

# Eine synthetische Schweiz zur Evaluation des Erneuerbare-Energien-Gesetzes

**Olivier Baumann** | Die vorliegende Arbeit quantifiziert, unter der Verwendung der Methode des synthetischen Kontrollfalls und im Sinne einer Policy-Evaluation, den Effekt des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf den Anteil des durch solare Strahlungsenergie (Photovoltaik) erzeugten Stroms. Dabei wird aus den 16 deutschen Bundesländern eine synthetische Schweiz generiert, welche die Solarstrom-Förderung im Sinne des EEG eingeführt hat. Neben der Wirksamkeit des EEG kann mit dieser Methode zusätzlich unmittelbar die Frage beantwortet werden, wie sich die Solarstromerzeugung in der Schweiz entwickelt hätte, wenn eine dem EEG äquivalente Policy in der Schweiz eingeführt worden wäre. Die synthetische Schweiz wird aus den Bundesländern Hamburg, Bayern und Thüringen gebildet. Dabei zeigt sich, dass die Schweiz mit einer der EEG äquivalenten Förderung im Jahr 2010 eine um das sechsfache höhere Solarstromerzeugung erreicht hätte.

## Inhaltsübersicht

- 1 Einleitung
- 2 Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)
  - 2.1 Forschungskontext und Beurteilung der Wirksamkeit
  - 2.2 Forschungsfrage
- 3 Theoretische Grundlagen – Methode der synthetischen Kontrolle
  - 3.1 Kausale Inferenz in vergleichenden Fallstudien
  - 3.2 Vergleichende Fallstudien mit synthetischem Kontrollfall
  - 3.3 Praktische Relevanz
- 4 Empirischer Teil – Schätzung des Effekts des EEG
  - 4.1 Literaturrecherche
  - 4.2 Zeitpunkt, Daten und Kontrollfälle
  - 4.3 Operationalisierung der unabhängigen Variablen
  - 4.4 Die synthetische Schweiz
- 5 Resultate

## 1 Einleitung

Im Sinne einer Policy-Evaluation steht in diesem Beitrag ein Vergleich der energiepolitischen Förderungspraxis Deutschlands und der Schweiz im Mittelpunkt.<sup>1</sup> Dazu wird eine vergleichende Perspektive auf Ebene der deutschen Bundesländer eingenommen. Das Thema ist im Lichte der Schweizer Energiedebatte und des Atomausstiegs sehr aktuell und die Frage, mit welcher Förderungspolitik der Strom der Atommeiler in Zukunft kompensiert werden soll, gewinnt an Brisanz. Am 9. Juni 2011 nahm der Nationalrat eine Motion von Martin Bäumle (GLP) an, die verlangt, dass der Finanzdeckel aus dem Energiegesetz vom 26. Juni 1998 (EnG, SR 730.0) gestrichen wird (11.3456 «Förderung erneuerbarer Energien ohne KEV-Deckelung»)<sup>2</sup>. Damit würde die Förderung erneuerbarer Energien in der

Schweiz einen neuen Schub erhalten, denn im internationalen Vergleich nimmt die Schweiz bezüglich effektiver Policies zur Förderung erneuerbarer Energien, besonders im Bereich der Photovoltaik, keine Vorreiterrolle ein. Wie effektive Policies aussehen können, zeigt ein Vergleich mit dem EEG.

Im vorliegenden Beitrag wird zu quantifizieren versucht, wie weit die Schweiz mit einer nationalen Förderung von erneuerbaren Energien analog dem EEG heute sein könnte. Nach einer kurzen Einführung in das Themenfeld und den Forschungskontext werden die theoretischen Grundlagen, die Methode, das Design und die empirischen Resultate der Untersuchung präsentiert.

## **2 Das Erneuerbare-Energien-Gesetz**

Die Schweiz kennt seit 2009 das Instrument der Einspeisevergütung. Im Vergleich dazu wurde in Deutschland schon im Jahr 1991 mit dem Stromeinspeisungs-Gesetz das Fundament für eine umfangreiche Förderung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen gelegt. Das Gesetz verpflichtete Netzbetreiber dazu, Strom aus kleineren Wind- und Wasserkraftwerken für einen fixen Preis zu kaufen. Im April 2000 wurde das Stromeinspeisungs-Gesetz durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) abgelöst. Per 2003/2004 wurde die Förderung von Strom aus solarer Strahlungsenergie ins EEG integriert, die bis dahin über das so genannte 100 000-Dächer-Programm erfolgte. Dies brachte eine signifikante Erhöhung der Sätze für Photovoltaik-Anlagen mit sich (BMU 2004).<sup>3</sup>

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz basiert wie zuvor das Stromeinspeisungs-Gesetz auf dem Prinzip einer garantierten Einspeisevergütung. Dabei werden alle Netzbetreiber dazu verpflichtet, den aus erneuerbaren Energiequellen wie Wind- und Wasserkraft, Photovoltaik-Anlagen oder Biogaskraftwerken gewonnenen Strom zu einem gesetzlich festgeschriebenen Preis zu kaufen (Wenzel 2010). Das Gesetz garantiert dabei einen über 20 bis 25 Jahre konstanten Preis für den ins Netz gespeisten Strom, der je nach Technologie stark variiert: von 9,2 ct/kWh während der ersten fünf Jahre bei Windkraftanlagen bis 39 ct/kWh für Strom aus Photovoltaik-Anlagen (Böhme et al. 2010, 19). Die Unterschiede in den Vergütungssätzen sind Ausdruck des Entwicklungsstandes und der variablen Investitionskosten der eingesetzten Technologien. Bei Photovoltaik-Anlagen sind unter anderem die Installationsart (Freiflächen-, Aufdach- oder Fassadenanlagen) und die installierte Leistung für die Vergütungssätze ausschlaggebend.

Für Neuanlagen werden die Vergütungssätze jährlich angepasst, um der stetigen Reduktion der Investitionskosten für Photovoltaik Rechnung zu tragen. Die Kosten für die Herstellung und Installation von Photovoltaik-Anlagen sind in den letzten Jahren massiv gesunken, was die Bundesregierung im Jahr 2007 zu einer Anpassung der Degressionssätze veranlasste. Die Degression ist darüber

hinaus gleitend. Je mehr Anlagen in einem Jahr gebaut werden, desto stärker sinkt die Vergütung für Neuanlagen im darauf folgenden Jahr (BMU 2010).

