



# 1 Einleitung - Projektmotivation und Fragestellungen

*(Jan Ahmels, M.A., Energie-Forschungszentrum der TU Clausthal (EFZ), Technische Universität Clausthal)*

Im Verbundprojekt „e-home Energieprojekt 2020“ des Verteilnetzbetreibers Avacon AG und des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen (EFZN) werden die Herausforderungen an das Niederspannungsnetz und die Integration neuer Netzelemente im Zuge der Energiewende untersucht. Die Projektlaufzeit beträgt fünf Jahre (07/2011 bis 06/2016). Zur detaillierten Analyse werden dazu von der Avacon AG in zwei Gemeinden bei Bremen (Syke und Weyhe) insgesamt 32 private Haushalte mit neuen Technologien ausgestattet, die voraussichtlich in Zukunft in vielen Haushalte zu finden werden sein. Dazu gehören neben Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) und Smart Metern auch Elektrofahrzeuge, Batteriespeicher und elektrischen Wärmepumpen.

Wissenschaftlich begleitet wird das Projekt vom EFZN. Hierfür haben sich sechs Lehrstühle in einem transdisziplinären Projektteam zusammengeschlossen. Die folgenden Bereiche stellen die drei Schwerpunkte im Projekt dar:

- regelbarer Ortsnetztransformator (Technologie und Einsatzpotential),
- Kunde (Nutzerverhalten, Akzeptanz und Zufriedenheit) und
- Batteriespeicher (Auswirkungen auf die Netzaufgabe, Photovoltaik-Eigenverbrauch).

Zu Beginn der e-home Forschungsarbeiten standen technische Fragestellungen im Vordergrund. Induziert wurde dies durch den starken Zubau bei den solaren Erzeugungskapazitäten, die zwischen den Jahren 2010 und 2012 mehr als sieben GW pro Jahr betragen (BSW 2017). Während darunter auch Freiflächenanlagen waren, fand der Großteil des Zubaus jedoch als Aufdachanlagen im kleinen bis mittleren Anlagen-segment statt. Diese Anlagen werden auf der Niederspannungsebene an das Stromnetz angeschlossen. Vor diesem Hintergrund startete das e-home Projekt mit den Rückwirkungen der neuen Netzelemente und der zusätzlichen Stromverbraucher auf das Niederspannungsnetz (siehe Becker et al. (2014)). Zusätzlich zu den PV-Anlagen wurden auch die Auswirkungen von Elektrofahrzeugen sowie Smart Metern in dieser Projektphase analysiert.

In der zweiten Phase standen die Querschnittsthemen „Kunde“ und „Batteriespeicher“ im Vordergrund. In Zusammenarbeit mit der Avacon AG wurden die aus den Haushalten vorliegenden Energieflussdaten näher analysiert. Zudem stand mit dem Batteriespeicher eine weitere Technologie zur Verfügung, für die zukünftig ein hohes Verbreitungspotential prognostiziert wird. Neben dem grundsätzlichen Verständnis



über die Lastströme im Haushalt zwischen PV-Anlage, Batteriespeicher und den Verbrauchern, wurden die Daten als Grundlage für die zu erstellende Simulation genutzt. In dieser Berechnung wurden dann für unterschiedliche Anlagenkonfigurationen die Eigenverbrauchs- und Autarkiequoten verglichen.

Die zukünftigen Rahmenbedingungen für den wirtschaftlichen Betrieb von PV-Speichersystemen (bspw. Batteriespeicherpreise, PV-Vergütungssatz) sind nur schwer zu prognostizieren. Daher wurden bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen verschiedene Entwicklungspfade durch Szenarien berücksichtigt. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen, dass sich bereits im Jahr 2016 mit Investitionen in kleine PV-Speichersysteme eine positive (kleine) Rendite erzielen lässt. Bei zukünftig sinkenden Batteriespeicherpreisen und steigenden Strombezugspreisen lassen sich Speicher zunehmend wirtschaftlich betreiben.

