

# Spannungsabhängige Wirkleistungsregelung

## Wie PV-Wechselrichter sinnvoll das Netz stützen

David Joss <sup>(1)</sup>, Prof. Dr. Christof Bucher <sup>(1)</sup>, Marco Zaugg <sup>(1)</sup>, Dr. Peter Cuony <sup>(2)</sup>, Patrick Joye <sup>(2)</sup>, Cyril Käser <sup>(2)</sup>  
 21. Schweizer Photovoltaik-Tagung 2023, Bern | <sup>(1)</sup> Berner Fachhochschule, Labor für Photovoltaiksysteme <sup>(2)</sup> Groupe E

Im gemeinsamen Projekt können die Groupe E und die BFH zeigen, dass die spannungsabhängige Wirkleistungsregelung P(U) zur Spannungshaltung im Feld effektiv funktioniert. Die PV-Anlagen reduzieren die rückgespeiste Wirkleistung, wenn die Spannung den Schwellwert übersteigt. Die P(U)-Regelung ist stabil, wie Analysen im Labor für Photovoltaiksysteme verdeutlichen.

### Einführung

Viele moderne Wechselrichter haben die spannungsabhängige Wirkleistungsregelung standardmässig als aktivierbare Funktion integriert. Doch P(U) wird noch kaum eingesetzt, obwohl sie gegenüber der Netzverstärkung oder der statischen Wirkleistungsbegrenzung erhebliche Vorteile bietet:

- Die PV-Anlage wird nur abgeregelt, wenn die Spannung am Verknüpfungspunkt überhöht ist.
- In Starklastzeiten speisen alle PV-Anlagen mit der maximal verfügbaren Leistung ein.
- Durch P(U)-Nutzung kann ohne Netzverstärkung sofort viel mehr PV zugebaut werden
- P(U) lässt sich mit weiteren netzstützenden Funktionen kombinieren (z.B. mit Q(U))

### Methodik

Im Projekt GODA wird durch Groupe E in einem Feldversuch die Nutzung von P(U) im Verteilnetz erforscht, während die BFH Messungen im Labor durchgeführt. Beim Feldversuch werden 5 PV-Anlagen mit P(U) parametrisiert und zwischen März und September 2022 mit zwei unterschiedlichen Schwellen betrieben (103.5-105.5 % / 105-107 %). Die Produktionsdaten der PV-Anlagen und die Netzspannung werden über Smart Meter erfasst. Ein selbstlernender Algorithmus berechnet die Produktionsverluste der betroffenen Anlagen auf Basis von umliegenden, nicht abgeregelten PV-Anlagen. Den Produzenten wird die berechnete, vermiedene Einspeisung zum Einspeisetarif vergütet.



Abb. 1: Untersuchte Wechselrichter (vorne) mit den variablen DC- und AC-Simulatoren (hinten) im Labor der BFH

3 Wechselrichter werden im Labor (Abb. 1) mit verschiedenen Regelparametern und unter Variation der PV-Leistung und Netzspannung ausgemessen. Fokus der Laboranalysen sind das Systemverhalten und die Stabilität der Wechselrichter. Für die Labor-Messungen werden PV- und Netzsimulatoren eingesetzt.

### Resultate

Im Feldtest zeigt sich, dass die Wirkleistungsreduktion im Alltag effektiv funktioniert. Die Netzspannung kann erfolgreich im Erwartungsfenster stabilisiert werden (Abb. 2). Aus den Analysen im Labor geht hervor, dass die untersuchten Wechselrichter mit vernünftiger P(U)-Parametrierung im Allgemeinen zuverlässig regeln.

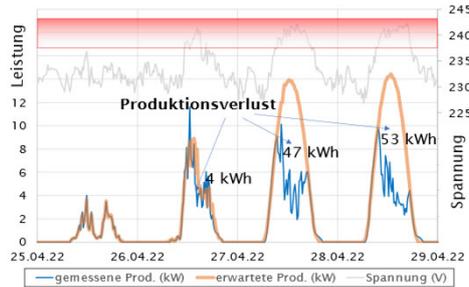


Abb. 2: Zeitverlaufsdiagramm mit der Spannung (grau), der realen Wirkleistungseinspeisung (blau) und der geschätzten potenziellen Wirkleistung (orange) im Feldversuch. Deutlich sichtbar ist die Wirkleistungsabregelung P(U) am 27. und 28. April 2022.

Im Detail zeigen sich dennoch merkliche Unterschiede:

- Einige Wechselrichter regeln sehr rasch, während andere viel später ihre Leistung drosseln (Einfluss Reglerdesign und Messtoleranzen).
- Einige PV-Anlagen übernehmen einen höheren Anteil an der P(U)-Regelung im Netz als andere.
- Selten zeigt sich eine gegenseitige Beeinflussung.
- "Voll abgeregelt" ist noch eine minimale Rückspeisung messbar ( $P_{PV(U)} < 1\% P_N$ ).
- An den getesteten Geräten wird die NA-Schutzfunktion (10min Spannungsmittelwert) durch eine aktive P(U)-Regelung nicht beeinträchtigt.

