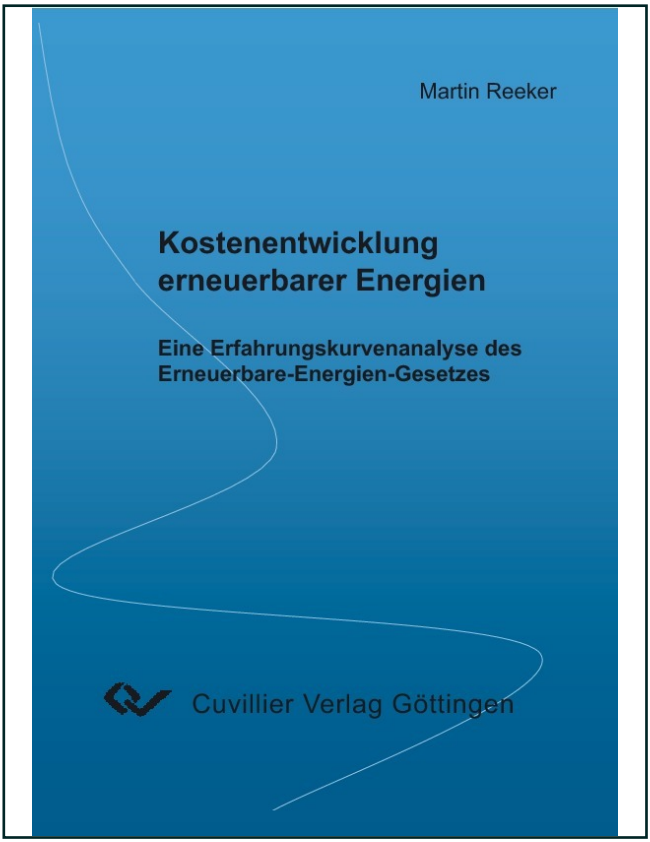
Martin Reeker (Autor)

Kostenentwicklung erneuerbarer Energien

Eine Erfahrungskurvenanalyse des Erneuerbare-Energien-Gesetzes



https://cuvillier.de/de/shop/publications/2784

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: https://cuvillier.de

1 Einleitung

Die Politik hat die erneuerbaren Energien lange Zeit über F&E-Programme gefördert. Das Problem ist bis heute die fehlende Konkurrenzfähigkeit von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien gegenüber konventionellen Erzeugungstechniken. Als Konsequenz wendet sich der Fokus der Politik deshalb von der Unterstützung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten hin zu Marktanreizprogrammen, mit denen erneuerbare Energietechniken dauerhaft am Markt etabliert werden sollen. Diese politische Neuorientierung erfordert eine veränderte Betrachtungsweise von Politikinstrumenten, welche die Erreichung der Wettbewerbsfähigkeit der geförderten Technik zum Ziel haben. Zwar werden bei erneuerbaren Energien langfristig Kostensenkungen erwartet, so dass davon ausgegangen wird, dass diese im Laufe des 21. Jahrhunderts günstiger als die konventionellen Energieträger werden können. Der zeitliche Verlauf der Kostensenkungen wird jedoch meist nicht präzisiert (vgl. z. B. Wiese 1995: 284; Quaschning 1998: 237f). Im Zusammenhang mit der Auswahl geeigneter Fördermaßnahmen ist dieser zeitliche Verlauf jedoch von großem Interesse, da er ein Indikator dafür ist, wann eine erneuerbare Energie wie z. B. die Windenergie oder die Photovoltaik die Wettbewerbsfähigkeit erreichen kann.

Ein in der Industrie bereits angewandtes Konzept zur Ermittlung zukünftiger Kostenverläufe ist die Erfahrungskurve, die dort zur strategischen Preissetzung verwendet wird (Henderson 1984). Sie ist mittlerweile auch mehrfach im Zusammenhang mit Energietechniken eingesetzt worden. Beispielsweise nutzen Mattson und Wene (1997) Erfahrungskurven zur Analyse der Entwicklung neuer Technologien innerhalb eines globalen Energiesystems, dass den Zeitraum bis 2050 umfasst. In Bezug auf einzelne Techniken haben Christiansson (1995) und Harmon (2000) den Verlauf der Investitionskosten für Photovoltaikmodule bzw. -anlagen untersucht. Ähnliche Arbeiten wurden von Neij (1997 und 1999) und Durstewitz/Hoppe-Kilpper (2000) für die Windenergie durchgeführt.

