

Plug & Play-Kennlinienmessgerät für Photovoltaik-Module

23. Schweizer Photovoltaik-Tagung, 1./2. April 2025, Bern

Christof Bucher, Adrian Jäggi, Labor für Photovoltaiksysteme, Berner Fachhochschule, Burgdorf, christof.bucher@bfh.ch

Ein neu entwickeltes Kennlinienmessgerät für Photovoltaik-Module ermöglicht neuartige Messungen. Es kann im laufenden Betrieb kurzzeitig Photovoltaik-Module vom Wechselrichter trennen und die Strom-Spannungs-Kennlinie inklusive Bypass-Dioden ausmessen. Es ist klein, leicht und durch die drahtlose Kommunikation universell einsetzbar. Das Kennlinienmessgerät, auch IV-Curve-Tracer oder kurz IVCT genannt, verfügt zudem über zahlreiche Anschlüsse für verschiedene externe Sensoren, die zum Beispiel die Modultemperatur oder die Einstrahlung messen können. Mehrere Kennlinienmessgeräte können in einem Messnetzwerk mit zeitlicher Synchronisation und zentraler Datenverarbeitung eingesetzt werden.

Konzept

Der IVCT ist dafür ausgelegt, Photovoltaik-Module (PV-Module) im laufenden Betrieb regelmässig automatisch auszumessen. Es misst dabei die Kennlinie von Leerlauf bis Kurzschluss, auf Wunsch inklusive Bypass-Diode. Der IVCT zeichnet zusätzlich die Modul- und die Umgebungstemperatur, die Einstrahlung und weitere Parameter von externen Sensoren auf. Es können mehrere IVCTs in einem Messnetzwerk betrieben werden, welches durch einen zentralen Host gesteuert wird. Dieser verarbeitet und speichert zudem alle Messdaten. Die Benutzeroberfläche besteht aus einer Webseite, welche über ein beliebiges Endgerät abgerufen werden kann.

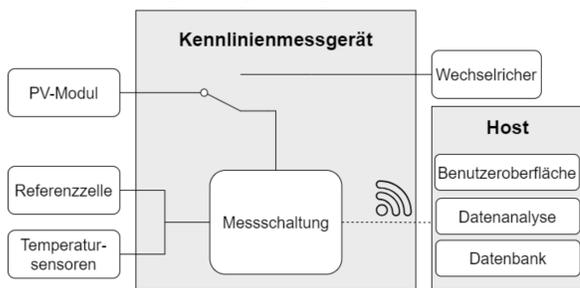


Abbildung 1: Konzept des Kennlinienmessgeräts

Messgrößen

Der IVCT kann folgende Messgrößen aufzeichnen:

- Strom-Spannungs-Kennlinie (IV-Kurve) und Leistung-Spannungs-Kennlinie (PV-Kurve)
- Strom und Spannungswerte während dem Betrieb
- Einstrahlung durch Referenzzelle
- Modul- und Umgebungstemperatur
- Einstrahlung durch externes Pyranometer via Modbus
- Wetterdaten durch externe Wetterstation via Modbus



Abbildung 2: Das in dieser Arbeit entwickelte Kennlinienmessgerät IVCT.

Auswertung und Datenexport

In der Benutzeroberfläche wird direkt nach der Messung die IV-Kurve mit verschiedenen charakteristischen Parametern ausgegeben. Zudem werden Strom, Spannung und Leistung im Punkt der maximalen Leistung (MPP), Kurzschlussstrom, Leerlaufspannung, Temperaturen und Einstrahlungswerte angezeigt. Alle Messdaten werden in einer Datenbank gespeichert, welche als CSV-Datei für weitere Untersuchungen exportiert werden kann.

Messungen

Abbildung 3 zeigt eine exemplarische Messung eines TOPCon-Moduls (Jinko Tiger) im Sonnensimulator. Zwei unterschiedliche Messzeitdauern zeigen bei zu schneller Messung ein Über- und Unterschwingen der Kennlinie bei dem kapazitiven Modul. Dank der individuell einstellbaren Messzeitdauer und Stützpunktverteilung können mit dem neuen IVCT Kennlinienmessungen individuell auf das zu messende PV-Modul angepasst werden.

