



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences



Netzdienliche Regelungsmethoden von Wechselrichtern

► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

Intro



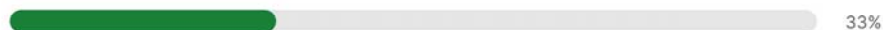
Wissen Sie, dass PV-Anlagen netzdienlich eingesetzt werden können?

Multiple Choice Poll ☒ 101 votes 101 participants

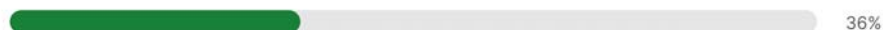
Ja, ich nutze die netzdienlichen Funktionen regelmässig - 32 votes



Ja, ich habe auch schon davon gehört - nutze die Funktionen jedoch nicht - 33 votes



Nein, das weiss ich nicht - 36 votes

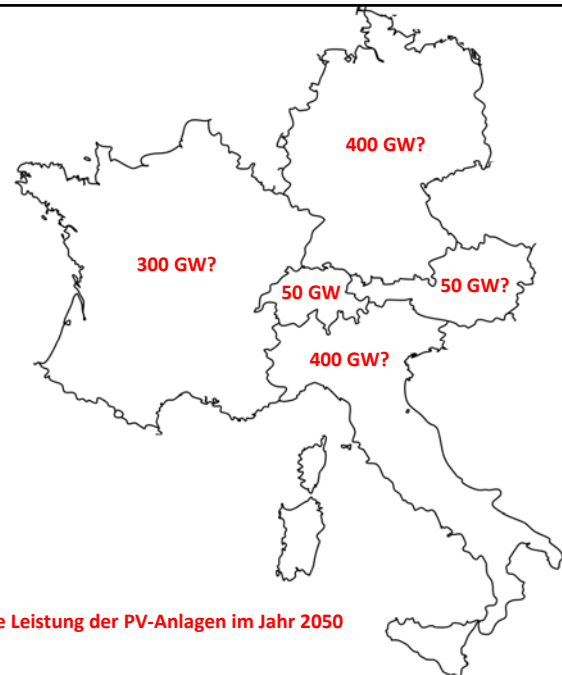


slido

► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

Solarstrom exportieren

- ▶ Wohin denn?
- ▶ Grenzüberschreitende Kapazitäten limitiert
- ▶ Gleichzeitigkeit CH und umliegende Länder hoch
- ▶ Energiepreise bei massivem Überangebot gegen 0 Rp./kWh
- ▶ ...



▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

5

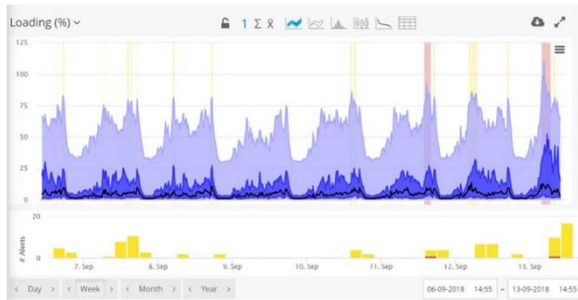
Dreisatz der Solarstrom-Integration («Eine üble Milchbüchleinrechnung»)

- ▶ Schweizer Netz: Gebaut für 10 GW
- ▶ Geplante Leistung der PV-Anlagen: 50 GW
- ▶ Pumpspeicherkraftwerke: ca. 3.5 GW
- ▶ Export von Solarstrom: nicht in grossem Umfang möglich
- ▶ Maximale Netzeinspeisung pro PV-Anlage: $10 \text{ GW} / 50 \text{ GW} = 20\%$
- ▶ Bei einer 10 kW-PV-Anlage könnten also nur 2 kW eingespeist werden. Und dafür reichen unsere Verteilnetze heute schon.
- ▶ → natürlich ist diese Rechnung so nicht wissenschaftlich korrekt. Sie plausibilisiert aber, dass es wenig sinnvoll ist, das Schweizer Verteilnetz auf 50 GW auszubauen.
- ▶ Um dennoch viel PV zubauen zu können, braucht es smarte Ansätze, insbesondere bei den Wechselrichtern.