Der Fokus der Arbeit wurde spezifisch auf die Auswirkungen des EEG auf die Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie gelegt. Insbesondere die sprunghafte Erhöhung der jährlichen Neuinstallationen von Photovoltaik-Anlagen im Jahr 2004 kann laut Einschätzung des Bundesministeriums für Umwelt auf die durch das neue EEG 2004 geschaffenen, ökonomisch rentablen Bedingungen für die solare Stromerzeugung zurückgeführt werden (Stauss 2007).

## **2.1 Forschungskontext und Beurteilung der Wirksamkeit**

Das EEG wird im Allgemeinen als ein sehr wirkungsvolles politisches Instrument eingeschätzt. In ihrem EEG-Erfahrungsbericht aus dem Jahr 2007 stellen Dürrschmidt und Büsgen (2007) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) fest, dass für Photovoltaik-Anlagen seit dem Jahr 2004 eine sehr hohe Ausbaudynamik eingetreten ist, die gegenüber 2003 bis Ende 2006 zu einer Versiebenfachung der installierten Leistung geführt hat. Vor diesem Hintergrund und auch wegen der Tatsache, dass Deutschland als eines der einzigen Länder voraussichtlich die Reduktionsziele der Klimarahmenkonvention UNFCCC (2009) und des Kyoto-Protokolls wird erfüllen können, ist es nicht verwunderlich, dass das deutsche Modell, sowohl in der EU als auch anderswo in der Welt, viele Nachahmer gefunden hat.

Die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) wurde in der Schweiz per 1. Januar 2009 eingeführt. Wie das deutsche Einspeisevergütungsmodell garantiert die KEV während 25 Jahren einen fixen Preis für Strom aus Photovoltaik-Anlagen. Die Anzahl Anlagen ist aufgrund einer Budgetobergrenze aber limitiert, was laut der Stiftung KEV (2009) und dem Bundesamt für Energie (2010) zu einer Warteliste mit über 8000 Projekten geführt hat. Im Unterschied zum deutschen Modell werden die Kosten für die Förderung von Strom aus Wind- und Wasserkraft sowie Solaranlagen zwar auch über den Strompreis gedeckt, jedoch sind die Kosten der Vergütung aller erneuerbaren Energien auf 1 Rp./kWh begrenzt (Art. 15b Abs. 4 EnG). Darüber hinaus erfolgt die Allokation dieser Mittel zur Förderung erneuerbarer Energien nicht über Marktmechanismen, sondern sie wird von einer eigens dafür geschaffenen KEV-Stiftung nach den Richtlinien der Energieverordnung vom 7. Dezember 1998 (EnV, SR 730.01) bestimmt. Der sogenannte «Solar-Deckel» (vgl. Anmerkungen Ziff. 2) scheint für die im Unterschied zu Deutschland eher zurückhaltende Entwicklung der Photovoltaik in der Schweiz verantwortlich zu sein.

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Solarstromerzeugung pro Kopf für die Schweiz von 1999 bis 2010 und stellt sie dem Mittelwert der 16 deutschen Bun-

desländer im selben Zeitraum gegenüber. Die senkrechte gepunktete Linie markiert das Jahr 2003, in welchem die EEG-Förderung implementiert wurde. Wie zu erkennen ist, verläuft die Entwicklung für den Zeitraum vor 2003 in beiden Fällen sehr ähnlich.

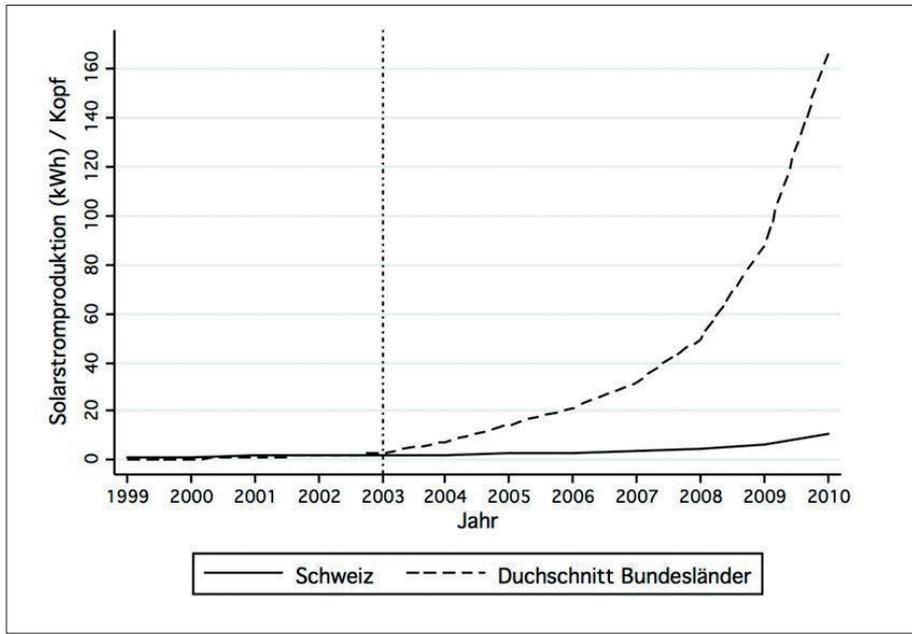


Abbildung 1: Schweiz / Durchschnitt Bundesländer

Schon durch den Vergleich zwischen dem Mittelwert der Bundesländer und der Schweiz wird der Effekt des EEG deutlich. Ziel der Berechnung eines synthetischen Kontrollfalls ist jedoch die genaue Evaluation und Quantifizierung dieses Effekts nicht für Deutschland, sondern für die Schweiz. Ab 2003 und insbesondere in den Jahren ab 2007 lässt sich eine deutliche Steigerung der Solarstromerzeugung in den Bundesländern feststellen, sodass im Jahr 2010 mit über 160 kWh/Kopf im Durchschnitt 16-mal mehr Solarstrom erzeugt wurde als in der Schweiz. Auch unter den Bundesländern gibt es diesbezüglich grosse Varianzen. In Bayern wurden im Jahr 2010 498 kWh/Kopf Solarstrom erzeugt, in Baden-Württemberg 257 kWh/Kopf.

