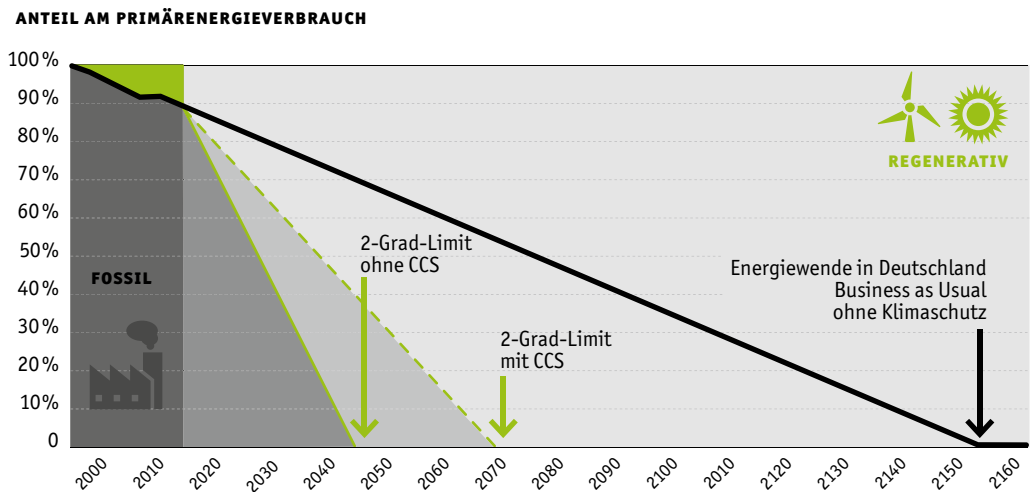


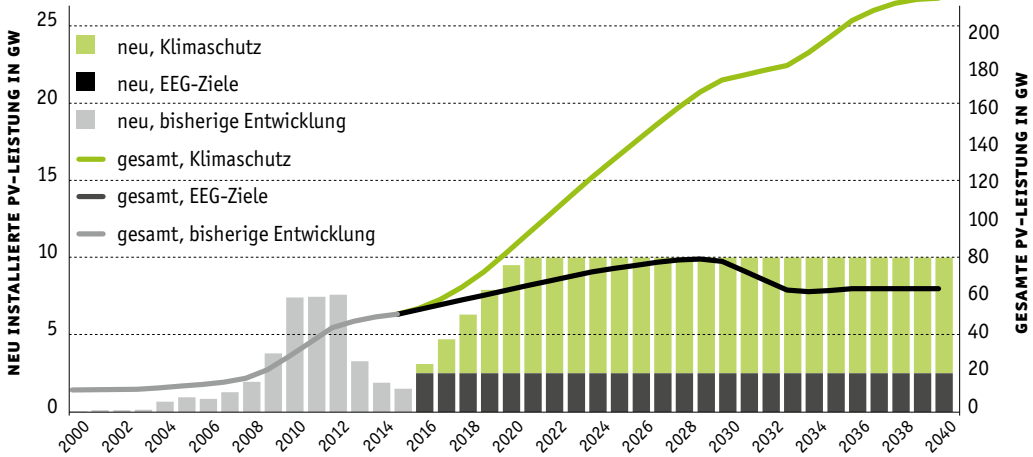
# **DIE BEDEUTUNG DER KOMBINATION VON DEZENTRALEN PHOTOVOLTAIKANLAGEN MIT BATTERIESPEICHERN UND ELEKTROAUTOS FÜR DIE ENERGIEWENDE**

Volker Quaschnig | Tjarko Tjaden | Joseph Bergner | Johannes Weniger



**Bild 1:** Entwicklungspfade der Dekarbonisierung in Deutschland bei heutigem Tempo der Energiewende und bei Berücksichtigung des Klimaschutzes

