

Energiemanagementsysteme für PV-Hybridsysteme

- Klassifizierung und Systematisierung -

Prof. Dr.-Ing. Klaus Brinkmann, Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Kolja Bromberger

Umwelt-Campus Birkenfeld, FH Trier

Fachbereich Umweltplanung / Umwelttechnik

Automatisierungstechnik und Energiesystemtechnik

Postfach: 1380, D-55761 Birkenfeld

E-Mail: k.brinkmann@umwelt-campus.de

Abstract

This paper presents a classification of energy management systems (EMS), in order to work out differentiated realization possibilities with detailed characteristics for further discussions and development strategies. A short overview of the state of the art is used to point out the pro and cons of the methods used for control and management systems, especially for energy supply systems with a high portion of renewable energy converter. This comparison allows to work out the essential characteristics with a focus on their capabilities for a usage in renewable energy hybrid systems, especially with respect to the stochastically behaviour of some converter as well as the consumer. Basing on this, the authors present a worked out proposal for a generalized formulation of the structure of such energy management systems, followed by detailed explanations and discussions. This structure could be a helpful tool for future developments and perhaps gives the chance for common discussion standards. The basic structure of the presented EMS consists of three important modules, the prognostic-module, the optimisation-module and the load-management-module, which are also classified in detail.

Einleitung

Ziel dieses Beitrages ist es, eine mögliche Klassifizierung und Strukturierung von Energiemanagementsystemen (EMS) für photovoltaische autonome Hybridsysteme zu präsentieren. Diese Klassifizierung soll dazu dienen, zukünftige Entwicklungsstrategien bezüglich differenzierter Realisierungsmöglichkeiten und Charakterisierungen zu unterscheiden. Ein besonderer Stellenwert kommt dabei dem stochastischen Verhalten sowohl der Wandler erneuerbarer Energien, wie der PV-Anlage, als auch der Energieverbraucher zu, insbesondere im Hinblick auf

mathematische Modellierungsstrategien zur Optimierung von hybriden PV-Systemen. Die erarbeitete EMS-Struktur könnte hilfreich für zukünftige Entwicklungen sein und gegebenenfalls einen sinnvollen allgemeinen Diskussions-Standard zur Verfügung stellen. Die grundlegende Struktur des in diesem Beitrag präsentierten Energiemanagement-Systems (EMS) besteht aus drei entscheidenden Modulen, einem Prognose-Modul, einem Optimierungs-Modul und einem Lastmanagement-Modul. Die Konzeption des Optimierungs-Moduls stellt hierbei eine besondere mathematische Herausforderung dar.

PV-Hybridsysteme

Die folgende Abb.1 zeigt ein grundlegendes Modell-Schema für PV-Hybridsysteme [3], welches sehr gut als Zugang für mathematische Beschreibungen und Modellierungen dienen kann, gekennzeichnet durch die Erzeuger, Speicher und Verbraucher, sowie durch Stromfluss, Wärmestrom und Stoffstrom.

