

Entwicklung des Landverbrauchs von PV-Freiflächenanlagen in Europa

(8) Kritische Rohstoffe und Kreislaufwirtschaft
Manuela FRANZ

TU Wien, Institut für Sensor- und Aktuatorssysteme, Austria
manuela.franz@tuwien.ac.at

Motivation und zentrale Fragestellung

Der Landverbrauch für die Erzeugung elektrischer Energie kann über die Leistungsdichte eines Kraftwerks, das ist der Quotient der jährlichen Volllaststunden und der benötigten Fläche, ermittelt werden. Die Technologien zur Erzeugung elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen besitzen eine um mehrere Größenordnungen geringere Leistungsdichte als solche auf Basis fossiler Energiequellen [1]. Die Leistungsdichte von PV-Anlagen ist sehr variabel abhängig davon, ob es sich um eine Aufdach- oder Freiflächenanlage handelt, welche Modultechnologie und Effizienz zum Einsatz kommt und in welcher geografischen Region die Anlage errichtet ist. Eine Studie von 2018 berechnete die Leistungsdichte von utility-scale PV-Freiflächenanlagen mit $5,8 \pm 1,2 \text{ W/m}^2$ auf Basis einer kleinen Stichprobe [2]. Hierbei wurde die erzeugte Energie über normierte Kapazitätsfaktoren berechnet, wie sie beispielsweise im US-Amerikanischen Electric Power Monthly (EPM)-Report angegeben werden [3]. Ziel dieser Arbeit ist, mittels einer repräsentativen Stichprobe europäischer PV-Freiflächenanlagen die Entwicklung des Landverbrauchs nach verschiedenen Kriterien zu untersuchen und regionale Trends mit der Literatur zu vergleichen.

Methodische Vorgangsweise

Es wurden insgesamt 90 PV-Freiflächenanlagen untersucht, davon sieben außerhalb Europas in Mexiko, Südafrika und den USA. Auswahlkriterien waren eine hohe Bebauungsdichte in den Ländern nach den Ergebnissen einer vorangegangenen Studie [4] und die Verfügbarkeit von Daten. Aufgrund der schlechten öffentlich zugänglichen Datenlage und für eine größere Stichprobenzahl wurden weitere Regionen in der EU einbezogen. Abbildung 1 zeigt die Standorte der ausgewählten PV-Anlagen.

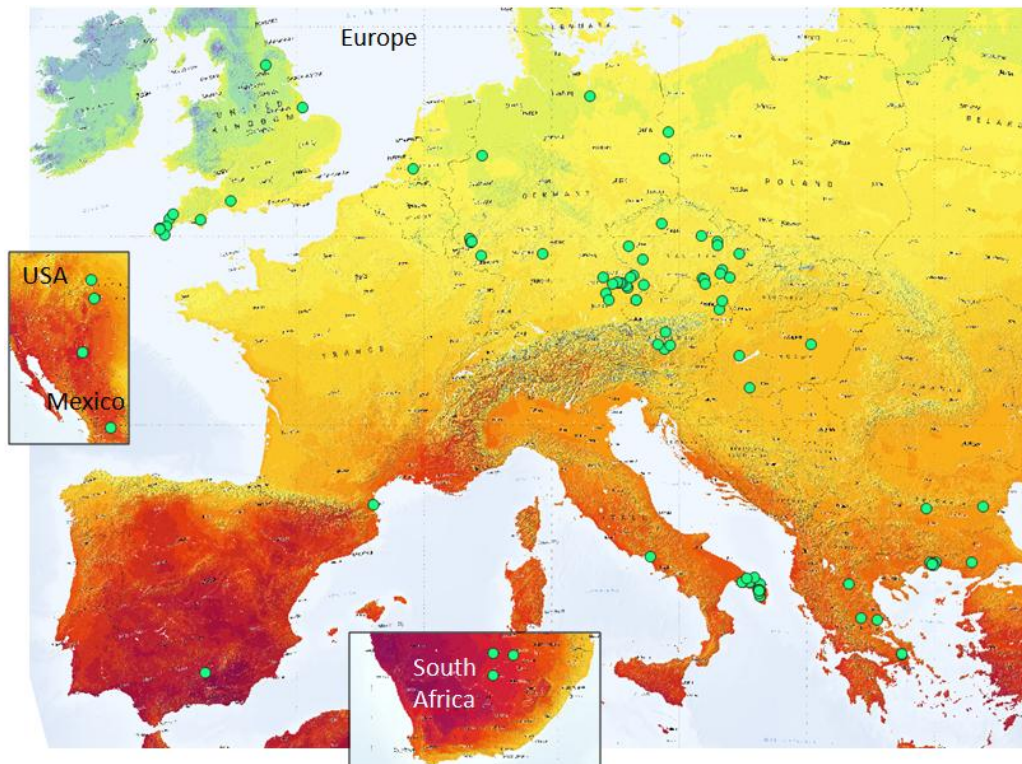


Abbildung 1: Karte des langfristigen Durchschnitts des PV-Energiepotenzials (Quelle: Solargis). Orte der untersuchten Freiflächen-PV-Anlagen sind grün markiert.

