

Schätzung von Erfahrungskurven für Wartungs- und Betriebskosten von Wind- und Photovoltaikanlagen

Themenbereich 2 (Strom, Wärmeerzeugung sowie Speicher)

Bjarne STEFFEN¹⁽¹⁾, Martin BEUSE⁽¹⁾, Paul TAUTORAT⁽¹⁾, Tobias S. SCHMIDT⁽¹⁾

⁽¹⁾Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich

Motivation und zentrale Fragestellung

Die Energiesysteme weltweit befinden sich im Umbruch zu CO₂-armen Technologien. Politische Strategien setzen dabei insbesondere auf Erneuerbare-Energie-Technologien, die über die letzten Jahre immense Kostenfortschritte erreicht haben (in Modellen häufig quantifiziert durch Erfahrungskurven für Investitionskosten [1]). Aufgrund der stark gesunkenen Investitionskosten rücken nun weitere Kostenkomponenten wie Wartungs- und Betriebskosten (WBK) in den Fokus, die inzwischen bis zu 25% der Stromgestehungskosten ausmachen können [2], [3]. Mit zunehmender Erfahrung bei Betreibern und Wartungsdienstleistern sollte auch ein Potenzial für Verbesserungen bei WBK bestehen, allerdings wurde die WBK-Entwicklung bisher nicht wissenschaftlich untersucht. Dieser Beitrag analysiert daher die Entwicklung von WBK von Wind und PV in Deutschland, quantifiziert Erfahrungskurven, und diskutiert Potenziale für weitere Verbesserungen in der Zukunft.

Methodische Vorgangsweise

Der Beitrag analysiert WBK der beiden Erneuerbare-Energie-Technologien die in der letzten Dekade weltweit und in Europa am schnellsten gewachsen sind: Windkraft an Land und PV [4]. Wir betrachten die Entwicklung in Deutschland, da dort beide Technologien eine lange Historie haben [5] und entsprechend Betriebserfahrung vorhanden ist.

Da Daten zu WBK als projektspezifische Informationen typischerweise nicht öffentlich verfügbar sind, basiert die Untersuchung auf neu erhobenen Daten. Dazu wurden 31 Interviews mit Industrieexperten geführt, insbesondere mit Betreibern von Wind- und PV-Anlagen sowie Wartungs-/Betriebsführungs-Dienstleistern. Der Fragebogen für die 45-60-minütigen Interviews umfasste 9 Fragen in Bezug auf die Veränderung von WBK über die Zeit, die dahinterliegenden Treiber, sowie erwartete zukünftige Entwicklungen. Die Gespräche wurden transkribiert und mit der Software MAXQDA analysiert.

Fakultativ stellten die Interviewpartner zudem Kostendaten aus Wartungs- und Betriebsführungs-Verträgen der Vergangenheit zur Verfügung. Für Wind liegen Datenpunkte für den Zeitraum 1997–2015, für PV Datenpunkte für den Zeitraum 2005–2017 vor. Wo erforderlich, wurden die einzelnen Kostenpunkte harmonisiert um unterschiedliche Vertragsumfänge zu berücksichtigen, und für allgemeine Inflation korrigiert. Der resultierende Datensatz wurde genutzt um mittels Regressionsanalysen Erfahrungskurven nach dem Gesetz von Wright [1], [6] zu schätzen, wobei die mit der jeweiligen Technologie bereits in Deutschland kumuliert erzeugte Strommenge als abhängige Variable dient.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die qualitativen und quantitativen Ergebnisse unterstreichen, dass es seit ca. 2005 signifikante Kostenreduktionen bei Wartung und Betrieb von kommerziellen Wind- und PV-Anlagen in Deutschland gab. Für PV lässt sich eine „Experience Rate“ (ER) von 18% quantifizieren, d.h. mit jeder Verdopplung der kumulierten Menge an erzeugtem Solarstrom sanken die WBK um 18%. Dies entspricht einer inflationsbereinigten Reduktion von ca. 25 EUR pro kW und Jahr in 2005, auf noch ca. 6 EUR pro kW und Jahr in 2017 (vgl. Abbildung 1). Für Wind gibt es typischerweise separate Verträge für (a) Wartung und (b) kaufmännische/technische Betriebsführung. Für ersteres ergibt die Analyse eine ER von 5%, für zweites von 13%, d.h. die Reduktion der WBK weist bei Wind eine geringere Dynamik auf als bei PV.