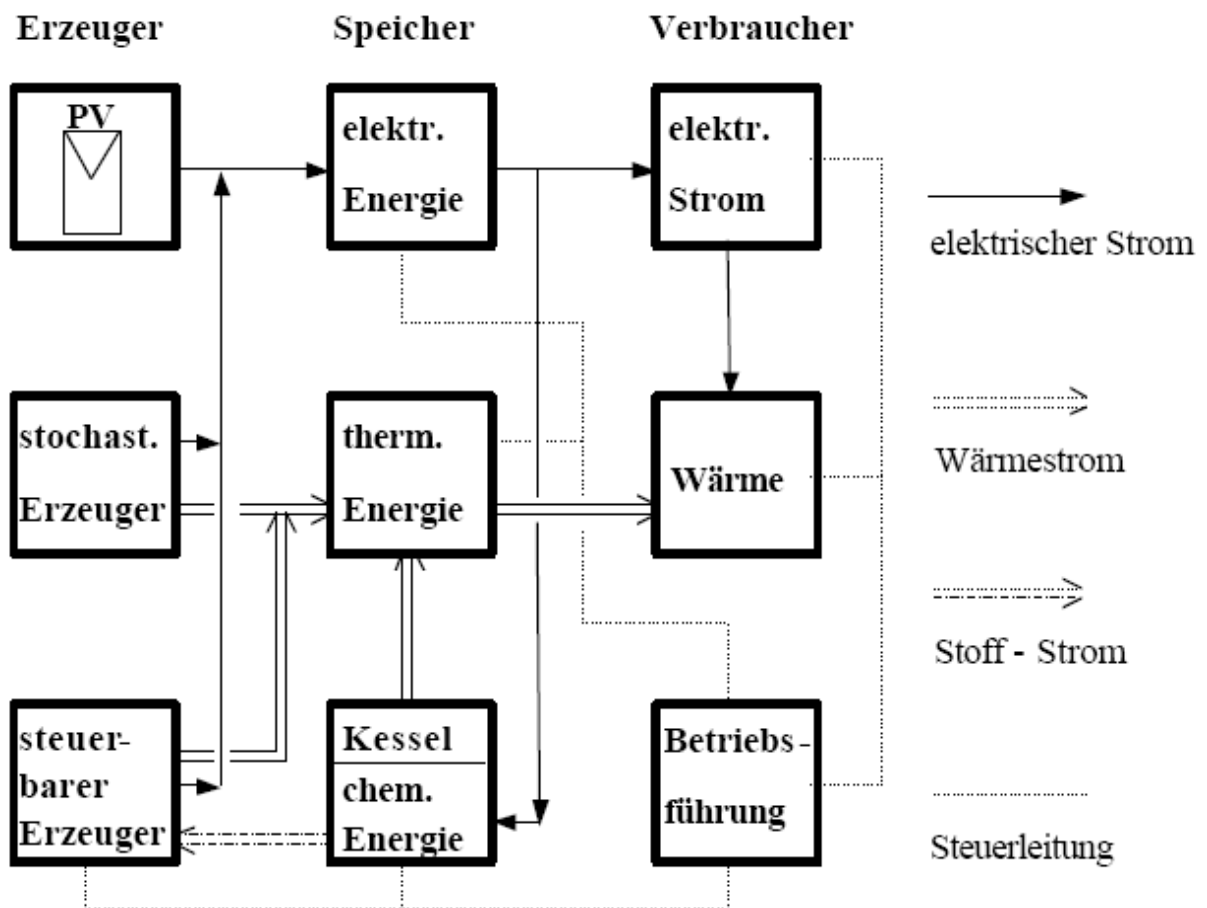


Abb. 1: Systematik eines PV-Hybridsystems

Grundstruktur des EMS-Systems

Aufbauend auf das obige Modell-Schema für PV-Hybridsysteme kann man eine Grundstruktur für intelligente EMS-Systeme [1] entwerfen, wie in der folgenden Abb. 2 dargestellt.

