

LASTMANAGEMENT VON PV-ANLAGEN IM EINFAMILIENHAUS

Christof SUMEREDER, Dieter PREIß

FH Joanneum – University of Applied Sciences, Institut Energie-, Verkehrs- und Umweltmanagement, Werk-VI-Straße 46, 8605 Kapfenberg, AUSTRIA, 0316/5453-6359, christof.sumereder@fh-joaanneum.at, <https://www.fh-joaanneum.at/>

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Referat für Energietechnik und Klimaschutz, Landhausgasse 7, 8010 Graz, AUSTRIA, 0316/877-4351
dieter.preiss@stmk.gv.at, www.ich-tus.at

Kurzfassung: Betrachtet man gängige Energiekonzepte bei Einfamilienhäusern (EFH), so ist eine energieautarke und CO₂-neutrale Energieversorgung zwischen Frühling und Herbst aufgrund der günstigen Klimabedingungen in diesen Jahreszeiten in weiten Bereichen möglich. Als Stand der Technik kann der Energielevel von Niedrigenergiehäusern mit 36 kWh/m² Bruttogeschoßfläche angenommen werden, was auch den Anforderungen der Wohnbauförderung in den meisten Bundesländern entspricht. Zur Energieversorgung werden sehr verbreitet Wärmepumpen in Kombination mit regenerativen Energieformen wie Solarthermie oder Photovoltaik eingesetzt.

Photovoltaikanlagen wurden in Einfamilienhäusern bisher hauptsächlich für die Eigennutzung der elektrischen Energie und Einspeisung des Überschussstromes in das öffentliche Stromnetz eingesetzt. Bedingt durch die aktuelle Situation der Förderungen werden Neuanlagen hauptsächlich bis zu einer Größe von maximal 5 kWp gebaut, wobei ab einer installierten Leistung von 3 kWp zur Erlangung einer Förderung die Installation eines Lastmanagementsystems (LMS) zwingend erforderlich ist. Die Zweckmäßigkeit dieser Systeme sollte sich durch einen hohen PV-Eigenstromverbrauch in Verbindung mit einer intelligenten Regelung der vorhandenen Verbraucher im Haushalt ergeben.

Einige dieser Systeme interagieren in Abhängigkeit der PV-Stromerzeugung mit dem Heizsystem andere haben sich auf das Zu- und Wegschalten von mehreren Verbrauchern spezialisiert. In diesem Projekt wurden unterschiedliche Lastmanagementsysteme im Laborversuch getestet und mit verschiedenen leistungsstarken Verbrauchern gekoppelt. Aufgrund der steigenden Beliebtheit von Elektrofahrzeugen wurde auch das Ladeverhalten gängiger Elektroautos messtechnisch erfasst und die Einbindung in das PV-System untersucht.

Keywords: Einfamilienhaus, Lastmanagement, Energieeffizienz, Photovoltaik, Eigenstromverbrauch, Elektromobilität, Ladenverhalten

1 Ausgangssituation

Im Rahmen dieses Projekts wurden praxisrelevante Systeme im Labormaßstab messtechnisch analysiert. Dazu wurden unterschiedliche Kombinationen aus PV-Einspeisung, Lastmanagementsystem, Verbraucher und Speicher aufgebaut und unter verschiedenen Einspeise- und Verbrauchsszenarien gemessen. Für die Einspeisung wurde einerseits die hauseigenen PV-Forschungsanlage (Leistung 2,5kWp) herangezogen, andererseits konnten auch typische Einspeiseprofile (sonniger/wolkiger Sommer-/Wintertag) simuliert werden. Als Verbraucher wurden gängige Verbraucher (Elektrogeräte wie Geschirrspüler, Waschmaschine, Heizlüfter, Boiler udgl.) eingesetzt. Für zukünftige Anforderungen wurde auch das Ladeverhalten von Elektrofahrzeugen untersucht.

