

## Simulation eines Hybridsystems bestehend aus Kraftwärmekopplung mit Dampfmaschine und Photovoltaikanlage

Autoren: Klaus Brinkmann , Robert Taubner



Lehrgebiet Elektrische Energietechnik

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

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

Rückfragen bitte an: Dipl.-Phys. Klaus Brinkmann, Adresse: siehe oben

**Kurzfassung:** In klimatischen Zonen mit ausgeprägten Sommer-Winter-Verhältnissen wie in Mitteleuropa, ist eine autarke Energieversorgung unter Einbeziehung einer Photovoltaikanlage auf eine zusätzliche Versorgungseinheit für strahlungsarme Zeiten angewiesen. Hierfür bietet sich insbesondere eine Kraftwärmekopplung an, die hauptsächlich während der Heizperioden zum Einsatz kommt. Es läßt sich zeigen /1/, daß es möglich ist, mit einem Hybridsystem bestehend aus Kraftwärmekopplung mit *Dampfmaschine* und einer *Photovoltaikanlage*, private Haushalte oder innerbetriebliche Verbraucher ganzjährig mit Energie zu versorgen. Mit Rücksicht auf den Wirkungsgrad von Dampfmaschinen ist hierbei von einem durchschnittlichen Verhältnis von Strom zu Wärme von etwa eins zu zehn auszugehen /2/. Vorteilhaft ist hier die Freiheit, aufgrund der externen Verbrennung im Dampferzeuger als Brennstoff Biomasse /3/ einzusetzen, um einen geschlossenen CO<sub>2</sub>-Kreislauf zu ermöglichen. Da ein derartiges System vornehmlich auf simultan wirkende stochastische Einflußgrößen wie Einstrahlung, Stromverbrauch und Wärmeverbrauch reagieren muß, ist eine ***Simulation auf dem Rechner ein wertvolles Hilfsmittel***, um das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten studieren zu können. Ebenso wird die Auslegung dieses Hybridsystems durch den simulatorisch möglichen 'Test' wesentlich unterstützt und verlässlicher. In diesem Beitrag werden die Grundlagen und die wesentliche Arbeitsweise der entwickelten Simulation vorgestellt.

**Einleitung:** Für die experimentelle Überprüfung und Erfassung der Gesetzmäßigkeiten sowie die Entwicklung eines Steuer- und Regelungssystems ist im Lehrgebiet für elektrische Energietechnik der FernUniversität Hagen ein Versuchsstand mit einer Dampfmaschine (ca. 2,5 kW) aufgebaut worden.

