

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_23_35
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

PV-Reinigung

| | |
|--------------|--|
| Studierende | Daniel Fernandes Sousa |
| Dozierende | Roger Buser Adrian Altenburger |
| Experte/-in | Christoph Portmann |
| Auftraggeber | Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Dominik Frey, Freywerk GmbH, 6034 Inwil) |
| Abgabedatum | 03. Januar 2024 |

Hinweis: Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

PV-Reinigung

Die Photovoltaik hat in den letzten Jahrzehnten eine bedeutende Entwicklung erfahren und zählt heute zu den führenden erneuerbaren Energiequellen weltweit. Trotz dieser Fortschritte sind die Effizienz und Leistung von Photovoltaikanlagen stark von den Umgebungsbedingungen abhängig. Flachdachanlagen mit einem geringen Neigungswinkel tendieren im Laufe der Zeit Ablagerungen zu sammeln, was zu massiven Einbussen führen kann.

Diese wissenschaftliche Abhandlung bietet einen umfassenden Überblick über das Thema "Photovoltaik-Reinigung" von Flachdachanlagen mit einer maximalen Neigung von 15 Grad. Es bedarf eine umfassende Untersuchung um die idealen Einrichtungs- und Betriebsbedingungen, sowie für Verschmutzungsquellen zu identifizieren. Die Bedeutung der Reinigung für die Leistung, wie auch die Wirtschaftlichkeit sind anhand von realen Anlagen berechnet. Abschliessend liegt eine Empfehlung zur Bewirtschaftung und zur Wahl der Reinigungsmethode vor.

Ausgangslage

Die Erforschung der Verschmutzungsbedingungen von PV-Anlagen erfordert eine umfassende Untersuchung, um die Entstehung und Auswirkungen der Verschmutzung zu verstehen. Zusätzlich wurden Tests mit bestehenden Anlagen durchgeführt, um die Energieeffizienz zu ermitteln und die Wirtschaftlichkeit einer Reinigung zu bewerten. Eine Untersuchung der Oberfläche der Solarmodule zielt darauf ab, Abriebserscheinungen zu identifizieren und mögliche negative Auswirkungen zu analysieren. Die Anwendung von Nanoversiegelungstechnologien wurde in Betracht gezogen, um die Oberflächeneigenschaften zu verbessern.

Mit der Ermittlung von idealen Reinigungsbedingungen und -verfahren kann die maximale Moduleffizienz gewährleistet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen einer wissenschaftlichen Überprüfung unterzogen und bei Bedarf weiterentwickelt werden.

Ideale Betriebsbedingungen

Ideale Standorte zeichnen sich durch eine hohe Anzahl an Sonnenstunden pro Tag und minimale Verschattungen aus, beispielsweise durch Vegetation oder bauliche Strukturen. In der Schweiz sollten diese nach Süden ausgerichtet sein und standortabhängig die Module neigen. Niedrige Luftfeuchtigkeit und saubere Luft tragen dazu bei, dass die Module weniger verschmutzen. Bergregionen bieten Vorteile, da PV-Module bei kühleren Temperaturen effizienter arbeiten.

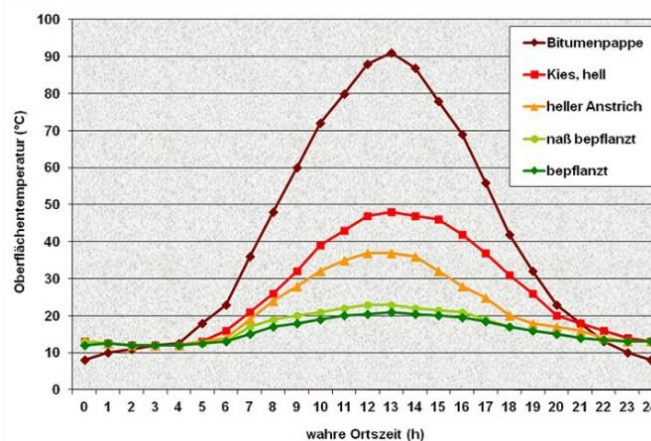


Abb. 1: Zeitliche Temperaturverläufe von Flachdächern mit verschiedenen Oberflächen an einem strahlungsreichen Sommertag (MVI 2014 nach GERTIS et al. 1977).

