

# Energie und Kommunikation

## 1. Erneuerbare Energien, dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung und neue Energieversorgungsstrukturen

Für eine nachhaltige elektrische Energieversorgung finden die erneuerbaren Energien zunehmend Anerkennung. Unterschiedliche Auffassungen bestehen im wesentlichen darüber, welche Beiträge die verschiedenen regenerativen Energieträger leisten können und wie die Randbedingungen für ihr Wachstum zu gestalten sind.

Während die ökologische Verträglichkeit weitestgehend anerkannt ist, werden im Sinne der Nachhaltigkeit die gesellschaftliche Akzeptanz dieser Technologien sowie die Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der Nutzungstechniken darüber entscheiden, in welchem Maße die großen heimischen und weltweiten Potenziale erneuerbarer Energien ausgeschöpft werden können. Dabei werden neue Versorgungsstrukturen entstehen, die sich durch dezentrale, d.h. verbrauchernahe Erzeugung, auszeichnen. Der Handel mit elektrischer Energie wird zunehmend durch Mechanismen geprägt, wie sie aus anderen Bereichen der Marktwirtschaft bekannt sind.

Erfahrungen aus anderen technologischen Entwicklungsprozessen lassen darauf schließen, dass sich die Realisierung einer Energieversorgung mit erneuerbaren Energien in relevanten Anteilen über mehrere Jahrzehnte erstrecken wird. Die Fortentwicklung der Nutzung lokaler Ressourcen (z. B. Wind, Sonne, Biomasse etc.), Leistungssicherung auf unterschiedlichen Stromnetzebenen durch Ergänzung verschiedener, unterschiedlich fluktuierender Erzeuger sowie Energieübertragung über große Entfernungen (Ausbau des Verbundnetzes) aus besonders ertragreichen Regionen sind dabei besonders relevant [2].

Gleichzeitig gilt es, die fossilen Energieträger möglichst effizient zu nutzen. So lässt sich beispielsweise der Wärmebedarf von Häusern mit heute verfügbaren Technologien auf die Größenordnung des durchschnittlichen Bedarfs an elektrischer Energie pro Haushalt (ca. 3500 kWh/a) senken. Gegenüber der konventionellen getrennten Erzeugung von Wärme am Nutzungsort und elektrischem Strom in zentralen Kraftwerken, ließe sich dann durch den Ausbau der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung rund ein Drittel des Verbrauchs fossiler Energieträger einsparen.

Eine der wichtigsten Aufgaben für die neuen zukünftigen Energieversorgungsstrukturen wird ein wirkungsvolles Zusammenspiel aller beteiligten Ebenen (Erzeugung, Übertragung, Verteilung, Nutzung) sein. Außer den sich besonders schnell entwickelnden elektronischen Kommunikationsnetzen sind dafür leistungs- und anpassungsfähige Konzepte zum Energie-, Netz- und Kostenmanagement von Bedeutung.

## 1. Energie- und Kostenmanagement

Erfahrungen aus Großbritannien und einigen skandinavischen Ländern haben gezeigt, dass durch die Liberalisierung des Energiemarktes die Energiepreise rasch fallen und enorme Preisschwankungen an den Energiebörsen möglich sind. Dies steht nicht im Gegensatz zur rationellen Energieverwendung, sondern eröffnet Chancen, die neu gewonnene Flexibilität zur dezentralen, effizienten Erzeugung von elektrischer Energie in Abhängigkeit des Marktes zu nutzen. [4]

Differenziertere, zeitvariable Tarife verbunden mit automatisierten und standardisierten Kommunikationsverbindungen zwischen Versorger und Verbraucher eröffnen neue Möglichkeiten der Steuerung des Lastflusses. Dies ist besonders für große vielschichtige Verbraucher wie z. B. Industriebetriebe von Interesse (Abb. 1), die u. U. auch über eigene Erzeugungseinheiten

Prof. Dr.  
Jürgen Schmid,  
ISET,  
jschmid@iset.uni-kassel.de

Dipl.-Ing.  
Alfred Engler,  
ISET  
aengler@iset.uni-kassel.de

Dipl.-Ing.  
Uwe Krengel,  
ISET  
ukrengel@iset.uni-kassel.de

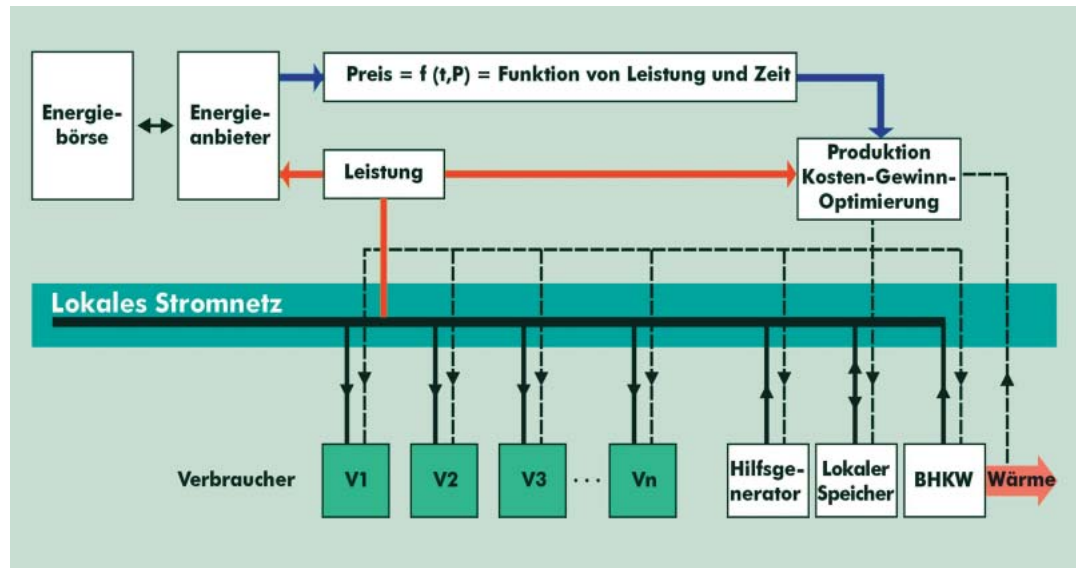
Dipl.-Ing. Kurt Rohrig  
ISET  
krohrig@iset.uni-kassel.de