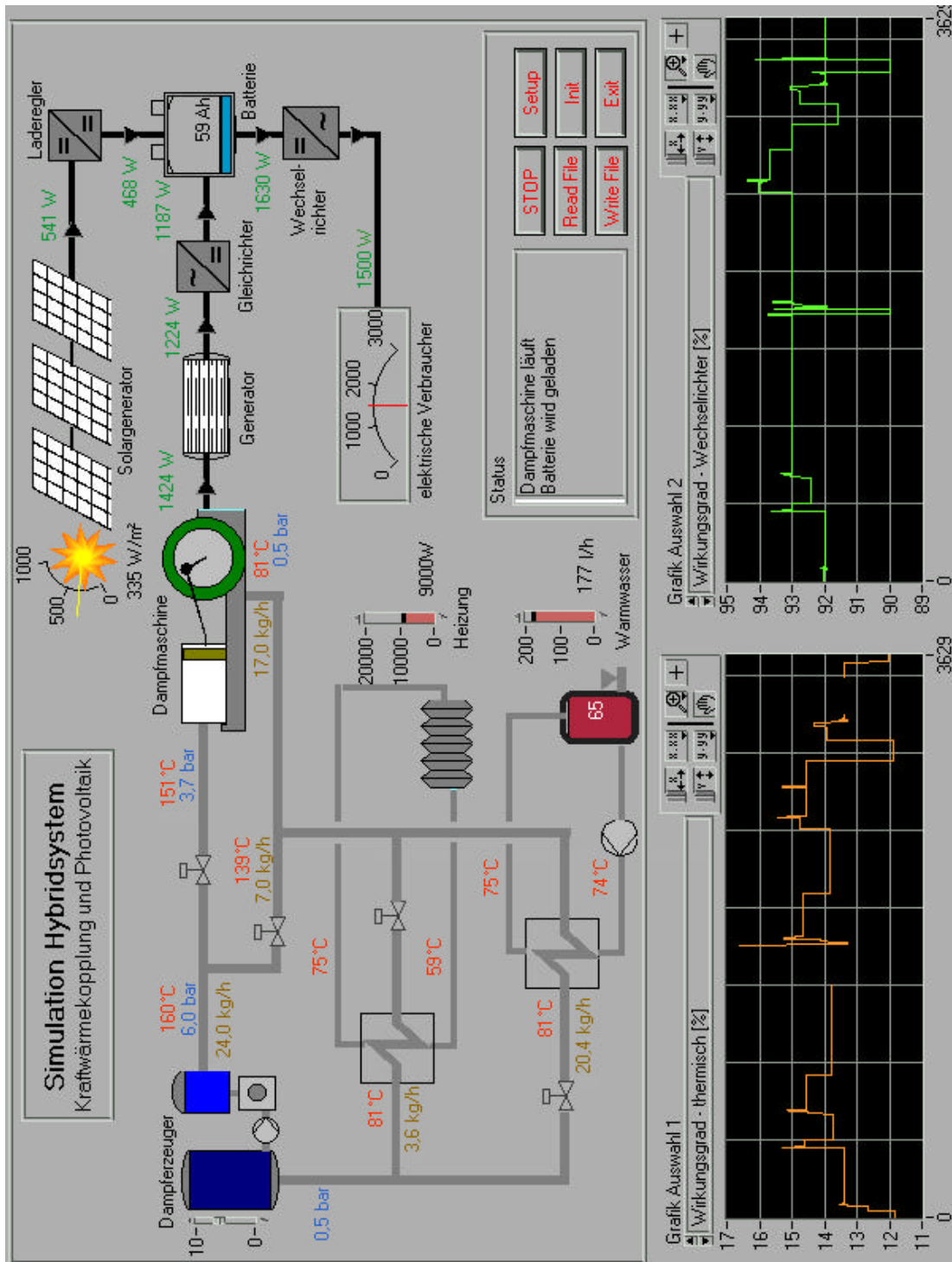


Bild 1: Gesamtbild der Simulation

Die durchgeführten Experimente sollen durch theoretische Modellierungen und mit Hilfe von *Computersimulationen* auf eine solide Basis gestellt werden, um ein möglichst umfassendes Bild von den realen Gegebenheiten eines solchen Hybridsystems zu erhalten.

Nicht zuletzt müssen maschinenbauliche Zusammenhänge erarbeitet werden, die eine Voraussetzung für den Bau einer 'modernen' Dampfmaschine für solche Einsatzzwecke darstellen.

**Hybridsystem und Simulation:** Ein System mit einer 3-5 kWp Photovoltaikanlage und einer Kolbendampfmaschine mit einer mechanischen Leistung von bis zu 5 kW ist ausreichend, um einen privaten Haushalt autark ganzjährig mit Energie zu versorgen /1/, /2/. Im Bild 1 sind die wesentlichen Bestandteile und deren Zusammenwirken in einem Verfahrensschema als Gesamtbild der Simulation verdeutlicht. Die Kraftwärmekopplung ist mit einem Bypass versehen, um eine Wärmeversorgung auch ohne Stromerzeugung zu ermöglichen. Während die Photovoltaikanlage in einstrahlungsreichen Zeiten die Hauptstromversorgung darstellt, übernimmt die Kraftwärmekopplung die Führung in den Heizperioden.

Modelle und Simulationen jeder Art sind Hilfsmittel zum Umgang mit der Realität. Die Tatsache, daß Computer schnell mathematische oder logische Formulierungen abarbeiten können, prädestiniert ihn für alle Modelle und Simulationen, die sich formalisieren lassen /4/. Das Ergebnis soll eine zuverlässige stellvertretende Verhaltensbeschreibung sein, also die Simulation des Verhaltens eines realen Systems.

