

Ansätze zur Systematisierung von 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:

Eine intensive Nutzung regenerativer Energieträger erfordert, aufgrund der zeitlich und lokal schwankenden Verfügbarkeit, eine dezentrale Versorgungsstruktur. Dabei müssen sich die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten regenerativer Energien kombinatorisch in Form von *Hybridsystemen* ergänzen. Dieser Beitrag dient zur systematischen Erfassung der theoretischen prinzipiellen Möglichkeiten und Grundlagen, als Basis für die sinnvolle kombinatorische Zusammensetzung, Auslegung und Optimierung derartiger Hybridsysteme. Einen Schwerpunkt bilden dabei Systeme mit einer Photovoltaikanlage.

Regenerative Hybridsysteme:

In Anbetracht der Tatsache, daß im Vergleich zur augenblicklich hauptsächlich fossilen Energieversorgung die Nutzung regenerativer Energieträger aufwendiger und komplexer 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.

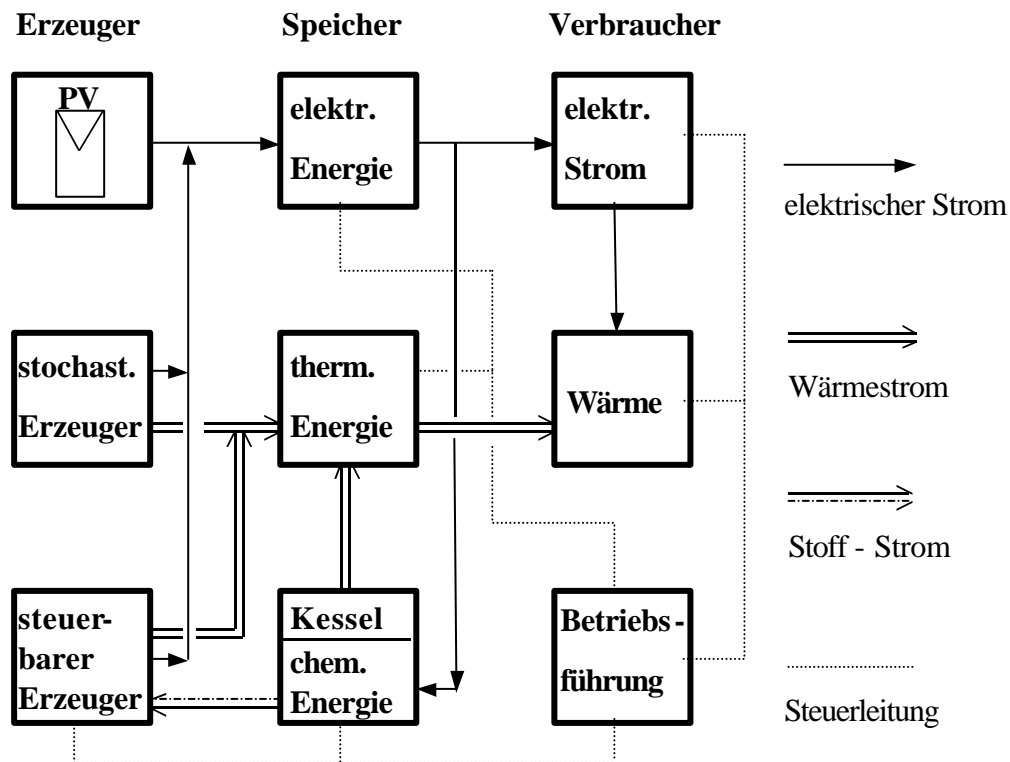


Abb. 1: Aufbauprinzip photovoltaischer Hybridsysteme

Um eine möglichst effiziente Ausnutzung der regenerativ zur Verfügung stehenden Primärenergieträger zu gewährleisten, ist es von großer Bedeutung, nicht nur der Stromerzeugung Aufmerksamkeit zu schenken, sondern in gleichem Maße auch der Wärmeerzeugung. Denn der Wärmebedarf ist in der Regel um ein vielfaches höher als der Bedarf an elektrischer Energie. Dies bedeutet, dass das Prinzip der *Kraft-Wärme-Kopplung* weitestgehend integriert werden sollte, wann immer dies möglich ist /1/.