Prof. Dr.  
Werner Kleinkauf,  
GhK  
Universität Gh Kassel  
Wilhelmshöher Allee 73  
0-34119 Kassel  
kleinkauf@iset.uni-kassel.de

Dipl.-Ing. Peter Otto  
GhK  
Universität Gh Kassel  
Wilhelmshöher Allee 73  
0-34119 Kassel  
otto@re.e-technik.uni-kassel.de

Dr. Thomas  
Stephanblome,  
EUS GmbH  
Munscheidstr.14  
0-45886 Gelsenkirchen  
Stephanblome@eus.de

Abbildung 1  
Steuerung des Lastflusses verbunden mit Kosten- bzw. Gewinnoptimierung durch differenzierte, zeitvariable Tarife  
(Quelle: ISET/GhK)



ten, z. B. Kraft-Wärme-Kopplungsaggregate zur Prozessdampferzeugung, verfügen.

Ein Strompool zwischen Energieverteiler und Kunden (Abb. 2) lässt sich im Ansatz als Spot-Markt einer lokalen Energiebörse beschreiben (Abb. 3). Angebot und Nachfrage bestimmen den variablen Energiepreis, für den z. B. im Stundenraster Bezugsvereinbarungen getroffen werden. Innerhalb eines Zeitfensters wird der Preis fixiert und gewisse Lastschwankungen toleriert, wobei zum Ende des Zeitfensters eine vereinbarte Energielieferung zu erreichen ist. [4]

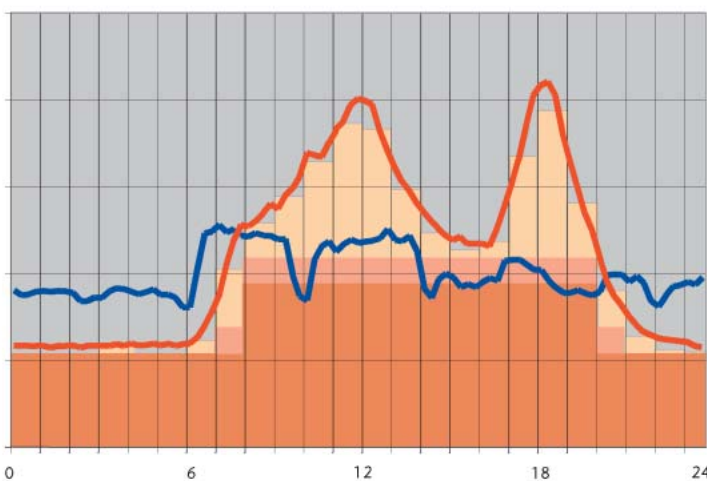
Der Kunde erhält die Möglichkeit, den Energiebezug bzw. eventuelle Einspeisungen unter eigenen Kriterien und Randbedingungen, z. B. auch der Auftragslage, zu optimieren. Plötzliche Lastbegrenzungen durch den Versorger ließen sich vermeiden. Große vorzuhaltende Leistungsreserven auf der Erzeugerseite könnten reduziert werden.

Positive Erfahrungen mit variablen Stromtarifen bei der Versorgung von Haushaltskunden wurden in einem Modellprojekt in der Stadt Eckernförde gesammelt [8]. Über Rundsteuer-

Abbildung 2  
Dynamischer Handel zwischen Energieverteiler und Kunden über einen Strompool im Stundenraster  
(Quelle: GhK)

