

Möglicher Beitrag sowie Bedeutung von Biomasse-Energiewandlern beim Einsatz in regenerativen Hybridsystemen

Dipl.-Phys. Dr.-Ing. Klaus Brinkmann



Lehrgebiet Elektrische Energietechnik

Feithstraße 140, Philipp-Reis-Gebäude, D-58084 Hagen, fax: +49/2331/987 357,

e-mail: klaus.brinkmann@fernuni-hagen.de

Einleitung: Regenerative Energiequellen wie Wind- und Sonnenenergie sind in ihrer Verfügbarkeit sowohl tages- als auch jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Zusätzlich unterliegen sie auch lokalen meteorologischen und damit stochastischen Bedingungen. Somit unterscheidet sich eine Energieversorgung mit Hilfe dieser Quellen von der bisherigen vornehmlich fossilen Versorgung insbesondere durch deren Steuerbarkeit. Aufgrund der zeitlich und räumlich gegebenen Verfügbarkeiten erneuerbarer Energien, ist eine regenerative Energieversorgung mehr auf dezentrale Einheiten und auf eine Verknüpfung mehrerer unterschiedlicher, sich ergänzender Versorgungseinheiten auszurichten. Diese Verknüpfungen nennt man dann Hybridsysteme [2]. Ein Beispiel eines derartigen Hybridsystem hat der Autor während des Siebten Symposiums vorgestellt [3]. Dieser Beitrag soll eine systematische Übersicht über die theoretisch denkbaren Hybridsystem-Konfigurationen geben. Um eine möglichst effiziente Ausnutzung der regenerativ zur Verfügung stehenden Primärenergieträger zu gewährleisten, insbesondere der Biomasse, ist es von großer Bedeutung, nicht nur der reinen Wärme- oder Stromerzeugung Aufmerksamkeit zu schenken, sondern zunehmend dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung. Zusammenfassend ist es das **Ziel dieses Beitrags**, im Rahmen einer Übersichtsdarstellung möglicher regenerativer Hybridsystemkonfigurationen, den wichtigen Beitrag der Biomasse und deren Stellenwert herauszuarbeiten. Dieser Beitrag versteht sich im wesentlichen als ein Strategie-Konzept zur effizienten Einbindung von Biomasse-Energiewandlern in dezentrale (vernetzbare, komplexe) Hybridsysteme zum Aufbau einer insgesamt steuerbaren rein regenerativen Energieversorgung.

Grundlagen: In Anbetracht der Tatsache, dass im Vergleich zur augenblicklich hauptsächlich fossilen Energieversorgung die Nutzung regenerativer Energieträger aufwendigerer und komplexerer Art ist, liegt es geradezu in der Natur der damit verbundenen Technik begründet,

mit diesen wertvollen erneuerbaren Energieformen rationell umzugehen, auch wenn sie für menschliche Maßstäbe unerschöpflich sind.