Um die Folgen des Klimawandels in einem noch einigermaßen vertretbaren Rahmen zu halten, empfehlen Klimaforscher, den globalen Temperaturanstieg auf weniger als 2 °C zu begrenzen. Hierzu hat der Weltklimarat IPCC ein Szenario veröffentlicht, in dem ab dem Jahr 2070 gar kein Kohlendioxid mehr emittiert wird. Nach dem Jahr 2070 müssten die Kohlendioxidemissionen sogar negativ werden. Hierzu sollen technische Verfahren wie CCS (Carbon Dioxide Capture and Storage) genutzt werden, die der Atmosphäre Kohlendioxid entziehen und unter Tage endlagern. Diese Verfahren sind allerdings sehr umstritten und werden Kosten verursachen, die deutlich über denen der heutigen Nutzung erneuerbarer Energien liegen.



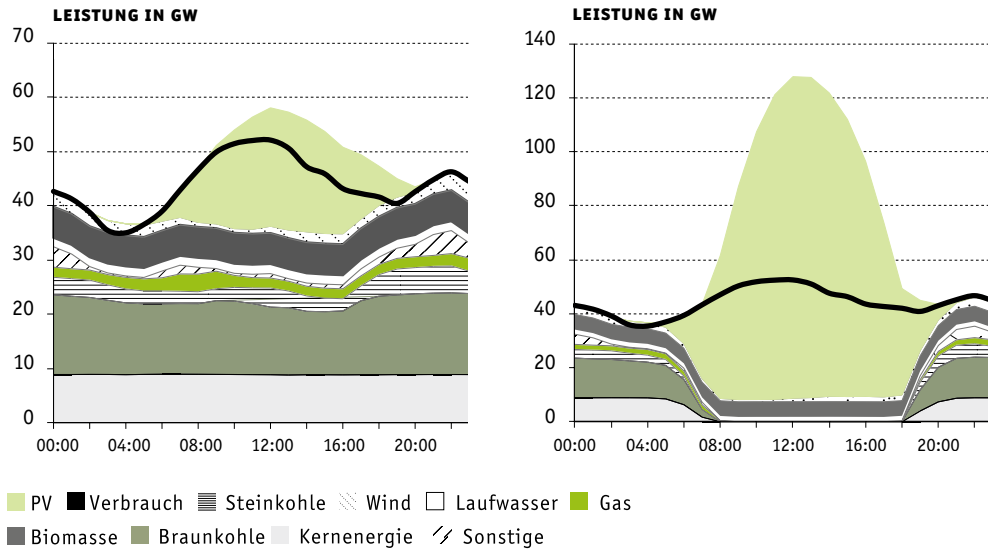
**Bild 2:** Zukünftige Entwicklung der neu installierten und insgesamt installierten Photovoltaikleistung in Deutschland für zwei Entwicklungspfade (Klimaschutz und EEG-Ziele 2014) [1]

Daher erscheint es sinnvoll, einen Klimaschutzpfad einzuschlagen, der auch ohne die Annahme künftiger negativer Treibhausgasemissionen die globale Erwärmung sicher auf Werte unter 2 °C begrenzt. Hierfür müssten die Kohlendioxidemissionen aber bereits zwischen den Jahren 2040 und 2050 auf nahezu null sinken. Deutschland sollte als Vorreiter bei der Energiewende dieses Ziel schon für das Jahr 2040 anpeilen.

### **ENERGIEWENDE UM DEN FAKTOR 3 BIS 5 ZU LANGSAM**

Das Tempo der Energiewende ist hierzu allerdings ungenügend. In den Jahren 2000 bis 2013 stieg der regenerative Anteil am deutschen Primärenergiebedarf gerade einmal um 0,63 % pro Jahr. Setzen wir den Umbau unserer Energieversorgung im gleichen Tempo fort, wird eine kohlendioxidfreie Energieversorgung erst nach dem Jahr 2150 erreichbar sein (**Bild 1**).

