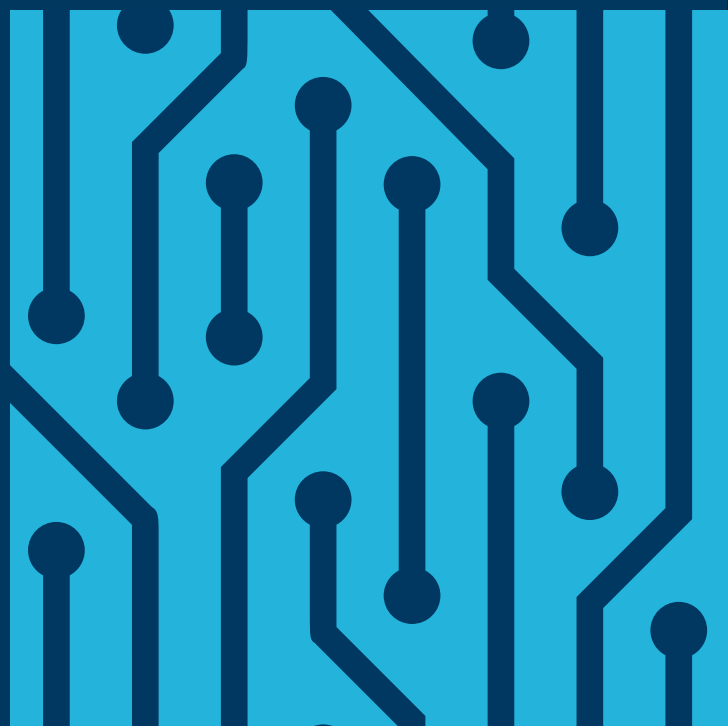


Application Note #24

PV-Module richtig messen, Kennlinien- aufnahme, MPP- Tracking und praktische Messtechnik



Sicherheitshinweise



Lesen Sie vor der Inbetriebnahme die Bedienungsanleitung Ihres Gerätes, insbesondere:

- Allgemeine Sicherheitshinweise
- Sicherheitshinweise zum Anschluss des Prüflings
- Hinweise zur maximal zulässigen Eingangsleistung
- Hinweise zur Verwendung von Sense-Leitungen

Stellen Sie sicher, dass Spannung, Strom und Leistung des PV-Moduls innerhalb der technischen Spezifikation der elektronischen Last liegen!

Elektronische Lasten von Höcherl & Hackl mit integrierter MPPT-Funktion ermöglichen die automatische Aufnahme von I-U-Kennlinien sowie das kontinuierliche Tracking des Maximum Power Points (MPP) von Photovoltaik-Modulen.

Typische Anwendungen sind:

- Charakterisierung von PV-Modulen
- Vergleich unterschiedlicher Modultypen
- Langzeitüberwachung von Solarmodulen
- Untersuchung von Verschattungseinflüssen
- Ermittlung des Energieertrags unter realen Betriebsbedingungen
- Entwicklung und Forschung im Bereich Photovoltaik

Die MPPT-Funktion kombiniert eine automatische Kennlinienaufnahme mit einer anschließenden Nachführung des Maximum Power Points und realisiert somit sowohl die Analyse als auch den effizienten Betrieb von PV-Modulen.

Verwendbare Geräteserien

Diese Application Note gilt für die Geräteserien HES, TRL, SCL, PMLA, PLA und PLI(B). Die Geräteserien ZS und PLI(A) unterstützen ebenfalls MPPT-Funktionen, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich Bedienung, SCPI-Schnittstelle und Softwareunterstützung. Daher sind die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren und Beispiele für diese Geräteserien nicht anwendbar.