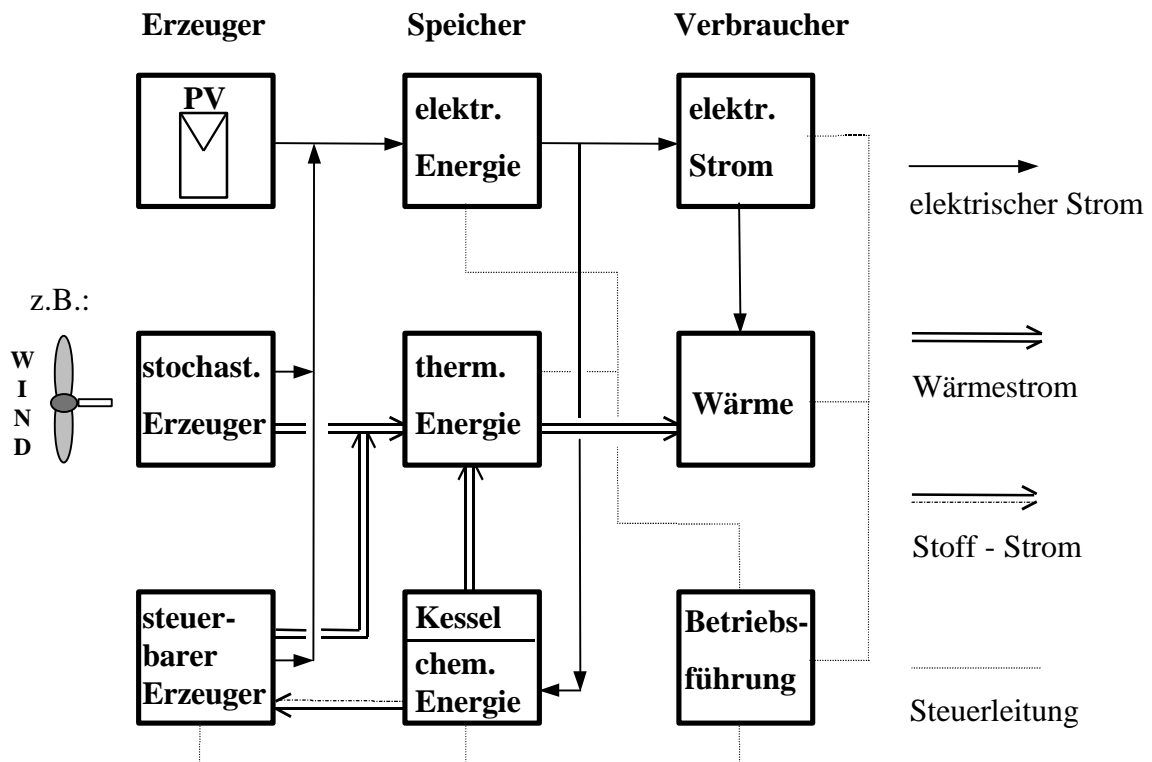


Abb. 1: Aufbauprinzip photovoltaischer Hybridsysteme

Um eine möglichst effiziente Ausnutzung der regenerativ zur Verfügung stehenden Primärenergieträger zu gewährleisten, sollte das Prinzip der **Kraft-Wärme-Kopplung** weitestgehend integriert werden, wann immer dies möglich ist [6]. Die notwendige Kombination regenerativer Energiewandlungen ergibt sich zwangsläufig aufgrund des stochastischen Charakters der Verfügbarkeiten, wie dies zum Beispiel für die **Sonnenenergie und Windkraft** gilt. Bei den Zusatzerzeugern wird hier zwischen *stochastischen* und *steuerbaren* unterschieden. Ein stochastischer Erzeuger sei hier definiert als ein Erzeuger, der auf eine Energiequelle angewiesen ist, dessen momentane Verfügbarkeit weitestgehend durch den Zufall bestimmt wird.

Im Gegensatz dazu ist ein steuerbarer Erzeuger bei ausreichender Versorgung mit Primärenergie in Bezug auf seine Verfügbarkeit determinierbar. Innerhalb jeder Gruppe können auch mehrere verschiedene Erzeuger kombiniert werden. Dabei ist hier die Einbeziehung dieser Zusatzerzeuger-Gruppen jeweils als Option zu verstehen, d.h. entweder stochastisch oder

steuerbar oder beides. Unter einem stochastischen Erzeuger sei hier eine von natürlichen Prozessen abhängige Energiewandlung gemeint.

Zu den *stochastischen Erzeugern* zählen abgesehen vom Basiselement Photovoltaik folgende Erzeuger:

- *Windkraftanlage*
- *Kleinst-Wasserkraftanlage*
- *Solarkollektoren (nur Wärme).*

Solarkollektoren können zur teilweisen Deckung des Wärmebedarfs eingesetzt werden, stehen aber in der Regel in Flächenkonkurrenz zur Photovoltaik. Ausnahmen bilden sogenannte *Hybridkollektoren*, die sowohl photovoltaisch als auch wärmeliefernd arbeiten können. Entwicklungen dazu sind jedoch noch nicht ausgereift. Für die steuerbaren Erzeuger bildet in der Regel auch Sonnenenergie in gespeicherter Form die Versorgungsgrundlage.

Steuerbare Erzeuger seien zum Beispiel:

- *Brennstoffzelle (H_2 , Reforming von Biogas, u.ä)*
- *Pflanzenöl-Motoren*
- *Biogas-Motoren*
- *Stirling-Motor (externe Verbrennung von Biomasse)*
- *Dampfmaschine (externe Verbrennung von Biomasse)*
- *Thermoelektrische Wandler (Biobrennstoffe)*
- *Geothermie-Wandler.*

Diese Erzeuger sind prinzipiell auch für Kraft-Wärme-Kopplung einsetzbar. Entscheidend für die Konstruktion eines regenerativen Hybridsystems ist die damit erzielbare Versorgungssicherheit, die sich nach dem Kriterium "Steuerbarkeit" beurteilen lässt. Mit anderen Worten, das System muss also aus der Sicht der Verbraucher eine ausreichende Anpassungsfähigkeit an das individuelle Anforderungsprofil garantieren [4], [5]. Hierfür zeichnet sich insbesondere die ergänzende Nutzung der Biomasse aus, die sich sinnvollerweise in Form einer Kraft-Wärme-Kopplung einsetzen lässt, da diese Brennstoffe in der Regel steuerbar eingesetzt werden können [6]. Nicht minder wichtig als die bisher aufgeführten Komponenten ist die *Betriebssteuerung*. Von ihr hängt wesentlich das effektive Zusammenspiel aller Systembestandteile ab. Da die Energiespeicher die Nahtstelle zwischen Erzeuger und Verbraucher darstellen, ist das Energiespeichermanagement eine Schlüsselfunktion der Betriebsführung. Eine weitere mögliche Aufgabe der Betriebssteuerung kann ein sogenanntes *Lastmanagement* sein. Dies besteht zum Beispiel darin, mit Hilfe einer

Prioritätenliste den gleichzeitigen Betrieb von leistungsstarken Geräten zu vermeiden. Durch diese Maßnahme kann die für das Hybridsystem anzusetzende maximale Leistung begrenzt werden.