Im Hinblick auf die Schweizer Energiedebatte könnte die Frage entscheidend sein, wie effektiv die KEV im internationalen Vergleich ist und wie sich die Photovoltaik-Stromerzeugung in der Schweiz entwickelt hätte, wenn sie statt die KEV die Instrumente des deutschen EEG im Jahr 2004 eingeführt hätte. Die Frage, welche Resultate in der Schweiz mit einer der EEG ähnlichen Policy zu erwarten gewesen wären, ist Gegenstand dieser Arbeit.

## 2.2 Forschungsfrage

Um die Frage nach der hypothetischen Effektivität des EEG in der Schweiz zu beantworten, wird im Folgenden eine vergleichende Fallstudie durchgeführt. Die Hauptfrage lautet: Wie hätte sich die Solarstromerzeugung entwickelt, wenn die Schweiz das EEG eingeführt hätte? Dabei deckt die Frage sowohl die Quantifizierung als auch die Identifizierung des EEG als Ursache für den rasanten Ausbau (kausaler Effekt) ab.

Um diesen kausalen Effekt zu schätzen, wird die Methode des synthetischen Kontrollfalls (Synthetic Control Method) von Abadie, Diamond und Hainmueller (2007) genutzt. Diese erlaubt es, die Wirkung einer Policy zu quantifizieren und das Deutsche EEG mit der Schweizer KEV zu vergleichen.

## 3 Theoretische Grundlagen – Methode der synthetischen Kontrolle

Die Methode der synthetischen Kontrolle hat ihren Ursprung in Arbeiten von David Card und Alan Krueger. In einer Studie untersuchte Card (1990), welchen Einfluss die massive kubanische Einwanderung in Folge der Mariel-Bootskrise auf den Arbeitsmarkt in Miami hatte. Dazu fasste er Städte aus dem Südwesten der Vereinigten Staaten zu einer Vergleichsgruppe zusammen und kombinierte die Daten dieser Städte, um die Entwicklung zu simulieren, die der Arbeitsmarkt in Miami ohne diesen Vorfall angenommen haben könnte. Card und Krueger (1994) verwendeten später eine ähnliche Methode bei ihrer Untersuchung des Effekts, den die Erhöhung der Mindestlöhne in Fast-Food Betrieben auf die Beschäftigungszahl in New Jersey und Pennsylvania hatte. Abadie und Gardeazabal (2003) nahmen die Idee eines kombinierten Kontrollfalls auf, um den Effekt des baskischen Terrorismus auf die wirtschaftliche Entwicklung der Region zu messen, indem sie das Wirtschaftswachstum des Baskenlands mit demjenigen eines synthetischen, aus anderen spanischen Regionen gebildeten Kontrollfalls, verglichen. Ein weiteres Beispiel für Anwendungen der Methode ist eine Arbeit von Sanso-Navarro, der untersuchte, welche Auswirkungen das Festhalten des Vereinigten Königreichs am Pfund auf amerikanische Direktinvestitionen hatte (Sanso-Navarro 2011).

Vereinfachend gesagt, basiert die Methode der synthetischen Kontrolle auf der Annahme, dass eine gewichtete Gruppe von Fällen meist einen besseren Vergleichsfall ergibt, als jeder einzelne Fall für sich. Um zu verstehen, wie diese Gewichtung zustande kommt, ist es hilfreich, sich die Defizite von vergleichenden Fallstudien bezüglich kausaler Inferenz zu vergegenwärtigen.

### 3.1 Kausale Inferenz in vergleichenden Fallstudien

Es scheint naheliegend, dass das EEG die Ursache für das ab 2004 eingesetzte rasante Wachstum der Solarstromerzeugung in Deutschland ist (vgl. Abbildung 1). Vergleichende Fallstudien können dazu durchaus Indizien liefern. Beispielsweise könnte in einer klassischen vergleichenden Fallstudie Frankreich als Vergleichsfall für Deutschland dienen. Im Sinne eines *Most Similar System Designs* liesse sich argumentieren, dass sich Deutschland und Frankreich in den meisten für die Entwicklung des Solarstrommarktes relevanten Faktoren stark ähneln und sich quasi nur darin unterscheiden, dass Deutschland das EEG eingeführt hat und Frankreich nicht. Ein solches Design bedingt jedoch, dass die Auswahl des Vergleichsfalls theoretisch begründet und mit empirischen Ähnlichkeiten belegt wird. Die Herausforderung besteht allerdings meist darin, dass gute Vergleichsfälle rar sind und sich zwei Fälle fast nie in allen relevanten Aspekten wirklich ähneln. So kann es vorkommen, dass die Ähnlichkeit zweier Fälle, seien es Länder, Städte oder andere politische Einheiten, aus der Intuition des Forschenden heraus und nicht aufgrund erhobener Daten behauptet wird (Abadie et al. 2007). Die Auswahl der entsprechenden Kontrollvariablen erfolgt dann ad hoc. Kausale Inferenz in vergleichenden Fallstudien zu beweisen, ist deshalb oft mit Schwierigkeiten verbunden, da sich zwei Staaten nie in allen Faktoren, die man als für die zu erklärende Variable als relevant erachtet, ähneln.

Um den kausalen Effekt zwischen Gesetz und Wirkung zu messen, muss eine Ähnlichkeit oder Gleichheit möglichst aller relevanten Variablen zwischen Untersuchungseinheit und Kontrollfall bestehen. Um also den Effekt des EEG auf die Entwicklung der Solarstromerzeugung nachzuvollziehen, sind Bedingungen nötig, die in Wirklichkeit kaum je gegeben sind. In einem Laborexperiment, in welchem alle Variablen manipulierbar sind, ist es ein Leichtes, alle bis auf eine Variable konstant zu belassen und die Auswirkungen dieser Manipulation zu beobachten. Die ideale Ausgangslage, um die Auswirkungen des EEG zu untersuchen, wären also zwei identische politische Einheiten – Staaten, Bundesländer, Gemeinden – von denen die eine das Gesetz einführt hat und die andere nicht. Eine solche Aufteilung in Treatment- und Kontrollgruppe, ein klassisches Experiment, wäre zwar die beste Art um die Wirkung eines Gesetzes zu untersuchen, zugleich jedoch die am schwierigsten umsetzbare. Zum einen ist man kaum je in der Situation, dass man schon vor der Einführung eines Gesetzes über dessen eventuelle spätere politische Relevanz Bescheid weiss und eine partielle Einführung beobachten kann. Zum anderen ist es politisch schwierig durchsetzbar, Gesetze willkürlich in gewissen politischen Einheiten einzuführen und in anderen nicht.