2 Versuchsaufbau

Die bestehende PV-Anlage der FH Joanneum Kapfenberg wurde für die geplanten Messungen mit einem neuen Wechselrichter adaptiert und um unterschiedliche On-Line Messsysteme erweitert. Dadurch war es möglich sowohl die PV-Strom-Einspeisung als auch den Verbrauch zu erfassen, sowohl die Leistung als auch die Arbeit konnte aufgezeichnet werden. Der Versuchsaufbau war softwaremäßig regelbar und die Messsysteme konnten über die IT ausgelesen werden. Über ein gesamtes Jahr konnten Einspeise- und Verbraucherwerte protokolliert und unterschiedliche Verbraucher gesteuert werden.

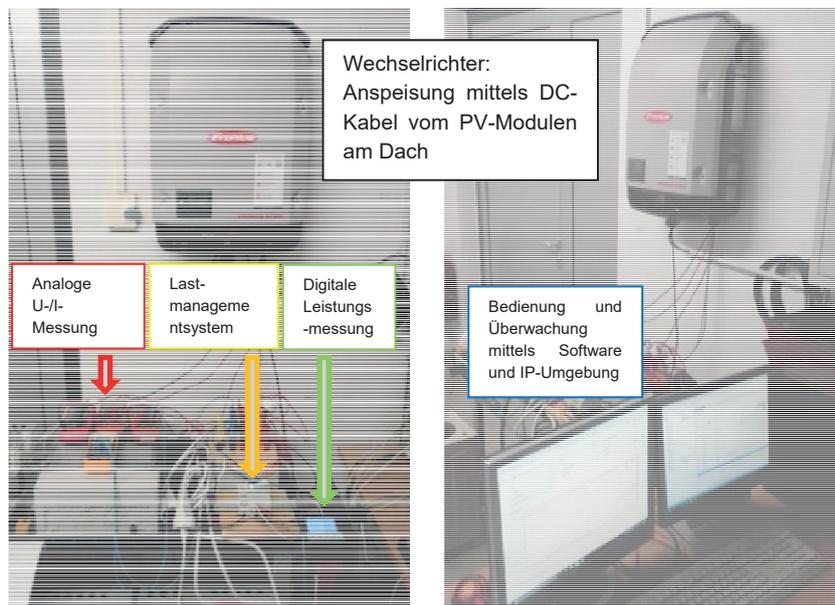


Abbildung 1: Aufbau im Labor: links: Wechselrichter, analoge Strom-/Spannungsmessung mittels Multimeter, digitale Leistungsmessung mittels SIEMENS PAC4200 System und Lastmanagementsystem LUPUS, rechts: Überwachung und Bedienung des Prüfstands mittels Software über IP

Zur Steigerung des Eigenverbrauchs von PV-Strom wurde neben der Förderung für die Errichtung von PV-Anlagen vom Land Steiermark auch eine Förderung für die Installation von Lastmanagementsystemen vergeben. Es wurden daher einige der geförderten Systeme aber auch neue Systeme in den Versuchsaufbau installiert und eingehend untersucht.

In der Abbildung 2 ist der charakteristische Verlauf eines sehr sonnigen Tages (Volleinspeisung – grüne Kennlinie) und das Funktionsprinzip eines LMS zu sehen. Über die Mittagszeit erfolgte die automatische Zuschaltung einer Last (rote Kennlinie) durch das LMS, wodurch der gesamte PV-Strom selbst verbraucht wurde.