Dachbegrünungen beeinflussen reduzieren die indirekte Wärmeeinstrahlung auf die Solarmodule, indem sie einen Teil des einfallenden Lichts absorbieren und reflektieren. Zudem bewirkt die Verdunstung des Pflanzenwassers einen natürlichen Kühleffekt.

Materialien mit einem hohen Emissionswert speichern einen Grossteil der Wärmestrahlung und geben diese durch Konvektion an die Umgebung wieder ab. Die Verwendung von helleren Materialien kann bereits eine deutliche Senkung der Temperatur erreicht werden. Bei der Anwendung von hellem Kies auf Flachdächer wurde eine Absenkung der Oberflächentemperatur um 50% festgestellt. Ein heller Anstrich bewirkt, dass ein Grossteil der absorbierten Wärme direkt in die Luft reflektiert wird.

Qualitative Feststellung zur Verschmutzung in der Schweiz

Das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) besteht aus 16 Stationen, welche verschiedene Standorttypen und Belastungsstufen repräsentieren. Die Netzstruktur ermöglicht die umfassende Erfassung der wesentlichen Belastungstypen, die in der Schweiz auftreten, und sorgt somit für eine breite geografische Abdeckung. Die qualitative Vergleichbarkeit von Verschmutzungsarten und -mengen kann durch die Kategorisierung der NABEL-Stationen nach Standorttyp ermöglicht werden.

Die Verschmutzungsansammlungen auf PV-Anlagen in den verschiedenen Schweizer Regionen variieren je nach lokalen Umweltbedingungen. Die Charakteristik des umgebenden Lebensraums hat einen Einfluss auf die Art der Verschmutzung. In ländlichen Gebieten wird die Verschmutzung in der Regel durch landwirtschaftliche Aktivitäten hervorgerufen, während in städtischen Gebieten Verkehrs- und Industrieemissionen dominieren. Die geografischen Unterschiede in Niederschlagsmengen und Luftqualität spielen ebenfalls eine Rolle auf die Art und Häufigkeit der Verschmutzung, was eine anlagespezifische Reinigungsstrategie für PV-Anlagen erfordert.

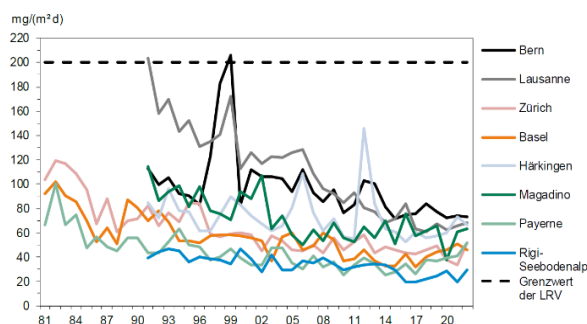


Abb. 2: Mittlere Jahreswerte des Staubniederschlag seit 1981 (BAFU, 2022)

Wirtschaftlichkeit einer PV-Reinigung

Zusammenfassend ergibt die Untersuchung der Reinigungskosten in Abhängigkeit von Anlagengrößen und potenziellen Ertragseinbussen aufschlussreiche Ergebnisse. Die Rentabilität der Reinigung hängt wesentlich von der Anlagengrösse, der Leistungseinbussen, Energietarifen und der Art der Reinigungstechnologie ab. Bei grösseren Anlagen erweist sich die Reinigung mit Robotertechnologie im Vergleich zur Bürstenreinigung als finanziell rentabler, aufgrund der Effizienz der Reinigungsroboter bei grösseren Flächen. Bei kleineren Anlagen hingegen bevorzugt man die Bürstenreinigung aufgrund geringeren Pauschalpreises. Diese Erkenntnisse betonen die Effizienzsteigerung der Reinigung durch Roboter mit zunehmender Anlagenfläche.

Die Elastizität der Analysen verdeutlicht, dass externe Variablen wie Energietarifen und die Gewichtung von Verkauf und Eigenverbrauch die ökonomische Rentabilität beeinflussen. Die Ergebnisse betonen die Notwendigkeit einer individualisierten Betrachtung.