Der Vergleich zweier möglichst ähnlicher Fälle, die sich fast nur im Treatment unterscheiden, scheint deshalb der einzige Weg zu sein, sich diesem experimentellen Design anzunähern. Die Methode der synthetischen Kontrolle setzt hier an und verspricht, einen möglichst ähnlichen Kontrollfall auch dann zu generieren, wenn kein einzelner Fall demjenigen ähnelt, der das Treatment erhalten hat.

### **3.2 Vergleichende Fallstudien mit synthetischem Kontrollfall**

Um den oben beschriebenen Mängeln von vergleichenden Fallstudien entgegenzutreten, schlagen Abadie et al. vor, die Kontrollgruppen mit Hilfe quantifizierbarer Variablen zu generieren. Ein solcher auf Daten basierender Ansatz hat laut Abadie et al. (2010, 494) zudem den Vorteil, dass er die Forschenden dazu zwingt, Ähnlichkeiten von Untersuchungseinheiten aufgrund quantifizierbarer Charakteristiken anzunehmen. Dieser synthetische Kontrollfall ist ein gewichteter Durchschnitt aller Untersuchungseinheiten und zwar basierend sowohl auf den abhängigen als auch den unabhängigen Variablen aus dem Zeitraum vor der Einführung des zu untersuchenden Gesetzes.

Darüber hinaus hat die Methode den Vorteil, dass Forschende bei der Wahl von Kontrollfällen nicht schon zu Beginn über die Wirkung einer Policy informiert sein müssen. Forschungsdesigns können deshalb schon bei oder vor der Einführung eines Pilotprojekts erstellt werden und nicht erst einige Jahre danach. Eine detaillierte Darstellung der statistischen Methoden findet sich bei Abadie et al. (2010, 497). Die Gewichtung der Kontrollfälle wird so gewählt, dass die mittlere quadratische Abweichung zwischen dem Treatment-Fall und dem synthetischen Fall für die Jahre vor der Einführung minimiert wird.

Die Gewichtung der Bundesländer für die derartige Bildung einer synthetischen Schweiz wird im vorliegenden Fall also so gewählt, dass die Werte der Solarstromerzeugung der synthetischen Schweiz für die Zeit vor der Einführung des EEG möglichst nahe an den effektiven Werten der realen Schweiz zu liegen kommen.

### **3.3 Praktische Relevanz**

Für Deutschland kann das Herausarbeiten der effektiven Wirksamkeit eines bestimmten Policy-Instruments zur Legitimierung der damit verbundenen Kosten beitragen. Die Differenzkosten des EEG, die Differenz zwischen den jährlichen Vergütungszahlungen und dem Marktpreis des vom EEG geförderten Stroms, betrug im Jahr 2008 4,5 Milliarden Euro oder 1,1 ct/kWh, was einem Anstieg des Strompreises um 5 % entspricht (Wenzel 2009, 9). Diesen Kosten stehen messbare Einsparungen bei den Mineralölimporten und im CO<sub>2</sub>-Ausstoss entgegen (Böhme et al. 2010).

Für die Evaluation ist diese Methode darüberhinaus relevant, weil sie bessere Vergleiche zur Bewertung der Wirksamkeit von politischen Massnahmen erlaubt. Sie ist zudem unabhängig vom Themenfeld anwendbar und kann als Tool für das Policy-Learning dienen indem es erlaubt von Erfahrungen von anderen auf die eigenen Auswirkungen zu schliessen. Evaluatoren können so genauer über «Was-wäre-wenn»-Szenarien informieren und die Effekte von politischen Massnahmen besser abschätzen.

Forschungsbeiträge, welche die Wirksamkeit von Policies evaluieren, können deren Diffusion durch intergouvernementale Gremien wie die UNFCCC nach den Prinzipien des Policy-Learning und der guten Praxis fördern. Besonders für die Schweiz, wo zurzeit die Diskussion geführt wird, ob der schon erwähnte «Deckel» der Einspeisevergütung fallen soll, könnten Forschungsbeiträge zum Thema die politische Debatte beeinflussen.

#### **4 Empirischer Teil – Schätzung des Effekts des EEG**

werden Faktoren ermittelt, welche die Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie begünstigen und die unabhängigen Variablen in einer Regressionsanalyse bilden. Die Güte dieser Schätzung und deren Signifikanz ist insofern wichtig, als dass aufgrund der Ausprägungen dieser Variablen die synthetische Schweiz gebildet wird. (2) In einem zweiten Schritt werden der Untersuchungszeitraum und die Untersuchungseinheiten bestimmt und die Synthese der Bundesländer durchgeführt.

Im folgenden Abschnitt wird zunächst mit einer Literaturrecherche auf mögliche Einflussfaktoren aufmerksam gemacht und im Abschluss eine Auswahl von Faktoren und deren Operationalisierung diskutiert.

##### **4.1 Literaturrecherche**

Empirische Untersuchungen haben ergeben, dass die Nutzung von Solarenergie zwar mit der solaren Strahlungsintensität vor Ort stark positiv korreliert, jedoch auch soziale, ökonomische und ökologische Faktoren signifikante erklärende Variablen für die Nutzung von Solarenergie sein können (Zahran et al. 2008).