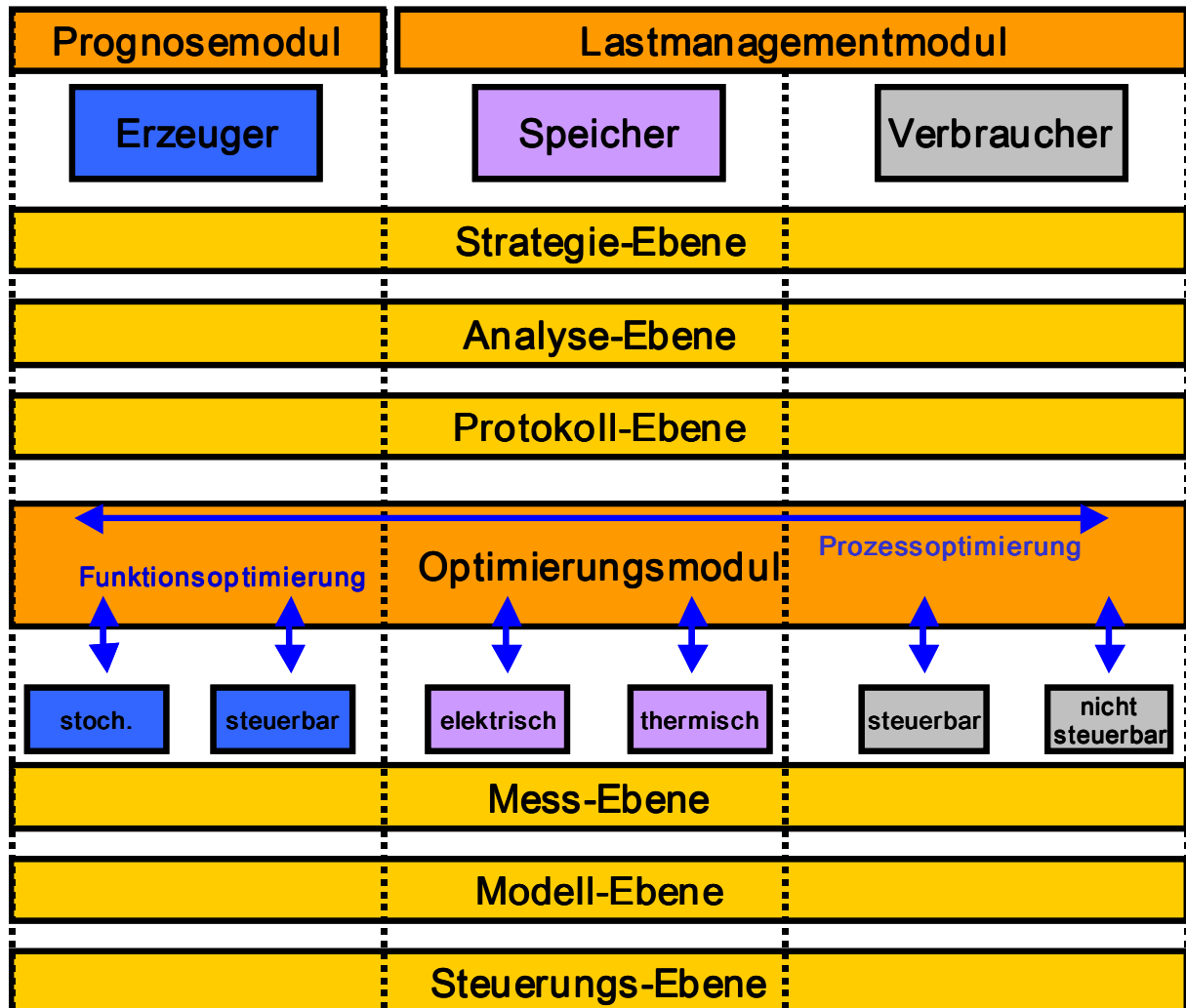


Abb.2: Grundstruktur eines EMS im PV-Hybrid-System

In einfachen Betriebsführungsstrategien für hybride Energiesysteme [2], [4] wird eine Momentanoptimierung durch Messung relevanter Größen realisiert. Der Betrieb steuerbarer Energieerzeuger, die Ladung der Batterie sowie die Zuschaltung der regenerativen Erzeugungsanlagen erfolgen über Sollwerte, nach Faustregeln oder durch eine Grenzwertregelung bei Beachtung der internen Größen. Ermittelt werden die Zeitpunkte der Zuschaltung der Verbraucher üblicherweise bei einer bestimmten prozentualen Systemauslastung in Abhängigkeit des Batterieladezustandes bzw. der Batteriespannung, der Netzfrequenz über individuelle Leistungs-Frequenz-Kennlinien, der Belastung zum Beispiel eines Dieselgenerators oder durch periodisch

festgelegte Zeitintervalle bzw. festgelegte Zeitpunkte. Nachteilig dabei ist jedoch, dass die Steuerbefehle teilweise mit Hilfe eines Expertenwissens bestimmt werden. In einer Rangliste mit der Reihenfolge der Zu- und Abschaltung der Komponenten nach bestimmten Kriterien können jedoch nur wenige Parameter berücksichtigt werden. Verbraucher werden bei den einfachen Betriebsführungsstrategien gewöhnlich nicht in das Energiemanagement mit einbezogen. Informationen über zukünftige Energieflüsse können von einer einfachen Steuerung nicht berücksichtigt werden. Gerade diese Informationen sind jedoch wichtig bei zeitintegralen, ökonomischen und ökologischen Entscheidungen in Abhängigkeit der gespeicherten Energie, ob z.B. die in der Batterie enthaltene Restkapazität ausreicht, den Leistungsbedarf im Optimierungszeitraum zu decken oder ob ein zusätzlicher Start des steuerbaren Energieerzeugers erforderlich wird. Diese Defizite verdeutlichen nachdrücklich den Bedarf für ein intelligentes und vorausschauendes Energiemanagement, wie es die obige Abb. 2 grundlegend darstellt. Die Grundstruktur des EMS besteht aus dem Prognosemodul, dem Optimierungsmodul und dem Lastmanagementmodul. Alle drei Module können in unterschiedlichem Detailgrad betrachtet und klassifiziert werden.