Um die Sichtweise der Endkunden auf die beschriebene Thematik näher zu verstehen und Präferenzen festzustellen, wurde eine Umfrage durchgeführt. Diese adressiert nicht nur die Projektteilnehmer, sondern es wurden auch externe Personen angesprochen. Durch den Vergleich der Ergebnisse aus den beiden Gruppen sind Rückschlüsse auf die Motivation und das Interesse an Batteriespeichern möglich.

Im Kapitel 2 werden unterschiedliche Profilgeneratoren vorgestellt, die Energieflussdaten synthetisch erzeugen. Diese Daten werden im weiteren Verlauf des Kapitels für verschiedene Betriebsstrategien genutzt, die mit einem Batteriespeicher möglich sind. Anhand der Parameter Eigenverbrauchs- und Autarkiequote werden die Ergebnisse der verschiedenen Betriebsstrategien verglichen. Anschließend folgt in Kapitel 3 eine wirtschaftliche Betrachtung von PV-Anlagen und Batteriespeichersystemen. Anhand von Prognosen für die Parameter Anschaffungspreis des Batteriesystems, PV-Einspeisevergütung und Strompreis werden die verschiedenen Systemkombinationen bewertet. Auch der Einfluss eines Elektrofahrzeugs sowie elektrischer Wärmepumpen auf die Rentabilität wird berechnet. Vor dem Hintergrund der steigenden Rentabilität von Batteriespeichersystemen werden anschließend in Kapitel 4 die Anreize untersucht, die zum Kauf eines Batteriespeichersystems führen. Hierbei wird in der Befragung zwischen Personen, die bereits einen Speicher besitzen und Personen ohne Speicher differenziert. Die unterschiedlichen Kaufmotive werden abgefragt und danach in eine Rangordnung gesetzt. Darauf aufbauend werden Methoden zur Steigerung des Batteriespeicherabsatzes genannt, die die untersuchten Anreize aufgreifen.

## 2 Nutzung von PV-Speichern zur Erhöhung des Eigenverbrauchs

*(Hauke Loges, M.Sc., Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia), Technische Universität Braunschweig)*

In diesem Kapitel wird die Erhöhung des Eigenverbrauchs (EVQ) durch die Nutzung von PV-Speichern beschrieben. Dazu wird zunächst die mögliche Einbindung von PV-Speichern in den Haushalt beschrieben. Ebenso werden wesentliche Unterschiede bei den Technologien und den Betriebsstrategien sowie gängige Kennzahlen vorgestellt. Anschließend wird die Entwicklung von Profilvergeneratoren beschrieben, mit deren Hilfe es möglich ist, umfangreiche Lastflussrechnungen durchzuführen. Dadurch können Kenngrößen wie die Autarkiequote (AQ) oder die Eigenverbrauchsquote (EVQ) (siehe Abschnitt 2.1.4) für Einfamilienhaushalte in Kombination mit unterschiedlichen Speichern und PV-Anlagen berechnet werden.

### 2.1 Batteriespeicher im Einfamilienhaushalt

PV-Speichersysteme stellen die Kombination von PV-Anlagen und Batteriespeichern dar. Durch die PV-Anlage wird solare Strahlungsenergie in elektrische Energie umgewandelt. Das Batteriesystem ermöglicht die Speicherung von elektrischer Energie durch temporäre Umwandlung in chemische Energie. Dadurch kann ein zeitlich verschobener Verbrauch der erzeugten PV-Energie stattfinden.

Haushaltsinterne elektrische Verbraucher benötigen für den Betrieb Wechselstrom (AC). Daher muss der vom PV- oder Batteriesystem bereitgestellte Gleichstrom (DC) mit Hilfe von Wechselrichtern umgewandelt werden. Daraus ergeben sich verschiedene Möglichkeiten bzgl. der Verschaltung der einzelnen Komponenten und des Systemaufbaus. Grundsätzlich ist dabei zwischen AC- und DC-Anschlusskonzepten zu unterscheiden. Für das AC-Anschlusskonzept, das eine sofortige Umwandlung des erzeugten Gleichstroms in Wechselstrom vorsieht, sprechen in erster Linie die geringe Komplexität im Falle einer Nachrüstung des Batteriesystems. Für das Laden der Batterie ist hingegen ein zusätzlicher Umwandlungsprozess notwendig, da Batterien nur mit Gleichstrom geladen werden können. Nach der Zwischenspeicherung muss eine erneute Umwandlung stattfinden, um die Haushaltsverbraucher versorgen zu können. Jeder Umwandlungsschritt ist dabei verlustbehaftet (Loges und Engel 2016).

