Strom aus dem Netz zu beziehen, können sich die Haushalte mit selbst erzeugter erneuerbarer Energie versorgen.



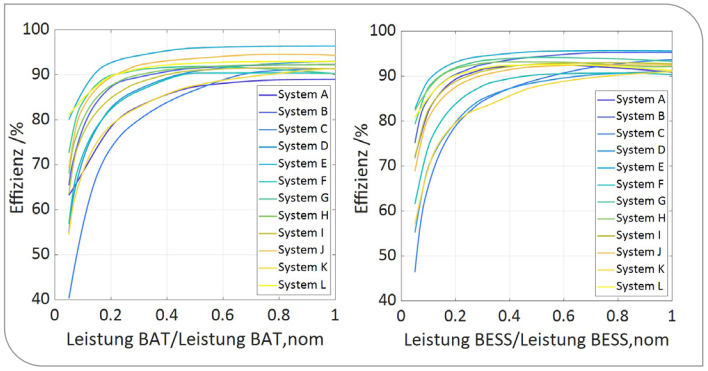
Prüfstand für Heimspeichersysteme (links). Schematischer Aufbau der Systeme im Prüfstand (rechts). (Quelle: KIT/Robert Schreier)

Einen erheblichen Einfluss auf die Speicherkosten und damit die Wirtschaftlichkeit haben nicht nur die Anschaffungskosten, sondern auch eine hohe Qualität bzw. die Performance des Speichersystems im Betrieb. Die Performance der Speichersysteme wird zum einen durch die Effizienz der Systeme und die damit verbundenen Verluste und zum anderen durch die Qualität des Energiemanagements des PV-Speichersystems beeinflusst.

Effizienz von Speichersystemen

Zur Effizienz und den damit verbundenen Verlusten zählen Wirkungsgradverluste der Leistungselektronik und der Batterie, Verluste durch Standby-Verbrauch und Maximum Power Point Tracking Verluste. Auch weitere Eigenschaften wie Regeleffizienz wirken sich direkt auf die Wirtschaftlichkeit eines Systems aus. Bereits im Projekt „Safety First“ (2015 – 2019) wurden zwanzig verschiedene kommerzielle Heimspeichersystemen in Prüfständen unter Realbedingungen betrieben und unter anderem auf die genannten Aspekte untersucht, Die Ergebnisse flossen in hohem Maße in die Entwicklung des Effizienzleitfadens für PV-Speichersysteme ein, der seinerseits zur DIN VDE V 0510-200 weiterentwickelt wurde. Hierzu hat auch das Projekt „Testbench“ (2020 - 2022) beigetragen, welches sich besonders auf die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Messergebnisse an verschiedenen Prüfständen der Projektpartner fokussierte.

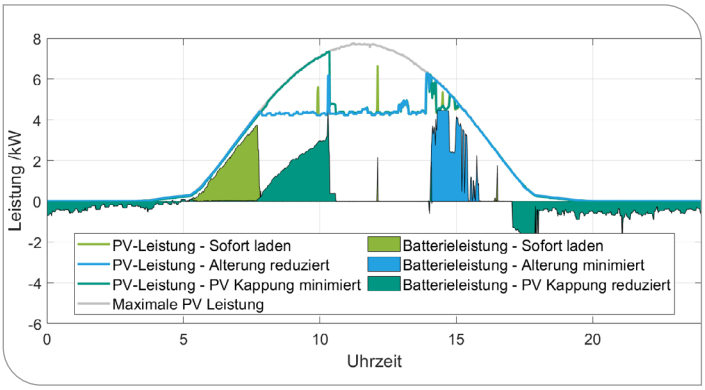
Durch die Vielzahl an Speichersystemen die am KIT im Rahmen verschiedener Projekte und von Industriekunden vermessen wurden, zeigt sich deutlich, dass auch heute noch große Qualitätsunterschiede zwischen den am Markt erhältlichen Systemen existieren. Beispielhaft dazu sind im Folgenden die Lade- und Entladewirkungsgrade von 12 Speichersystemen dargestellt.