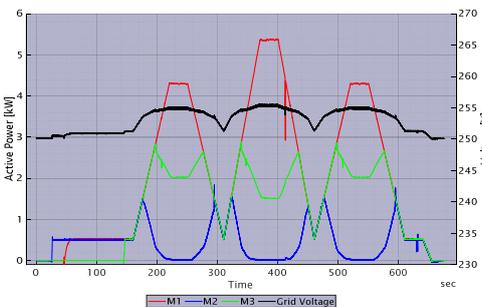


Abb. 3: P(U)-Regelverhalten von 3 Wechselrichtern (M1, M2, M3) am selben Verknüpfungspunkt bei variierender Einstrahlung. Aufgrund der Einstellungen und der Genauigkeit der internen Spannungsmessung reagieren sie unterschiedlich früh und intensiv auf die Netzspannung (schwarz), welche sie auch selbst beeinflussen. ( $P_{DC}$  var.,  $U_{AC}$  konst., hohe Netzimpedanz)

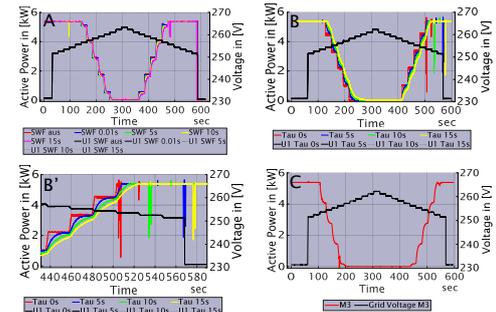


Abb. 4: P(U)-Verhalten der Wechselrichter einzeln mit Parametervariation für den Sollwertfilter SWF (A: M1) und die Zeitkonstante Tau (B/B': M2). Keine Variation bei (C: M3) möglich. ( $P_{DC}$  konst.,  $U_{AC}$  var., kleine Netzimpedanz)

Bei Messungen mit realistischen Einstellungen an den Wechselrichtern kann keine Situation beobachtet werden, in welcher sich ein dauerhaft instabiler Zustand einstellt. Vereinzelt sind leichte (4A, 4B) bis erhebliche (4B/B') Kurzzeitschwankungen zu sehen. Mit unrealistischen Werten für den Sollwertfilter (10ms, 4A) und die Zeitkonstante (0s, 4B) sind Überschwinger und geringe Oszillationen um den Sollwert zu beobachten.

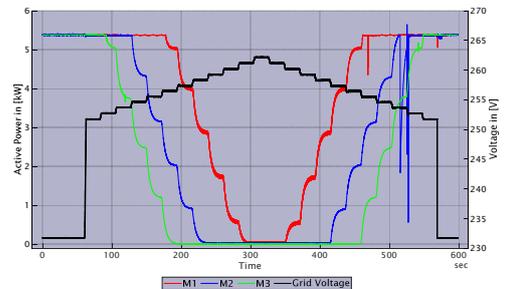


Abb. 5: Eine Gruppe von Wechselrichtern mit Standard-Einstellungen an einem Netz mit sehr hoher Impedanz. Beobachtung: Unterschiedliche Regelalgorithmen und zeitweise gegenseitige Beeinflussung, jedoch kaum Anzeichen von Instabilität. Auf der roten Kurve ist bei Abregelung ständig eine leichte Schwebung erkennbar.

### Fazit

- Die wichtigsten Erkenntnisse aus GODA in Kürze:
- P(U) wurde an 5 PV-Anlagen im Feld und 3 Wechselrichtern im Labor erfolgreich getestet.
  - Die Wechselrichter können durch die Reduktion der Wirkleistung die Netzspannung aktiv absenken.
  - Mit Smart Meter Daten erfolgt die Abschätzung der abgeregelten Energie, welche den Kunden vergütet werden kann.
  - Die Labormessungen zeigen bei vernünftigen Einstellungen der Regelparameter ein stabiles Verhalten der Wechselrichter – einzeln wie auch in Gruppen am selben Verknüpfungspunkt.
  - P(U) kann mit Standardeinstellungen aktiviert werden und zur sinnvollen Netzstützung beitragen.

### P+D Projekt GODA

GODA steht für «Grid Optimization with Decentralized Actors». Projektpartner sind die Groupe E und die BFH. Das Projekt wird durch das Pilot- und Demonstrationsprogramm des Bundesamts für Energie BFE unterstützt.



Weitere Informationen unter [www.bfh.ch/pvlab](http://www.bfh.ch/pvlab)

- Technik und Informatik
- Institut für Energie- und Mobilitätsforschung

Labor für Photovoltaiksysteme | Jlcoweg 1 | 3400 Burgdorf | Schweiz  
[bfh.ch/pvlab](http://bfh.ch/pvlab) | [david.joss@bfh.ch](mailto:david.joss@bfh.ch)