Soll künftig der Klimaschutz auch in Deutschland ernst genommen werden, ist ein deutlich schnellerer Zubau erneuerbarer Energien erforderlich. Da die Windkraft zunehmend auf Akzeptanzprobleme stößt, wird die Photovoltaik einen deutlich größeren Anteil der Energieversorgung übernehmen müssen, als noch vor einigen Jahren angenommen wurde. Dafür müsste der Photovoltaikzubau von derzeit unter 2 GW pro Jahr auf rund 10 GW pro Jahr gesteigert werden. Doch anstatt den Solarenergieausbau für einen wirksamen Klimaschutz zu steigern, zielten die politischen Maßnahmen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) der vergangenen Jahre darauf ab, den Solarenergieausbau zu reduzieren (**Bild 2**).



**Bild 3:** Stromerzeugung und -verbrauch in Deutschland am 8. Juni 2014 bei einer installierten Photovoltaikleistung von rund 37 GW (links) und am gleichen Tag bei Steigerung der installierten Photovoltaikleistung auf 200 GW (rechts) [2]

Nähert sich die installierte Photovoltaikleistung der erforderlichen Größenordnung von 200 GW, wird dies tiefgreifende Auswirkungen auf die Erzeugungsstruktur in Deutschland haben. Bild 3 zeigt, dass die Photovoltaik derzeit auch an sonnigen Tagen mit geringem Verbrauch mittags nur weniger als die Hälfte des Bedarfs deckt. Spätestens wenn die installierte Photovoltaikleistung 70 GW erreicht, was knapp einer Verdopplung der heutigen Leistung entspricht, können regenerative Energien temporär den Verbrauch vollständig abdecken. Steigt die Photovoltaikleistung auf die für den Klimaschutz erforderlichen Werte, kommt es zur Mittagszeit zu erheblichen Überschüssen durch die Solarstromerzeugung, die ohne weitere Maßnahmen auch durch einen noch so ambitionierten Leitungsausbau nicht zu beherrschen wären.

#### **POTENZIALE DEZENTRALER SPEICHER WERDEN BISLANG UNTERSCHÄTZT**

Bei einer installierten Photovoltaikleistung von 200 GW sind Überschüsse zu erwarten, die mehr als das Zehnfache der Speicherkapazität der heute in Deutschland in Betrieb befindlichen Pumpspeicherkraftwerke umfassen. Zentrale Speicher werden in absehbarer Zeit nur einen Teil der Energiemenge aufnehmen können.

Die Potenziale der dezentralen Speicherlösungen lassen sich hingegen bereits sehr kurzfristig erschließen. Neben stationären Batteriespeichern kommen mobile Batteriespeicher in Elektrofahrzeugen oder die Erzeugung von Trinkwarmwasser und Prozesswärme sowie die Raumtemperaturänderung in Gebäuden in Frage. Tabelle 1 zeigt die Speicherpotenziale von stationären Batteriespeichern in Wohnhäusern und von Elektroautos.

**Tabelle 1:** Potenziale an Tagesspeichern für die dezentrale Speicherung von Überschüssen aus der Stromerzeugung mit regenerativen Anlagen im Privatbereich [2]

BEREICH	ANZAHL	TECHNOLOGIE	MAX. LEISTUNG UND KAPAZITÄT JE SYSTEM	MAX. LEISTUNG UND KAPAZITÄT BEI 10% DURCHDRINGUNG	MAX. LEISTUNG UND KAPAZITÄT BEI 50% DURCHDRINGUNG
EFH und ZFH	15 Mio.	stationäre Batteriespeicher	3 kW 5 kWh	4,5 GW 7,5 GWh	22,5 GW 37,5 GWh
MFH	26 Mio.	stationäre Batteriespeicher	1 kW 1 kWh	2,6 GW 2,6 GWh	13 GW 13 GWh
PKW (E-Mobilität)	44 Mio.	mobile Batteriespeicher	3,5 kW 5,0 kWh	15,4 GW 22,0 GWh	77 GW 110 GWh

