

## Chancen des photovoltaischen Eigenverbrauchs für die Energiewende in Deutschland

Volker Quaschnig · Johannes Weniger · Tjarko Tjaden

HTW Berlin · Wilhelminenhofstr. 75 A · 12459 Berlin

Tel.: 030/5019-3656, Fax: 030/5019-48-3656

E-Mail: volker.quaschnig@htw-berlin.de

Internet: regenerative-energien.htw-berlin.de / www.volker-quaschnig.de

Die Energiewende und der Klimaschutz in Deutschland sind ins Stocken geraten. In den Jahren 2012 und 2013 sind die Kohlendioxidemissionen spürbar angestiegen. Eine Hauptursache ist die Zunahme der Kohlestromproduktion. Während der Zubau an Photovoltaikanlagen rückläufig ist, sollen laut Bundesnetzagentur in den Jahren 2013 und 2014 insgesamt über 6 GW an neuen Steinkohlekraftwerken ans Netz gehen. Die Photovoltaik gerät hingegen durch sinkende EEG-Einspeisetarife immer weiter unter Druck. Durch den massiven Ausbau der Kohlenutzung werden allerdings die Kohlendioxidemissionen noch mehr zunehmen sowie die Kraftwerksüberkapazitäten und damit auch die EEG-Umlage weiter steigen. Wird der von der Politik geplante Ausbaukorridor bei der Stromerzeugung mit nur 40 bis 45 % erneuerbaren Energien bis 2025 wirklich realisiert, bleibt der Anteil der Kohlekraftwerke in Deutschland die nächsten 15 Jahre weitgehend konstant (Bild 1).

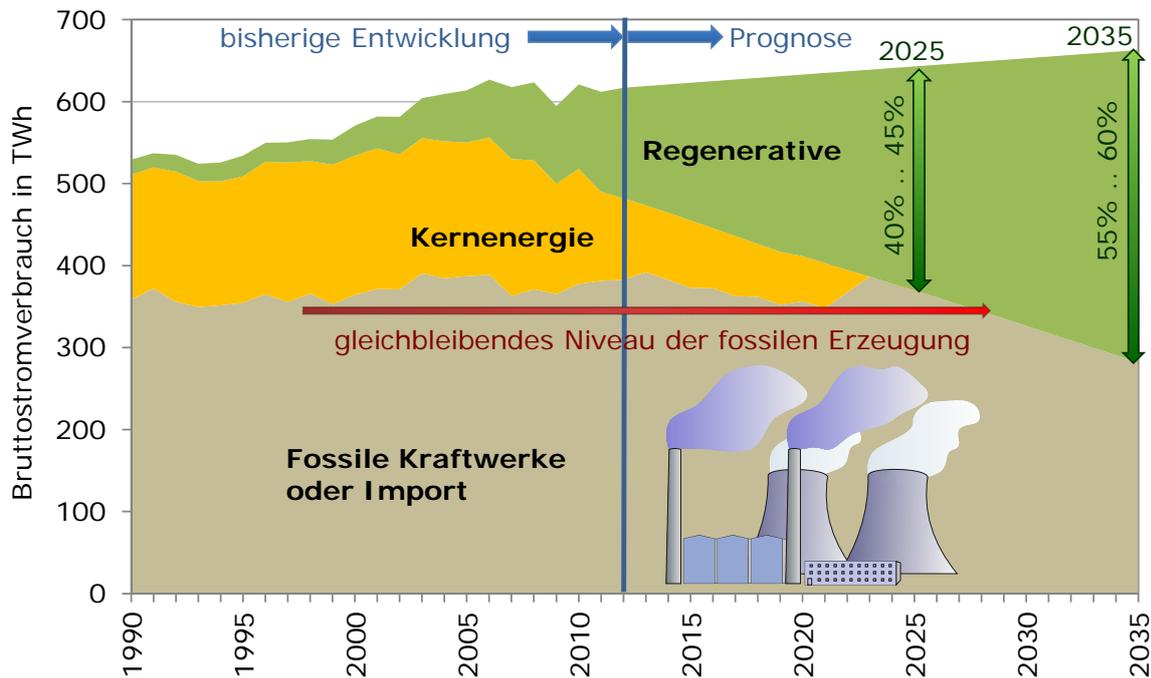


Bild 1: Prognose der Entwicklung der Stromerzeugung in Deutschland bei Umsetzung des Zielkorridors für erneuerbare Energien aus dem Koalitionsvertrag der Bundesregierung

## Photovoltaik preiswerter als Kernenergie

Da auch im Wärmebereich wenig ambitionierte Maßnahmen beschlossen wurden, ist eine Reduktion der Kohlendioxidemissionen in Deutschland bestenfalls Wunschdenken. Hauptargument für den langsameren Ausbau erneuerbarer Energien sind die angeblich hohen Kosten durch einen schnellen Zubau regenerativer Energien. Die Preise für Solar- und Windkraftanlagen sind in den letzten Jahren allerdings dramatisch gesunken. In Großbritannien liegt die Vergütung für neue Kernkraftwerke bereits deutlich oberhalb der Vergütung für Solar- und Windstrom in Deutschland (Bild 2). Eine Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien ist inzwischen also nicht mehr teurer als eine konventionelle Energieversorgung. Bei neuen Kernkraftwerken wäre der Bau regenerativer Kraftwerke sogar deutlich kostengünstiger. Dies zeigt, dass das Kostenargument nur vorgeschoben ist, um den Ausbau erneuerbarer Energien zu bremsen. Selbst wenn diese nachweislich günstiger sind, kommen sie nicht ihrem Potenzial entsprechend zum Einsatz.