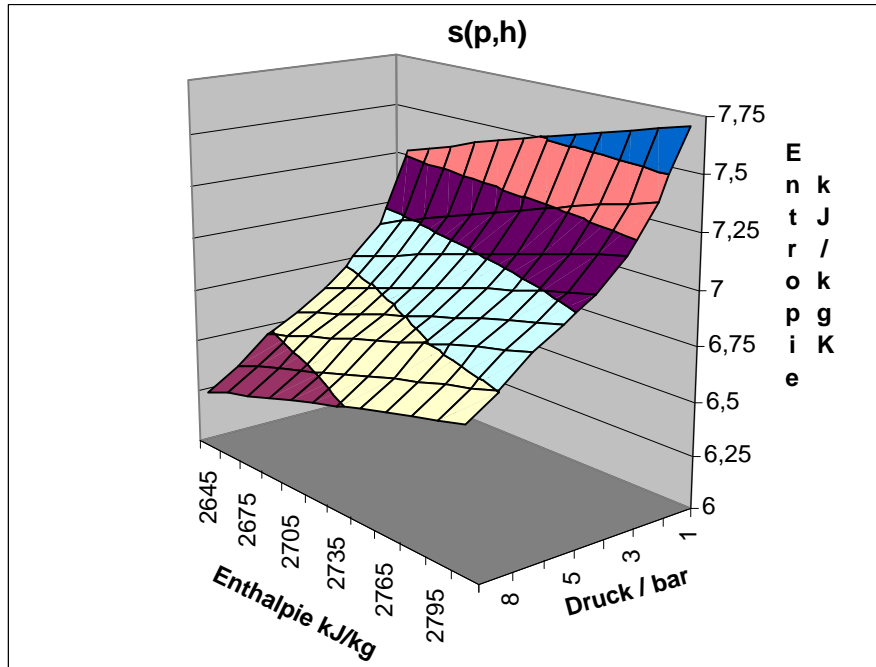


Bild 2: Heißdampf  $s(p,h)$

Das Simulationsprogramm wurde mit **Labview** erstellt. Im Gegensatz zu konventionellen textorientierten Sprachen wird Labview *graphisch* mit der Sprache 'G' programmiert. Zur Implementierung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten, insbesondere der thermodynamischen Zustandsfunktionen, sind etliche in der Regel zweidimensionale numerische Approximationen erforderlich. Exemplarisch sei hier in Bild 2 die Entropie von Heißdampf in Abhängigkeit von Druck und Enthalpie dargestellt /4/. Sämtliche Komponenten in Bild 1 sind über Kenngrößen parametrierbar oder funktional mit Hilfe von Stützstellen definierbar. Die Verbrauchsgrößen und die Sonneneinstrahlung können über Schieberegler eingestellt werden, wie in Bild 3 dargestellt. Die Wertebereiche, d.h. Skalierungen können ebenfalls frei gewählt werden. Diese müssen dann je nach Anlagengröße logisch aufeinander abgestimmt werden.

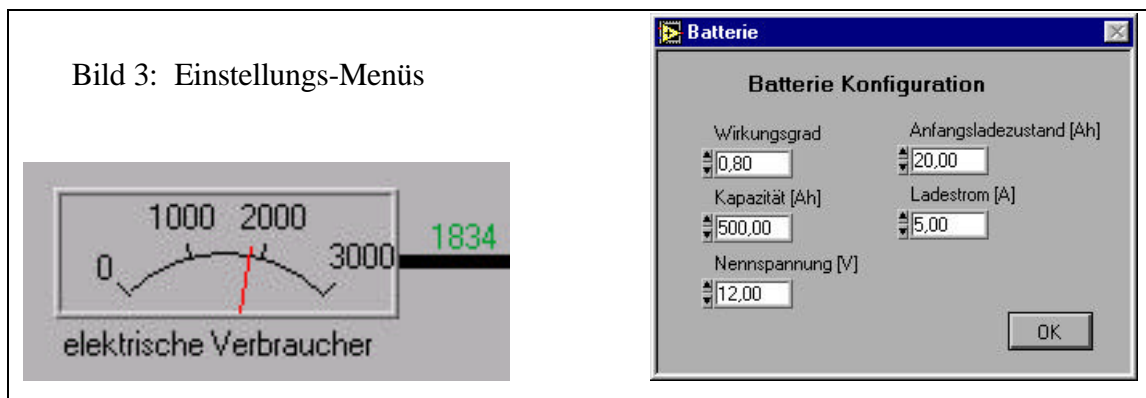


Bild 4 zeigt, wie z.B. der Wirkungsgrad des Wechselrichters in Abhängigkeit von der normierten Nennleistung über Stützstellen frei den experimentellen Gegebenheiten und Erfahrungen angepaßt werden kann /4/. Das Verhalten der Systemkomponenten kann wie in Bild 1 gezeigt über grafische Ausgaben verfolgt werden. Dafür sind unter dem Fließschema zwei Diagramme angeordnet. Mit diesen Diagrammen kann der zeitliche Verlauf der Systemgrößen dargestellt werden. Die darzustellenden Größen können mit 'Grafik Auswahl 1' und 'Grafik Auswahl 2' selektiert werden. Dieses Simulationsprogramm bietet die Möglichkeit Komponenten so zu konfigurieren, bis das Zusammenspiel befriedigende Ergebnisse für die wählbaren Energieanforderungen liefert. Damit ist dann ein wertvolles Auslegungshilfsmittel gegeben. Anforderungen an die Reserven lassen sich ebenso aufzeigen. Da die Konfiguration der Dampfmaschinen - Parameter nicht eindeutig sein muß, können somit maschinenbauliche Überlegungen mit einfließen.