Wirkungsgrad des Leistungswandlungspfades Batterieladen (links) und Batterieentladen (rechts) in Abhängigkeit der Bemessungsausgangsleistung. (Quelle: KIT/Nina Munzke)

Qualität des Energiemanagements

Neben der Effizienz der Systeme hat vor allem die Qualität des Energiemanagements einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Systeme. Die Grundfunktion des Energiemanagements ist die Erhöhung des Eigenverbrauchs des Anlagenbetreibers. Um jedoch die Wirtschaftlichkeit des PV-Speichersystems zu erhöhen, spielt dessen zusätzliche Intelligenz eine entscheidende Rolle. Die meisten Li-Ionen Batterien altern schneller, wenn ihr Ladezustand (SOC) hoch ist. Überschüssige Energie sollte somit an sonnigen Tagen nicht gleich zu Beginn des Tages in der Batterie gespeichert werden, da dies dazu führen kann, dass diese lange Zeit bei hohem SOC verweilt. Ein prognosebasiertes Energiemanagement kann die Batterie möglichst spät laden. Durch das verzögerte Laden wird die Aufenthaltsdauer in ungünstigen SOC-Bereichen verringert. Dadurch kann die Lebensdauer des Systems potentiell um Jahre verlängert werden. Auch beim Vorhandensein einer maximalen Einspeiseleistung spielt ein verzögertes Laden der Batterie eine entscheidende Rolle, da diese ansonsten zur Mittagszeit bzw. zur Zeit der höchsten PV-Erzeugung bereits vollgeladen ist. Überschüssige Energie kann dann nicht mehr aufgenommen werden und muss abgeregelt werden. Seit Februar 2025 gilt in Deutschland wieder eine Einspeisebegrenzung auf 60 % der installierten PV-Leistung. Auch kann die Ladeeffizienz des Wechselrichters oder DCDC-Stellers des Speichersystems durch eine optimalere Auslastung in Betrieb erhöht werden. Um einen oder mehrere der genannten Punkte zu optimieren ist eine prognosebasiertes Energiemanagement nötig. Wie unterschiedlich verschiedene Energiemanagementstrategien bei gleichen Last- und PV-Verläufen aussehen ist im folgenden Bild dargestellt:



Typischer Tagesverlauf eines Haushalts mit PV-Speichersystem. Je nach Energiemanagementstrategie wird die Batterie zu unterschiedlichen Zeiten geladen. (Quelle: KIT/Robert Schreier)

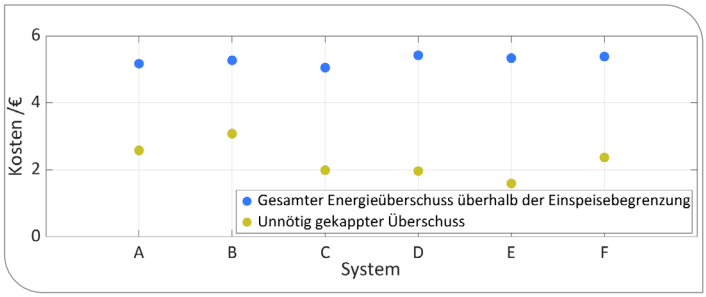
Sofort laden: Sobald mehr PV-Leistung zur Verfügung steht als im Haus verbraucht wird, beginnt das System die Batterie zu laden. Diese Strategie ist einfach umzusetzen, da sie keine Prognosen benötigt. Durch das frühe Laden ist die Batterie aber bereits vollständig geladen sobald die PV-Leistung die Einspeisegrenze überschreitet und die gesamte PV-Energie überhalb der Einspeisebegrenzung muss abgeregelt werden. Durch den damit verbundenen langen Aufenthalt in hohen SOC-Bereichen sinkt die Lebensdauer der Batterie.