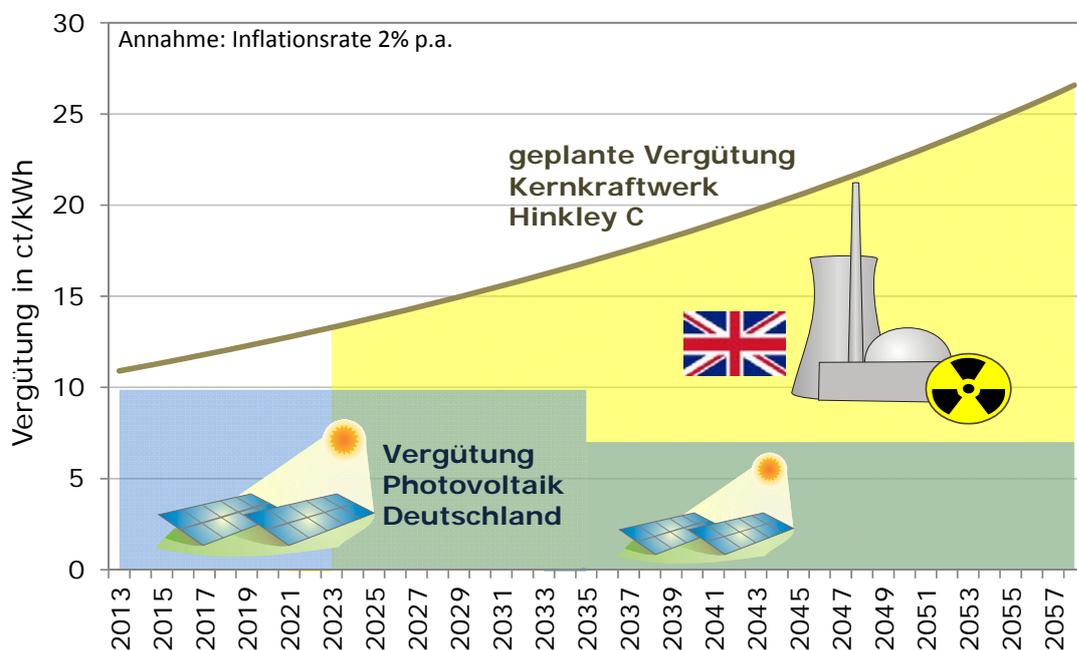


Bild 2: Vergleich der Vergütung des geplanten britischen Kernkraftwerks Hinkley C mit der Vergütung für PV-Großanlagen Ende 2013 in Deutschland

Dies liegt daran, dass die klassischen Energiekonzerne weiterhin auf zentrale Kraftwerksstrukturen setzen, die größtenteils auf konventionellen Kernkraftwerken oder fossilen Kraftwerken basieren. Von dieser Seite aus ist keine treibende Kraft für einen hinsichtlich des Klimaschutzes dringend benötigten schnellen Ausbau erneuerbarer Energien zu erwarten. Die Politik unterstützt in vielen Ländern – leider inzwischen auch in Deutschland – die reservierte Haltung der Energiekonzerne gegenüber erneuerbaren Energien und riskiert damit die Lebensgrundlagen künftiger Generationen.

## Deutschland verlässt Klimaschutzpfad

Zwar gilt weiterhin eine Reduktion der Kohlendioxidemissionen um 40 % bis 2020 gegenüber 1990 als nationales Ziel in Deutschland. Allerdings ist dieses durch die in Aussicht gestellten energie- und klimapolitischen Maßnahmen nicht einmal annähernd erreichbar. Bild 3 zeigt, wie weit sich in den letzten Jahren die Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in Deutschland von den Erfordernissen für einen wirksamen Klimaschutz entfernt hat. Dabei ist zu beachten, dass die bisherigen Emissionsrückgänge in den 1990er-Jahren vor allem durch den Zusammenbruch der Wirtschaft nach der Wiedervereinigung in den neuen Bundesländern und nicht durch echte Klimaschutzmaßnahmen erreicht wurden.

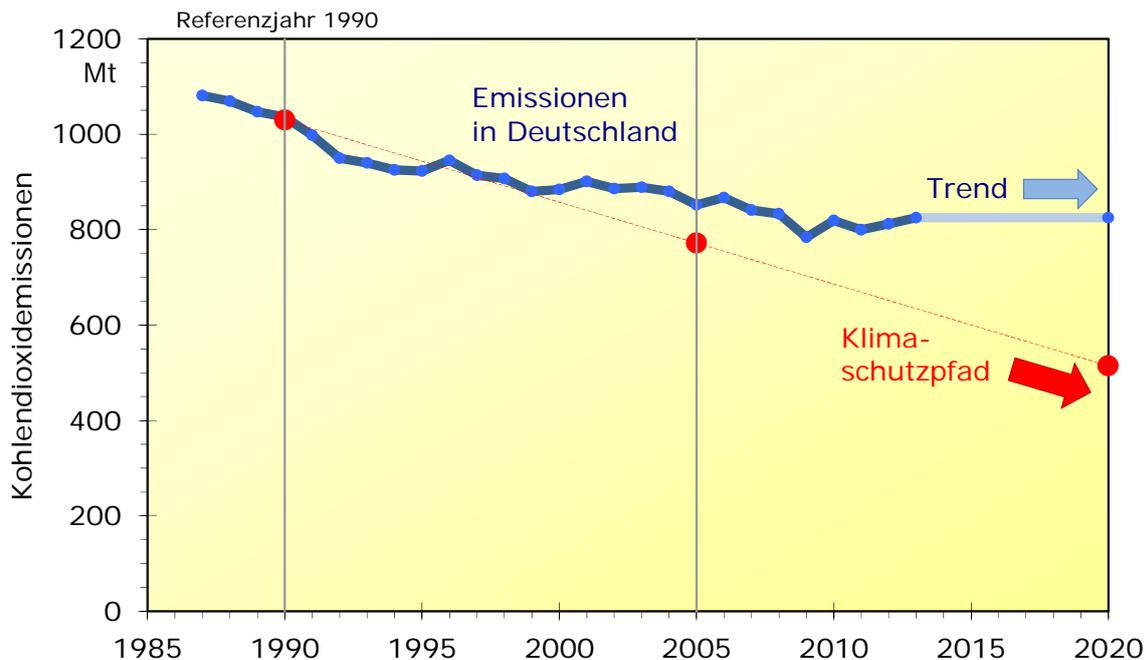


Bild 3: Entwicklung der energiebedingten Kohlendioxidemissionen in Deutschland im Vergleich zu den Erfordernissen für einen wirksamen Klimaschutz