Es wurden folgende Anlagendaten erfasst: (i) umzäunte Fläche, (ii) installierte Leistung, (iii) Anzahl und Fläche der Module, (iv) Nennleistung der Module, (v) jährlich produzierte elektrische Energie, (vi) Installationsjahr. Die Daten wurden im Rahmen einer Internetrecherche ermittelt. Quellen dazu waren Referenzen von Herstellern und Betreibern, Investmentunternehmen, Medienberichte und Interessensvertretungen. Weiters wurden die Standorte und Flächeninhalte der PV-Anlagen mithilfe von Google Earth in ein GIS-Format kartiert. Die Anzahl der Module wurde teilweise aus Satellitenbildern errechnet. Anhand der ermittelten Daten wurden folgende Parameter je PV-Anlage berechnet: (a) Landverbrauch pro kW_p installierte Leistung, (b) Landverbrauch pro kWh erzeugte elektrische Energie (c) Landverbrauch pro m² Modulfläche, (d) jährliche Produktion elektrischer Energie pro m² Modulfläche, (e) Kapazitätsfaktor und (f) Leistungsdichte. Die Ergebnisse wurden grafisch als Gesamtergebnis und nach Ländern und Errichtungsjahr dargestellt und mit Literaturdaten verglichen.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Der durchschnittliche Landverbrauch pro installierter Leistung ist von 37,5 m²/kW_p im Jahr 2008 auf 16 m²/kW_p in 2022 gesunken. Allerdings ist eine PV-Anlage 2022 in Dachform ausgeführt, die eine energetisch effizientere Flächennutzung erlaubt, den Boden darunter jedoch vollkommen beschattet. Die linke Grafik gibt einen repräsentativen zeitlichen Trend der gesamten Stichprobe wieder, da die Daten unabhängig von der Sonneneinstrahlung und damit von der geografischen Lage der PV-Anlage sind.

Die rechte Grafik zeigt den Verlauf der Landnutzung aller untersuchten PV-Anlagen pro kWh erzeugter Energie, der nahezu linear von durchschnittlich 0,029 m².a/kWh im Jahr 2008 auf 0,013 m².a/kWh in 2022 sinkt. Aufgrund der unterschiedlichen Sonneneinstrahlung ist hier eine Analyse der einzelnen Regionen wesentlich: Die Trendkurven sind in den meisten Regionen ähnlich und unterscheiden sich vorwiegend im vertikalen Achsenabschnitt. Eine Ausnahme ist Österreich, wo eine wesentlich steiler abfallende Kurve resultiert. Im Gegensatz dazu verläuft in Südafrika und in den USA über mehrere Jahre die Kurve nahezu horizontal. In der Republik Tschechien ist die Stichprobe nicht repräsentativ da nach 2011 keine Daten erfasst und generell später sehr wenige PV-Freiflächenanlagen errichtet wurden.

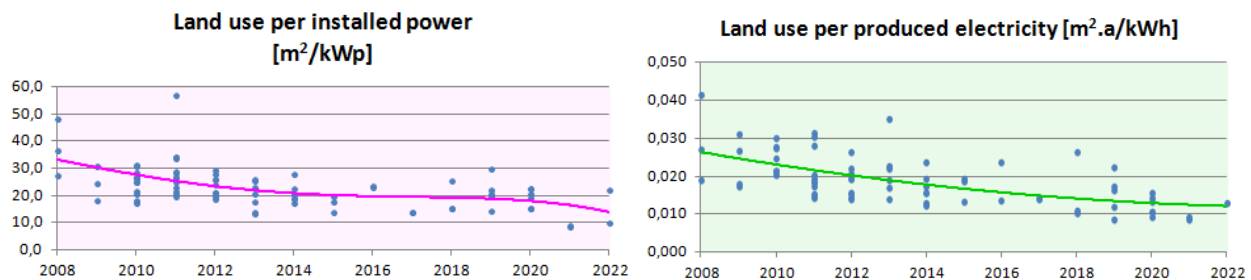


Abbildung 2: Landverbrauch aller PV-Anlagen per installierter Leistung bzw. erzeugter elektr. Energie.

Auffallende regionale Unterschiede zeigen sich im zeitlichen Verlauf einer anderen Darstellung, der Landnutzung pro m² Modul: Der Gesamttrend ist eine nur geringe Reduzierung des Landverbrauchs, d.h. eine technisch effizientere Ausnutzung der Landfläche. Hingegen in der Republik Tschechien, im Vereinigten Königreich und Italien steigt der Landverbrauch in den jeweils untersuchten Zeiträumen, was ein Hinweis darauf sein könnte, dass der Nutzwert des Bodens regional geringer war.

Abschließend soll hier die Leistungsdichte angesprochen werden, die in der Literatur zu einem Maß für den Landverbrauch geworden ist. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, auf welche Fläche diese bezogen ist, hier wird auf die umzäunte Fläche der PV-Anlage referenziert. Der Median der Leistungsdichte der gesamten Stichprobe beträgt 6,2 W/m² mit großen regionalen Schwankungen von 2,8 W/m² einer Dünnschicht-Modul Anlage in der Rep. Tschechien bis zu 14 W/m² einer Anlage in Deutschland.

Literatur

- [1] Smil, Vaclav (2016) Power density: a key to understanding energy sources and uses. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2016.
- [2] Van Zalk, J.; Behrens, P. (2018) The spatial extent of renewable and non-renewable power generation: A review and meta-analysis of power densities and their application in the U.S. Energy Policy 123 (2018) 83-91.
- [3] U.S. Energy Information Administration (2022) Electric Power Monthly with Data for August 2022. U.S. Department of Energy, Washington, DC 20585.
- [4] Franz, M.; Piringner, G. (2020) Market development and consequences on end-of-life management of photovoltaic implementation in Europe. Energy, Sustainability and Society (2020) 10:31. <https://doi.org/10.1186/s13705-020-00263-4>.