Die Abbildung 2-1 stellt die vereinfachten Energieflüsse für ein AC-Anschlusskonzept schematisch dar. Der durch die PV-Anlage erzeugte Gleichstrom wird vom PV-Wechselrichter in Wechselstrom umgerichtet ( $E_{PV}$ ) und kann anschließend dem Batteriespei-

cher, dem öffentlichen Stromnetz oder den haushaltsinternen Verbrauchern zugeführt werden. Die in das Stromnetz eingespeisten Energiemengen ( $E_{NE}$ ) können ggf. durch technisch oder vertraglich geregelte Bedingungen bzgl. der maximalen Einspeiseleistung limitiert werden. Unter einer maximalen Einspeiseleistung versteht man hier die Reduzierung der tatsächlich möglichen Einspeisung der PV-Anlage in das Netz. Dies kann u.a. durch vertragliche Regelungen notwendig sein. Daraus können energetische Abregelungsverluste ( $E_{AV}$ ) resultieren. Um den haushaltsinternen elektrischen Energiebedarf ( $E_{HH}$ ) zu decken, kann Energie aus dem Stromnetz ( $E_{NB}$ ), der PV-Anlage ( $E_{PV}$ ) oder aus dem Batteriespeicher bezogen werden.

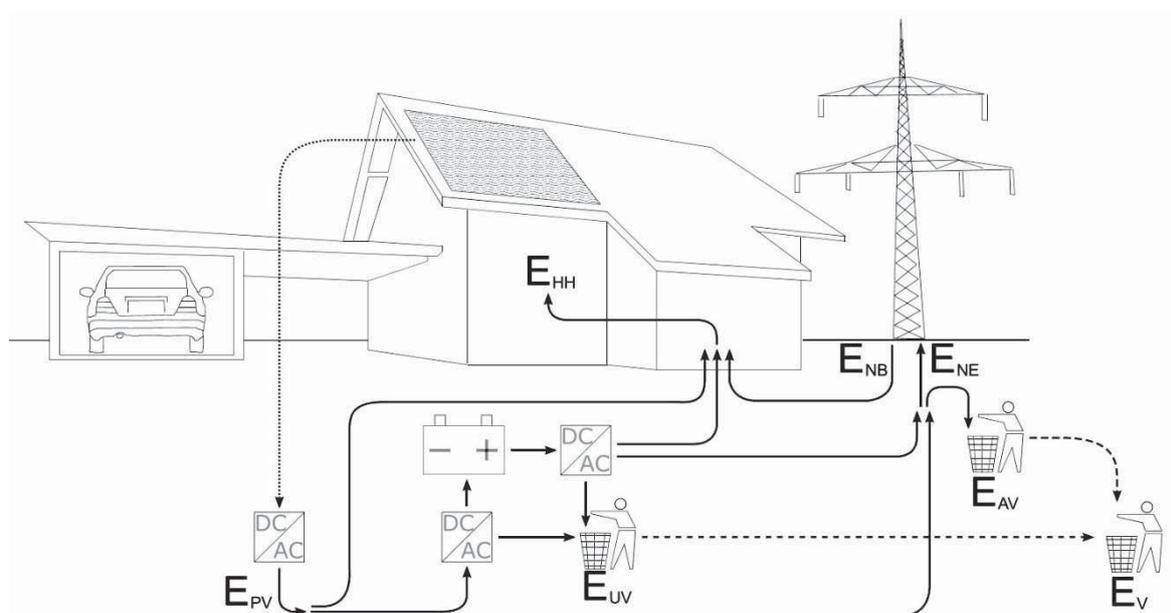


Abbildung 2-1: Energieflüsse für PV-Speichersysteme (AC-Anschlusskonzept) (Loges und Engel 2016)