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. Diese Zufallsabhängigkeit ist eine Folge der meteorologischen Gegebenheiten, die lokal den Gesetzmäßigkeiten der Chaos-Theorie gehorchen. Im Gegensatz dazu ist ein steuerbarer Erzeuger bei ausreichender Versorgung mit Primärenergie in Bezug auf seine Verfügbarkeit determinierbar. In diesem Fall hat der Mensch die Möglichkeit, über eine Steuerung die Verfügbarkeit selbst festzulegen. 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, falls die verfügbare Fläche begrenzt ist. 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 (H₂, 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 /3/.

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 /2/, /3/.

Die freie Verfügbarkeit über die Mehrzahl dieser Erzeuger kann aber nur gewährleistet werden, wenn ein ausreichend großes Brennstofflager besteht und/oder eine schnelle, dem Verbrauch angepaßte Nachlieferung erfolgt. Dies gilt insbesondere, wenn der Brennstoff mit Hilfe der Überschüsse an stochastisch erzeugter elektrischer Energie erzeugt wird, um somit als chemische Energie gespeichert zu werden.

Ein Beispiel dafür ist ein Elektrolyseur zur Erzeugung von Wasserstoff. Dieser Brennstoff könnte dann wiederum in steuerbaren Erzeugern wie zum Beispiel einer Brennstoffzelle oder einem Gasmotor mit KWK, sowie auch einem Heizkessel zugeführt werden.

Ist der Wärmebedarf anteilmäßig nicht sehr hoch, so kann hierfür natürlich auch elektrischer Strom eingesetzt werden, wenn die stochastische Erzeugung für den Gesamtenergiebedarf ausreichend dimensioniert ist. Hier ist sicherlich auch der Einsatz von Wärmepumpen sinnvoll.

Eine nicht unwesentliche Rolle in diesen Hybridsystemen spielt die Energiespeicherung, da aufgrund der Vergleichmäßigung in der Energieverfügbarkeit hierdurch die steuerbaren Erzeuger entlastet werden. Dies betrifft sowohl die elektrischen, thermischen als auch die chemischen Energiespeicher. Es ist dabei grundsätzlich noch zu unterscheiden zwischen Speichern, die innerhalb des Systems wiederbefüllbar sind, und Speichern die nur durch einen Eingriff von außen befüllt werden können. Letztere sind vornehmlich Speicher für chemische Energie in Form von Brennstoff für die steuerbaren Zusatzherzeuger. Ausnahmen bilden chemische Brennstoffe, die innerhalb des Systems durch elektrische Energiewandlung, sinnvollerweise mit stochastischem Erzeuger, gebildet werden können.

Betrachtet man die **Energiespeicher**, so ergibt sich nach dem obigen Muster die folgende, sicher nicht vollständige, Aufstellung möglicher Speicherelemente:

- a) Durch das System wiederaufladbare Speicher:
 - i) *elektrische Energie*
 - Massenspeicher (Kurzzeit)
 - Kondensator (Kurzzeit)
 - Akkumulatoren
 - Wasserstoff-Brennstoffzelle mit H₂ - Speicher
 - ii) *thermische Energie*
 - sensible Wärme (i.a. Wasser)
 - latente Wärme (Paraffine u.ä.)
 - iii) *chemische Energie*
 - Wasserstoff (über Elektrolyse)

b) Durch externen Eingriff wiederaufladbare Speicher:

- feste Brennstoffe (Holz, Biomasse-Pellets u.ä.)
- flüssige Brennstoffe (Pflanzenöle, Alkohole u.ä.)
- gasförmige Brennstoffe (H₂, Biogas, Klärgas, u.ä.)

Je nach Lastdynamik können auch Kombinationen von Speichern eingesetzt werden; so zum Beispiel Massenspeicher für kurzzeitige Spitzenanforderungen mit einem Akkumulator für die Grundlast.

Besteht die Möglichkeit einer zusätzlichen Netzanbindung, so kann zumindest auf den Speicher für elektrische Energie verzichtet werden.

Die Möglichkeit, ins Netz einzuspeisen setzt allerdings voraus, daß eine ausreichende Netzkapazität zur Verfügung steht. Mit dieser Problematik wird man sich mit fortschreitendem Einsatz dezentraler regenerativer Anlagen in zunehmendem Maße beschäftigen müssen. Damit verknüpft sind die Netz- und Kraftwerksregelstrategien.

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. So hängt die Lebensdauer von Akkumulatoren sehr stark von einer gut abgestimmten Laderegelung ab.