Graph

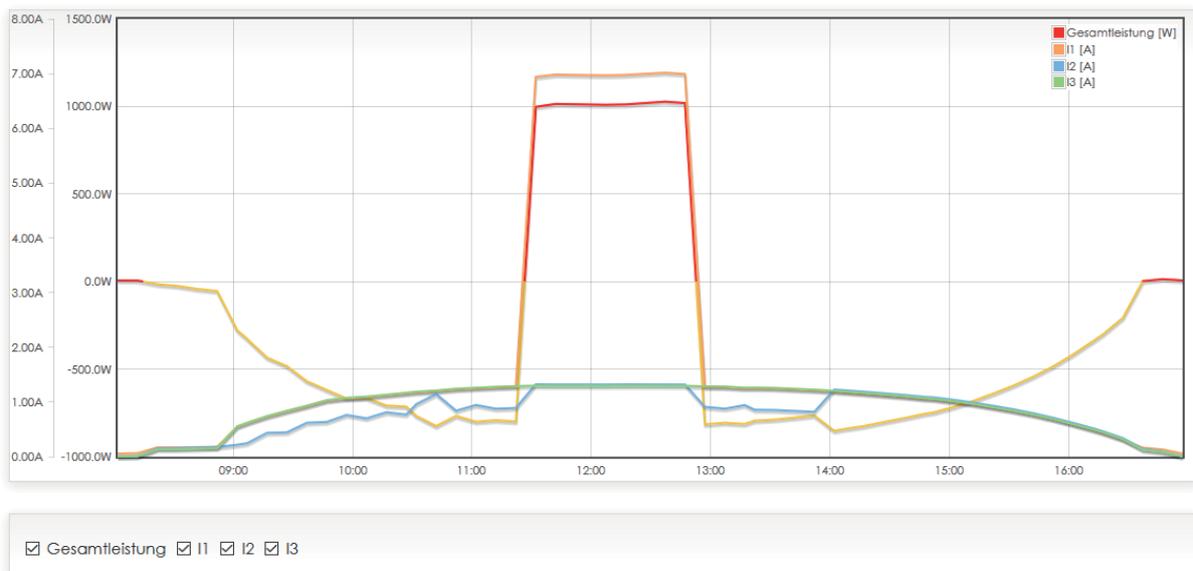


Abbildung 2: Charakteristisches Lastprofil für einen Tag mit Ganztagssonne

3 Eigenverbrauchserhöhung mittels LMS

3.1 Technologieüberblick

Für die Energieoptimierung des Gesamtsystems stellt die Regelung eine immense Bedeutung dar. Bei Vorhandensein einer hohen PV Stromproduktion soll der Strom im eigenen Netz so gut wie möglich sofort verbraucht werden. Am besten eignen sich daher Verbraucher mit hoher Anschlussleistung, die nach Bedarf zugeschaltet werden können, ohne das Nutzerverhalten zu beeinflussen. Die Anzahl der zuschaltbaren Verbraucher wirkt sich immer nur in Zusammenhang mit der Anschlussleistung und Betriebsdauer der jeweiligen Geräte auf den Eigenverbrauch aus.

Für die Eigenverbrauchserhöhung am besten geeignet sind daher Geräte mit der Fähigkeit Energie zu speichern oder dann zu betreiben, wenn PV-Strom produziert wird. Sämtliche wärme- und warmwasserproduzierenden Geräte, Klimaanlage, Wäschetrockner, Poolpumpen sowie Ladesäulen für E-Autos sind daher ideale Verbraucher. Mäßig geeignet sind Waschmaschinen, Geschirrspüler, Haarfön, Wasserkocher, Kaffeemaschinen, da diese zwar eine mittlere bis hohe Anschlussleistung haben aber deren Gebrauchszeitpunkt sehr von den Nutzergewohnheiten abhängt oder die weisen einen geringen Energieverbrauch je Tag

bzw. Nutzung auf. Wenig oder ungeeignet sind Geräte mit einer niedrigen Anschlussleistung oder keiner sinnhaften Möglichkeit keiner Abschaltung, wie Beleuchtungskörper, Consumer Elektronik, Handy, Kühlschränke und Gefriertruhen.

Einige Geräte sind bereits mit einer Smart Grid Funktion ausgestattet, die mit dem Stromnetz in Kommunikation treten und über eine Schnittstelle automatisch zu-/weggeschaltet werden können. So gibt es beispielsweise Warmwasserboiler, die sich abhängig vom produzierten PV-Strom leistungsgeregelt dazu schalten. Das Steuersignal kommt entweder vom Wechselrichter direkt oder vom Lastmanagementsystem.

Der Energieverbrauch von elektrischen Haushaltsgeräten wurde in diversen anderen Arbeiten eingehend untersucht und dokumentiert, daher wurde darauf nicht eingegangen.

Ergänzend wurde das energetische Verhalten von Ladesäulen von Elektrofahrzeugen hinsichtlich der Eignung für ein LMS in einem eigenen Versuchsaufbau messtechnisch untersucht und ausgewertet.