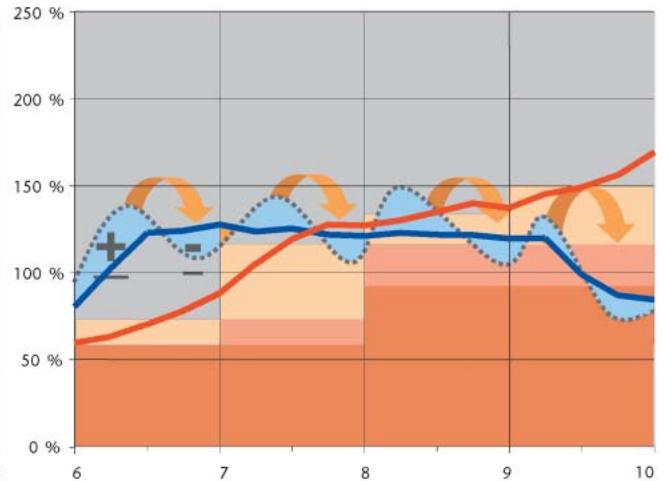
## Strompol als dynamische Komponente

Tagesverlauf



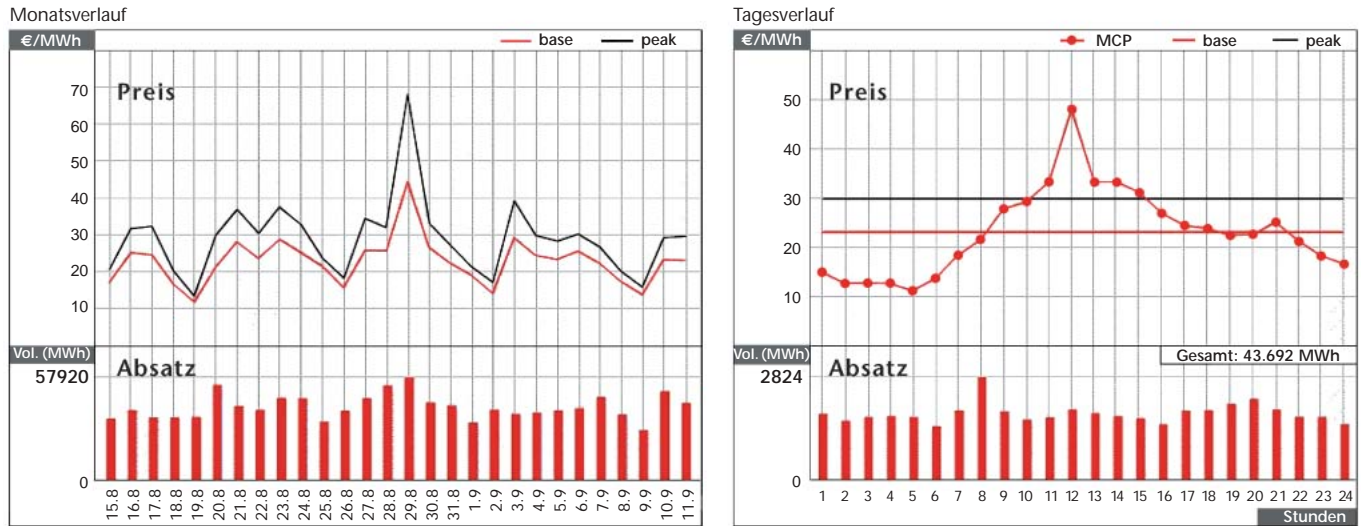
■ Lastgang EVU ■ Lastgang Großkunde ■ Feste Lieferverträge

Stundenraster



■ Eigenerzeugung ■ Strompool

Strombörse Leipzig LPX



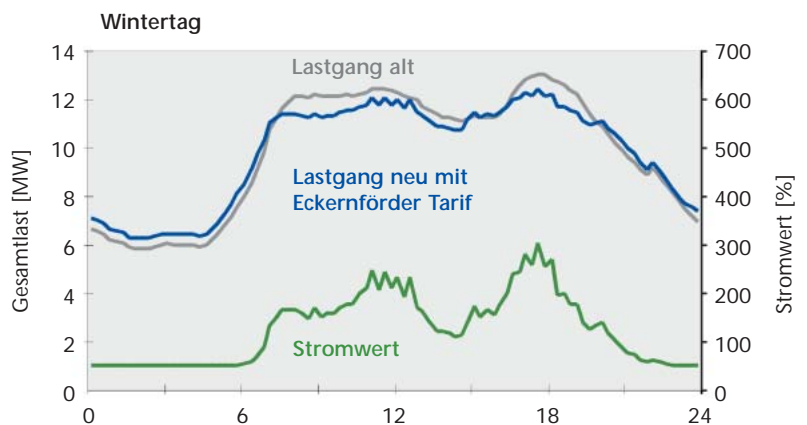
signale und eine neunstufige Stromwertampel erhielten die Kunden eine relative Preisinformation. Die Hochrechnungen des geänderten Nutzungsverhaltens der eintausend zufällig ausgewählten Testhaushalte auf das gesamte Stadtgebiet zeigte deutliche Lastverschiebungen im Tages- und Wochenverlauf aus den Hochlast- in die Schwachlastzeiten (Abb. 4). Die Spitzenlast wurde im Winter maximal um 6% und im Sommer maximal um 5% gesenkt.

## 2. Dezentrales Power-Quality- und Netzmanagement

Innovative Energiewandlungstechniken, wie drehzahlvariable mechanisch-elektrische Konverter für Wind- und Wasserkraftanlagen, Motoraggregate und Mikroturbinen, sowie direkte Konverter, wie Solar- und Brennstoffzellen, als auch Batterie und Schwungradspeicher werden über Stromrichter an das elektrische Netz angekoppelt. Die rasante Entwicklung in der Leistungselektronik und der Mikroprozessortechnik hat in den vergangenen Jahren einerseits zu erheblichen Kostensenkungen bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung geführt, andererseits aber auch weitere Möglichkeiten der Energieaufbereitung eröffnet.