In ihrer Studie, welche die geographische Verteilung der privaten Nutzung von Solarenergie zur Warmwassererzeugung in den Vereinigten Staaten untersuchte, stellten Zahran et al. fest, dass die Anzahl der Haushalte in einer Gemeinde, die Solarenergie nutzen, abhängig ist von der Strahlungsintensität, vom Wohlstand, von der Urbanisation und von der Höhe des Bevölkerungsanteils, der sich in der sogenannten *peak period of lifecycle consumption curve* befindet (Zahran et al. 2008). Auch die politische Überzeugung der Endverbraucher scheint einen Einfluss auf die Nutzung von Solarenergie zu haben. Vachon und Menz un-

tersuchten im Jahr 2006 in 48 US Bundesstaaten unter anderem soziale und politische Einflussfaktoren auf die Bereitschaft, Policies zur Förderung von erneuerbarer Stromerzeugung zu unterstützen. Sie kamen zum Ergebnis, dass soziale Interessen, ökologische Bildung und die Stärke grüner Interessengruppen in einem Staat zu einer höheren Bereitschaft führen, ökologische Policies zu unterstützen (Vachon/Menz 2006). Deshalb scheint es vernünftig anzunehmen, dass der politische Einfluss einer grünen Partei – gemessen am Wählerstimmenanteil – oder zumindest die allgemeine Zustimmung zu einer grünen Politik nicht nur die staatliche Förderung sondern auch die individuelle Nutzung von Solarenergie begünstigt. Anders ausgedrückt, dürfte die Stärke einer nationalen grünen Bewegung einen positiven Einfluss auf die gesellschaftliche Bereitschaft haben, die Kosten für die Förderung von Solarenergie zu tragen. Sadorsky (2009) schliesslich hat das Einkommen und den CO<sub>2</sub>-Verbrauch pro Person als Faktoren identifiziert, die langfristig einen signifikanten Einfluss auf den Pro-Kopf-Verbrauch erneuerbarer Energien haben.

#### **4.2 Zeitpunkt, Daten und Kontrollfälle**

##### **Zeitpunkt**

Zwar wurde das EEG schon im Jahr 2000 eingeführt, jedoch wurde die Förderung von Photovoltaikanlagen erst per 1. Januar 2004 in das EEG integriert (Dürschmidt/Büsgen 2007). Es ist jedoch sinnvoll, das Jahr 2003 als erstes Treatment-Jahr<sup>4</sup> festzusetzen, da das «100 000-Dächer-Programm» schon in der zweiten Jahreshälfte 2003 auslief. Der Zeitraum vor der Einführung des Gesetzes (Treatment) beläuft sich damit auf vier Jahre, was für die Untersuchung ausreichend ist. Für die Zeit nach dem Treatment gilt, dass die Dauer der Beobachtung wenn möglich nicht zu stark einzuschränken ist. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit werden Daten bis zum Jahr 2010 erhoben.

##### **Zu erklärende Variable**

Als zu erklärende Variable gilt die Stromerzeugung aus solarer Strahlungsenergie pro Kopf. Durch die Berücksichtigung der Bevölkerungszahl wird dem Größenunterschied zwischen den Bundesländern Rechnung getragen. Gemessen wurde der durchschnittliche Ertrag einer Anlage bei den Bundesländern von der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie.<sup>5</sup> Dabei ist zu bemerken, dass es sich beim durchschnittlichen Ertrag um Schätzungen aus dem möglichen Erzeugungspotenzial handelt. Reale Erzeugungsdaten sind nicht in aufbereiteter Form vorhanden. Eine weitere Verbesserung der Ergebnisse könnte so bei einer weiterführenden Überprüfung angestrebt werden. Weiterhin decken diese Daten nur Anlagen ab, die ihren Strom ins Stromnetz speisen. Da aber nur ein sehr kleiner

Anteil der installierten Photovoltaikanlagen nicht an das Stromnetz angeschlossen sind und damit keine Vergütung im Rahmen des EEG erhalten, ist davon auszugehen, dass die Daten die Solarstromerzeugung gut abbilden (ABS Energy Research, 2003, 28). Die Solarstromdaten der Schweiz beruhen auf einem Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Energie, durchgeführt von Thomas Hostettler (2011) mit Daten des Schweizerischen Fachverbands für Sonnenenergie.

#### 4.3 Operationalisierung der unabhängigen Variablen

Im Folgenden wird eine durch die bisher beschriebenen Literaturbefunde begründete Auswahl an unabhängigen Variablen diskutiert, aufgrund derer die synthetische Schweiz gebildet wird. Die Kontrollfälle werden danach so gewichtet, dass ihre Variablen denjenigen der Schweiz vor dem Interventionszeitpunkt möglichst genau entsprechen. Für jede dieser unabhängigen Variablen werden eine theoretische Begründung und eine Hypothese über ihren Einfluss auf die abhängige Variable formuliert.

**(1) BIP pro Kopf:** Das BIP pro Kopf dient als Proxyvariable für den allgemeinen Wohlstand in einem Bundesland. Nur wer über die finanziellen Mittel verfügt, die Investition von mehreren tausend Euro für eine Anlage zu tätigen, wird eine Installation in Erwägung ziehen. Es ist deshalb zu erwarten, dass eine wohlhabende Region eine pro Kopf höhere Solarstromerzeugung erreicht als eine vergleichbare Region mit niedrigerem Wohlstand und Investitionspotenzial. Gewählt wurde das BIP als Proxy für Wohlstand, weil Daten für alle Versuchseinheiten und für die gesamte Zeitperiode zur Verfügung stehen.<sup>6</sup>

**(2) Durchschnittliche Strahlungsintensität:** Die Hypothese, dass eine hohe Strahlungsintensität zu einer erhöhten Erzeugung von Solarstrom führt, ist ökonomisch zu begründen. Je höher die durchschnittliche Strahlungsintensität in einer Region, desto höher ist die durchschnittliche Stromerzeugung der Solarzellen Zahran et al. (2008). Die Daten zur Globalstrahlung auf Ebene der Bundesländer sind beim Deutschen Wetterdienst erhältlich. Leider beschränken sie sich auf die Angabe minimaler und maximaler Werte. Für die Untersuchung wird der Mittelwert der Minima und Maxima gewählt. Wie aus dem Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)<sup>7</sup> deutlich ersichtlich ist, gehört Deutschland, was die durchschnittliche Einstrahlungsdichte angeht, bei weitem nicht zu den Ländern, die aufgrund ihrer geographischen Lage dazu prädestiniert wären, in Photovoltaik zu investieren. Wo in Süddeutschland mit einer durchschnittlichen Stromerzeugung von 900 bis 1130 kWh pro Jahr zu rechnen sind, können in Nordafrika mehr als doppelt so hohe Werte erreicht werden. Die Strahlungsintensität

tensität variiert vor allem zwischen den südlichen und den nördlichen Bundesländern relativ stark.