3.2 Vorausschauende Technologien

Als besonders zu erwähnen gilt eine Technologie basierend auf der lokalen Wetterprognose eines LMS Herstellers. Dieses LMS besitzt die Fähigkeit aufgrund der Wettervorhersage für die nächsten Stunden den Gesamthaushalt zu optimieren. Ist ein Wettersturz prognostiziert, so werden vorsorglich die Speicher (thermisch und/oder elektrisch) gefüllt, um den bevorstehenden Netzbezug auf ein Minimum zu begrenzen.

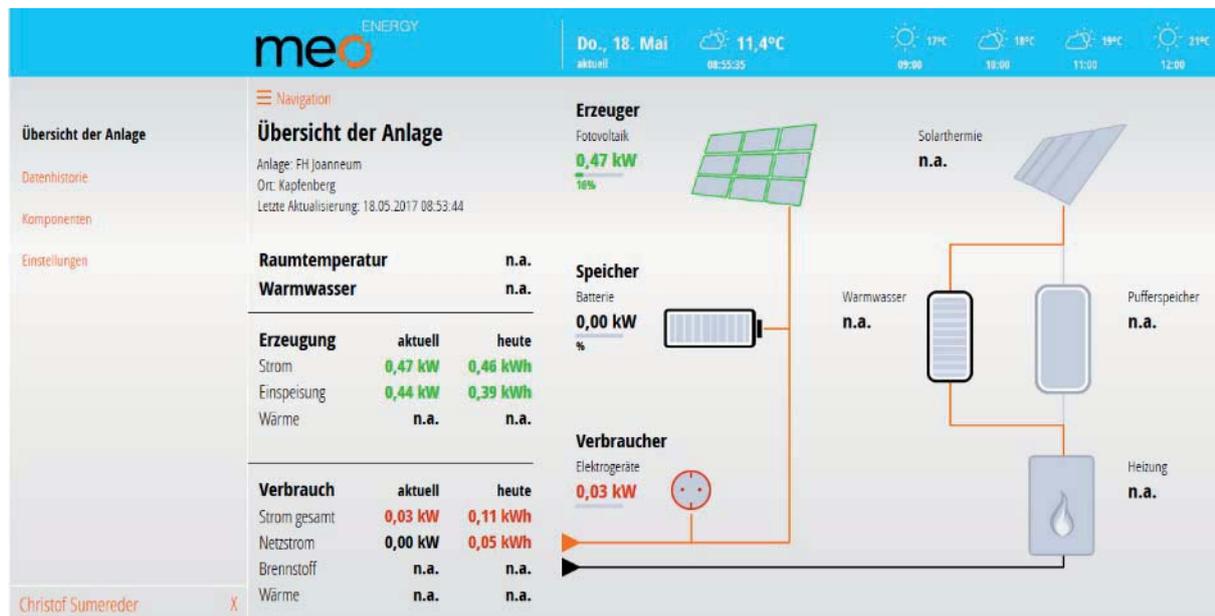


Abbildung 3: Prognosebasiertes LMS

Durch dieses vorausschauende Verhalten des LMS ist eine noch höhere Anlagenausnutzung zu erwarten.

3.3 Ladeverhalten einer Stromtankstelle für E-Autos

An der Ladesäule der FH Joanneum in Kapfenberg wurde ein Monitoringsystem installiert, um das Ladeverhalten unterschiedlicher Elektroautos beobachten zu können. Vom System wurden viele Ladevorgänge automatisch aufgezeichnet, wobei vier KFZ-Typen identifiziert werden konnten: Tesla Modell S, VW Golf Hybrid, Renault Zoe und BMW i3. Es zeigte sich,

dass der Ladevorgang immer mit einer konstanten Ladeleistung von 3,6 kW je Phase bzw. 3 x 3,6 kW (Drehstrom-Kraftsteckdose 11 kW) verläuft. Manche KFZ regeln zum Ende des Ladevorgangs langsam ab. Abhängig von der Batteriekapazität dauert der Ladevorgang unterschiedlich lange, oder der Ladevorgang wurde auch schon vor der kompletten Aufladung unterbrochen. Je Stunde wird eine elektrische Energiemenge von ca. 11 kWh entnommen.