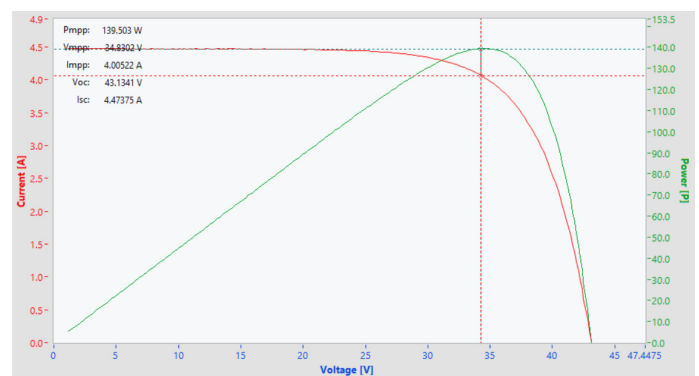
Grundlagen des Maximum Power Point Trackings

Die Strom-Spannungs-Kennlinie eines Photovoltaik-Moduls ist nicht linear.

Der Arbeitspunkt mit der höchsten Ausgangsleistung wird als Maximum Power Point (MPP) bezeichnet.

Wichtige Kenngrößen:

- V_{oc} – Leerlaufspannung
- I_{sc} – Kurzschlussstrom
- V_{mpp} – Spannung am MPP
- I_{mpp} – Strom am MPP
- P_{mpp} – Maximale Leistung



U/I- und U/P-Kennlinie am MPP



Funktionsweise der MPPT-Funktion

Die MPPT-Funktion besteht aus zwei Teilfunktionen:

1. Sweeping

Bei jedem Sweep wird die komplette I-U-Kennlinie des PV-Moduls aufgenommen.

Dabei werden:

- Spannung und Strom gemessen
- die Kennlinie erfasst
- der aktuelle MPP bestimmt

Folgende Parameter sind einstellbar:

- Sweep-Dauer
- Sweep-Periode
- Sweep-Richtung

Die Sweep-Richtung kann wahlweise von Voc nach 0 V oder von 0 V nach Voc erfolgen.

Die Daten des letzten Sweeps können über folgende SCPI-Abfrage ausgelesen werden:

FUNC:MPPT:SWE:DATA?

Als Antwort wird ein Array aus Spannung-Strom-Tupel ausgegeben:

<Volt_0>,<Curr_0>,<Volt_1>,<Curr_1>...<Volt_n>,<Curr_n>

2. Tracking

Nach Abschluss des Sweeps wechselt die Funktion automatisch in den Tracking-Modus.

Die elektronische Last regelt dabei kontinuierlich auf den zuvor ermittelten Maximum Power Point und entnimmt dem PV-Modul die maximal verfügbare Leistung.

Aktuelle MPP-Daten können über folgenden Befehl abgefragt werden:

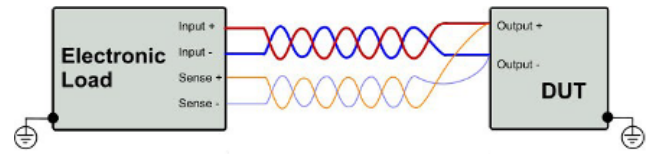
FUNC:MPPT:MPP?

Ausgegeben werden:

- Vmpp
- Impp
- Pmpp

Anschluss des PV-Moduls

Für präzise Messergebnisse sollten grundsätzlich die Sense-Anschlüsse verwendet werden.



Anschlusschema der elektronischen Last mit dem Prüfling

Empfehlungen:

- Lastleitungen ausreichend dimensionieren
- Sense-Leitungen direkt am PV-Modul anschließen
- Last- und Sense-Leitungen getrennt verlegen
- Leitungen möglichst kurzhalten
- Leitungen verdrillen

Einfluss von Leitungsverlusten

Bei größeren Leitungslängen können erhebliche Spannungsabfälle zwischen PV-Modul und elektronischer Last auftreten.

Beispiel:

- Modulspannung: 40 V
- Laststrom: 15 A
- Leitungslänge: 90 m
- Leitungsquerschnitt: 4 mm²

Der resultierende Spannungsabfall beträgt etwa 12 V.