Die Betriebssteuerung beinhaltet ebenfalls die Erfassung und Anzeige der Betriebszustände und der Energieflußbilanzen sowie die Funktionsüberwachung mit Fehlermeldungen. Ebenso wichtig ist die Bereitstellung von Eingriffsmöglichkeiten für den Betreiber, um im Fehlerfall Einfluß nehmen zu können, oder zu Testzwecken.

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, wenn dies vertretbar ist wie etwa bei Elektroherd und Waschmaschine.

Durch diese Maßnahme kann die für das Hybridsystem anzusetzende maximale Leistung begrenzt werden.

Hybridsystem Modelle:

Prinzipiell denkbare photovoltaische Hybridsystem-Modelle allgemeinsten Art ergeben sich aus der sinnvollen kombinatorischen Verästelung der folgenden Systemeigenschaften und möglichen Bestandteile, wie beispielhaft vorgeführt:

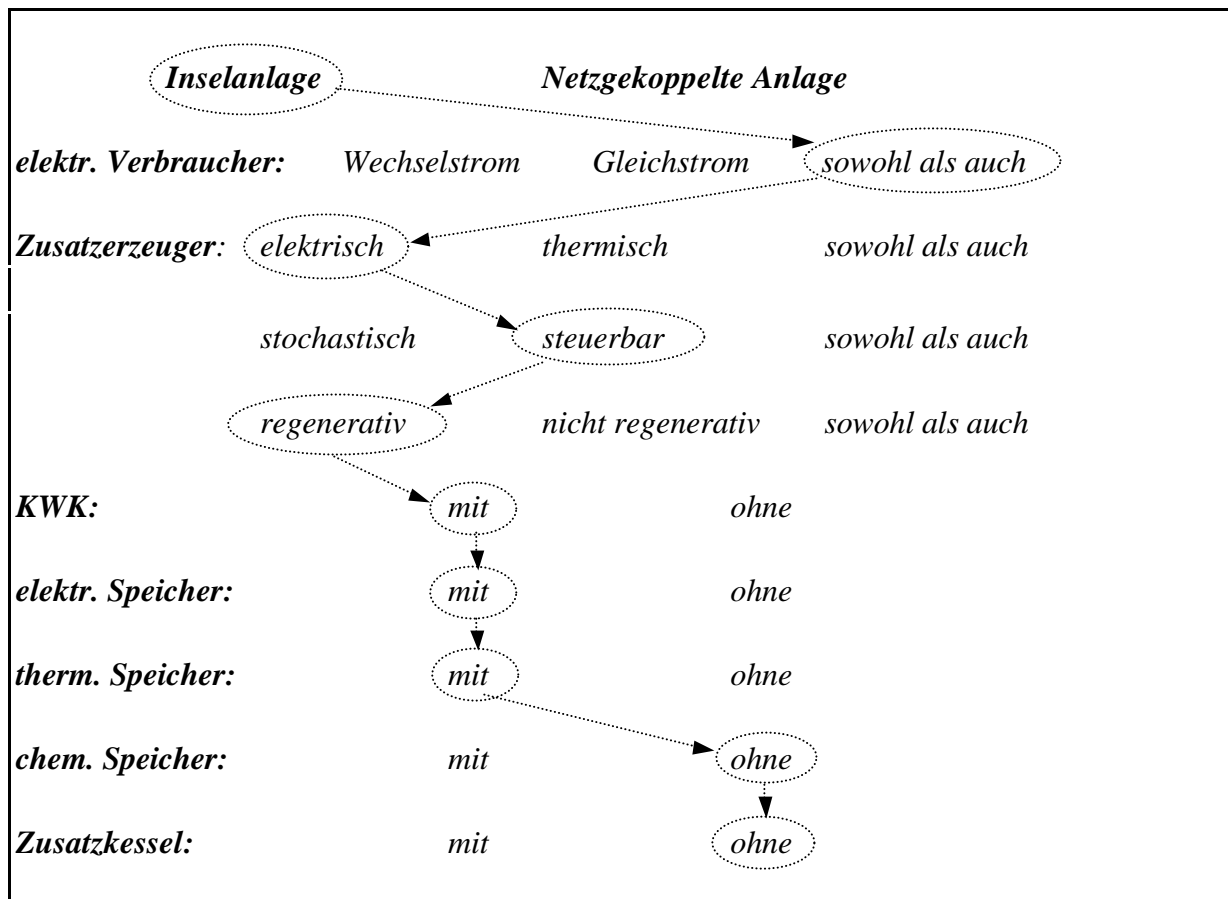


Abb. 2: Systematisierung von Hybridsystemen mit Beispiel-Auswahl

Im Gegensatz zum elektrischen Zusatzzeuger, der im allgemeinen sowohl Kraft als auch Wärme liefert, soll hier der mit "thermisch" gekennzeichnete ausschließlich Wärmeenergie erzeugen.