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

6

Die aktuellen Herausforderungen mit PV-Anlagen im Netz



Netzüberlastung

Vereinfacht gesagt: Rückspeiseleistung zu hoch für Leitungen und/oder Transformator



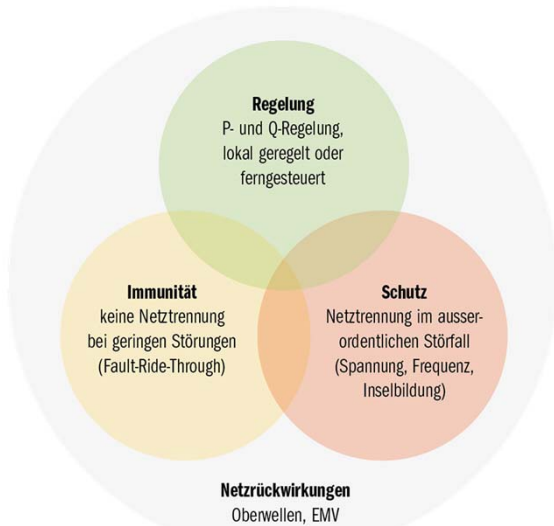
Spannungsqualitätsverletzung

Kurz: Spannung am Anschlusspunkt zu hoch

Netzdienliche Regelungsmethoden von Wechselrichtern

Eine Übersicht

3+1 relevante Funktionsbereiche für Wechselrichter am Netz



1. **Regelung:** Anlagen müssen auf Veränderungen im Netz oder auf Steuersignale reagieren.
2. **Immunität vor Störungen:** Anlagen dürfen sich bei gewissen Ereignissen nicht vom Netz trennen.
3. **Schutz:** Anlagen müssen sich bei gewissen Ereignissen vom Netz trennen.
4. **Netzzrückwirkungen:** Anlagen dürfen das Netz nicht negativ beeinflussen.

► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

9

Netzstützung durch den Wechselrichter seit 10 Jahren +



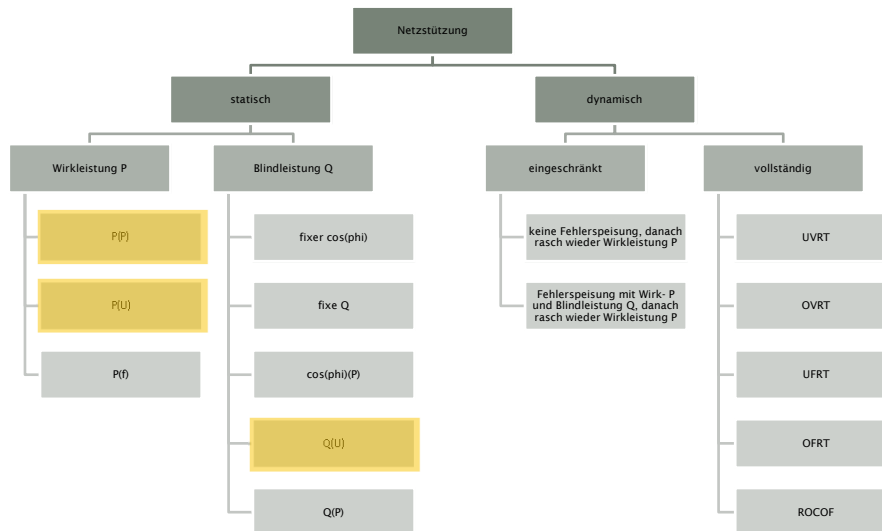
Quelle: Die Netzmanagement-Funktionen der SMA ... im Überblick | SMA Solar

- Netzstützende Funktionen sind bei einigen Herstellern seit über 10 Jahren bekannt und in den WR vorhanden.
- Vorerst bei grossen PV-Anlagen genutzt, thematischer Trend bis zur Privatkundenanlage kommend.

► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

10

Übersicht – Netzdienliche Funktionen



- ▶ Unterscheidung
 - ▶ Fehlerfreier Betrieb
 - ▶ Verhalten im Fehlerfall
- ▶ Wirkung auf
 - ▶ Netzbelastung
 - ▶ Spannungsqualität
 - ▶ Fehlerklärung

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

11

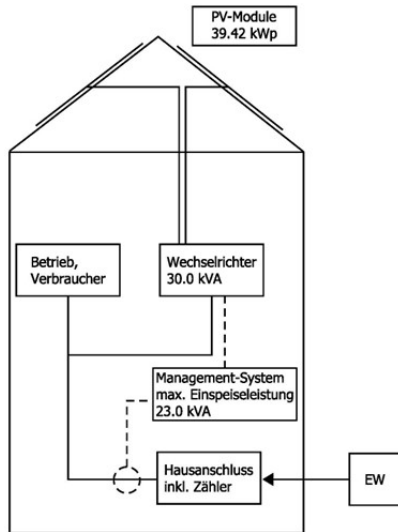
Dynamische Wirkleistungsregelung am Anschlusspunkt

Funktionsweise

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

12

Dynamische Wirkleistungsregelung



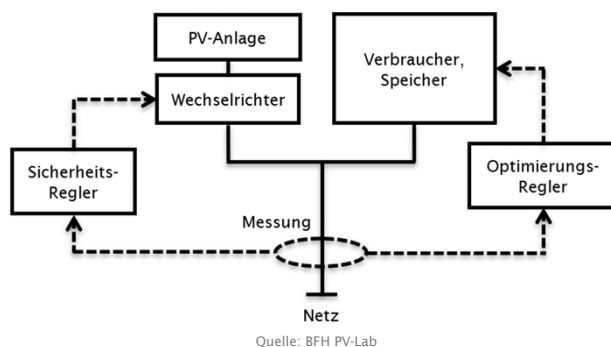
Quelle: Fabio Giddey, Swissolar

- ▶ Massgebliche Situation: Netzanschlusspunkt
- ▶ Rückspeisebegrenzung im Beispiel
 - ▶ $P_R = 58\% P_{DC, STC}$
- ▶ Einspeiseleistung ins Verteilnetz ist unabhängig von der internen Lastsituation
- ▶ Dient zur Vermeidung von Netzüberlastung und zur Spannungshaltung
- ▶ Zukunft: Schwelle kann dynamisch angepasst werden

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

13

Dynamische Wirkleistungsregelung



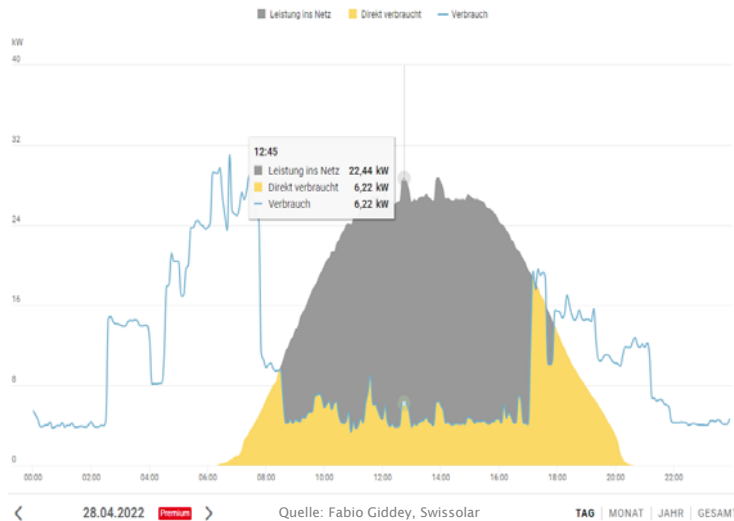
Quelle: BFH PV-Lab

- ▶ Optimierungsregler
 - ▶ Eigenverbrauch so optimieren, dass möglichst wenig abgeregelt werden muss.
- ▶ Sicherheitsregler
 - ▶ Gewährleistung erbringen, im Fehlerfall keine überhöhte Rückspeisung aufzuweisen.
 - ▶ Ausfall der Steuerung (Fallback)
 - ▶ Opt. 1: Null-Einspeisung
 - ▶ Opt. 2: Fallback-Leistung
- ▶ Notwendigkeit: Energiezähler
- ▶ Kenntnis über den Leistungsaustausch mit den Netz