Klimaforscher empfehlen dringend, die globale Erwärmung auf Werte unterhalb von 2 °C zu begrenzen. Dies ist allerdings nur mit massiven Rückgängen der Kohlendioxidemissionen zu erreichen. In Deutschland sollten diese dazu bis etwa 2040 auf nahezu null reduziert werden [Qua13a]. Das bedeutet den Aufbau einer vollständig auf erneuerbaren Energien basierenden Energieversorgung innerhalb der nächsten 30 Jahre. Gelingt beim Ausstoß der Treibhausgasemissionen keine Kehrtwende, könnte die globale Erwärmung bereits in diesem Jahrhundert gut 4 °C erreichen (Bild 4). Jedes Grad Temperaturerwärmung wird langfristig einen mittleren Anstieg der Meeresspiegel um 2,3 m nach sich ziehen [Lev13]. Auch wenn der wesentliche Teil des Meeresspiegelanstiegs erst nach dem Jahr 2100 auftreten wird, tragen wir dann mit unserer Energieversorgung die Verantwortung für Meeresspiegelanstiege von 10 m oder mehr. Obwohl diese wissenschaftlichen Zusammenhänge breiten Teilen der Politik bekannt sind, ist es weder der internationalen noch der nationalen Klimaschutzpolitik bislang gelungen, die nötigen Maßnahmen für einen wirksamen Klimaschutz

einzuweisen. Auch in Deutschland sind mit der angekündigten Energiepolitik die nächsten 15 Jahre kaum Kohlendioxideinsparungen zu erwarten.

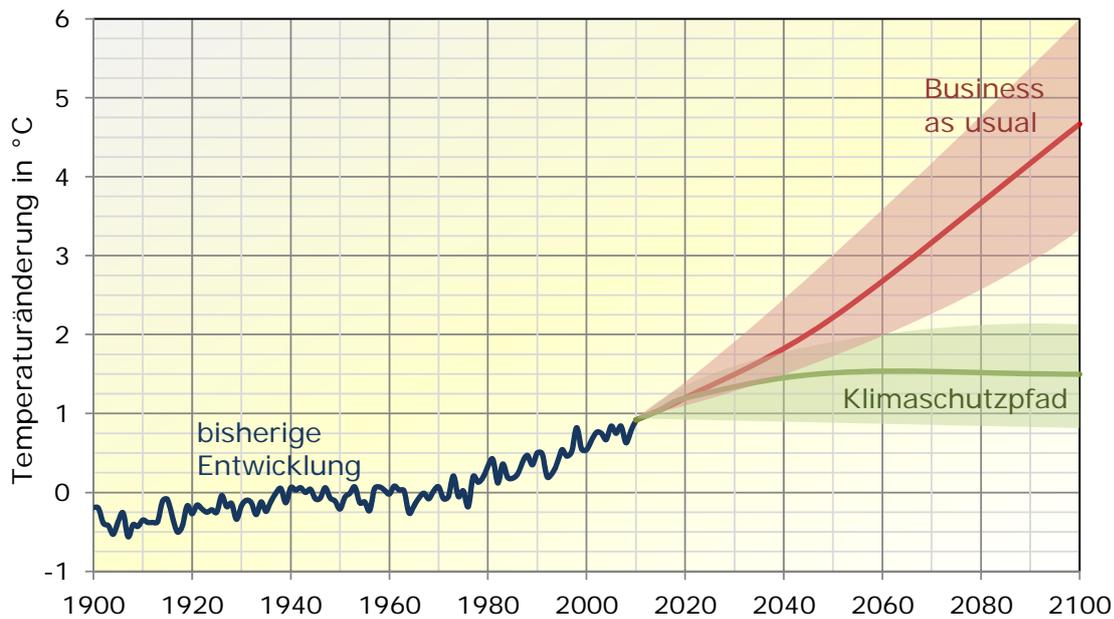


Bild 4: Mögliche Temperaturänderungen als Folge des Klimawandels (Daten: [NAS13, IPC13])

### Klimarettung durch Eigenverbrauch?

Für einen wirksamen Klimaschutz brauchen wir neue Instrumente, die eine ganz andere Dynamik beim Umbau der Energieversorgung entwickeln und möglichst wenig durch Politik und Energiekonzerne kontrolliert und gebremst werden können. Eigenverbrauchsanlagen könnten weltweit diese Dynamik aufbauen. Durch eine Zunahme des Eigenverbrauchs nimmt der Anteil der öffentlichen Versorgung ab. Die Kosten der Netze und Umlagen werden auf eine geringere Strommenge umgelegt, wodurch die Preise der öffentlichen Versorgung steigen. Das erhöht dann wiederum die Attraktivität des Eigenverbrauchs, wodurch dieser noch schneller zunimmt. Es gibt einen selbstverstärkenden Effekt, der ungebremst eine gewaltige Dynamik auslösen kann.