EFH: Einfamilienhäuser, ZFH: Zweifamilienhäuser, MFH: Wohnungen in Mehrfamilienhäusern

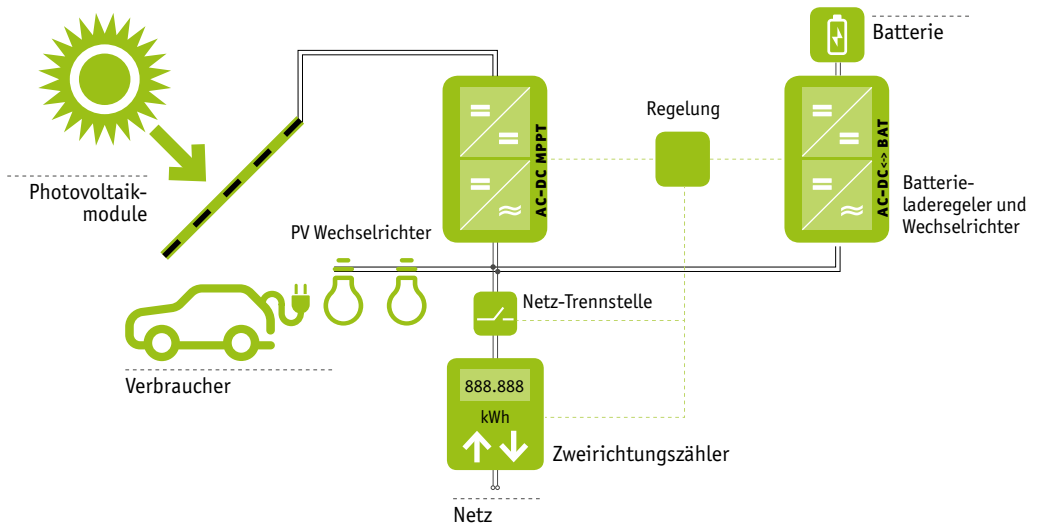
a) Anteilige Nutzung der gesamten Speicherkapazität von Elektrofahrzeugen von über 15 kWh

Der Einsatz dezentraler Photovoltaikanlagen und Speichersysteme bietet gegenüber einem zentralen Versorgungsausbau zahlreiche Vorteile. Durch den dezentralen Aufbau erfolgt die Erzeugung und Speicherung von Solarstrom an der Stelle, an der auch der Verbrauch stattfindet, sodass die Transportverluste sinken. Beim Einsatz intelligenter Ladestrategien lässt sich der Netzausbau erheblich reduzieren und damit die Akzeptanz für die Energiewende steigern. Die direkte Beteiligung breiter Bevölkerungsschichten an der Energiewende wirkt generell akzeptanzfördernd und demokratisiert den Umbau unserer Energieversorgung. Nur so lassen sich überhaupt erst die für den Klimaschutz nötigen regenerativen Anlagenzahlen errichten.

Bei der Errichtung dezentraler Anlagen wird privates Kapital akquiriert, das die Finanzierung der Energiewende erleichtert. Zudem sind die Renditeerwartungen privater Investoren erheblich geringer als die von großen Konzernen.

#### WIRTSCHAFTLICHE VORTEILE DURCH EIGENVERSORGUNG

Wirtschaftliche Vorteile ergeben sich bei dezentralen Systemen für die Betreiber vor allem durch die Eigenversorgung mit Solarstrom. Da sich Solarstrom inzwischen auch in Deutschland zu deutlich niedrigeren Kosten als den Endkunden-Strombezugspreisen erzeugen lässt, ersetzt selbstverbraucher Solarstrom teureren Netzstrom. Dezentrale Batterien oder der Einsatz von Elektrofahrzeugen können die Eigenversorgung weiter erhöhen und somit die Nutzung fossiler Primärenergie vermeiden. Bei ausreichend günstigen Speicherpreisen steigert dies sogar die Wirtschaftlichkeit von PV-Systemen. Bild 4 zeigt den Aufbau eines typischen photovoltaischen Eigenversorgungssystems. Der photovoltaische Strom versorgt dabei in erster Priorität direkt die Verbraucher im Haushalt. Auch Elektrofahrzeuge stellen Verbraucher dar. Das La-