Das Problem dieser Arbeiten ist zum einen, dass sie keinen Bezug zu den Instrumenten der Umwelt- und Energiepolitik herstellen. Neij (1997: 1106) schlägt zwar vor, dass die Analyse von Erfahrungskurven mit der Analyse von Politikprogrammen verknüpft werden soll. Allerdings führt sie keine solche Untersuchung durch (vgl. auch Neij 1999). Auch für die deutsche Politik gilt, dass Erfahrungskurven innerhalb der F&E-Programme nicht verwendet werden (Lawitzka 2000: 257). Dies könnte daran liegen, dass bisher nur wenige Erfahrungskurven für Energietechniken berechnet wurden und erst wenige Beispiele für die Verwendung von Erfahrungskurven zur Politikanalyse existieren. Dabei

existieren in anderen Technologiebereichen bereits eine Vielzahl an Daten und Anwendungsbeispielen (Wene 2000: 99).

Ein zweiter Kritikpunkt an den bisherigen wissenschaftlichen Arbeiten ist, dass sich die ermittelten Erfahrungskurven nur auf den Verlauf der Investitionskosten beziehen. Wenn Erfahrungskurven jedoch auf Gesetze angewendet werden sollen, die eine feste Vergütung für Strom aus erneuerbaren Energien vorsehen, müssen diese auch auf Basis der Stromkosten berechnet werden (Wene 2000: 62). Investitionskosten sind dabei nur ein Faktor, der die Erreichung der Wettbewerbsfähigkeit beeinflusst. Für die Bestimmung des Kurvenverlaufs sind zusätzlich die Investitionsnebenkosten, die Betriebskosten und die erzeugte Strommenge relevant. Die von Neij (1999) durchgeführte Berechnung der Erfahrungskurve für Windstrom berücksichtigt zwar diese Größen, verwendet dafür aber nur Schätzwerte. Um einen genauen Kurvenverlauf zu gewährleisten, ist jedoch eine empirisch ermittelte und belastbare Datenbasis notwendig.

Ziel der Arbeit ist deshalb, Erfahrungskurven auf Basis von Stromerzeugungskosten zu ermitteln und mit der Ausgestaltung von Politikinstrumenten zu verbinden. Dazu wird eine empirische Methode entwickelt, mit der die Wirksamkeit staatlicher Marktanreizprogramme für erneuerbare Energien beurteilt werden kann. Methodisch basiert das Verfahren auf dem Konzept der Erfahrungskurve, mit dem die Kostenentwicklung einer Technik ermittelt und in die Zukunft projiziert wird. Die Kostenentwicklung hängt dabei nicht von der Zeit, sondern von der produzierten Menge ab. Aus diesem Grund muss für Aussagen über den zukünftigen Kostenverlauf einer Technik auf Prognosen zur Marktentwicklung zurückgegriffen werden. Die Bewertung der Politikmaßnahme geschieht anhand eines Vergleichs der Kostenentwicklung von geförderter Technik und einer Referenztechnik. Bezugsgröße ist dabei die Zeitdauer, welche die ausgewählte Technik auf Förderung angewiesen ist. Je kürzer die notwendige Förderdauer ist, desto sicherer ist der Erfolg der Maßnahme und desto nachhaltiger ist ihre Wirkung. Neben der theoretischen Herleitung wird die Methode exemplarisch auf die staatliche Förderung der Windenergie und der Photovoltaik durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz angewandt.

Der erste Teil der Arbeit konzentriert sich auf die Rahmenbedingungen und die Notwendigkeit von Energie- und Umweltpolitik. Anhand des Energiesystems in Deutschland wird zunächst gezeigt, dass Deutschland seinen Energiebedarf vorrangig aus fossilen und nuklearen Energieträgern deckt. Der Anteil erneuerbarer Energien ist dagegen sehr gering, auch wenn in den letzten Jahren z. B. bei der Windenergie oder der Photovoltaik hohe Wachstumsraten erzielt werden konnten. Ihre technischen Potentiale sind ausreichend, um einen Großteil des heutigen Energiebedarfs in Deutschland zu decken.

Anschließend werden die Probleme des heutigen Energiesystems diskutiert. Dies ist erstens der anthropogene Treibhauseffekt, der weitgehend auf die hohen Emissionen des Klimagases Kohlendioxid bei der Verbrennung fossiler Energieträger zurückzuführen ist. Eine politische Reaktion auf dieses Problem stellt das Kyoto-Protokoll dar, in dem für den Zeitraum 2008/12 nationale Reduktionsziele für Klimagase festgelegt sind. Zweitens stellt die lokale Luftverschmutzung durch die Verbrennung fossiler Energieträger ein Problem für Mensch und Umwelt dar. Hier wird für wichtige Luftschadstoffe gezeigt, dass bereits Fortschritte durch den Einbau von Rückhaltesystemen und Verfahrensoptimierungen erreicht wurden, weitere Anstrengungen jedoch besonders bei den Ruß- und Benzolemissionen notwendig sind.