Von der deutschen Politik und den Energiekonzernen wird diese Entwicklung bereits gefürchtet und als Entsolidarisierung oder Schwarzbrennerei gebrandmarkt, die es zu unterbinden gilt. Konsequenterweise müsste man dann aber auch effiziente Elektrogeräte oder Gebäudedämmungen verbieten, da beides die gleichen Effekte auslöst – hinsichtlich eines wirksamen Klimaschutzes und begrenzter weltweiter Ressourcen eine paradoxe Forderung.

Bei Eigenverbrauchsanlagen muss generell zwischen Anlagen auf Basis fossiler Brennstoffe und regenerativen Anlagen unterschieden werden. Während der regenerative Eigenverbrauch ein wirksames Instrument für den Klimaschutz ist, trägt der fossile Eigenverbrauch zur Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Hier muss politisch versucht werden, durch regula-

torische Eingriffe den Anteil fossiler Anlagen zurückzudrängen. Eine CO<sub>2</sub>-Abgabe wäre dafür ein wirksames Instrument. Das Risiko bei einer möglichen anderweitigen Regulierung von fossilen Eigenverbrauchsanlagen ist allerdings, dass auch regenerative Eigenverbrauchsanlagen erfasst werden. Dies muss im Hinblick auf die Klimaschutzziele unbedingt verhindert werden. Da die Regulierung kleinster Eigenverbrauchssysteme leicht zu unterlaufen ist und politisch kaum zu vermitteln ist, besteht eine gute Chance, dass vor allem kleine PV-Systeme die nötige Dynamik aufbauen und aufrechterhalten können.

Während in Deutschland die Eigenverbrauchsmärkte bereits am Durchstarten sind, ist die Entwicklung in anderen Ländern deutlich verhaltener. Dabei hat Deutschland im Vergleich zu anderen europäischen Ländern nicht einmal die besten Voraussetzungen für den photovoltaischen Eigenverbrauch (Bild 5). Die Qualität eines Eigenverbrauchsmarkts bestimmt sich einerseits über den Strompreis und andererseits über die solare Bestrahlung und den damit verbundenen spezifischen Ertrag. Es ist aber nur eine Frage der Zeit, bis auch andere Eigenverbrauchsmärkte die gleiche oder gar noch eine größere Dynamik entwickeln als Deutschland.

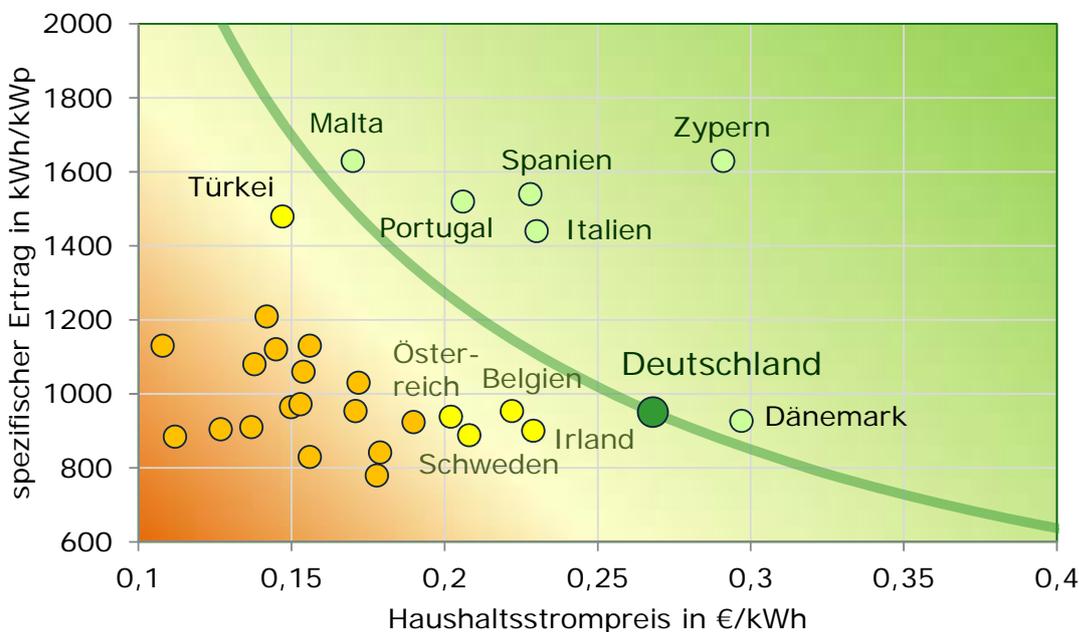


Bild 5: Beurteilung der Eigenverbrauchsmärkte in Europa anhand der Haushaltsstrompreise und des spezifischen Jahresertrags typischer PV-Systeme. Stand 2012. (Daten: [Eur13, JRC13])

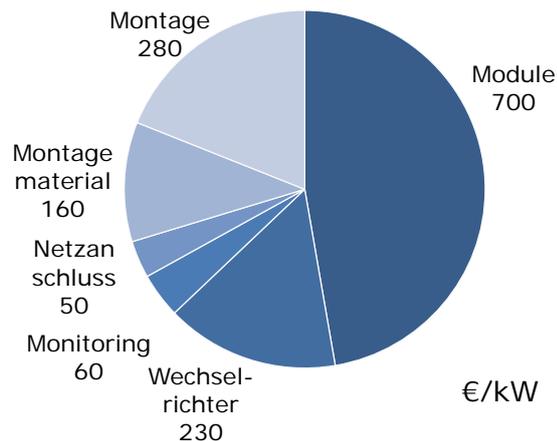
### Klimaschutz braucht 7 kW pro Einfamilienhaus

Um Deutschland zurück auf den Klimaschutzpfad zu bringen, müssten in den nächsten 20 Jahren Photovoltaikanlagen mit einer Leistung von rund 200 GW allein in Deutschland installiert werden [Qua13b]. Das entspricht pro Haushalt einer installierten Leistung von 5 kW. Da bei Mehrfamilienhäusern nur selten die dafür nötige Dach- oder Fassadenfläche