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

14

Dynamische Wirkleistungsregelung

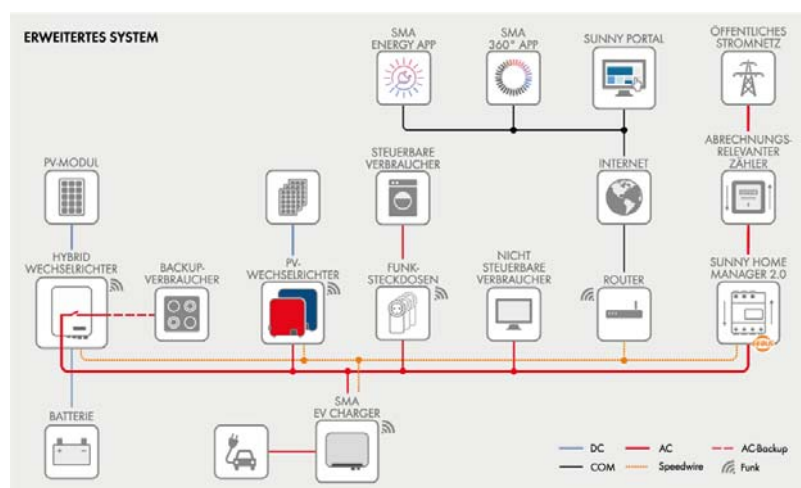


- ▶ Rückspeiseleistung wird auf konstantem Wert gehalten (bei Überschuss)
- ▶ Vorgegebene Grenze (Bsp: 23 kW) wird nicht überschritten
- ▶ Massive Erhöhung der Eigenverbrauchsquote gegenüber
 - ▶ statischer Wirkleistungsbegrenzung
- ▶ Wechselrichterunterdimensionierung

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

15

Dynamische Wirkleistungsregelung



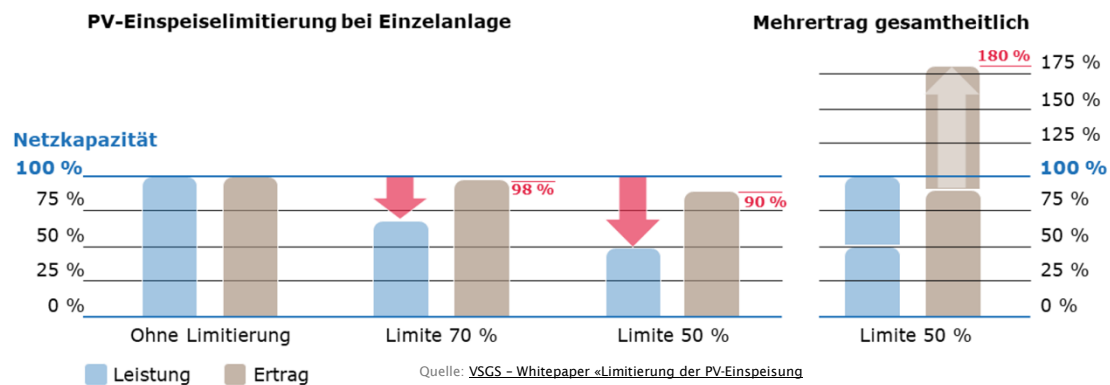
Home Manager
=
**Eigenverbrauchs-
optimierungslösung**
inkl.
Fehlerfallparametrierung

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

16

Beschleunigung des PV-Ausbaus dank dynamischer Wirkleistungsregelung

- Eine «dynamische Abregelung» ermöglicht es langfristig über alle Anlagen gesehen mehr PV-Energie ins Verteilnetz einspeisen zu können, ohne das Netz übermässig ausbauen zu müssen.



► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

17

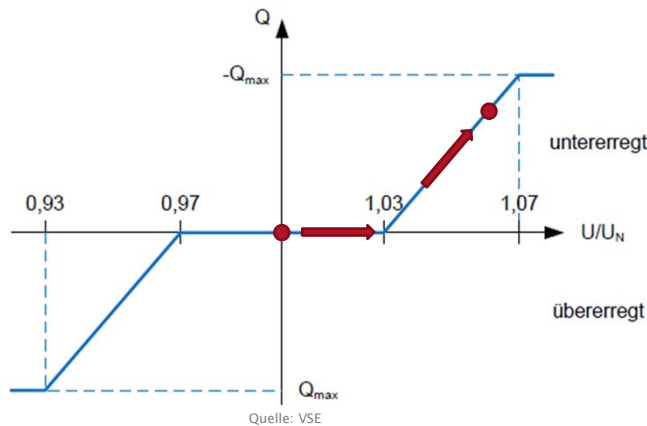
Spannungsabhängige Blindleistungsregelung Q(U)

Funktionsweise

► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

18

Spannungsabhängige Blindleistungsregelung Q(U)

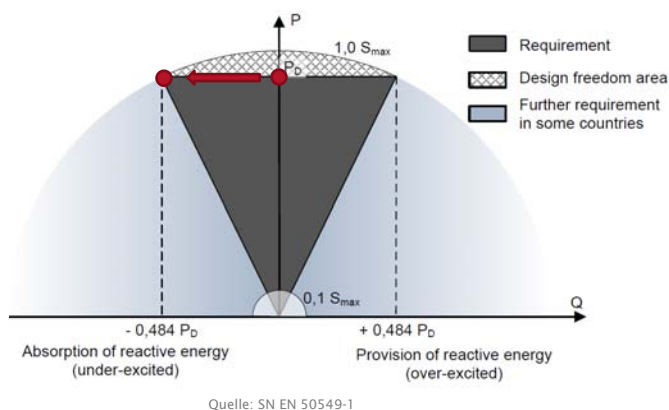


- ▶ Wechselrichter speist Blindleistung Q gemäss einer programmierten Kennlinie ins Netz ein oder bezieht diese
- ▶ Kennlinienverlauf parametrierbar und von VNB vorgegeben
- ▶ Regelung der Blindleistung Q in Abhängigkeit der Bezugsspannung
- ▶ Dezentral im PV-Wechselrichter
- ▶ Als Zeitkonstante für die Regelung werden meist 5-15s vorgegeben

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

19
Erzeugerpfilsystem

Spannungsabhängige Blindleistungsregelung Q(U)

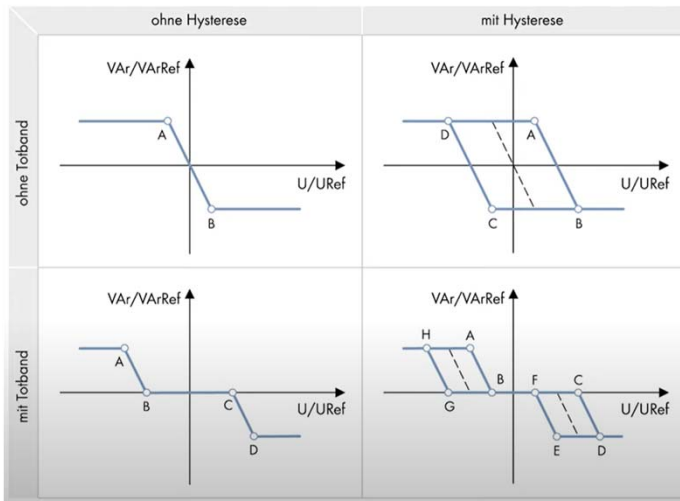


- ▶ Wechselrichter bezieht Blindleistung zur Senkung der Spannung
- ▶ Der WR kann wenn nötig die Scheinleistung erhöhen, um die Wirkleistungseinbusse zu kompensieren
- ▶ Grauer Bereich: Minimal Geforderter Arbeitsbereich für Wechselrichter gemäss SN EN 50549-1

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

20

Spannungsabhängige Blindleistungsregelung Q(U)