So ist es mit modernen Stromrichtern nicht nur möglich, phasensynchrone sinusförmige Ausgangsströme zu erzeugen (Wirkleistung), sondern auch Blindleistung sowie Oberschwin-

gungen zu kompensieren (Abb. 5). Die Leistungsfähigkeit solcher Geräte wird dabei sowohl durch die gewählten Schaltungstopologien, die eingesetzten Bauteile als auch die Regelungskonzepte bestimmt. Konventionell generieren Stromrichter im Netzparallelbetrieb den Ausgangsstrom und die Frequenz aus der Netzspannung.



Die Ausgangsleistung wird auf der Stromrichterseite eingestellt bzw. geregelt. Zur Einbindung in übergeordnete Netzregelungskonzepte sind entsprechende Kommunikationsverbindungen erforderlich.

Implementiert man in die Stromrichter geeignete Regelungsverfahren [5], so lassen sie sich als Spannungsquellen parallel am Netz betreiben. Wie bei konventionellen Erzeugern im Netz üblich, wird dann der Leistungsbeitrag

Abbildung 3  
Zeitvariable Preise am Beispiel des Spotmarktes der Strombörse Leipzig (Quelle: VDI Nachrichten)

Abbildung 4  
Hochrechnungen des geänderten Nutzungsverhaltens im Modellprojekt Eckernförder Tarif zeigten deutliche Lastverschiebungen (Quelle: Morovic u. a., [8])

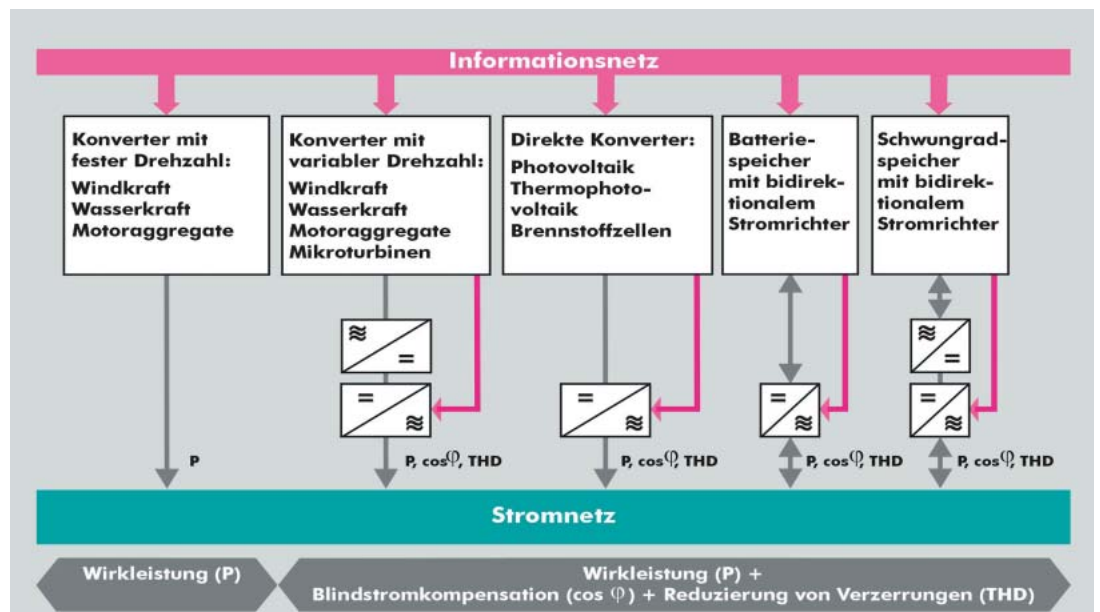


Abbildung 5  
Steuerbare  
Wirkleistung sowie  
Blindleistungs- und  
Oberschwingungs-  
kompensation durch  
Netzankopplung über  
Stromrichter  
(Quelle: ISET/GhK)

über Statiken geregelt (Abb. 6). Die Frequenz bestimmt dabei die Wirkleistung und die Spannung die Blindleistung.

Sinkt beispielsweise die Frequenz im Netz durch eine plötzliche Lasterhöhung (z. B. Zuschalten eines großen Verbrauchers oder Ausfall eines Kraftwerks) ab, dann wird als Gegenmaßnahme die Leistung aller im Netz angeschlossenen Einspeiser entsprechend der

eingestellten Neigung der Frequenz-Wirkleistungs-Statik erhöht, bis die Sollfrequenz wieder erreicht ist (Abb. 6). Im nächsten Schritt lassen sich über Kommunikationsverbindungen von den Leitstellen optimierte Leistungsbeiträge bei den einzelnen Kraftwerken bzw. dezentralen Einspeisern anfordern.