Prognose-Modul

Das Prognosemodul erstellt den zukünftigen Verlauf der Leistungserzeugung der stochastischen regenerativen Erzeuger, wie z.B. für PV- und Windkraftanlagen. Diese Prognosen sind jedoch mit Unsicherheiten behaftet, die von verschiedenen Randbedingungen abhängen und sich im Laufe der Zeit ändern können. Für die spätere Regelung und Steuerung der Einzelkomponenten des Hybridsystems ist es notwendig, diese Unsicherheiten zu kennen. Die Prognose kann unterschiedlich strukturiert werden. Drei wesentliche Arten können unterschieden werden: auf der Grundlage von Leistungsmessungen, internen und externen Wettervorhersagen. Durch die Kombination der Leistungsmessung und der internen und externen Wetterprognose ergeben sich zusätzliche mögliche Funktionen.

Optimierungsmodul

Die Optimierung des Betriebes des Energiesystems ist die zentrale Aufgabe des EMS. Die Klassifikation unterschiedlicher EMS richtet sich maßgeblich nach den gewünschten Funktionen der Optimierung. Es können grundsätzlich die Zielfunktion und Restriktionen der Optimierungsaufgabe (OA), das Optimierungsverfahren, die Länge des Optimierungsintervalls und die Struktur des Optimierungsprozesses

voneinander unterschieden werden. Generell können unterschiedliche Zielfunktionen und Nebenbedingungen für die OA gestellt werden. Als Zielfunktion bieten sich die Versorgungssicherheit, die Gesamtkosten, der Gesamtwirkungsgrad oder die Emissionen an. Restriktionen können dabei die Vermeidung unnötiger Betriebszeiten, die Einhaltung der technischen Randbedingungen, der Betrieb der Anlage bei Nennleistung, die Minimierung der Batteriebelastung, der Betrieb der Anlagen mit optimalen Wirkungsgrad, die maximale Ausnutzung der regenerativen Energien, die minimale Nutzung der dargebotsunabhängigen Erzeugeranlagen, die Vermeidung von Verlusten durch unnötige Energieflüsse durch die Batterie oder die Minimierung von Leistungsüberschüssen sein. Leider sind die hiermit unterschiedlich definierbaren Optimierungswünsche häufig gegensätzlicher Natur, so ist zum Beispiel eine Minimierung des CO₂-Ausstosses nicht notwendigerweise kompatibel mit einer Betriebskosten-Minimierung. Aus diesem Grund bietet sich hier eine sogenannte „Multikriterielle Optimierung“ (MCDM: Multiple Criteria Decision Making) an. Der MCDM-Modellbildung liegt die Annahme zugrunde, dass bei vielen Entscheidungen mehrere Kriterien zu berücksichtigen sind, die unter Umständen sogar widersprüchliche Ziele repräsentieren. Für MCDM-Probleme [5] gilt:

Sei $A \neq \emptyset$ eine Menge von Alternativen (auch Aktionen, Strategien oder zulässige Lösungen genannt) eines Entscheidungsproblems. $f: A \rightarrow R^q$, $q \geq 2$, sei eine multikriterielle Bewertungsfunktion. Die einzelnen Funktionen $f_k: A \rightarrow R$ mit $f_k(a) = z_k$ ($k \in \{1, \dots, q\}, a \in A$), wobei $f(a) = (z_1, \dots, z_q)$ gilt, heißen Kriterien (oder auch Ziele oder Attribute). Die Zielfunktionen f_k sollen dabei minimiert werden. Soll ein Kriterium f'_k jedoch maximiert werden, so lässt sich ersatzweise $f_k = -f'_k$ definieren. (A, f) wird dann als MCDM-Problem bezeichnet. Ein MCDM-Problem $P = (A, f)$ wird multiple objective decision making (MODM)-Problem genannt, falls sich A als $A \subset R^n, A = \{a \in R^n : g_i(a) \leq 0, i \in \{1, \dots, m\}\}$ für Funktionen (Restriktionen) $g_i: R^n \rightarrow R$ schreiben lässt. P wird dann auch gelegentlich Vektoroptimierungs-Problem (VO-Problem) genannt. Eine entscheidende Entwicklungsaufgabe bei der Konzeption eines Optimierungsmoduls für ein EMS-System stellt demnach die Suche nach einem sinnvollen und geeigneten Zielfunktionsvektor dar, gefolgt von der Aufgabenstellung, ein mathematisches Verfahren zur Lösung des Problems bereitzustellen. Die numerische Berechnung des Optimums muss dann zudem noch in einem akzeptablen Zeitintervall durchführbar sein.

Lastmanagement-Modul

In dezentralen Energiesystemen mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien liegt das Ziel des Lastmanagements in der möglichst guten Anpassung des Lastganges an den Erzeugungsgang. Mit zunehmendem Anteil nichtsteuerbarer Erzeuger (PV- und Windgenerator) steigt die Fluktuation des Erzeugerganges. Um dennoch eine Anpassung bei gegebener Versorgungssicherheit zu erreichen, bieten sich unterschiedliche Ausführungen des Lastmanagements an. Unterscheiden könnte man hierbei zwischen unidirektionalem, automatischen bidirektionalem und interaktivem bidirektionalem Lastmanagement. Beim unidirektionalen Lastmanagement wird die verfügbare Energie auf die Verbraucher verteilt, ohne Rückmeldung des Bedarfs an das Optimierungsmodul. D.h. es findet keine Verbrauchsprognose statt. Beim bidirektionalen Lastmanagement hingegen werden Verbrauchsprognosen erstellt. Die Ergebnisse der Verbrauchsprognose fließen in die Optimierung mit ein. Es existiert somit eine Rückmeldung des Lastmanagements an die Optimierung. Im Falle des interaktiven bidirektionalen Lastmanagements können nutzerspezifische Wünsche während des laufenden Betriebs integriert werden. Realisiert werden kann dies über ein Display, das dem Nutzer Auskunft über den momentanen Betriebszustand gibt. In einer Wochen- oder Tagessplanung legt der Nutzer seinen individuellen Nutzerplan, beispielsweise für die Haupthaushaltsgeräte fest. Die Wünsche des Nutzers werden vom EMS erfasst und auf ihre Integrierbarkeit hin überprüft. Nach der Prüfung gibt das EMS über das Display den Aufwand, z.B. Starten des Zusatzgenerators und somit höhere Betriebskosten an den Nutzer weiter. Akzeptiert der Nutzer diesen Mehraufwand wird der Fahrplan bestätigt. Ist der Nutzer zu einer Abweichung seines gewünschten Nutzerplans bereit, kann er eine günstigere Planung der Haushaltsgeräte vornehmen.

Referenzen:

- [1] K. Bromberger, K. Brinkmann: Classification of Energy Management Systems for Renewable Energy Hybrid Systems. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. September 2007 Milano, Italy.
- [2] C. Meisenbach: Beitrag für ein intelligentes Elektroenergiemanagement lokaler Energiesysteme. Dissertation, Dresden, Technische Universität Dresden, 2000
- [3] K. Brinkmann, Dimensioning Principles of Hybrid Systems Based on Renewable Energies including Wind Turbines and Combined Heat and Power, Wind Power for the 21st Century, Kassel. Sept. 2000.
- [4] K. Brinkmann, M. Viedenz: A realised Control System for a Hybrid System consisting of a PV-Plant and Steam Engine with Combined Heat and Power. 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anchorage Alaska USA, Sept. 2000.
- [5] Y. Sawaragi, H. Nakayama, T. Tanino: Theory of Multiobjective Optimization. Academic Press, Orlando.