Abbildung 4: Ladevorgang Renault Zoe: Batteriekapazität 22kWh, dreiphasiges Laden mit 11kW, Ladedauer ca. 1h konstant, zum Ende hin abfallende Ladeleistung



Abbildung 5: Ladevorgang Tesla Modell S: Batteriekapazität 75kWh, dreiphasiges Laden mit 11kW, Ladedauer ca. 4h

Die aufgezeichneten Ladevorgänge im Zeitraum von 4 Monaten haben eine durchschnittliche Dauer an der Ladestation von ca. 2 h gezeigt. Das Ladeverhalten zeigte einen konstanten Verlauf entweder mit 3,6 kW einphasig oder 11 kW dreiphasig. Je Ladevorgang wird eine Energie von etwa 20 kWh abgegeben.

Der Zeitpunkt des Ladens kann einfach in ein LMS integriert werden und stellt daher ein ideales Objekt zur Einbindung in ein PV-System dar. Die Automobilindustrie arbeitet mit Hochdruck an höheren Reichweiten, was mit größeren Batteriekapazitäten gleichzusetzen ist. Zukünftig ist daher zu erwarten, dass die Möglichkeit PV-Überschussenergie in Elektroautos zu speichern eine gute Alternative darstellt.

3.4 Beispiel für das Laden eines Elektroautos mittels LMS

In folgendem Diagramm (Abbildung 6) ist ein Musterbeispiel für das ideale Lastmanagement eines PV-Systems, das mit der Ladesäule für ein Elektroauto gekoppelt ist dargestellt. Es liegt ein sonniger Tag mit optimaler PV-Einspeisung vor (blaue Kurve), der Grundlastverbrauch für den Haushaltsstrom ist orange eingezeichnet. Es ist zu erkennen, dass über die Mittagszeit Stromüberschuss besteht. Durch den Ladevorgang eines Elektroautos kann der Eigenverbrauch optimiert werden. Lädt das E-Auto während der PV-Einspeisung einphasig mit 3,6 kW (graue Kurve), so wird der gesamte PV-Strom selbst verbraucht. Bei dreiphasiger Ladung mit 11 kW (gelbe Kurve) hingegen ist die Ladung in wesentlich kürzerer Zeit abgeschlossen, jedoch übersteigt der Strombedarf durch den Ladevorgang die erzeugte PV-Menge und es muss Strom aus dem Netz bezogen werden.