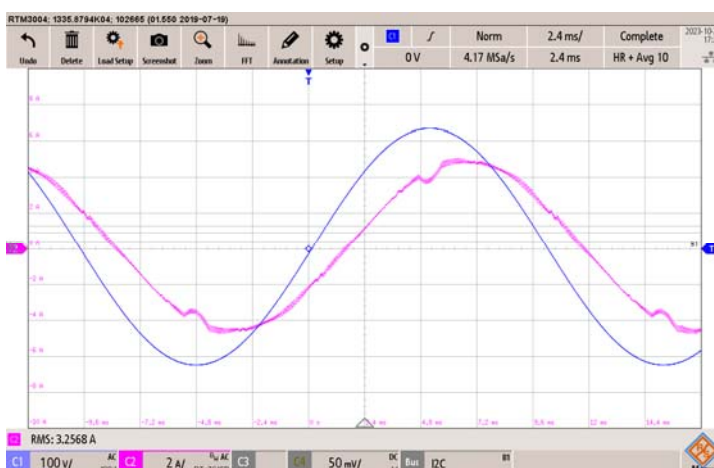
Quelle: SMA

► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

21

- Verschiedene Kennlinientypen möglich
 - Hysteresis
 - Totband
 - Anzahl Punkte
 - ...
- Regelung auch über Fernwirktechnik durch VNB veränderbar

Spannungsabhängige Blindleistungsregelung Q(U)



- PV-Wechselrichter verschiebt den Phasenwinkel des von ihm eingespeisten Stromes
- Für die Senkung der Spannung wird der Strom nachteilig (lagging) eingespeist.
- Induktives Verhalten
- Der Phasenwinkel wird bis zum eingestellten Maximum oder bis zur Ausregelung von Q verschoben

Erzeugerpeilsystem

► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

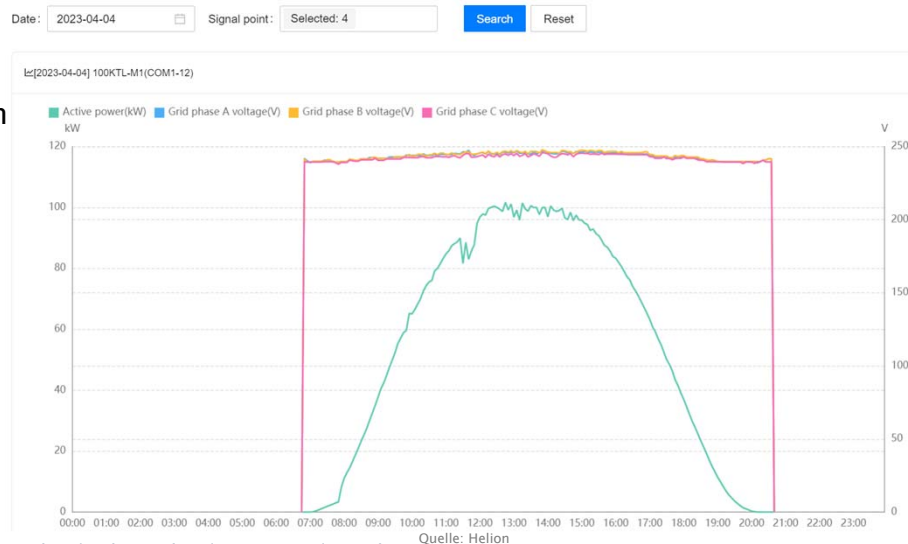
22

Spannungsabhängige Blindleistungsregelung Q(U)

- Reales Beispiel
- Spannung kann begrenzt werden
- Wirkleistung minim betroffen

Grün:

- Leistung
- Blau/Gelb/Rot:
- Spannung



- Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

23

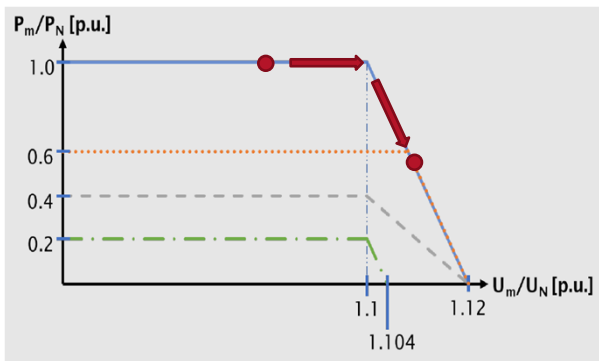
Spannungsabhängige Wirkleistungsregelung P(U)