**(3) Wähleranteil der Grünen Partei:** Die in der Literaturrecherche erwähnten von Vachon und Menz (2006) und Zahran et al. (2008) durchgeführten Studien gelten als empirische Grundlage für die theoretische Begründung des Einflusses von Umweltbewusstsein auf den Einsatz erneuerbarer Energien. Die Erwartung ist, dass ein hoher Wähleranteil der Grünen Partei in einer Region einen Hinweis auf die ökologische Grundhaltung der Bevölkerung gibt. Vor allem von *Early Adopters*, die schon sehr früh in Photovoltaikanlagen investieren, kann ausgegangen werden, dass sie dies nicht nur wegen der Rendite tun. Dies weil zu Beginn des EEG die Risiken noch nicht abgeschätzt werden können und diese von *Early Adopters* eher in Kauf genommen werden als von solchen, welche die Anlagen als rein finanzielle Investition verstehen.

**(4) Stromkosten:** Es wird ein positiver Einfluss der Stromkosten auf die Produktion solarer Strahlungsenergie erwartet. Die theoretische Argumentation für einen Einfluss der Stromkosten auf die Solarstromproduktion ergibt sich wiederum aus ökonomischen Überlegungen: Je höher der allgemeine Strompreis, desto lohnenswerter sind Investitionen in Photovoltaikanlagen, wenn diese ganz oder zum Teil den eigenen Strombedarf decken.

**(5) CO<sub>2</sub>-Emissionen:** CO<sub>2</sub>-Emissionen können Hinweise auf die sektorielle Zusammensetzung der Wirtschaft eines Bundeslandes geben. Je höher die Emissionen, desto wahrscheinlicher ist es, dass diese Länder auf energieintensive Wirtschaftszweige angewiesen sind, die wiederum wenig Interesse an einer Verteuerung der Stromkosten durch die Förderung erneuerbarer Energien haben. Gemessen werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Tonnen pro Kopf. Emissionsdaten für die Bundesländer sind über den Länderarbeitskreis Energiebilanzen (2012) erhältlich, diejenigen für die Schweiz auf der Datenseite der UNFCCC (2011).

Um den Einfluss der vorgeschlagenen Faktoren (BIP pro Kopf, Strahlungsinintensität, Wähleranteil der Grünen, Stromkosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf) auf den Anteil des durch solare Strahlungsenergie erzeugten Stroms pro Kopf zu testen, wird eine für Paneldaten übliche «Generalized Least Squares»-Regression durchgeführt, da aufgrund der Datenstruktur Homoskedastizität und Autokorrelation nicht ausgeschlossen werden können. Die Resultate sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Berücksichtigt wurde ausserdem auch der Anteil der Hausbesitzer (Eigentumsquote), da die zur Verfügung stehende private Dachfläche für die Montage von Modulen für den Ausbau entscheidend sein könnte.

Variable	Koeffizient	Standardabweichung	p-Wert
BIP / Kopf	0,001	(0,0092)	0,00
Anteil Grüne	0,05	(0,57)	0,93
Globalstrahlung	0,19	(0,03)	0,00
CO <sub>2</sub> -Ausstoss	-0,75	(0,223)	0,00
Stromkosten	7,09	(0,48)	0,00
Konstante	-301,63	30,07	0,00

*Tabelle 1: Cross section time series FGLS regression*

Mit Ausnahme des Wähleranteils der Grünen sind alle Koeffizienten der besprochenen Einflussfaktoren signifikant und weisen die in der Theorie erwartete Richtung auf. Für die Synthese eines Kontrollfalls sollten sie deshalb geeignet sein. Eine weitere Verbesserung des Modells könnte über zusätzliche erklärende Variablen erfolgen oder über solche, welche die theoretischen Konzepte besser abbilden. Interessant wären Endverbraucherpreise von Photovoltaik-Anlagen oder der Ölpreis, die aber aufgrund der mangelhaften Verfügbarkeit von Daten nicht berücksichtigt werden konnten.

#### **4.4 Die synthetische Schweiz**

Die synthetische Schweiz wird als Kombination derjenigen deutschen Bundesländer gebildet, welche die Schweiz in Bezug auf die erklärenden Variablen – aus der vorangehenden Regressionsanalyse – am besten abbilden. Tabelle 2 zeigt die Zusammensetzung dieser synthetischen Schweiz als Kombination aus 9,2 % Bayern, 78,5 % Hamburg und 12,3 % Thüringen. Da die durchschnittliche Strahlungsintensität in Hamburg um einiges tiefer ist als die der Schweiz, mag die Auswahl von Hamburg auf den ersten Blick überraschen. Die Synthese stützt sich aber nicht nur auf die Variable Strahlungsintensität, sondern auch auf das BIP pro Kopf, den Wähleranteil der Grünen, den CO<sub>2</sub>-Ausstoss und den Strompreis. Weil Hamburg ein im Vergleich zu den anderen Bundesländern relativ hohes BIP pro Kopf aufweist und bei der Förderung von Solarstrom in Deutschland eines der Schlusslichter ist, ist es als Vergleichsfall für die Schweiz so stark gewichtet.

Bundesland	Anteil	Bundesland	Anteil
Baden-Württemberg	0	Niedersachsen	0,00
Bayern	0,092	Nordrhein-Westfalen	0
Berlin	0	Rheinland-Pfalz	0
Brandenburg	0	Saarland	0
Bremen	0	Sachsen	0
Hamburg	0,785	Sachsen-Anhalt	0
Hessen	0	Schleswig-Holstein	0
Mecklenburg-Vorpommern	0	Thüringen	0,123