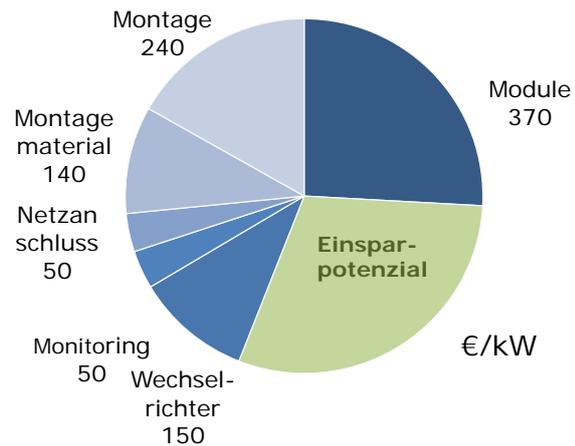
vorhanden ist, muss die Leistung im Einfamilienhausbereich noch höher ausfallen. Mindestens 7 kW pro Einfamilienhaus wären dabei sinnvoll.

Derzeit muss bei 7-kW-Anlagen mit PV-Systemkosten von rund 1500 €/kW netto gerechnet werden. Mittelfristig könnten die Kosten auf 1000 €/kW fallen. Dafür sind aber deutlich gesteigerte Serien-Modulwirkungsgrade von gut 20 % und Endkunden-Modulpreise von weniger als 40 ct/W erforderlich (Bild 6). Bei 2-kW-Anlagen sind die spezifischen Kosten mit gut 2000 €/kW heute und 1500 €/kW mittelfristig noch deutlich höher.

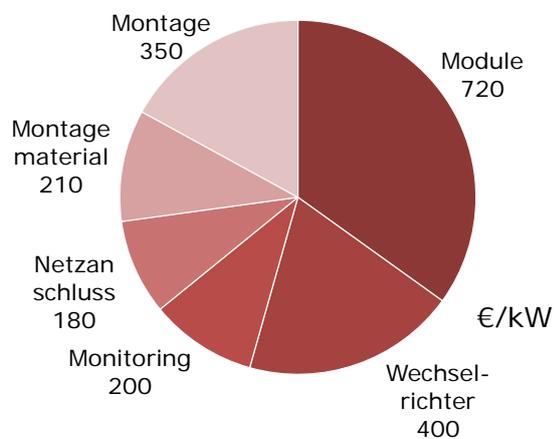
**7-kW-Anlage heute (1480 €/kW netto)**



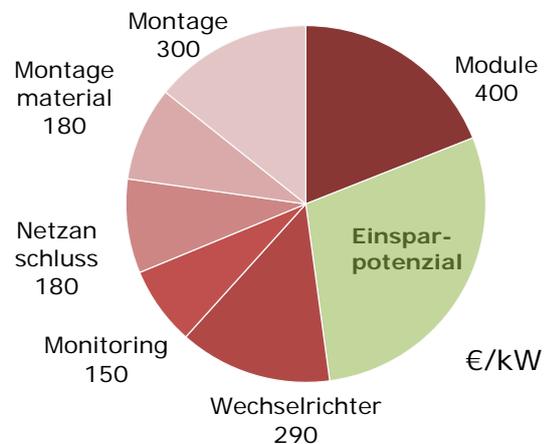
**7-kW-Anlage mittelfristig (1000 €/kW netto)**



**2-kW-Anlage heute (2060 €/kW netto)**



**2-kW-Anlage mittelfristig (1500 €/kW netto)**

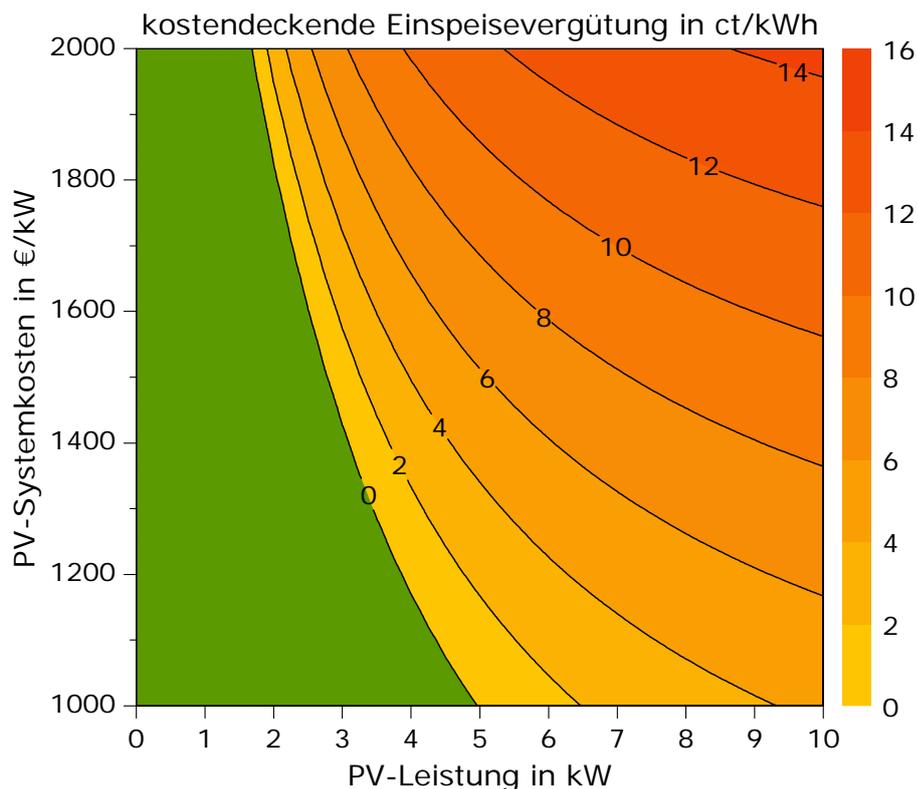


**Bild 6: Aufteilung der PV-Systemkosten für Endkunden bei kleinen PV-Anlagen heute und mittelfristige Einsparpotenziale**