Funktionsweise

- Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

24

Spannungsabhängige Wirkleistungsregelung P(U)

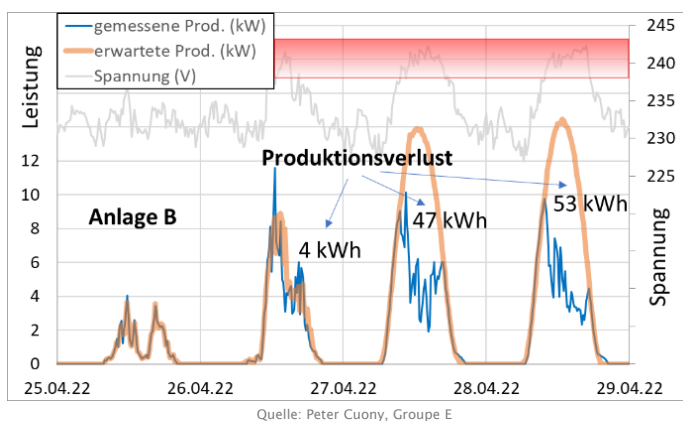


- ▶ Wechselrichter speist Wirkleistung P gemäss einer programmierten Kennlinie ins Netz ein
- ▶ Verschiedene Kennlinientypen wählbar
- ▶ Regelung in Abhängigkeit der Bezugsspannung
- ▶ Spannungsmessung im Wechselrichter (meistens) oder am Anschlusspunkt

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

25

Spannungsabhängige Wirkleistungsregelung P(U)

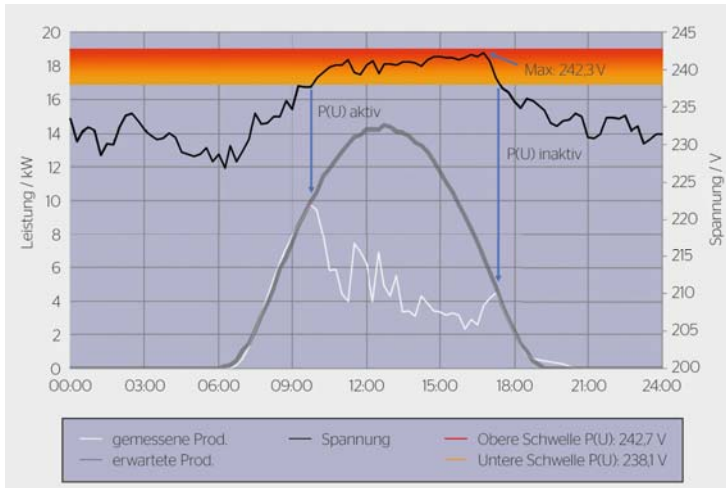


- ▶ $P(U)$ wird aktiv, wenn Spannung am Wechselrichter Schwellwert erreicht/übersteigt
- ▶ $P(U)$ wirkt nur, wenn nötig
- ▶ Netzsituation hat Einfluss auf Regelung
- ▶ $P(U)$ arbeitet völlig dezentral und autonom
- ▶ $P(U)$ wirkt für (fast) jeden Produzenten unterschiedlich
- ▶ Produktionsverlust kann nicht gemessen werden

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

26

Spannungsabhängige Wirkleistungsregelung P(U)