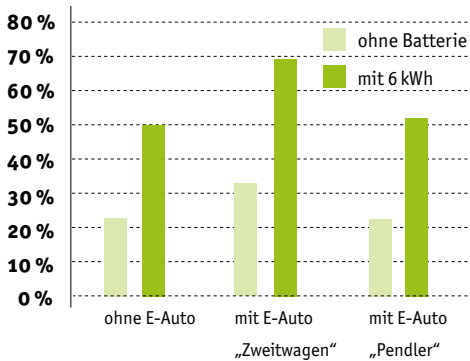


**Bild 4:** Netzgekoppeltes photovoltaisches Eigenversorgungssystem mit Batteriespeicher und Elektrofahrzeug

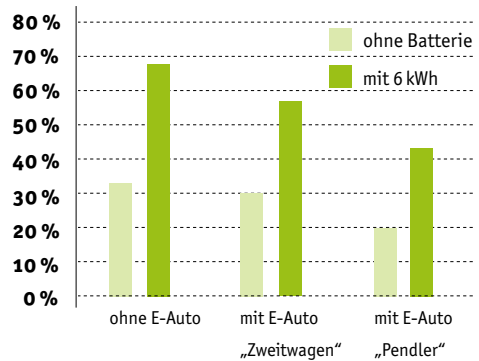
den der Fahrzeugbatterien lässt sich dabei gut auf das solare Angebot anpassen, vorausgesetzt das Fahrzeug befindet sich bei Sonnenangebot auch zum Laden vor Ort. Steht mehr Solarstrom zur Verfügung, als die Verbraucher benötigen, lassen sich die Überschüsse im stationären Batteriespeicher zwischenspeichern und bei zurückgehendem Solarangebot später von den Verbrauchern nutzen. Sind alle Speicher geladen, werden die Überschüsse ins Netz eingespeist. Derzeit garantiert dafür das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) noch eine angemessene Vergütung. Bei Erreichen einer installierten Leistung von 52 GW greift jedoch ein Deckel im EEG. Ab dann beträgt die Vergütung für eingespeisten Solarstrom null und Solaranlagen rechnen sich ausschließlich noch über den Eigenverbrauch.

Die HTW Berlin hat zur einfachen Auslegung von Eigenversorgungssystemen einen Unabhängigkeitsrechner entwickelt, der kostenlos online zur Verfügung steht (<https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/>). Hier werden mit dem Eigenverbrauchsanteil und dem Autarkiegrad zwei Schlüsselparameter ausgegeben. Der Eigenverbrauchsanteil beschreibt, welcher Anteil des erzeugten Solarstroms direkt vor Ort selbst verbraucht werden kann. Der Autarkiegrad gibt hingegen an, welcher Anteil des benötigten Stroms von der eigenen Solaranlage inklusive Batteriespeicher gedeckt wird. Ein hoher Autarkiegrad reduziert daher den Bezug von Netzstrom und die Abhängigkeit von Stromversorgern und künftigen Preissteigerungen. Bei einem typischen Einfamilienhaushalt mit einem Jahresstromverbrauch von 4000 kWh beträgt bei einer 6-kWp-Photovoltaikanlage mit einer Fläche von knapp 45 m<sup>2</sup> der Eigenverbrauchsanteil ohne Batteriespeicher rund 22 % und der Autarkiegrad 34 %. Durch einen Batteriespeicher mit einer nutzbaren Kapazität von 6 kWh kann der Eigenverbrauchsanteil auf 49 % und der Autarkiegrad auf 69 % erhöht werden.