Alterung minimieren: Durch eine PV- und Lastprognose wird der Zeitpunkt ermittelt, an dem die PV nicht mehr ausreicht um den Hausverbauch zu decken (hier ca. 17:00 Uhr). Mit dem Laden der Batterie wird jetzt möglichst so spät begonnen, dass diese erst um 17:00 Uhr voll geladen ist. Dadurch wird die Zeit, die die Batterie in hohen SOC-Bereichen verbringt minimiert, was die Lebensdauer der Batterie deutlich erhöhen kann. Durch Prognosefehler kann es aber vorkommen, dass die Batterie nicht vollständig geladen wird.

PV-Kappung reduzieren: Ziel dieser Strategie ist es die abzuregelnde PV-Energie zu minimieren. Durch eine Prognose wird eruiert ob eine Kappung der PV-Leistung heute zu erwarten ist. Die Ladung der Batterie wird in einem solchen Fall verzögert, bis der Zeitpunkt erreicht ist, an dem die PV-Leistung gekappt werden müsste. Fehler in der Prognose können dazu führen das die Batterie zu früh geladen wird und trotzdem PV-Energie gekappt werden muss oder sie zu spät geladen wird und die Batterie nicht vollständig geladen wird.

Die Bewertung der Umsetzung eines Energiemanagements war ein zentraler Bestandteil im Projekt „Perform“ (2021 – 2025). Erstmals wurden hier Speichersysteme inklusive Onlineprognose verschiedener Hersteller mit identischen Voraussetzungen in Prüfständen betrieben und eine Bewertungsmethodik für das Energiemanagement entworfen.

Beispielhaft ist im Folgenden der Energieüberschuss, der über der Einspeisebegrenzung liegt sowie der Überschuss der, bei perfekter Steuerung der Batterie, nicht hätte gekappt werden müssen für 10 Sommertage dargestellt.



Kosten für den gesamten Energieüberschuss sowie für den unnötig gekappten Überschuss bei einer 50 % Einspeisebegrenzung für 10 Tage im Juli. Dargestellt sind die Ergebnisse von 6 Systemen mit einer PV-Anlagengröße von 8 kW und einem Energieinhalt der Speichersysteme zwischen 6,9 und 10 kWh. (Quelle: KIT/Nina Munzke)

Leistungsspektrum des KIT

Neben den Untersuchungen innerhalb verschiedener Forschungsprojekte bietet das KIT auch für Industriekunden Speichervermessungen an.

In den Hardware-in-the-Loop Speichertestumgebungen werden Vermessungen nach Effizienzleitfaden durchgeführt, welche unter anderem zur Teilnahme an der Stromspeicherinspektion genutzt werden können.

Zusätzlich können beliebige Szenarien dargestellt werden. Zum Beispiel sog. Typtage, einen Satz von 10 repräsentativen PV- und Lastprofilen, die mit Gewichtungsfaktoren, Rückschlüsse auf die Systemeffizienz beim Betrieb über ein ganzes Jahr ermöglichen. Durch einen Betrieb eines Systems mit realistischen Daten ist es auch möglich das Energiemanagement im Blick auf verschiedene Ziele zu bewerten.

Auch Sonderlösungen für Systeme mit großen Leistungen oder besonderen Topologien, wie Multilevel-Umrichter, sind umsetzbar. Durch den Einsatz mobiler Vermessungssysteme ist es auch möglich Effizienzvermessungen an großen Speichersystemen außerhalb des KIT-Geländes durchzuführen.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Elektrotechnisches Institut (ETI)

Robert Schreier
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Telefon: +49 721 608 -28323
E-Mail: robert.schreier@kit.edu
Web: www.batterietechnikum.kit.edu

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Elektrotechnisches Institut

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) · Prof. Dr. Jan S. Hesthaven · Kaiserstraße 12 · 76131 Karlsruhe

Karlsruhe © KIT 2025