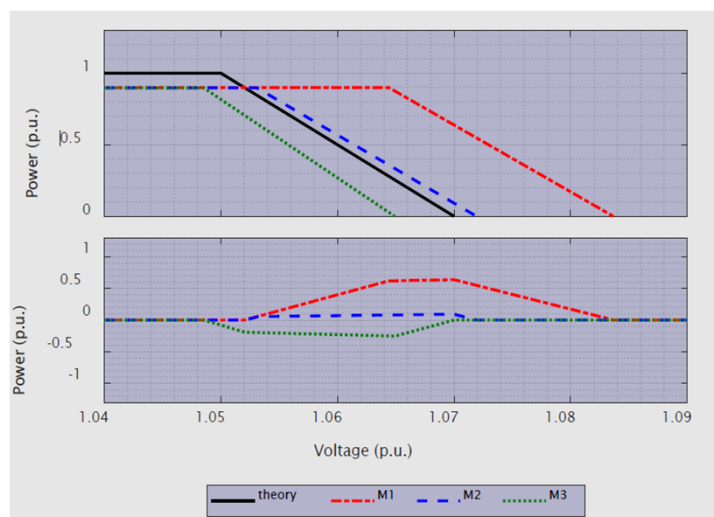
Quelle: bulletin.ch

► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

27

- Spannung bildet Lastsituation im Netz ab, worauf die Regelung reagiert
- Dezentrale, eigenständige Aktivierung/Deaktivierung gemäss Kennlinie
- Keine Spannungsbandsverletzung

Spannungsabhängige Wirkleistungsregelung P(U)



► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

28

- Projekt GODA
- Grid Optimization with Decentralized Actors
- Fazit
 - Unterschiedliches Verhalten in der Regelungsart
 - Nicht einheitliche Eingabemöglichkeiten
 - Keine Instabilitäten festgestellt
 - Feldtest erfolgreich
 - Ertragsverlust geschätzt mit Smart Meter Daten



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

Take-Away



Füüf Sätz zum Mitnäh

- ▶ PV-Wechselrichter eignen sich bereits **heute** bestens für **intelligente Netzstützungsmassnahmen**.
- ▶ Die wichtigsten **Funktionen** sind in **fast jedem Wechselrichter** schon **enthalten** und müssen nur korrekt parametrieret und aktiviert werden. *
- ▶ Das **Netz kann** beträchtlich **entlastet werden**, wenn es nicht die volle Nennleistung aufnehmen muss; hierfür **eignet sich** eine **dynamische Wirkleistungssteuerung** mit Fallbacksteuerung bestens.
- ▶ Zur **Spannungshaltung** kann vorwiegend **Q(U)**, **P(U)** oder eine **Kombination** von beiden eingesetzt werden; und auch ergänzend/parallel zur Netzverstärkung.
- ▶ Es ist **wichtig**, dass die **PV-Branche schon jetzt** die **netzdienlichen Funktionen** der Wechselrichter **kennt** und **anwenden kann**. In Zukunft werden diese Standard werden.

* ggf. sind weitere Geräte notwendig (z.B. Energiezähler, ...)

▶ Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

30

Eis Bild zum Mitnäh

Dynamische Wirkleistungsregelung

$Q(U)$

+ $P(U)$

+ Netzmassnahmen

► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss

31



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

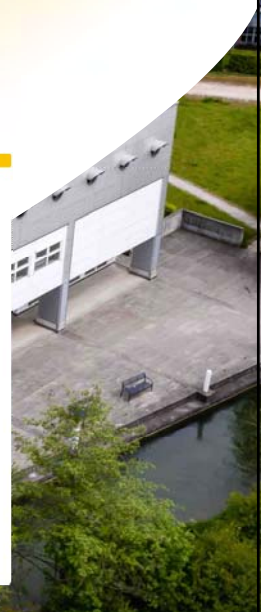
Visionen für das Netz von morgen



- Fachtagung Netzanschluss 2024
- 4. Juni 2024
- PV-Labor Burgdorf

(Titel und Datum provisorisch)

► Berner Fachhochschule, PV-Labor | Solar Update | 8.11.2023 | David Joss



Referentenkontakt



David Joss

Leiter Forschungsgruppe PV-Wechselrichter
Labor für Photovoltaiksysteme BFH-TI, Burgdorf

- ▶ Elektro-Installateur
- ▶ El. Ing. MSc in Engineering
- ▶ Eingeschr. Inst. Bewilligung Art. 14
- ▶ Mitglied CES TK 82
- ▶ Swissolar Solarprofi-Prüfexperte

Kontakt

+41 31 848 54 52 / +41 78 722 46 03

david.joss@bfh.ch

www.bfh.ch/de/david-joss

www.bfh.ch/pvlab