Tabelle 2: Zusammensetzung der Synthetischen Schweiz

## 5 Resultate

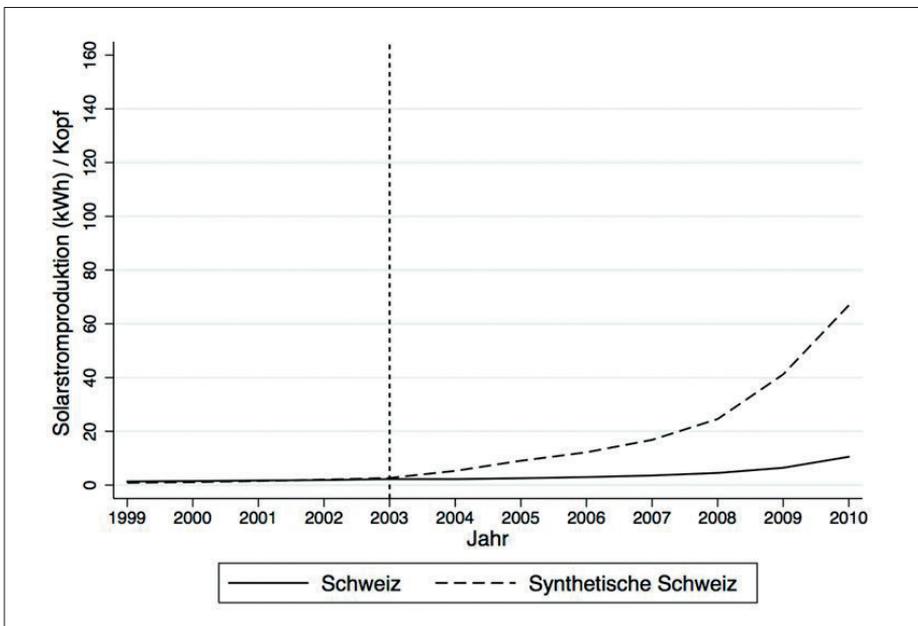


Abbildung 2: synthetische Schweiz

Abbildung 2 zeigt den Vergleich der Entwicklung der Solarstromerzeugung pro Kopf zwischen der realen und der synthetischen Schweiz mit der in Tabelle 2 ausgewiesenen Gewichtung. Geschätzt wird der Effekt, den das EEG auf die Solarstromerzeugung in der Schweiz gehabt hätte, durch die Differenz der Stromerzeugung der realen und der synthetischen Schweiz. Während analog zum Vergleich der Schweiz mit dem deutschen Durchschnitt ein ähnlicher Verlauf der Entwicklung bis 2003 und ein Anstieg ab 2004 beobachtet werden kann, so fällt

dieser Anstieg bei der synthetischen Schweiz deutlich schwächer aus. Das Modell schätzt die Erzeugung von Solarstrom für das Jahr 2010 in der synthetischen Schweiz auf 66,89 kWh pro Kopf, eine im Vergleich zur realen Schweiz (10,55 kWh) etwas mehr als sechsfache Menge. Dies ist zwar deutlich weniger als der deutsche Durchschnitt (160 kWh) oder die Stromerzeugung der Bundesländer Bayern oder Baden-Württemberg im Jahr 2010. Trotzdem suggeriert die Schätzung, dass die Schweiz ein Vielfaches des derzeitigen Solarstroms erzeugen würde, wenn Fördermassnahmen schon im Jahr 2003 ergriffen worden wären.

Variablen	Schweiz	
	real	synthetisch
BIP pro Kopf (EUR)	41 276	41 272
Globalstrahlung (kWh/m <sup>2</sup> )	1 125	1 009
Wähleranteil der Grünen Partei (in %)	7,32	12,43
CO <sub>2</sub> -Emissionen in Tonnen pro Kopf	6,04	6,25
Stromkosten	9,88	15,49
Solarstromerzeugung (kWh/Kopf 2002)	1,89	2,02

*Tabelle 3: Durchschnitt der Jahre 1999–2002*

Um die Resultate der synthetischen Schweiz einordnen zu können, hilft ein Blick auf die Tabelle 3, welche die Unterschiede in den Ausprägungen der erklärenden Variablen zwischen der realen und der synthetischen Schweiz zeigt. Zwar ist die synthetische Schweiz, was das BIP pro Kopf angeht, sehr nahe an der realen Schweiz, was aber nicht für alle restlichen Variablen gilt. Sowohl beim Wähleranteil der Grünen als auch bei den Stromkosten sind die Werte der synthetischen Schweiz signifikant höher als die der realen. Dies ist hauptsächlich dadurch begründet, dass die Grünen in Deutschland im Durchschnitt höhere Wähleranteile haben und die Stromkosten auch historisch schon immer höher waren. Ausserdem sind die Abweichungen möglicherweise Ausdruck der Eigenheit des untersuchten Falls und der im Vergleich zu Abadie et al. (2010) umgekehrten Logik des Treatments. Abadie et al. stellten bei ihrer Untersuchung zwischen Kalifornien und den restlichen US Staaten grosse Unterschiede im Zigarettenskonsum für die gesamte Prä-Treatment-Periode fest. Aus Abbildung 2 wird deutlich, dass im vorliegenden Fall keine solche Varianz vorliegt. Die Schweiz und die Bundesländer sind sich in der Ausprägung der abhängigen Variable – Solarstromerzeugung pro Kopf – in der Zeit vor 2003 recht ähnlich.

Die Resultate zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine ähnliche Ausbaudynamik wie in Deutschland durch die Einführung eines dem

EEG äquivalenten Fördergesetzes in der Schweiz durchaus erwartet werden könnte. Laut den Berechnungen mit der Methode des synthetischen Kontrollfalls hätte die Schweiz ab 2003 eine um den Faktor sechs höhere Produktion von Solarstrom im Jahr 2010 erreicht, wenn sie Fördermethoden eingesetzt hätte, die dem EEG entsprechen. Im Vergleich zu den süddeutschen Bundesländern wäre das noch immer relativ wenig. Da sich die Ausbaugeschwindigkeit in vielen Bundesländern noch immer erhöht oder auf relativ hohem Niveau konstant bleibt, zeichnet sich ab, dass ein Aufholen der Schweiz auch dann unwahrscheinlich ist, wenn äquivalente Massnahmen sofort ergriffen würden.

Die Analyse zeigt zudem, dass die innovative Methode einen Beitrag zur Evaluation der Wirksamkeit von politischen Massnahmen leisten kann. Simple Ländervergleiche beruhen meist auf Annahmen, dass Länder sich ähnlich sind, ohne dass diese Annahmen überprüft werden. Die Methode der synthetischen Kontrolle macht die Ähnlichkeit explizit. Eine einfache Vergleichsstudie wäre im konkreten Fall dieser Untersuchung zum Schluss gekommen, dass die Schweiz fünfzig mal mehr Solarstrom produzieren würde, wenn sie die gleiche Förderungspolitik wie Deutschland eingeführt hätte. Die vorliegende Analyse – unter Berücksichtigung von Faktoren, die für den Ausbau von Photovoltaik entscheidend sind – zeigt jedoch, dass die Wirksamkeit für die Schweiz wahrscheinlich wesentlich kleiner wäre.