Auslegungskriterien: Zur Dimensionierung derartiger Hybridsysteme müssen die Lastganglinien für Strom und Wärme mit dem Angebot an Sonnen- oder Windenergie korreliert werden. Je nach Größe der Photovoltaikanlagen und/oder Windenergiekonverter ergibt sich ein veränderter Jahresverlauf für das verbleibende Strom-Wärme-Verhältnis, welches dann für die Auslegung einer biomasse-betriebenen Kraft-Wärme-Kopplung ausschlaggebend ist [6], [8]. Aus dem zeitlichen Zusammenspiel der beteiligten Strom- und Wärmeverbraucher einerseits und dem Stromangebot über die Photovoltaik und/oder Windkraft andererseits, lässt sich dann über die daraus ableitbaren Lastganglinien ein Anforderungsprofil für die mit Biomasse (vorzugsweise in fester Form) betriebene KWK herleiten. Die Kombination von Wind Energie und Photovoltaik bedingt eine Reduktion des ursprünglichen Strom-Wärme-Verhältnisses der Verbraucher, wie zum Beispiel bei privaten Haushalten ($d \equiv \text{Tag}$):

$$\sigma(d)_{W,PV} = \frac{P_{\text{electrical}}(d) - P_{\text{Wind}}(d) - P_{\text{PV}}(d)}{P_{\text{heat}}(d)} \quad (1)$$

mit $P_{\text{Wind}}(d) = \xi_W \cdot \bar{P}_{d,\text{Wind}}$, $P_{\text{PV}}(d) = \xi_{\text{PV}} \cdot \bar{P}_{d,\text{PV}}(d)$ und $\xi_{\text{PV}}, \xi_W \in \mathbb{R}^+$ zur Skalierung.

Mit Rücksicht auf den erreichbaren elektrischen Wirkungsgrad η der Kraft-Wärme-Kopplung gilt :

$$\sigma_{W,PV} \leq \upsilon \quad \text{with} \quad \upsilon = \frac{\eta}{1 - \eta} \quad (2)$$

Dies führt auf die grundlegende Bestimmungsformel zur Abstimmung der Komponenten:

$$\xi_W \cdot \bar{P}_{d,\text{Wind}}(d) + \xi_{\text{PV}} \cdot \bar{P}_{d,\text{PV}}(d) \geq P_{\text{electrical}}(d) - \upsilon \cdot P_{\text{heat}}(d) \quad (3)$$

Diese Bedingung muss an jedem Tag des Jahres erfüllt werden. Um die verschiedenen Parameter $\xi_W, \xi_{\text{PV}}, \upsilon$ aneinander anzupassen, sind sowohl physikalische als auch wirtschaftliche Bedingungen zu berücksichtigen. Im Gegensatz zur Photovoltaik ist die Energieproduktion mit Wind weniger signifikant von dem Jahresgang abhängig, so dass deren Approximation zu einem statistisch weniger verlässlichem Ergebnis führt. Trotzdem ist deutlich ein jahreszeitlicher Trend bei der Windkraft erkennbar [7].