Geht man von einem Durchschnittshaushalt mit einem Strombedarf von 4000 kWh/a aus, lässt sich mit einer 7-kW-Anlage ein Eigenverbrauchsanteil von 20 % und bei einer 2-kW-Anlage von 46 % erreichen. Das bedeutet, dass bei einer 7-kW-Anlage Überschüsse in Höhe von 80 % des Jahresertrags entstehen, die nicht zeitgleich verbraucht werden können.

Geht man von Preissteigerung von 2 % pro Jahr für die Strombezugskosten aus, was allein wegen einer entsprechenden Inflationsrate realistisch sein dürfte, liegen die mittleren Strombezugskosten über 20 Jahre bei 34 ct/kWh. Damit lässt sich bestimmen, wie hoch die Einspeisevergütung mindestens sein müsste, damit sich eine Anlage über den Eigenverbrauch bei den resultierenden Eigenverbrauchsanteilen rechnet. Bild 7 zeigt die Ergebnisse in Form eines Flächendiagramms für verschiedene Anlagengrößen und PV-Systemkosten.

Bei einer installierten PV-Leistung von 7 kW wäre bei Systemkosten von 1500 €/kW eine Einspeisevergütung von 8 ct/kWh für einen wirtschaftlichen Betrieb nötig. Gelingt es, die Systemkosten auf 1000 €/kW zu reduzieren, sinkt die benötigte Einspeisevergütung auf 2,5 ct/kWh. Die derzeitige Fassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes EEG sieht allerdings vor, dass ab einer installierten Leistung von 52 GW gar keine Einspeisevergütung mehr gezahlt wird. Spätestens dann wären Anlagen in der Größe von 7 kW nicht mehr wirtschaftlich. Bei kleineren Anlagen wäre durch den höheren Eigenverbrauch die Situation deutlich besser. Lassen sich bei einer 2-kW-Anlage die PV-Systemkosten auf 1500 €/kW reduzieren, könnte diese auch ohne Einspeisevergütung wirtschaftlich betrieben werden. In dem Fall ließe sich allerdings die Umsatzsteuer nicht mehr erstatten. Das entspricht einer Steigerung der Systemkosten um 19 %, was aber voraussichtlich die Wirtschaftlichkeit nicht gefährden würde.

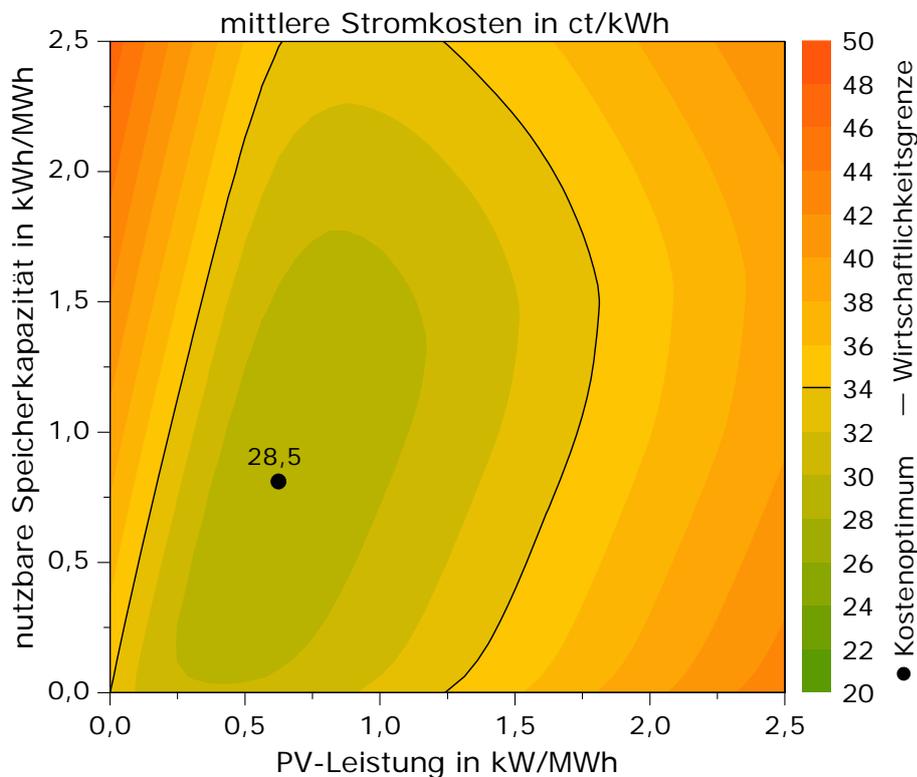


*Bild 7: Benötigte Einspeisevergütung für den wirtschaftlichen Betrieb einer PV-Anlage mit Eigenverbrauch ohne Speicher. Strombedarf 4000 kWh/a, mittlere Strombezugskosten 34 ct/kWh über 20 a, Zinssatz 4 %, Betriebskosten 1,5 %*

## Reine Eigenverbrauchsanlagen ohne Speicher rechnen sich nur für kleine Leistungen

Als Konsequenz würden sich allerdings nur noch relativ kleine Anlagen rechnen. Die Dächer würden mit kleinen Anlagen belegt und die für die Energiewende und den nötigen Klimaschutz dringend erforderliche Photovoltaikleistung ließe sich nicht einmal ansatzweise im Dachflächenbereich erschließen. Ob alternativ die Akzeptanz besteht, die entsprechenden Freiflächen zu nutzen, ist fraglich. Auch würde sich durch die Verlagerung der installierten Photovoltaikanlagen auf Freiflächen die Netzintegration deutlich erschweren, da eine Installation direkt beim Verbrauch die Netzbelastung deutlich reduziert.