Darüber hinaus ermöglicht das Verfahren bei Netzausfällen den unterbrechungsfreien

### Stromrichterregelung mit Statiken

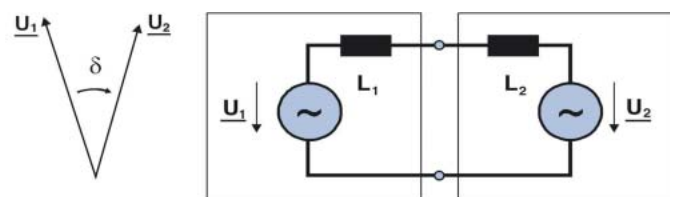
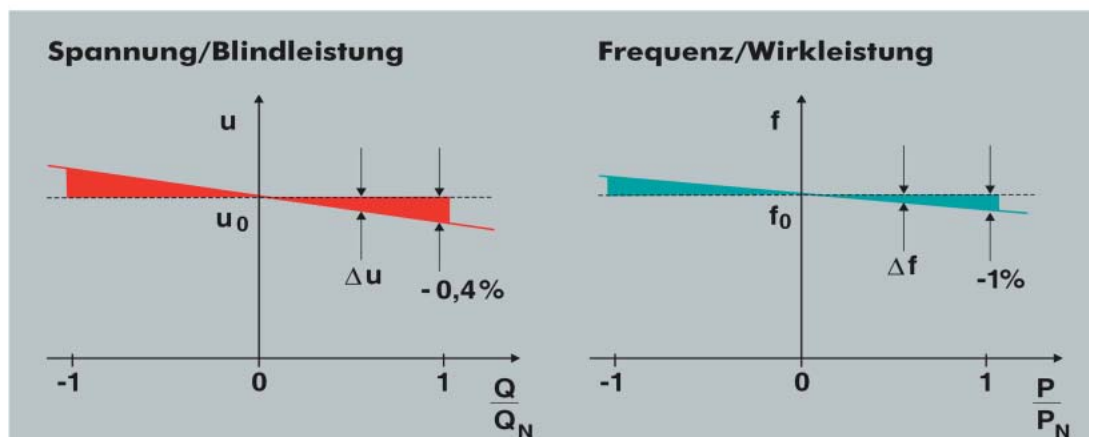


Abbildung 6  
Regelung des  
Leistungsbeitrages  
von Stromrichtern im  
Netzparallelbetrieb  
mit Statiken wie bei  
konventionellen  
Generatoren  
(Quelle: ISET/GhK)





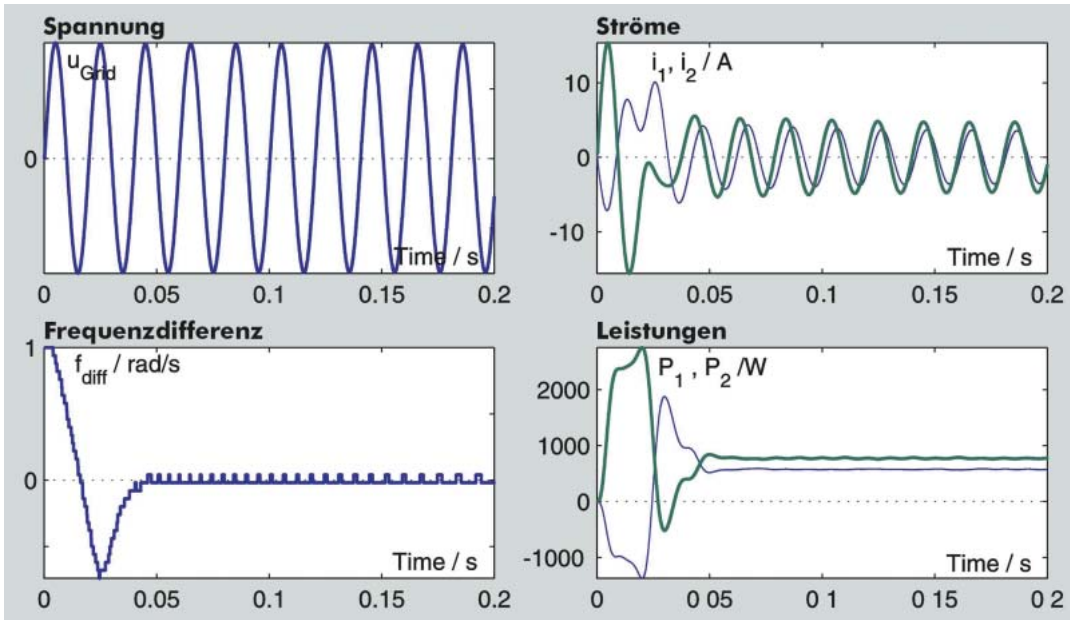


Abbildung 7  
Synchronisation  
und Leistungauf-  
teilung zwischen  
unabhängigen  
Stromrichtern durch  
digitale Regelung  
mit Statiken  
(Quelle: ISET)

Weiterbetrieb des Stromrichters. Entsprechend den im Stromrichter vorhandenen bzw. daran angeschlossenen Speicherelementen lassen sich so auch Funktionen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung realisieren (USV) [5].

### 3. Techniken zur elektronischen Kommunikation

Im Projekt EDISON (Energieverteilungsnetze mit dezentralen, innovativen Energiewandler-, Speicher- und Kommunikationssystemen) werden neben dem Einsatz dezentraler Energiewandler und -speicher in Kundennähe leistungsfähige Kommunikationssysteme mit zentraler und dezentraler Intelligenz eingesetzt [3], die möglichst auf standardisierte Kommunikationsschnittstellen zu allen Systemkomponenten und zu den Kundenanlagen zurückgreifen. Neben den vorhandenen Kommunikationswegen (Analog und ISDN, Integrated Services Digital Network) wurden speziell die Alternativen zur Überbrückung der "letzten Meile" zum Kunden untersucht. Dabei handelt es sich um die nicht leitungsgebundene Datenübertragung (z. B. GSM, Global System for Mobile Communication) und um Powerline Communication (PLC) [3].