Die mit dem zusätzlichen Umwandlungsprozess zum Laden der Batterie verbundenen Verluste können durch den Anschluss nach dem DC-Konzept vermieden werden. Der aus der PV-Anlage stammende Gleichstrom kann dem Batteriesystem direkt (bzw. mittels eines DC/DC-Stellers) zugeführt werden. Es ist somit nur eine einfache Umwandlung notwendig, um die Energie letztlich im Haushalt nutzen zu können.

### 2.1.1 Betriebsstrategien von PV-Speichern

Um die Netzbelastungen zu reduzieren und die Wirtschaftlichkeit von PV-Speichersystemen zu steigern, können verschiedene Betriebsstrategien genutzt werden. Diese werden im Folgenden kurz erläutert.

## **Freie Einspeisung bzw. Maximierung des Eigenverbrauchs**

Durch die steigende Differenz von Einspeisevergütung und Strombezugspreis versucht der Anlagenbetreiber in der Regel selbst erzeugten Strom auch selbst zu nutzen. Daher wird nur überschüssige PV-Energie in das Stromnetz eingespeist und der Eigenverbrauch bzw. die Zwischenspeicherung in der Batterie gegenüber der Netzeinspeisung priorisiert. Eine nicht gedeckelte Einspeiseleistung ermöglicht die Netzeinspeisung der gesamten Energieüberschüsse.

Bei Netzen mit einer hohen PV-Durchdringung kann es aufgrund der in der Regel gleichzeitig auftretenden Mittagsspitze zu Stabilitätsproblemen kommen. Auch durch den Einsatz von Batteriespeichern kann eine Netzüberlastung nur bedingt verhindert werden, da der maximale Ladezustand der Batterie häufig bereits am Vormittag erreicht wird und Einspeisespitzen zur Mittagszeit weiterhin in das Netz eingespeist werden müssen. Damit werden durch Batteriespeicher, die ausschließlich zur Maximierung des Eigenverbrauchsanteils eingesetzt werden, keine netzentlastenden Effekte erreicht.

## **Limitierte Einspeisung**

Die Limitierung der maximalen Einspeiseleistung der PV-Anlage kann hingegen die Belastung des Stromnetzes reduzieren. Für den Anlagenbetreiber resultieren daraus allerdings Einschränkungen bei überschüssig erzeugter PV-Energie, da Überschüsse nur bis zum Erreichen des definierten Maximalwerts eingespeist werden. Eine Überschreitung der maximalen Einspeiseleistung muss ggf. durch Abregelung des PV-Systems verhindert werden, sofern der PV-Speicher ebenfalls vollständig geladen ist. Daraus können finanzielle Nachteile resultieren, da die Abregelungsverluste nicht vergütet werden.

### **2.1.2 Batterietechnologie**

Im Folgenden werden ausschließlich Blei- und Lithium-Ionen-Batterien vorgestellt, da diese im stationären Bereich fast ausschließlich Verwendung finden (Fuhs und Ali-Oettinger 2012). Bei Blei- und Lithium-Ionen-Zellen handelt es sich um sekundäre galvanische Zellen, sog. Akkumulatoren, welche im Gegensatz zu den primären wieder aufgeladen werden können. Die Energieumwandlung findet über Redox-Reaktionen statt. Aufgrund der unterschiedlichen Potenziale bei denen die Reaktionen ablaufen, entsteht eine bestimmte Spannung zwischen den Elektroden innerhalb der Zelle. Die Nennspannung ist maßgeblich durch die an der Reaktion beteiligten Materialien bestimmt (Kaltschmitt et al. 2014).

Eine Zelle eines Blei-Akkus besteht aus einem säurefesten Gehäuse und zwei Bleielektroden sowie verdünnter Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) als Elektrolyt. Es wird zwischen Blei-