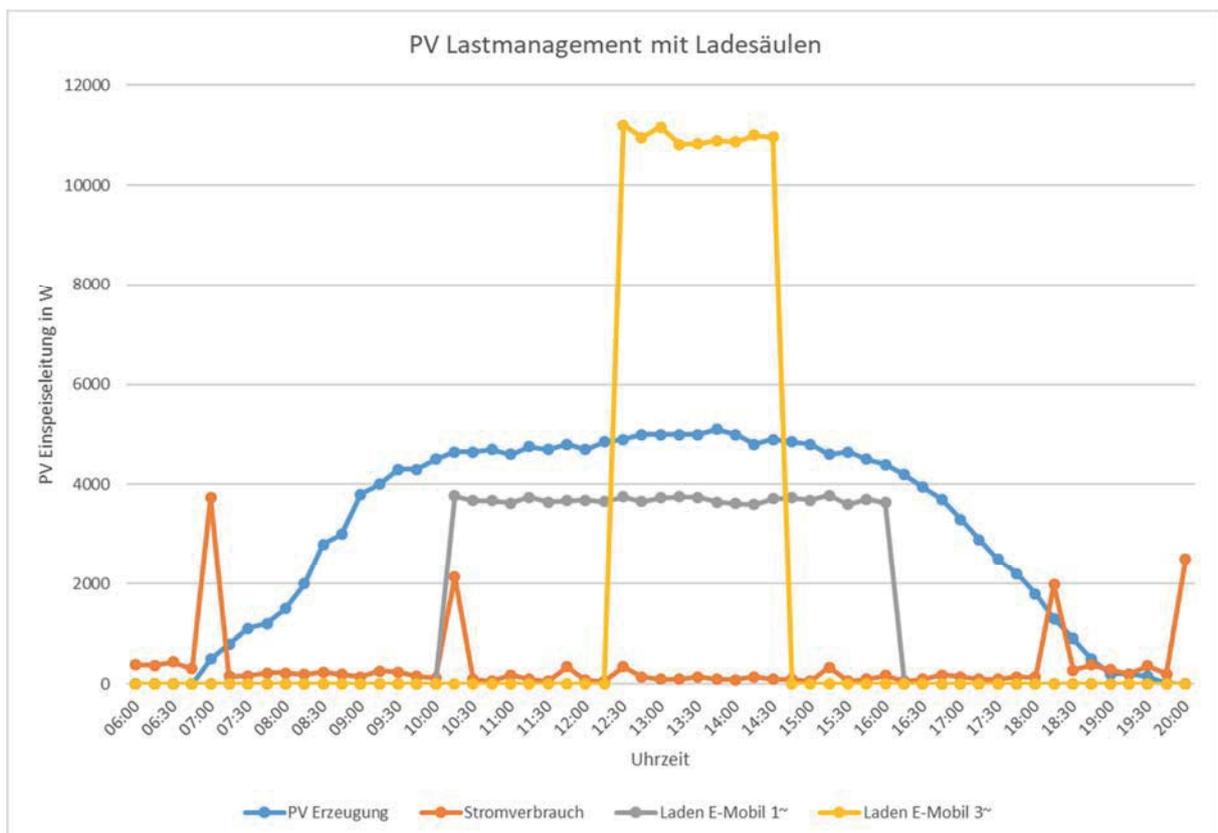


Abbildung 6: Beispiel für ein optimales Lastmanagement mittels Ladevorgang an einem Elektroauto

Dieses Beispiel zeigt die Möglichkeiten den Eigenverbrauch von PV-Anlagen mittels Lastmanagement zu optimieren deutlich auf. Bei dreiphasigem Laden mit 11 kW ist eine 22 kWh Batterie zwar in etwa 2 h vollständig geladen, jedoch muss die über die eingespeiste PV-Leistung (mindestens 6 kW und einstrahlungsbedingt auch mehr) aus dem Netz bezogen werden. Lädt man dieselbe 22 kWh Batterie einphasig mit 3,6 kW, so benötigt der

Ladevorgang zwar etwa 6 h, jedoch muss weniger bis keine Energie aus dem Netz bezogen werden, es kann etwa die doppelte PV-Energie selbst verbraucht werden.

Betrachtet man die Entwicklung bei den PV-Wechselrichtern und PV-Speichern (On-Board Lastmanagementsysteme, Ausstattung Energierelais, udgl.) so ist zu erwarten, dass zukünftige „intelligente“ Ladesäulen für Elektroautos auch den lastoptimierten Betrieb ermöglichen und diese je nach Batteriekapazität die momentan verfügbare PV-Leistung bestmöglich ausnutzen ohne dabei einen Strom aus dem Netz beziehen zu müssen. Auch bei den Elektroautos selbst wird dieser Trend nicht spurlos vorübergehen und es ist sicherlich nur mehr eine Frage der Zeit bis die Ladetechnologie im Auto mit dem PV-System kommuniziert.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projekts wurden unterschiedliche LMS installiert und einem Praxistest unterzogen. Die meisten dieser Systeme sind ausschließlich über ein Softwareportal zu bedienen, manche Systeme erfordern eingehende Kenntnisse in die Netzwerktechnik (LAN, WLAN) und das Programmieren zum Einstellen der Schaltkriterien. Manche Geräte können Geräte direkt über ein Relais schalten, andere wiederum benötigen ein Bus-System oder es werden Funksteckdosen eingesetzt. Alle untersuchten Systeme erfüllten die derzeitige Anforderung von 4 schaltbaren Geräten.

5 Danksagung

Dieses Projekt wurde vom Land Steiermark, Abteilung 15 Energie, Wohnbau, Technik FA Energie und Wohnbau unterstützt.