Darum muss nach anderen Wegen gesucht werden, wie größere Photovoltaikanlagen zum Eigenverbrauch realisierbar werden. Hierzu kommen Batteriespeicher, eine Erhöhung des Eigenverbrauchs durch die Elektromobilität und die thermische Nutzung von Überschüssen in Frage.



*Bild 8: Langfristige Entwicklung der mittleren Stromkosten von PV-Eigenverbrauchsanlagen mit Batteriespeichern und Bereiche der wirtschaftlichen Auslegung ohne Netzeinspeiservergütung. Annahme (PV-Systemkosten 1000 €/kW, Batteriesystemkosten 600 €/kWh nutzbarer Speicherkapazität zu reduzieren, ließen sich die geringsten mittleren Stromkosten durch PV-Systeme mit Batteriespeicher erzielen (Bild 8). Grundsätzlich zeigt sich, dass eine Vielzahl von Systemkonfigu-*

lagen bestimmt [Wen13]. Gelingt es, längerfristig die PV-Systemkosten auf 1000 €/kW und die Kosten für Batteriespeichersysteme auf 600 €/kWh nutzbarer Speicherkapazität zu reduzieren, ließen sich die geringsten mittleren Stromkosten durch PV-Systeme mit Batteriespeicher erzielen (Bild 8). Grundsätzlich zeigt sich, dass eine Vielzahl von Systemkonfigu-

rationen auch ohne Einspeisevergütung wirtschaftlich ist. So könnten PV-Systeme mit Speicher wirtschaftlich betrieben werden, wenn je MWh Stromverbrauch im Jahr eine PV-Leistung von 1 kW und eine nutzbare Speicherkapazität von 1 kWh installiert wird. Bei einem jährlichen Stromverbrauch von 4000 kWh (4 MWh) wäre damit eine PV-Anlagengröße von rund 4 kW mit einem 4-kWh-Batteriespeicher noch wirtschaftlich darstellbar.

Im Vergleich zu heutigen Kosten für Batteriespeicher stellen die angenommenen Kosten eine große Herausforderung dar. Die nötigen Kosten zeigen auch, dass heutige Batteriespeichersysteme noch nicht ohne Förderung wirtschaftlich konkurrenzfähig sind.

### Speicher und thermische Nutzung erhöhen die wirtschaftliche Systemgröße

Selbst wenn es gelingt, die genannten Kosten zu realisieren, wäre damit immer noch nicht das für die Energiewende erforderliche PV-Anlagenpotenzial rein durch den Eigenverbrauch ökonomisch erschließbar. Ein Ausweg ist, die Anlagen zusätzlich mit einer thermischen Nutzung zu versehen oder über eine Nutzung eines Elektroautos den Eigenverbrauchsanteil zu erhöhen. Bild 9 zeigt ein entsprechendes Eigenverbrauchssystem mit kombinierter thermischer Nutzung durch eine Wärmepumpe.

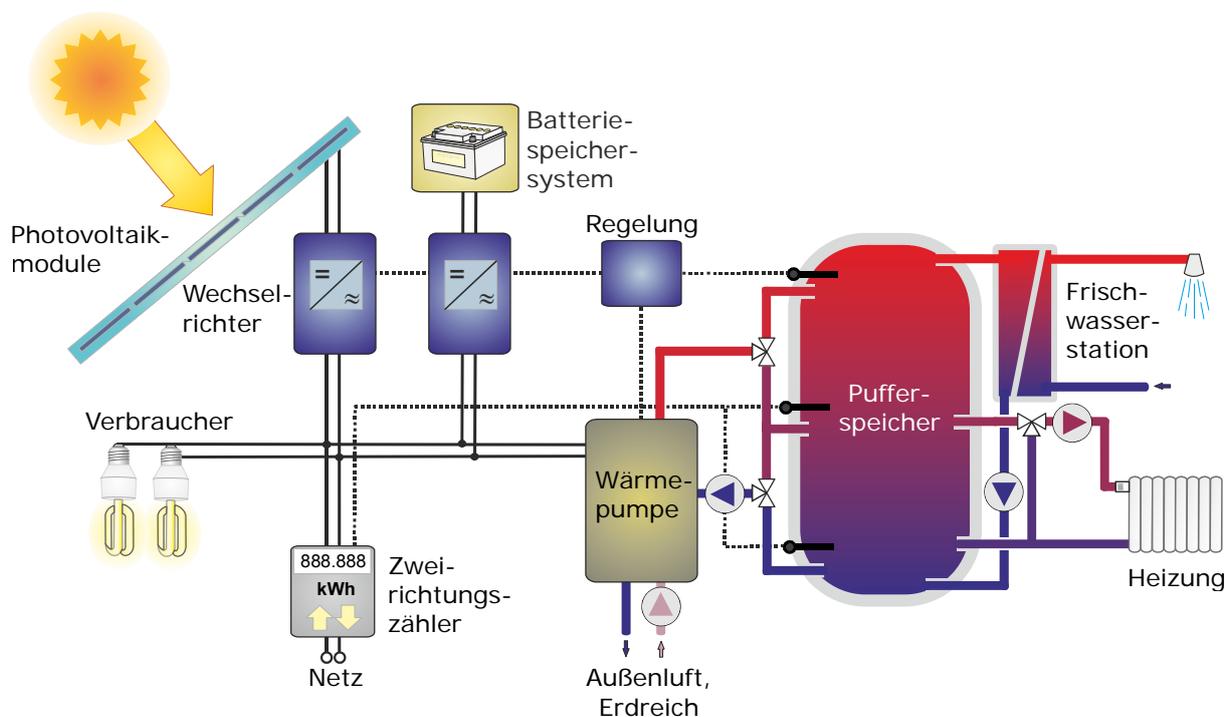


Bild 9: Eigenverbrauchssystem mit Batteriespeicher und zusätzlicher thermischer Nutzung durch eine Wärmepumpe