Eine dritte Notwendigkeit für staatliche Energiepolitik ergibt sich aus der Begrenztheit fossiler und nuklearer Energieträger. Dies wird an einem Vergleich der Reichweiten der Reserven und Ressourcen von Mineralöl, Erdgas, Kohle und Uran deutlich gemacht. Es wird argumentiert, dass aufgrund der langen Reinvestitionszyklen im Energiesektor die Entwicklung von Alternativen, zu denen die erneuerbaren Energien gehören, schon heute im Zentrum einer vorsorgenden Energiepolitik stehen muss. Als vierter Grund wird aufgeführt, dass alternative Energietechniken auch einen Beitrag zur Entwicklungspolitik darstellen, da zukünftige Preisanstiege bei fossilen Energieträgern vor allem die armen Länder treffen, die im Zuge ihrer wirtschaftlichen Entwicklung einen hohen Nachholbedarf beim Energieeinsatz haben.

Nach der prinzipiellen Begründung für Energie- und Umweltpolitik werden zwei Formen von Marktversagen vorgestellt, an denen gezeigt wird, dass der Markt nicht für eine optimale Faktorallokation sorgt. Der erste Erklärungsansatz greift dabei auf das Konzept der externen Kosten zurück. Die Existenz von externen Kosten im Energiesystem bedeutet, dass das Kostenkalkül der Unternehmen nur einen Teil der tatsächlichen anfallenden Kosten berücksichtigt. Die durch Schadstoffemissionen entstehenden Kosten müssen oft nicht vom Verursacher getragen werden. Ziel der Politik muss deshalb sein, diese Kosten zu internalisieren, d. h. den jeweiligen Verursachern anzulasten. Anhand mehrerer Studien wird gezeigt, in welcher Bandbreite sich die externen Kosten im Energiesystem bewegen.

Die zweite Form von Marktversagen entsteht durch die dynamischen Eigenschaften von Märkten, auf denen ein einmal eingeschlagener Pfad nicht mehr verlassen werden kann. Man spricht hier von *Technology Lock-In*: Durch den Einsatz einer bestimmten Technik wird ein kontinuierlicher Kostensenkungsprozess in Gang gesetzt, so dass sich andere Techniken, die zu einem späteren Zeitpunkt entwickelt werden, aufgrund ihrer anfänglich

höheren Kosten am Markt nicht durchsetzen können. *Technology Lock-In* kann deshalb langfristig zu ineffizienten Marktergebnissen führen. Anhand von Beispielen wird auf das Vorliegen von *Technology Lock-In* im Energiesystem eingegangen.

Im zweiten Teil der Arbeit wird das Konzept der Erfahrungskurven vorgestellt, das seinen Ursprung in der Betriebswirtschaftslehre hat. Erfahrungskurven stellen den Zusammenhang zwischen Kosten und kumulierter Produktionsmenge dar und werden zur strategischen Preissetzung verwendet. Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass Kostensenkungen und die mit einem Produkt gewonnene Erfahrung miteinander korreliert sind: Bei jeder Verdopplung des kumulierten Produktionsvolumens kommt es zu einer Reduktion der Kosten um einen festen Prozentsatz. In Kapitel 3.1 steht zunächst die Theorie der Erfahrungskurve im Mittelpunkt, wobei die formale Darstellung, die Bestimmung der Parameter und die graphische Repräsentation behandelt werden. Zusätzlich werden typische Erfahrungskurven für verschiedene Produkte und Industrien vorgestellt.

In Kapitel 3.2 wird dann das Konzept der Erfahrungskurve mit der Ausgestaltung von Marktanreizprogrammen verbunden. Indem die Erfahrungskurve für erneuerbare Energien in Relation zum Kostenverlauf fossiler Energietechniken gesetzt wird, lässt sich bestimmen, welche Investitionen getätigt werden müssen, um eine neue Technik wettbewerbsfähig zu machen. Die wichtigste Orientierungsgröße ist dabei der *Break-Even* Punkt. Dieser gibt an, bei welchem Marktvolumen die Kosten von etablierter und neuer Technik übereinstimmen. Als Einflussgrößen auf den *Break-Even* Punkt werden die Internalisierung externer Kosten durch den geplanten EU-Emissionshandels sowie der Preisdruck durch die steigende Nachfrage nach fossilen Energieträgern behandelt. Abschließend werden Anwendungsfragen des Erfahrungskurvenkonzeptes diskutiert.