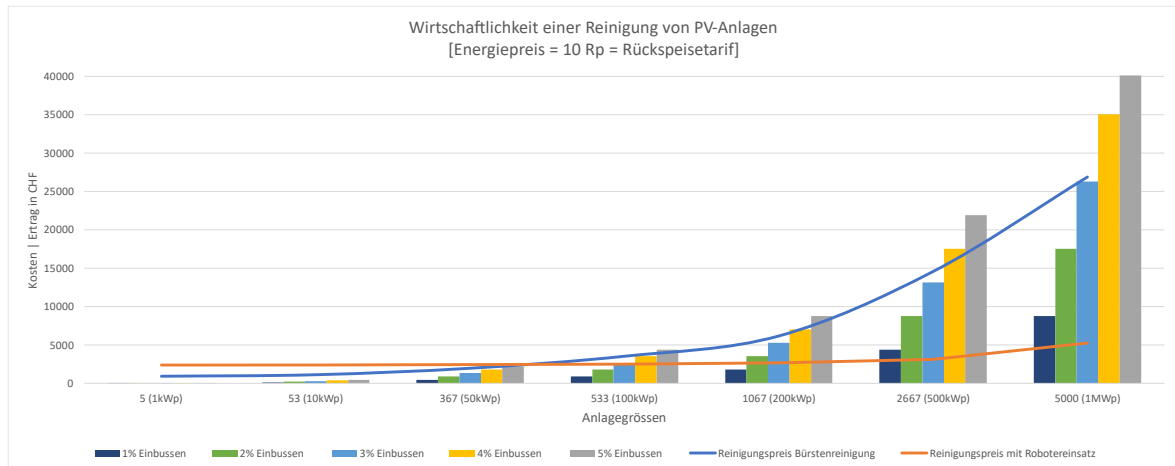


Abb. 3: Worst-Case Szenario für die Reinigungsrentabilität. Der Robotereinsatz ist im Vergleich zur Bürstenreinigung ab mittleren Anlagen (50kWp) bereits rentabel

Reinigungsempfehlung

Basierend auf der entwickelten Theorie sowie durchgeführten Simulationen und Analysen, die den Einfluss der Reinigung auf die Leistung von Photovoltaikanlagen verdeutlichen, wird empfohlen, regelmässige Reinigungsmaßnahmen in den Betriebsablauf von PV-Anlagen zu integrieren. Die Reinigung sollte in regelmässigen Intervallen erfolgen, um die Ansammlung von Ablagerungen zu verhindern. Die Häufigkeit der Verschmutzungseinschätzung hängt stark von den Standort- und Umweltbedingungen ab, weshalb Empfehlungen mit erheblichen Spannbreiten formuliert werden können. Das entwickelte Flussdiagramm dient als Entscheidungshilfe.

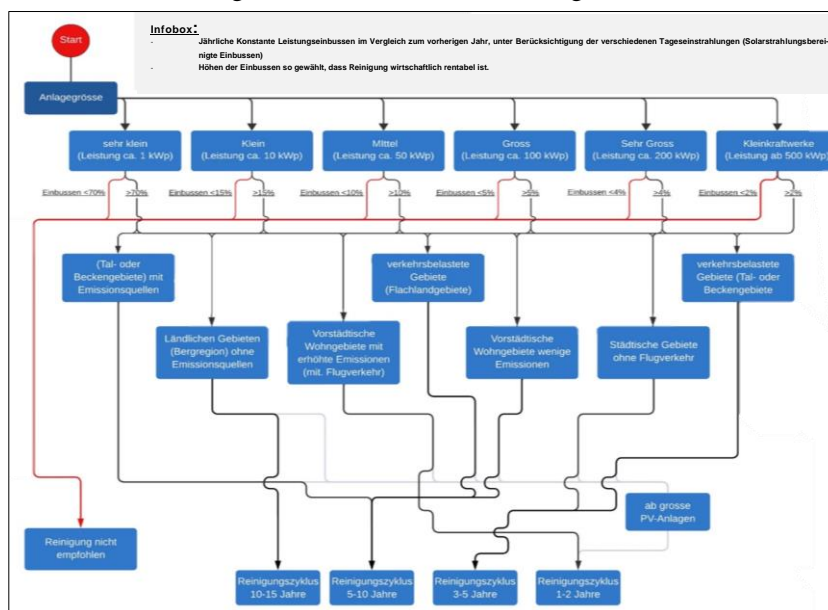


Abb. 4: Entscheidungshilfe für einen wirtschaftlichen Reinigungszyklus. Es soll als Hilfe dienen und nicht als absoluten Resultate angesehen werden. Je nach Verschmutzungsbelastung und Anlagedimension sind Reinigungen früher oder später durchzuführen. (Sousa, 2023)