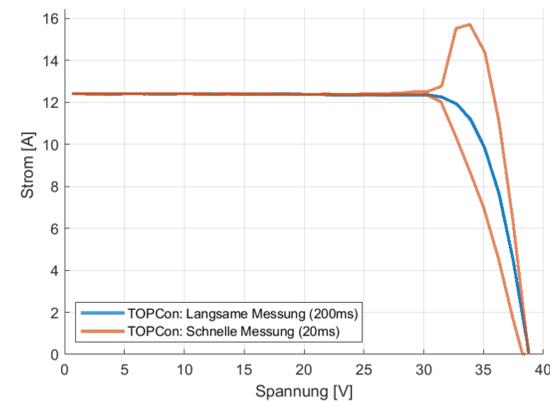


Abbildung 3: Gemessene IV-Kurve eines TOPCon-Moduls. Zu schnelle Messung (orange), langsamere, korrekte Messung (blau)

Validierung

Die Messgenauigkeit des IVCTs ist in definiertem Umfeld im Labor validiert. Die Temperaturabhängigkeit der Messgrößen wird durch Tests in einer Klimakammer bestimmt. Die Resultate der Validierung sind in Tabelle 1 dargestellt. Der IVCT ist durch Tests für die Anwendungen in einer Installation aus mehreren PV-Modulen und einem Wechselrichter sowie für verschiedene Modultechnologien geprüft. Mehrere IVCTs in einem Messnetzwerk können zeitsynchron messen, so dass der produktive Betrieb nicht gestört wird.

Tabelle 1: Messgenauigkeit und Temperaturabhängigkeit des IVCTs

Messgröße	Messgenauigkeit absolut	Messgenauigkeit relativ	Temperaturabhängigkeit
Spannung	+/- 400 mV	+/- 0.4 %	- 0.02 % / K
Strom	+/- 90 mA	+/- 0.6 %	+ 0.02 % / K

Benutzeroberfläche

Der IVCT wird über den Webbrowser eines beliebigen Endgeräts bedient. In der Benutzeroberfläche, die in Abbildung 4 dargestellt ist, können die Richtung und Zeitdauer der Kennlinienmessung eingestellt, die Messung der Bypass-Dioden aktiviert und weitere Konfigurationen vorgenommen werden. Weiter können Messungen gestartet und die Messdatenbank exportiert werden. Messungen von Kennlinien können einzeln oder automatisiert in regelmässigen Abständen vorgenommen werden. Der IVCT kann über die Benutzeroberfläche kalibriert und aktualisiert werden.

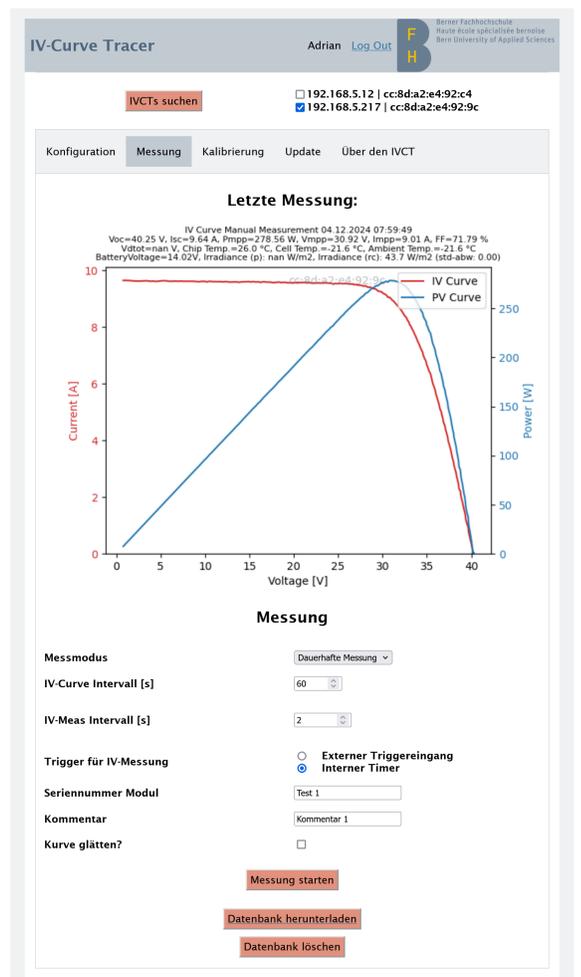


Abbildung 4: Benutzeroberfläche des IVCTs im Webbrowser

Referenzen

- [1] M. Müller, IV-Curve-Tracer, Bachelorarbeit, BFH, 2021
- [2] J. Keta, D. Villiger, Firmware und Bedienungsoftware für ein Photovoltaik-Kennlinienmessgerät, Bachelorarbeit, BFH, 2023