Als erstes Beispiel für die Nutzung von Erfahrungskurven in der Energie- und Umweltpolitik dient im dritten Teil die Windenergie, die zur Zeit die populärste erneuerbare Energie ist. Als Einstieg in das Thema werden Technik und Umwelteigenschaften von Windenergieanlagen erläutert. Dabei steht der grundlegende technische Aufbau und die Leistungserzeugung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit im Mittelpunkt. Zusätzlich werden die Sicherheitseinrichtungen sowie die Besonderheiten bei Windparks erläutert. Bei den Umwelteigenschaften werden die Emissionsreduktionspotentiale im Vergleich zu fossilen Energieträgern vorgestellt.

Kapitel 4.2 beschäftigt sich mit der Bedeutung der Windenergie innerhalb der Europäischen Union und Deutschlands. Von der Europäischen Union wird bis 2010 ein Beitrag der erneuerbaren Energien von 12% gemessen am Primärenergieverbrauch ange-

strebt. Eine direkte Förderung findet jedoch nicht statt, vielmehr beschränkt sie sich auf die Finanzierung von Forschung und Entwicklung sowie von Demonstrationsvorhaben. In Deutschland ist die Windenergie seit 1990 kontinuierlich gewachsen. Die Ursachen dafür sind die positiven Rahmenbedingungen, die durch das Stromeinspeisegesetz und das Erneuerbare-Energien-Gesetz geschaffen wurde. Beide werden ausführlich erläutert. Darüber hinaus wird eine Studie über den weiteren Ausbau der Windenergie bis 2030 vorgestellt.

In Kapitel 4.3 wird die Erfahrungskurve für die Windenergie berechnet, die den Verlauf der Stromerzeugungskosten widerspiegelt. Deshalb wird zunächst die Ermittlung der Kosten von Windenergieanlagen für den Zeitraum 1994 bis 2002 erläutert. Neben den Anlagenkosten wird auch auf die Höhe der Investitionsnebenkosten und der Betriebskosten eingegangen. Anschließend wird die Berechnung der Stromerzeugung von Windenergieanlagen in Abhängigkeit von den Standortbedingungen durchgeführt. Aus Kosten und Erträgen werden dann die Stromerzeugungskosten berechnet.

Die Erfahrungskurve wird sowohl für nominale als auch für reale Kostendaten ermittelt. Letztere wird zur Bewertung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes verwendet, wobei anhand einer Prognose über die weitere Marktentwicklung die zukünftigen Kosten der Windenergie bestimmt werden. Aus diesen Daten wird dann der *Break-Even* Punkt von Windstrom mit fossil erzeugtem Strom ermittelt, anhand dessen wiederum die Lerninvestitionen bestimt werden können. Nach einer Beurteilung der Effizienz der Fördermaßnahme wird abschließend das Entwicklungspotential der Windenergietechnik und die Güte der Datenbasis diskutiert.

Als zweites Beispiel für die Nutzung des Erfahrungskurvenkonzeptes wird die Photovoltaik herangezogen. Zunächst wird in Kapitel 5.1 die Technik der Komponenten von Photovoltaikanlagen vorgestellt. Dabei werden die unterschiedlichen Solarzellentypen, der Modulaufbau, die Gestelle und die Wechselrichter erläutert. Anschließend werden die Umwelteigenschaften von Photovoltaikanlagen diskutiert, wobei die Emissionsreduktionspotentiale im Vergleich zu fossilen Energieträgern im Vordergrund stehen.

In Kapitel 5.2 wird gezeigt, welches Marktvolumen die Photovoltaik weltweit und in Deutschland erreicht hat. Die wichtigsten Märkte für die Herstellung von Solarzellen sowie bedeutende nationale Förderprogramme werden kurz vorgestellt. Als Ausblick auf die weltweite Marktentwicklung werden zwei Studien analysiert, die den Zeitraum bis 2010 bzw. 2020 umfassen. Für Deutschland werden neben dem technischen Potential und den Wachstumsraten mit dem 1.000- und dem 100.000-Dächer-Programm sowie dem Erneuerbare-Energien-Gesetz die wichtigsten Investitionsbeihilfen vorgestellt.