Dies entspricht rund 30 % der erzeugten Modulspannung.

Ohne Sense-Leitungen würde die komplette Kennlinie verfälscht dargestellt werden.

Besonderheit bei Verwendung von Sense-Leitungen

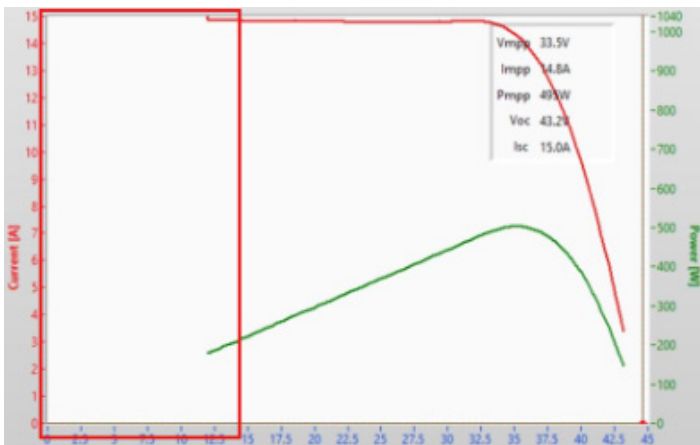
Über die Sense-Anschlüsse wird die Spannung direkt am Modul gemessen, sodass Spannungsabfälle auf den Leitungen die Spannungsmessung nicht verfälschen.

Dabei ist jedoch ein wichtiger physikalischer Zusammenhang zu beachten:



Die Spannung wird zwar direkt am PV-Modul gemessen, der Strom I_{mpp} fließt jedoch weiterhin über die Lastleitungen zur elektronischen Last.

Dadurch steht am Eingang „Input +/-“ der Last nur die um den Spannungsabfall reduzierte Spannung zur Verfügung. Mit zunehmendem Laststrom steigt auch der Spannungsabfall auf den Leitungen. Im Bereich hoher Ströme kann die Eingangsspannung der elektronischen Last dadurch so weit absinken, dass kein weiterer Stromfluss mehr möglich ist. Die Folge ist eine sichtbare Lücke zwischen 0 V und dem Beginn der aufgenommenen I-V-Kennlinie.



U/I- und U/P-Kennlinie am MPP

Wichtig:

Diese Lücke stellt keinen Messfehler dar.

Die gemessenen Spannungs- und Stromwerte der Kennlinie sind korrekt. Die Lücke entspricht ausschließlich dem Spannungsabfall auf den Lastleitungen.

Die Größe dieser Lücke wird beeinflusst durch:

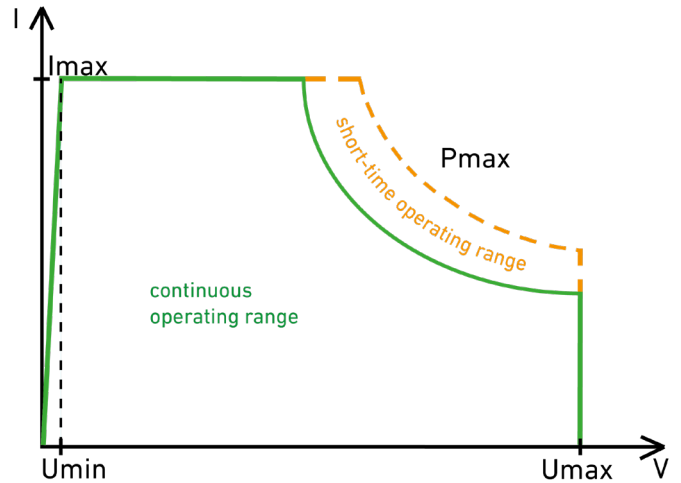
- Leitungslänge
- Leitungsquerschnitt
- Übergangswiderstände
- Laststrom

Zur Verringerung dieses Effekts empfehlen wir:

- größere Leitungsquerschnitte
- kürzere Leitungen
- hochwertige Steckverbindungen
- niederohmige Kontaktstellen