Das zentrale Energiemanagementsystem ZEMS koordiniert die Arbeiten und Vorgaben

für die dezentralen Einheiten (Abb. 8). Auf der Grundlage von vorhandenen Verträgen, Wetterprognosen und Messdaten der einzelnen Stationen wird ein Tagesszenario entwickelt, welches als Leistungsfahrplan den dezentralen Elementen übergeben wird. Durch aktuelle Messungen, Alarm und Fehlfunktionsmeldungen dieser Elemente an das zentrale Leitsystem wird der Ablaufplan ständig aktualisiert. Somit ist eine zeitnahe Reaktion auf entsprechende Zustände und eine aktuelle Einschätzung der

Abbildung 8  
Systemtopologie des  
Zentralen Energie-  
management Systems  
(ZEMS) im EDISON-  
Projekt für ein virtuel-  
les Brennstoffzellen-  
Kraftwerk (Quelle: EUS)

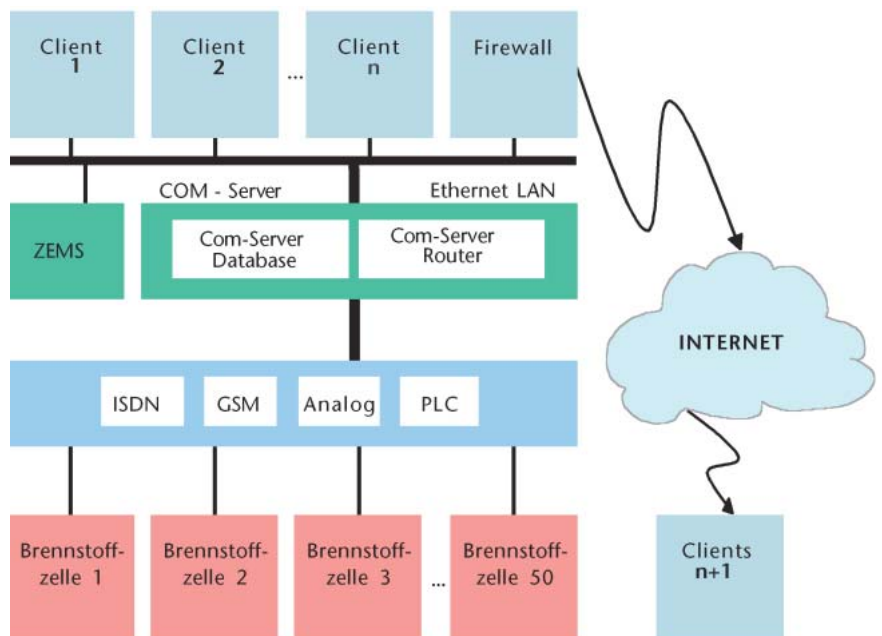
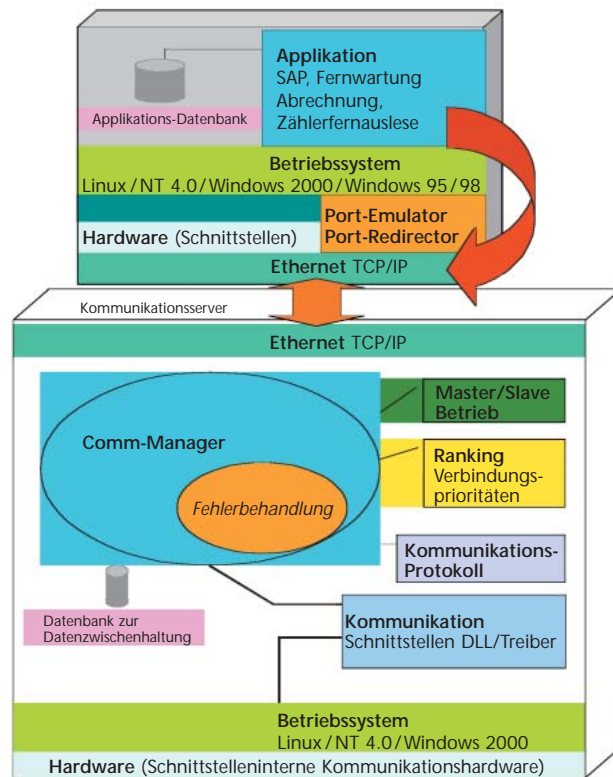


Abbildung 9  
Struktur des zentralen Kommunikations-servers im EDISON-Projekt zur Einbindung dezentraler Erzeugungseinheiten in ein Netzleitsystem  
(Quelle: EUS)