Wenn man den Fall "stochastische nicht regenerative" Erzeugung ausschließt, ergeben sich nach diesem Muster rechnerisch **4032 grundsätzliche Realisierungsmöglichkeiten** für ein Hybridsystem. Dies läßt ahnen, welch enormes Entwicklungs- und Einsatzpotential solche Hybridsysteme bieten.

Natürlich sind aufgrund der Komponenten-Auswahlmöglichkeiten weitergehende Differenzierungen möglich, so daß für praktische Aufbauten eine weitaus größere Vielfalt denkbar ist.

Auch könnten zum Beispiel bei einer Gleichstromversorgung unterschiedliche Spannungsniveaus berücksichtigt werden. Für das ausgewählte Modell läßt sich zum Beispiel das folgende stark vereinfachte Aufbauschema in Abb. 3 aufstellen.

Diese Zusammenstellungen verdeutlichen, daß hier eine Vielzahl komplexer Systeme entwickelt werden können, wobei abgesehen vom jeweiligen Gesamtsystem selbst die einzelnen Komponenten noch einigen Forschungs- und Entwicklungsaufwand erfordern, um in der Zukunft über ausgereifte und optimierte PV-Hybridsysteme verfügen zu können.

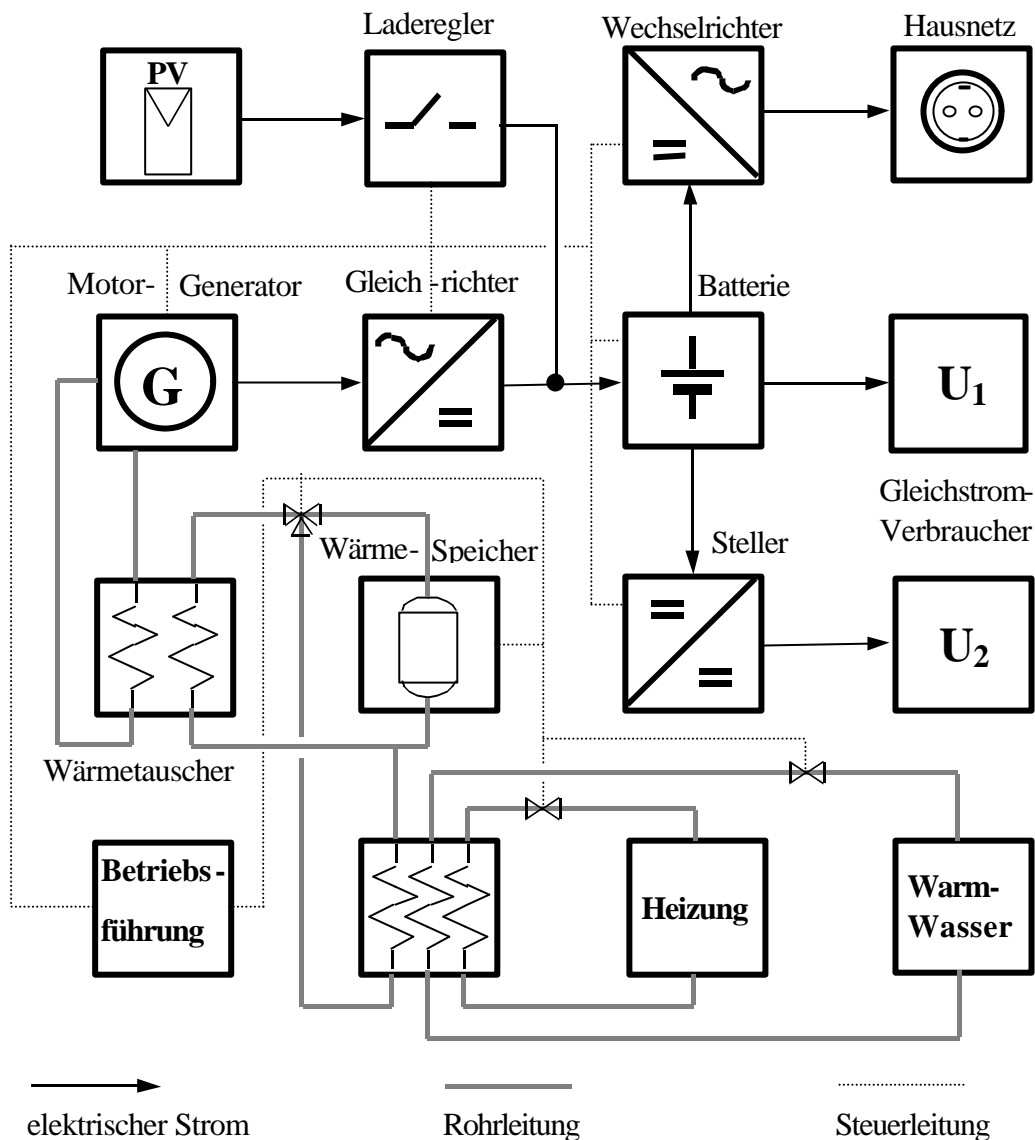


Abb. 3: Blockschema eines Hybridsystems mit KWK

Außer dezentralen Hybridanlagen kleinerer Leistung für den häuslichen Bedarf gibt es natürlich auch die Möglichkeit, große, zentrale Photovoltaik-Kraftwerke bis hin zum MW-Bereich zu erstellen, und diese mit Windkraftgeneratoren und weiteren Zusatzgeneratoren zu einem größeren Verbundsystem zu verknüpfen.

Dadurch sind Versorgungen mit "Inselnetzen" unterschiedlichster Leistungsklasse denkbar, die wiederum gekoppelt werden können, um sie, falls vorhanden, an ein allgemeines Verbundnetz anzuschließen.

Bezüglich der reinen Stromversorgung läßt sich auf diese Weise ein Modell eines modularen funktionsgegliederten Systemaufbaus aufstellen. Dies ist dann eine modulare Hybridtechnik zur Stromversorgung, welches ein nach Funktionen geordnetes Baukastenprinzip darstellt.