EIGENVERBRAUCHSANTEIL



AUTARKIEGRAD



**Bild 5:** Eigenverbrauchsanteile (links) und Autarkiegrade (rechts) für ein typisches Einfamilienhaus mit 4000 kWh jährlichen Haushaltsstromverbrauch sowie zwei unterschiedlichen Nutzungsarten eines E-Autos mit 2650 kWh jährlichen Stromverbrauch und 3,5 kW Ladeleistung.

### SOLARSTROM VOM EIGENEN DACH TANKEN

Elektrofahrzeuge stellen einen weiteren elektrischen Verbraucher im Haushalt dar. Je nach Fahrverhalten und Fahrzeug liegt der zusätzliche Strombedarf bei 1000 bis 4000 kWh pro Jahr. Bei einer Jahresfahrleistung von 15.000 km beträgt der Stromverbrauch für ein durchschnittliches Fahrzeug gut 2600 kWh. Dabei ist der spezifische Verbrauch pro Kilometer im Winter bedingt durch die Heizung und im Sommer aufgrund der Klimaanlage etwas größer als im Frühjahr oder Herbst [3].

Da die photovoltaische Versorgung der Elektrofahrzeuge stark vom Fahrverhalten abhängt, umfassen die folgenden Untersuchungen zwei Fahrzeugkategorien: Der Zweitwagen wird mehrfach am Tag gefahren und kann daher bereits tagsüber wieder aufgeladen werden. Der Pendler kommt erst in den Abendstunden nach Hause. Die Ladeleistung von E-Autos kann praxisgerecht mit 3,5 kW angenommen werden, da netzbedingt nicht an jedem Haushalt Schnellladestationen installiert werden können und diese zudem sehr kostenintensiv sind.

Ist ein E-Auto im Haushalt vorhanden, steigt der Eigenverbrauchsanteil nur durch den Zweitwagen nennenswert (Bild 5, links). Beim Pendler wird das Fahrzeug oft in den Abendstunden geladen, weshalb der Eigenverbrauchsanteil dementsprechend geringer ausfällt. Zudem sinkt der Autarkiegrad durch den höheren Stromverbrauch beim Zweitwagen auf 31 % sowie beim Pendler auf 20 %. Durch einen Solarstromspeicher lassen sich zeitliche Unterschiede zwischen dem Verbrauch und der Erzeugung ausgleichen. Ein zusätzlicher stationärer Batteriespeicher ist daher insbesondere für den Pendler vorteilhaft: Mit einer üblichen Speicherkapazität von 6 kWh kann der Pendler-Haushalt seinen Autarkiegrad auf 43 % mehr als verdoppeln.

**FAZIT**

Klimaverträgliche regenerative Eigenversorgungssysteme haben das Potenzial, zu einer fundamentalen Stütze für die Energiewende zu werden. Die Politik muss das endlich erkennen und, anstatt diese Entwicklungen zu behindern, sie im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung unterstützen und fördern.

**[1]** Weniger, Johannes; Bergner, Joseph; Tjaden, Tjarko; Quaschnig, Volker: Dezentrale Solarstromspeicher für die Energiewende. BWV – Berliner Wissenschafts-Verlag 2015.

**[2]** Quaschnig, Volker; Weniger, Johannes; Tjaden, Tjarko; Bergner, Joseph: Die Bedeutung von dezentralen PV-Systemen für die deutsche Energiewende. 30. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, 2015.

**[3]** Mierau, Michael; Noeren, Dominik; Becker, Fabian: Potentialanalyse der intelligenten Ladung von Elektrofahrzeugen mit eigenerzeugtem Photovoltaikstrom in einem Privathaushalt. Studie, Fraunhofer ISE, 2014.

Erschienen in:

**NACHHALTIGE MOBILITÄT, ENERGIEWENDE UND INDUSTRIE 4.0** Beiträge und Positionen der HTW Berlin  
Hg. Matthias Knaut, BWV Berliner Wissenschafts-Verlag, ISBN 978-3-8305-3575-1