Netz-situation jederzeit gegeben. Zur Visualisierung freigegebener Daten werden vom zentralen Managementsystem diese an die Datenbank des Kommunikationsservers gesendet. Über eine entsprechende Internet-/Intranetabfrage werden die Daten auf dem Server ausgelesen und visualisiert. [3]  
Eine wichtige Forderung ist deshalb die Realisierung einer fehlerfreien und sicheren Kommunikationsanbindung des Leitsystems mit den Funktionselementen der dezentralen Einrichtungen. Realisiert wird dies durch den zentralen Kommunikationsserver (Abb. 9). Er ist zwischen das ZEMS und die kommunizierenden Einzelelemente geschaltet und übernimmt in dieser Struktur alle Aufgaben der Datenkommunikation für die verschiedenen Applikationen, wie Fernauslese, Abrechnung, Fernwartung, Prozessmanagement, Fernwirken usw. Die modulare Struktur ermöglicht die Erweiterung des Funktionsumfangs mit Diensten wie Routing, Firewall, Access Server, Webserver, Mail- und Newsserver, SMS-Gateway (Short Message System) und Alarmierungssystemen. Moderne bzw. zukünftige Übertra-

gungstechnologien, (Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL), voraussichtlich ISDN-Nachfolger), General Packet Radio Service (GPRS), neuer mobiler Übertragungsstandard, Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE), nächste Generation von GSM oder PLC) können durch die Verwendung von Standard-Schnittstellen einfach implementiert werden. Innerhalb eines Unternehmensnetzwerkes bietet sich zur Kommunikation zwischen den Workstations und dem Kommunikationsserver das Netzwerkprotokoll IP (Internet Protocol) an. Die Implementierung von Netzwerkprotokollen wie IPX (Internet Packet Exchange) ist möglich. [3]

Ziel des europäischen Projektes "Building Energy Management with Smart Systems (BySys)" [7] war es, ein System zu entwickeln, das eine maximale Eingriffsmöglichkeit des Nutzers ermöglicht. Dazu wurden zwei heute durchaus gebräuchliche Netzwerke miteinander verknüpft: eine EIB-Gebäudeautomation (European Installation Bus) und das TCP/IP-

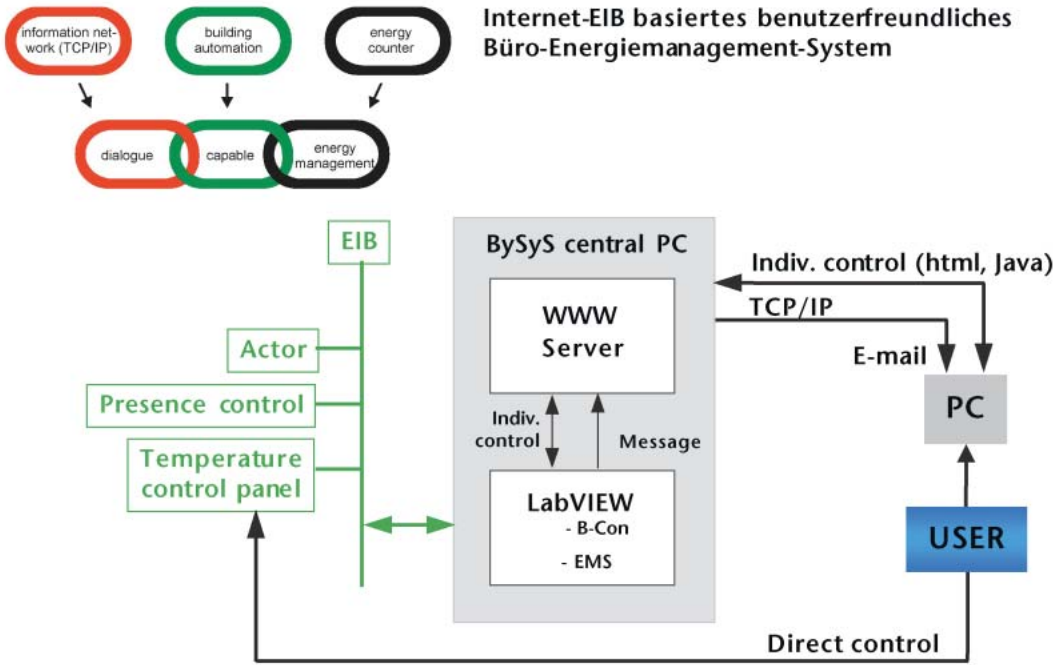


Abbildung 10 Büro-Energiemanagement-System mit Benutzerschnittstellen über EIB (Europäischer Installationsbus) und Internet (Quelle: Stadler [7])