Messung des Kurzschlussstroms I_{sc}

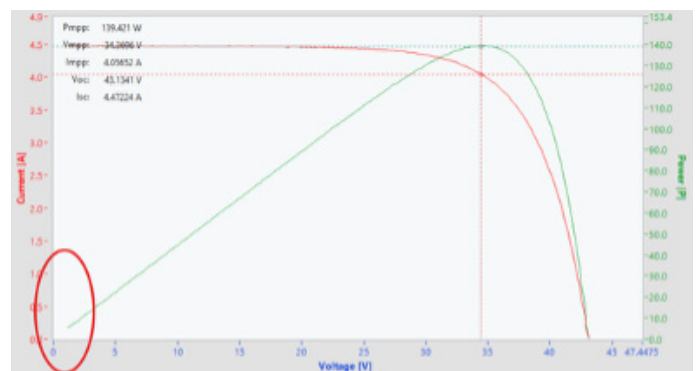
Elektronische Lasten benötigen eine minimale Eingangsspannung (U_{min} ; typisch zwischen 1 und 2 V; s. technische Daten), um den vollen Strom aufnehmen zu können.



Betriebsbereiche im I-U-Diagramm

Daher kann der tatsächliche Kurzschlussstrom I_{sc} bei 0 V nicht direkt gemessen werden.

Unterhalb der Mindestbetriebsspannung entsteht ein nicht messbarer Bereich der Kennlinie.



U/I- und U/P-Kennlinie am MPP

Für Messungen bis 0 V stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Geräte mit integrierter Zero-Volt-Einheit (z.B. HESxxxZV)
- Externe Hilfsspannungsversorgung gemäß Bedienungsanleitung

Nur mit einer dieser Lösungen kann der Laststrom bis zum tatsächlichen Kurzschlussstrom aufrechterhalten werden



Stabilität des Systems

Unter bestimmten Bedingungen kann das Gesamtsystem aus PV-Modul und elektronischer Last zu Schwingungen neigen.

Typische Ursachen:

- Lange Lastleitungen
- Hohe Leitungsinduktivitäten
- Niedrige Einstrahlung
- Schnell reagierende Regelkreise

Mögliche Abhilfemaßnahmen:

- Regelgeschwindigkeit reduzieren (z.B. mit SCPI Befehl FUNC:SPE SLOW)
- Externes RC-Dämpfungsglied verwenden
- Leitungen verkürzen
- Passenden Messbereich wählen (nur bei Mehrbereichsgeräten z.B. PLIxxx**MR** oder HESxxx**MR**)

Bei Fragen zur Dimensionierung eines RC-Glieds wenden

Sie sich bitte an den H&H Support.

support@hoecherl-hackl.com

Auswahl des passenden Messbereichs

Nur bei Mehrbereichsgeräten (z.B. HESxxx**MR** oder PLIxxx-**MR**) anwendbar.

Mehrbereichsgeräte wie die Serien HESxxx**MR** oder PLIxxx-**MR** verfügen über mehrere echte Strom- und Leistungsbereiche. Dadurch kann die elektronische Last optimal an die aktuelle Leistung des PV-Moduls angepasst werden. Insbesondere bei PV-Anwendungen variiert der Modulstrom abhängig von der Einstrahlung häufig über einen großen Bereich. Während in den Morgenstunden nur geringe Ströme fließen, kann zur Mittagszeit die volle Modulleistung erreicht werden.

Durch die Auswahl eines möglichst kleinen, aber ausreichend großen Strombereichs wird die verfügbare Messauflösung optimal genutzt. Dies verbessert sowohl die Genauigkeit der Kennlinienaufnahme als auch die Präzision des MPP-Trackings.

Ein zu groß gewählter Strombereich kann bei geringer

Einstrahlung zudem zu einer schlechteren Regelstabilität führen. In diesem Fall arbeitet die elektronische Last nur in einem kleinen Teil ihres verfügbaren Mess- und Regelbereichs, wodurch Schwingungen oder ein unruhiges Tracking begünstigt werden.