In der Kombination aller Maßnahmen wäre in absehbarer Zeit eine installierte Leistung von 7 kW pro Einfamilienhaus ökonomisch allein durch den Eigenverbrauch realisierbar. Bild 10 fasst die Potenziale der einzelnen Systemvarianten noch einmal zusammen. Alleine im Einfamilienhausbereich liegt damit das technische und ökonomische Potenzial bei 90 GW [Qua12]. Kommen Eigenverbrauchsanlagen in Mehrfamilienhäusern und Gewerbebetrieben

hinzu, lässt sich mittelfristig ein Gesamtpotenzial von über 200 GW auch ohne EEG-Förderung erschließen. Dafür müssen aber die Batteriespeicherkosten schnellstmöglich reduziert und eine sinnvolle Kombination mit thermischen Systemen erreicht werden.

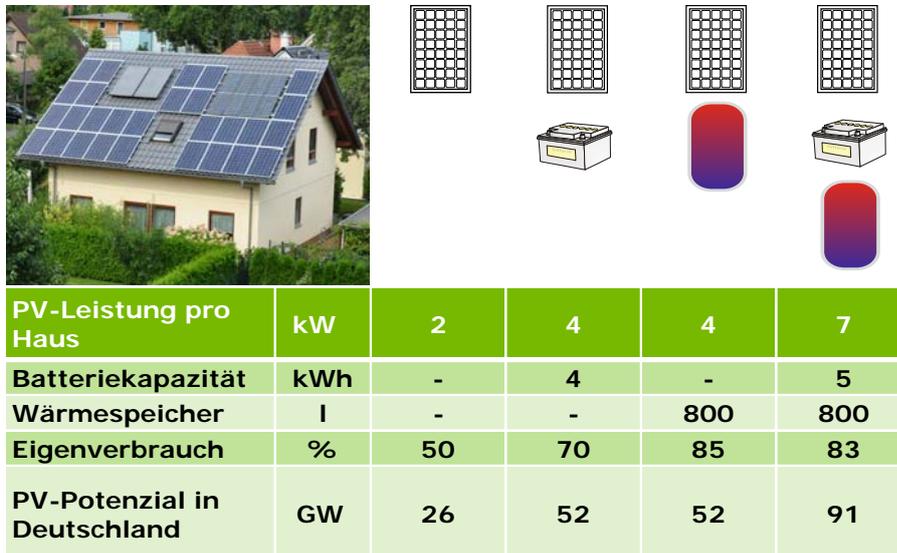


Bild 10: Potenziale für Eigenverbrauchssysteme auf Einfamilienhäusern in Deutschland

Ab 70 GW installierter Photovoltaikleistung entstehen in Deutschland temporär Überschüsse, die sich nicht zeitgleich verbrauchen lassen. Batteriespeicher und Systeme zur thermischen Nutzung haben dann noch einen weiteren Vorteil. Sie ermöglichen recht einfach die Netzintegration deutlich größerer Leistungen, die dann problemlos 200 GW und mehr betragen können.

Damit liefert der photovoltaische Eigenverbrauch tatsächlich den Schlüssel zur Erreichung der dringend erforderlichen Klimaschutzziele. Der Photovoltaikbranche kommt dabei eine große Verantwortung zu. Sie muss die nötigen Eigenverbrauchssysteme entwickeln und optimieren sowie durch eine schnelle Skalierung auf große Stückzahlen die Kosten spürbar senken. Gelingt es, diese Aufgabe zu meistern, hat das Zeitalter der Solarstromnutzung in Deutschland gerade erst begonnen und der Klimaschutz noch eine Chance.

## Literatur

[Eur13] Eurostat: Strompreise für Haushalte in der EU27 stiegen um 6,6% und Gaspreise um 10,3%. Eurostat Pressemitteilung vom 27.05.2013, <http://ec.europa.eu/eurostat>

[IPC13] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Climate Change 2013, The Physical Science Basis. Genf: IPCC, 2013, [www.ipcc.org](http://www.ipcc.org)

[JRC13] European Commission Joint Research Centre: Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Internet: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>, 2013

[Lev13] Levermann, A., Clark, P., Marzeion, B., Milne, G., Pollard, D., Radic, V., Robinson, A. (2013): The multimillennial sea-level commitment of global warming. In: Proceedings of the National Academy of Sciences (early online edition) [DOI: 10.1073/pnas.1219414110]

[NAS13] NASA Goddard Space Flight Center: GIS Surface Temperature Analysis. Internet: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>, 2013

[Qua12] Quaschnig, V.; Weniger, J.; Tjarko, T.: Photovoltaik - Der unterschätzte Markt. In: BWK Bd. 64 (2012) Nr. 7/8, S.25-28.

[Qua13a] Quaschnig, Volker: Regenerative Energiesysteme. Hanser Verlag München, 8. Auflage 2013

[Qua13b] Quaschnig, V.: Die Bedeutung der Photovoltaik für die Energiewende in Deutschland. LIFIS ONLINE [26.09.13], S.1-8.

[Wen13] Weniger, J.; Tjarko, T.; Quaschnig, V.: Sizing and grid integration of residential PV battery systems. 8th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition (IRES 2013), Berlin, 2013