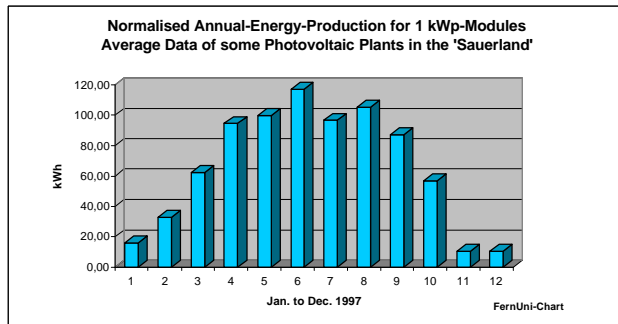


Abb. 2: Normierter PV-Ertrag

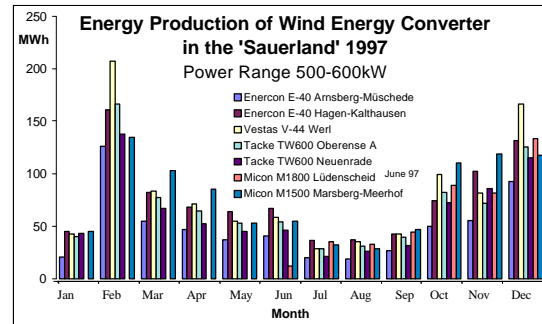


Abb. 3: Energieproduktion mit Windkraft

Rechnet man zum Beispiel für die Versorgung durchschnittlicher privater Haushalte in Deutschland mit einer $2 \text{ kW}_{\text{ref}}$ – PV-Anlage und einem statistisch konstant angenommenen Windkraftanteil von $0,2 \text{ kW}$ je Haushalt, so ergeben sich für die Biomasse-betriebene Kraft-Wärme-Kopplung die verbleibenden zu erfüllenden Verhältnisse :

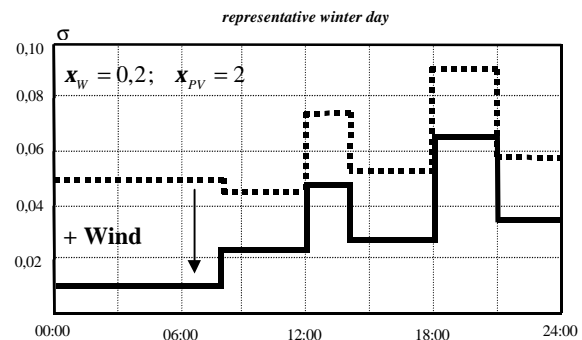
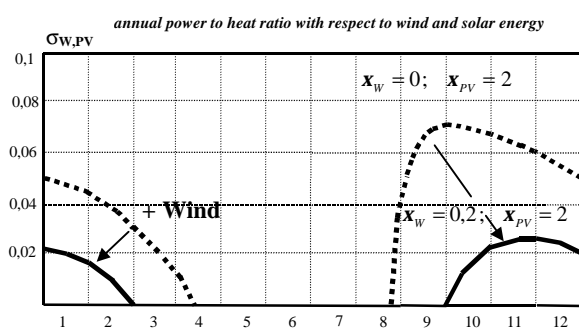


Abb. 4: Kraft-Wärme-Verhältnis für eine Biomasse-Anlage in Kombination mit PV und Wind

Erreichbare elektrische Wirkungsgrade von realisierten Kraft-Wärme-Kopplungen mit Hilfe von z.B. Biomasse-betriebenen Kolben-Dampf-Maschinen liegen bei ca. 16% [1], [2].

Referenzen:

- [1] K. Brinkmann, "PV-Generator linked to a Piston-Type Steam Engine with Combined Heat and Power as a Hybridsystem for a completely self-sufficient Energy-Supply", *2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna Austria, July 1998*.
- [2] K. Brinkmann, "Systemtechnische Untersuchung eines Hybridsystems bestehend aus Photovoltaikanlage und Dampfmaschine mit Kraft-Wärme-Kopplung", *Dissertation 1999, FernUniversität Hagen, Chair of Electrical Power Engineering*.
- [3] K. Brinkmann, "Kombinierte Nutzung von Biomasse und Sonnenenergie zum Betrieb eines Hybridsystems bestehend aus Kraftwärmekopplung mit Dampfmaschine und Photovoltaikanlage", *Siebtens Symposium Biobrennstoffe und umweltfreundliche Energietechnik, November 1998, Deggendorf*
- [4] K. Brinkmann, "Anforderungen an einen mit Biomasse betriebenen Dampferzeuger für ein Hybrid-system bestehend aus Kraftwärmekopplung mit Dampfmaschine und Photovoltaikanlage", *Achtes Symposium Festbrennstoffe aus Biomasse und umweltfreundliche Energietechnik, November 1999, Staffelstein*
- [5] K. Brinkmann, "Dimensioning of a Hybridsystem Consisting of a PV-Generator and a Steam Engine with Combined Heat and Power for Private Households", *16th European Solar Energy Conference, Glasgow United Kingdom, May 2000*.
- [6] K. Brinkmann, "Combined Heat and Power with Biomass and Solar Energy for Private Households with a Hybridsystem consisting of a PV-Generator to a Steam Engine", *1st World Conference and Exhibition on Biomass, Sevilla Spain, June 2000*.
- [7] K. Brinkmann, W. Köhler, "Wo sich Wind- und Sonnenenergie ergänzen", *WIND ENERGIE AKTUELL 2/1998, SunMedia Hannover*.
- [8] K. Brinkmann "Dimensioning Principles of Hybridsystems Based on Renewable Energies Including Wind Turbines and Combined Heat and Power", *Wind Power for the 21st Century, September 2000, Kassel*.