*Olivier Baumann, Student MACIS, ETH Zürich,*

*E-Mail: [olivierbaumann@student.ethz.ch](mailto:olivierbaumann@student.ethz.ch)*

#### **Anmerkungen**

- 1 Dieser Beitrag basiert auf einer durch den Prix-SEVAL 2013 prämierten BA-Arbeit, die 2012 am Institut für Politikwissenschaft der Universität Bern eingereicht wurde.
- 2 Mit dem Finanzdeckel ist die in Art. 15b Abs. 4 EnG festgesetzte Finanzierungslimite für Photovoltaikanlagen gemeint. Die Summe der Zuschläge darf 1,5 Rp./kWh auf dem Endverbrauch pro Jahr nicht übersteigen. Ausserdem ist laut Art. 7a Abs. 4 EnG der Anteil des Solarstroms an der Gesamtförder-summe auf 30 % beschränkt. Dies wird gemeinhin als «Solar-Deckel» der KEV bezeichnet. Nationalrat Martin Bäumle verlangte mit der Motion 11.3456 «Förderung erneuerbarer Energien ohne KEV-Deckelung» die Streichung von Art. 15b Abs. 4.
- 3 Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG) vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074)
- 4 Mit Treatment-Jahr ist das erste Jahr gemeint in welchem ein Gesetz implementiert wurde. Es wird angenommen, dass ab diesem Jahr ein Gesetz Wirkung auf den betreffenden Gegenstand entfaltet.
- 5 Die Daten dieser Untersuchung sind auf [www.energymap.info](http://www.energymap.info) abrufbar: Der Ausbau der Erneuerbaren Energien (kWh), Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., 2012, (12.5.2012)
- 6 Datenquellen: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2012, [www.vgrdl.de/Arbeitskreis\\_VGR](http://www.vgrdl.de/Arbeitskreis_VGR)
- 7 Das PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>) misst im Auftrag der Europäischen Kommission die jährliche Sonneneinstrahlung für Länder der Europäischen Union, Afrika und Südwestasien. Datenquelle: Institute of Energy and Transport, 2011, Photovoltaic Geographical Information System. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

## Literatur

- Abadie, A., Diamond, A. & Hainmueller, J., 2007, Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies: Estimating the Effect of California's Tobacco Control Program. In *NBER Working Paper 12831*. Cambridge, Mass., USA.
- Abadie, A., Diamond, A. & Hainmueller, J., 2010, Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies: Estimating the Effect of California's Tobacco Control Program. *Journal of the American Statistical Association*, 105(490), pp. 493–505.
- Abadie, A. & Gardeazabal, J., 2003, A Case Study of the Basque Country. *American Economic Review*, 93(1), pp. 113–132.
- ABS Energy Research, 2003, Installed Solar PV Generating Capacity. *Solar Photovoltaics Report*, pp. 25–38.
- BMU, 2004, *Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG)*, Technischer Bericht Bundesamt für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- BMU, 2010, *Vergütungssätze und Degressionsbeispiele nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 31. Oktober mit Änderungen vom 11. August 2010*, Technischer Bericht Bundesamt für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- Böhme, D., Dürrschmidt, W. & van Mark, M., 2010, *Erneuerbare Energien in Zahlen*, Technischer Bericht Bundesamt für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- Bundesamt für Energie, 2010, Kostendeckende Einspeisevergütung: Vergütung für Solarstrom sinkt – Deckel steigt. [www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=36702](http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=36702) [Zugriff: Mai 14, 2012].
- Card, D., 1990, The Impact of the Mariel Boatlift on the Miami Labor Market. *Industrial and Labor Relations Review*, 43(2), pp. 245–257.
- Card, D. & Krueger, A.B., 1994, Minimum Wages and Employment: A Case Study of the Fast-Food Industry in New Jersey and Pennsylvania. *The American Economic Review*, 84(4), pp. 772–793.
- Dürrschmidt, W. & Büsgen, U., 2007, *EEG-Erfahrungsbericht 2007*, Technischer Bericht, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- Hostettler, T., 2011, *Markterhebung Sonnenenergie 2010*, Technischer Bericht, Bundesamt für Energie, Bern.
- Länderarbeitskreis Energiebilanzen, 2012, CO<sub>2</sub>-Emissionen (Quellenbilanz) je Einwohner seit 1990, <http://www.lak-energiebilanzen.de>, [Zugriff: Mai 10, 2012].
- Sadorsky, P., 2009, Renewable energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31, pp. 456–462.
- Sanso-Navarro, M., 2011, The Effects on American Foreign Direct Investment in the United Kingdom from Not Adopting the Euro. *JCMS*, 49(2), pp. 463–483.
- Staiss, P.F., Schmidt, M. & Musiol, F., 2007, *Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2007*, Technischer Bericht, ZWS.
- Stiftung Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV), 2009, *Geschäftsbericht 2009*, Frick.
- United Nations Framework Convention on Climate Change, 2009, *National greenhouse gas inventory data for the period 1990-2007*, Copenhagen.
- United Nations Framework Convention on Climate Change, 2011, The Greenhouse Gas (GHG) Inventory Data. *UN data*, <http://data.un.org> [Zugriff: Mai 10, 2012].
- Vachon, S. & Menz, F.C., 2006, The role of social, political, and economic interests in promoting state green electricity policies. *Environmental Science and Policy*, 9, pp. 652–662.
- Wenzel, B., 2009, *Beschaffungsmehrkosten der Stromlieferanten durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2008*, Technischer Bericht, Ingenieurbüro für neue Energien (IfnE), Tetlow.
- Wenzel, B., 2010, *Beschaffungsmehrkosten der Stromlieferanten durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2009*, Technischer Bericht, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- Zahran, S. et al., 2008, Greening Local Energy – Explaining the Geographic Distribution of Household Solar Energy Use in the United States. *Journal of the American Planning Association*, 74(4), pp. 419–434.

## Résumé

L'auteur se propose de quantifier l'effet de la loi allemande sur les énergies renouvelables (EEG) sur la production d'électricité d'origine photovoltaïque en modélisant la Suisse à partir de Länder allemands (Hambourg, Bavière, Thuringe). Cette méthode permet à la fois de vérifier l'efficacité de l'EEG et de voir comment la production d'énergie solaire se serait développée en Suisse si nous avions adopté une approche comparable. Le modèle montre que si la Suisse avait encouragé l'énergie solaire de manière équivalente en 2010, la production d'électricité d'origine photovoltaïque aurait sextuplé.