Steigt die Einstrahlung im Tagesverlauf an, sollte man schrittweise in höhere Strombereiche wechseln. Dadurch wird sichergestellt, dass die Messung über den gesamten Leistungsbereich des PV-Moduls mit höchstmöglicher Genauigkeit und Stabilität erfolgt.

Empfehlung:

Wählen Sie stets den kleinsten Strombereich, der den zu erwartenden Modulstrom sicher abdeckt.

Lokale Bedienung (Beispiel HES Serie)

Beispiel HES-Serie:

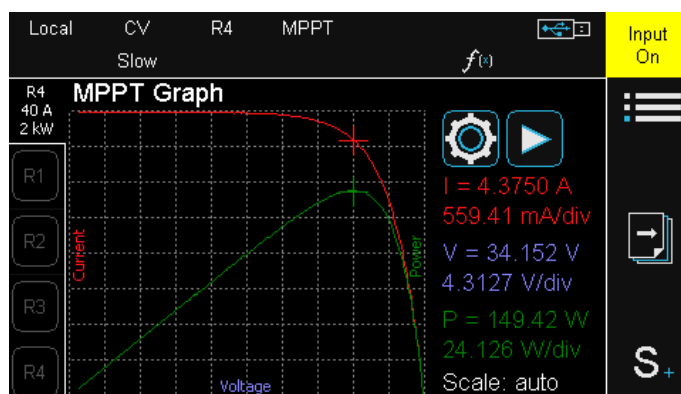
Main Menu – Settings – Function – MPPT

Parameter einstellen:

- Sweep-Zeit
- Sweep-Periode
- Sweep-Richtung

Tracking starten oder pausieren:

INPUT-Taste

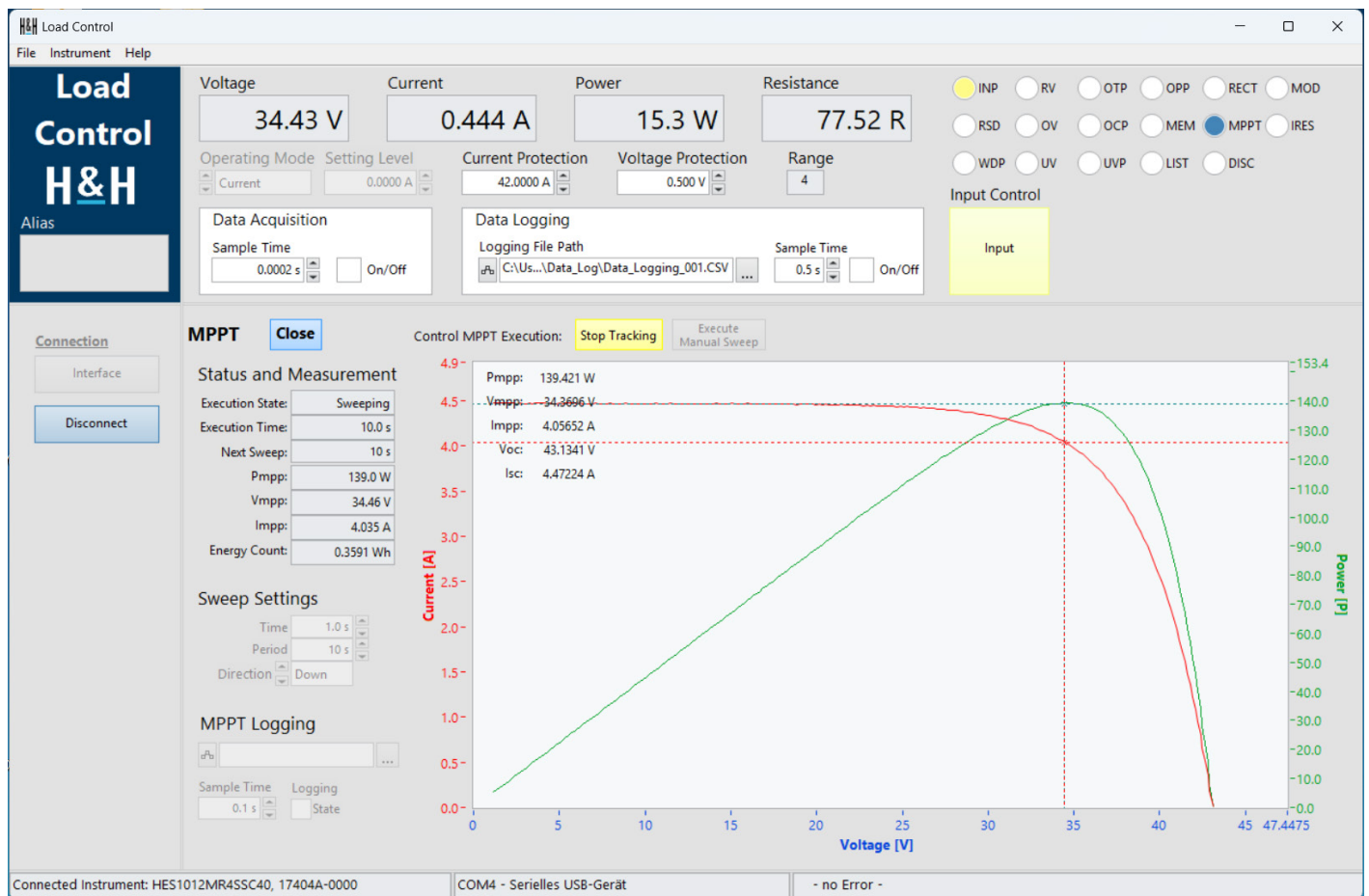


U/I- und U/P-Kennlinie am user interface



Bedienung über H&H Load Control

1. Verbindung zur elektronischen Last herstellen
2. MPPT-Einstellungen im Menü öffnen
3. Sweep-Zeit einstellen
4. Sweep-Periode einstellen
5. Sweep-Richtung wählen
6. Optional Logging aktivieren
7. Tracking starten



Load Control Benutzeroberfläche



Bedienung über SCPI

*RST	Führt einen Reset der elektronischen Last durch
RANG 4, 1	Umschaltung in Bereich 4 (nur bei Mehrbereichs-Geräten MR)
CURR:PROT MAX	Strombegrenzung wird auf Maximum gesetzt (Bei Standardgeräten ohne MR nicht notwendig)
FUNC:MPPT:SWE:TIME 3	Setzt die Sweep-Dauer auf 3 Sekunden
FUNC:MPPT:SWE:PER 60	Setzt die Sweep-Periode auf 60 Sekunden
FUNC:MPPT:SWE:DIR DOWN	Setzt die Sweep-Richtung von Voc in Richtung 0V
FUNC:MPPT 1	Aktiviert die MPP Tracking-Funktion
INP 1	Aktiviert den Lasteingang
FUNC:MPPT:SWE	Löst einen sofortigen Sweep aus, sofern nicht bereits ein Sweep läuft
FUNC:MPPT:MPP?	Fragt den zuletzt gefundenen MPP ab und gibt Vmpp, Impp und Pmpp aus
FUNC:MPPT:ENER?	Fragt die kumulierte Energie in Wh ab
INP 0	Deaktiviert den Lasteingang und pausiert somit die Funktion

Auslesen der Messdaten

Anzahl der Messpunkte:

FUNC:MPPT:DATA:POINTS?

Messdaten des letzten Sweeps:

FUNC:MPPT:SWE:DATA?

Die Daten können verwendet werden zur Erstellung von:

- I-U-Kennlinien
- P-U-Kennlinien
- Wirkungsgradanalysen
- Langzeitaufzeichnungen