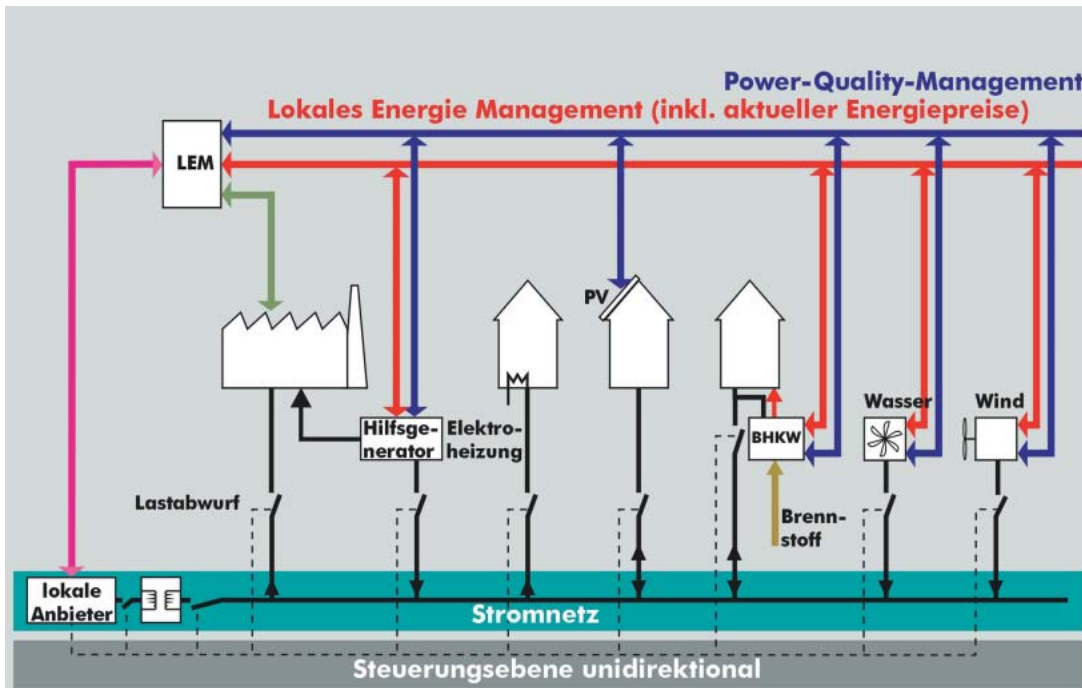


Abbildung 11 Kombiniertes Power-Quality-Management und Energiemanagement mit zeitvariablen Tarifen über eine bidirektionale Kommunikationsebene (Quelle: ISET/GhK)

Netz (Abb. 10). Damit hat der Nutzer die Möglichkeit, mit Hilfe eines Internet-Browsers an seinem PC die Einstellungen für seinen Arbeitsplatz vorzunehmen und zusätzlich, wie gewohnt, manuell über EIB-Schalter zu wählen. [7]

## 4. Zusammenfassung und Ausblick

Der Ausbau der Nutzung der erneuerbaren Energien sowie der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung bewirkt ein stetiges Wachstum dezentraler Einspeiser in das Stromversorgungsnetz. Erzeugungseinheiten, die über moderne Stromrichter in das Netz einspeisen, können sogar die Netzqualität verbessern.

Stromrichterregelungen mit Frequenz-Wirkleistungs- und Spannungs-Blindleistungs-Statiken erhöhen die Versorgungssicherheit und ermöglichen die Beteiligung dezentraler Einheiten an Ausgleichsvorgängen im Netz.

Ziel zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen muss es sein, die sich ändernden Versorgungsstrukturen so zu gestalten, dass die Netzstabilität und die Versorgungssicherheit auch bei steigenden Zahlen dargebotsabhängiger, fluktuierender Einspeiser ohne die Bereitstellung großer Leistungsreserven möglich sind. Neben dem richtigen Energiemix werden dabei leistungsfähige Kommunikationsstrukturen, Online- und Prognoseverfahren [6] für die Netzeinsatzplanung sowie bidirektionale Energiemanagement und -handelssysteme (Abb. 11) für den Dialog zwischen Energieerzeuger, Verteiler und Verbraucher von besonderer Bedeutung sein.

### Literatur

- [1] J. Schmid, W. Kleinkauf, M. Hoppe-Kilpper, M. Durstewitz, U. Krengel: Der Beitrag erneuerbarer Energien in zukünftigen elektrischen Versorgungssystemen, Energiezukunft 2030 - Schlüsseltechnologien und Techniklinien, in: Tagungsband IKARUS-Workshop der FfE, Mai 2000, Schliersee
- [2] G. Czisch, C. Ensslin, M. Hoppe-Kilpper, K. Rohrig, B. Emonts, W. Kleinkauf, F. Trieb, F. Staiss: Aufbau von Versorgungsstrukturen mit hohem Anteil Erneuerbarer Energien, Integration erneuerbarer Energien und dezentrale Energieversorgung, in: Tagungsband Jahrestagung des Forschungsverbands Sonnenenergie; September 2001, Potsdam
- [3] T. Stephanblome: Energie und Kommunikation am Beispiel eines zentralen Energiemanagementsystems (ZEMS) für ein virtuelles Brennstoffzellenkraftwerk; Interner Bericht zum Teilprojekt Kommunikation im BMWi-Projekt EDISON, EUS GmbH 2001, Gelsenkirchen
- [4] P. Otto: Bidirektionales Energiemanagement zwischen Stromversorger und Kunden mit Hilfe eines dynamischen Preismodells im liberalisierten Energiemarkt; Interne Studie, Fachgebiet Rationelle Energiewandlung, Institut für Elektrische Energietechnik, Universität Gesamthochschule Kassel, 1999, Kassel
- [5] A. Engler: Stromrichter für modular erweiterbare dezentrale elektrische Versorgungen - USV mit höchsten Anforderungen; VDI Gesellschaft Energietechnik in: Tagungsband Fachtagung, November 2001, Braunschweig
- [6] K. Rohrig, D. Christoffers: Prognoseverfahren zur optimalen Nutzung erneuerbarer Energien, in: Tagungsband Jahrestagung des Forschungsverbands Sonnenenergie; September 2001, Potsdam
- [7] I. Stadler: Dialogfähige Energiemanagementsysteme im Kontext von Energieverbrauch und Nutzerverhalten, Dissertation, Universität Gesamthochschule Kassel, April 2001, Kassel
- [8] T. Morovic, R. Pilhar, W. Möhring-Hüser: Dynamische Stromtarife und Lastmanagement – Erfahrungen und Perspektiven; in: Tagungsband Kasseler Symposium Energiesystemtechnik '97, Oktober 1997, Kassel