Dieses Programm befindet sich in einem ständigen Erweiterungs- und Verbesserungsprozeß.

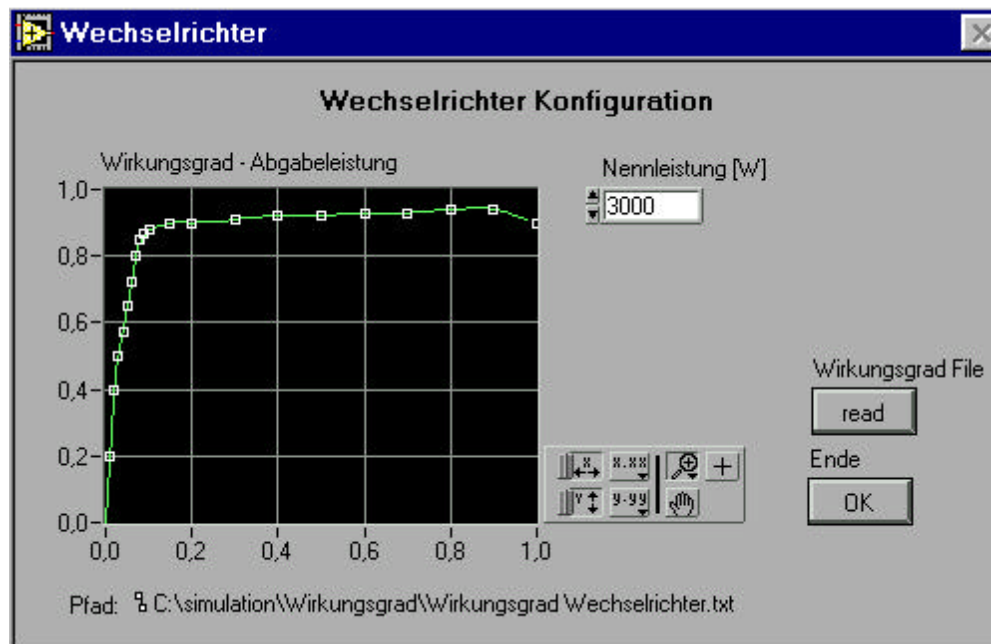


Bild 4: Konfiguration Wechselrichter

Eine Übergabe der experimentellen Meßwerte an eine Prozeßvisualisierung kann eine Auswertung durch Vergleich mit der Simulation ermöglichen. Dadurch können auch statistische Auswertungen über einen längeren Zeitraum verfügbar gemacht werden.

**Ausblick:** Das hier vorgestellte System wird derzeit sowohl theoretisch als auch experimentell eingehend untersucht, um das für eine praktische Realisierung erforderliche Know How zu systematisieren und zugänglich zu machen. Hierbei stellt die Simulation dieses komplexen Systems auf dem Rechner ein wertvolles Hilfsmittel dar.

**Zusammenfassung:** Es wurden die wesentlichen Simulationsgrundlagen für ein Hybridsystem bestehend aus Photovoltaik und Kraftwärmekopplung mit einer Dampfmaschine vorgestellt, welches eine autarke, weitestgehend regenerative Energieversorgung erlaubt.

**Referenzen:**

- /1/ "PV-Generator linked to a Piston-Type Steam Engine with combined Heat and Power as a Hybridsystem for a completely self-sufficient Energy-Supply" / Klaus Brinkmann  
2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion / Vienna 6-10 July 1998
- /2/ "Physical Analysis of a Hybridsystem consisting of a PV-Generator linked to a Piston-Type Steam Engine with Combined Heat and Power for a completely self-sufficient Energy-Supply"  
Klaus Brinkmann / 11. Internationales Sonnenforum , Köln 26.-30. Juli 1998
- /3/ "Kombinierte Nutzung von Biomasse und Sonnenenergie zum Betrieb eines Hybridsystems bestehend aus Kraftwärmekopplung mit Dampfmaschine und Photovoltaikanlage" / Klaus Brinkmann  
7. Symposium Biobrennstoffe und umweltfreundliche Energietechnik / Deggendorf Nov. 98
- /4/ Diplomarbeit Robert Taubner, FernUniversität Hagen 1998