Ziel dieser Modellbildungen ist es, die Möglichkeit einer flächendeckenden regenerativen Hybridtechnik aufzuzeigen, welche sowohl dezentral die Versorgungsanforderungen erfüllt, als auch übergeordnet einen Netzverbund zum Ausgleich ermöglicht.

Dies setzt natürlich eine wesentlich differenziertere Art der Koordination und Regelstrategie voraus, als es die bisherige Netzführung bietet. Voraussetzung für eine derartige erfolgreiche Vernetzung sind natürlich auch festzulegende Standardisierungen für die Gewährleistung der Kompatibilitäten.

Im Hinblick auf den wachstumsbedingt erforderlichen sparsamen Umgang mit den Biobrennstoffen für Verbrennungsmotoren, sollte man dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung im Hinblick auf solche Konzepte eine gebührende Aufmerksamkeit schenken.

Mit einem Stromüberschuß erzeugter Wasserstoff kann hier zusätzlich die Versorgung mit Brennstoffen unterstützen. Dafür ist im Vergleich zum Einsatz von Biomasse eine andere Logistik und Systemtechnik erforderlich.

Auch die Einbindung von solarthermischen Kraftwerken in Gebieten mit ausreichender Direkteinstrahlung in diese Strukturen ist denkbar.

Referenzen:

- /1/ "PV-Generator linked to a Piston-Type Steam Engine with Combined Heat and Power as a Hybridssystem for a completely self-sufficient Energy-Supply", K. Brinkmann
2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna 1998
- /2/ "Kombinierte Nutzung von Biomasse und Sonnenenergie zum Betrieb eines Hybridsystems bestehend aus Kraftwärmekopplung mit Dampfmaschine und Photovoltaikanlage", K. Brinkmann
Siebttes Symposium Biobrennstoffe und umweltfreundliche Energietechnik, Deggendorf 1998
- /3/ "Systemtechnische Untersuchung eines Hybridsystems bestehend aus Photovoltaikanlage und Dampfmaschine mit Kraft-Wärme-Kopplung", K. Brinkmann, *Dissertation 1999*
FernUniversität Hagen / Fachbereich Elektrotechnik