¹ ETH Zurich, Energy Politics Group, Haldeneggsteig 4, 8092 Zürich, Schweiz. Telefon +41 44 633 85 45. E-Mail bjarne.steffen@gess.ethz.ch, www.epg.ethz.ch

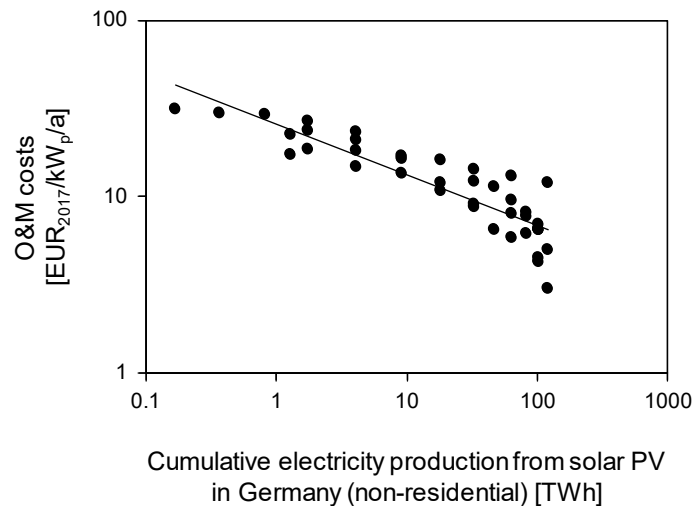


Abbildung 1: Geschätzte Lernkurve für WBK von PV-Anlagen.

Die Interviews ergaben ein detailliertes Bild von den Faktoren hinter diesen Zahlen. Wesentliche Treiber sind eine Professionalisierung von Prozessen und „Learning-by-Doing“ (z.B. Einführung von Computerized Maintenance Management Systems CMMS), Größenvorteile der Anlagen (z.B. mehr MW Leistung je Windpark, die nur einmalige Anreise je Wartungsbesuch erfordern), sowie eine Konsolidierung der Dienstleisterindustrie.

In Summe unterstreichen die Ergebnisse, dass der großflächige Ausbau von vergleichbaren neuen Technologien wie Windkraft und PV zu einer Kostenverbesserung führen kann, und zwar nicht nur bei Investitionskosten, sondern auch bei weiteren, sogenannten „weichen“ Kosten. WBK bieten dabei auch nach Inbetriebnahme noch Kostenreduktionspotenzial. Dies könnte beispielsweise in der langfristigen Energiesystemmodellierung berücksichtigt werden, wo aktuell Investitionskosten häufig mit Erfahrungskurven abgebildet, WBK aber als fix angenommen werden. Die Endogenisierung von Kostenkomponenten jenseits der Investitionskosten kann das Verständnis der Kostendynamik für Wind- und Solarstrom verbessern, wie der Fall von Finanzierungskosten illustriert [7].

Die Resultate des Beitrags sind auch für Politikgestalter relevant: Erfahrungen aus Deutschland zeigen, dass die WBK-Senkungen auch durch erhöhten Kostendruck (in Deutschland im Zuge von Ausschreibungen) realisiert wurden. In Ländern die eine Einspeisevergütung verwenden ist daher zu erwägen, ob eine moderate Absenkung der Vergütung im Zeitablauf angesichts von Einsparpotenzialen bei WBK mit zunehmender Erfahrung angemessen ist.

Literatur

- [1] E. S. Rubin, I. M. L. Azevedo, P. Jaramillo, and S. Yeh, “A review of learning rates for electricity supply technologies,” *Energy Policy*, vol. 86, pp. 198–218, 2015.
- [2] IRENA, “Renewable Power Generation Costs in 2017,” 2018.
- [3] E. Muñoz-Cerón, J. C. Lomas, J. Aguilera, and J. de la Casa, “Influence of Operation and Maintenance expenditures in the feasibility of photovoltaic projects: The case of a tracking pv plant in Spain,” *Energy Policy*, vol. 121, pp. 506–518, Oct. 2018.
- [4] International Energy Agency, *World Energy Outlook 2017*. OECD/IEA, 2017.
- [5] B. Steffen, “The importance of project finance for renewable energy projects,” *Energy Econ.*, vol. 69, pp. 280–294, 2018.
- [6] T. P. Wright, “Factors affecting the cost of airplanes,” *J. Aeronaut. Sci.*, vol. 3, no. 4, pp. 122–128, 1936.
- [7] F. Egli, B. Steffen, and T. S. Schmidt, “A dynamic analysis of financing costs for low-carbon technologies,” *Nat. Energy*, vol. 3, pp. 1084–1092, 2018.