

# ■ Integration Erneuerbarer Energien in die Stromversorgung

- Technische Anforderungen an dezentrale Versorgungsstrukturen in Europa
- Das EDISON Projekt
- Photovoltaik am Gebäude – Stromversorgung mit Solarzellen?
- Strom aus Erdwärme in Deutschland
- Energie und Kommunikation
- Interkontinentale Stromverbände
- Prognoseverfahren zur optimalen Nutzung erneuerbarer Energien

# Technische Anforderungen an dezentrale Versorgungsstrukturen in Europa

## Wandel in der Energieversorgung

Aufgrund von Deregulierung und Liberalisierung, dem Streben nach Umwelt- und Ressourcenschonung sowie der Verfügbarkeit neuer Technologien wird die Energieversorgung von morgen neben wachsendem überregionalen Energieaustausch verstärkt kleine dezentrale Systeme zusammen mit Kraft-Wärme /Kälte-Kopplungen einsetzen und gegebenenfalls Rückspeisungen vornehmen (Abb. 1). Dabei wird der Energiesektor mehr und mehr durchdrungen von moderner Informationstechnologie in Form durchgängiger Kommunikation und verteilter Intelligenz, die z. T. völlig neue Möglichkeiten eröffnen.

Mit intelligenten dezentralen Energieversorgungssystemen dieser Art wird es zukünftig möglich sein, die Energieversorgung integral von "unten" her im geschlossenen Regelkreis zu optimieren anstelle der bisher nach Erfahrungswerten von "oben" her gesteuerten Verteilung einzelner Energieformen. Aus einer zentralen Monostruktur wird eine zentrale – dezentrale – integrale Mischstruktur. Das bedeutet eine regelrechte Umkehr der heutigen Versorgungsstrukturen und einen bedeutenden Beitrag zur Ressourcenoptimierung. Bezüglich der Elemente und Tätigkeitsinhalte einer zukünftigen Energiewirtschaft bauen die Primär- und Sekundärsysteme weitgehend auf die vorhandenen klassischen Inhalte auf (Abb. 2).

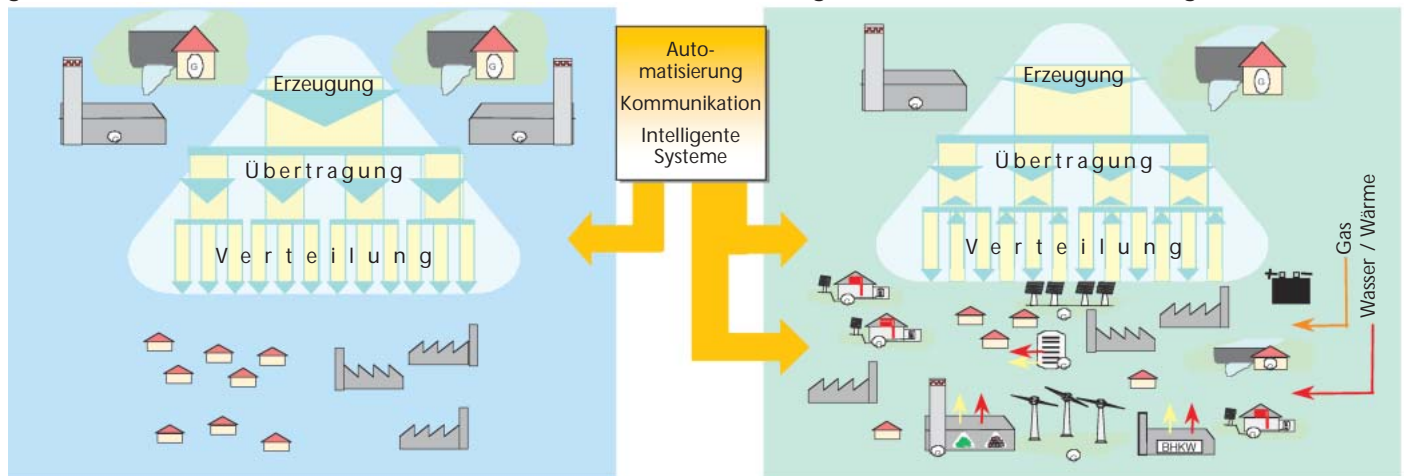
Dr. Rainer Bitsch  
Siemens AG  
Paul-Gossen-Str. 100  
D-91052 Erlangen  
Rainer.bitsch@ptd.siemens.de

Dr. Thomas Erge  
Fraunhofer ISE  
erge@ise.fhg.de

Dr. Peter Zacharias  
eupec GmbH + Co. KG  
Max-Planck-Str. 5  
D-59581 Warstein  
peter.zacharias@eupec.com

gestern: "zentral" z. B. elektrisch

morgen: "zentral + dezentral + integral"



Denn auf der Basis verbesserter Verfahren zur Prognose, Einsatzplanung und Lastverteilung wird das Energiemanagement verstärkt und sogar im Verteilungsbereich in der untersten dezentralen Ebene eine geregelte, lokale Kurzfrist-Optimierung ermöglichen, unter Einbeziehung von Gas, Wasser, Wärme bzw. Kraft- Wärme-Kopplung und eventueller Rückspeisung.

Selbstverständlich kommen neue und ergänzende Aufgabenstellungen hinzu wie: Lastflussstrukturen, Kurzschlussniveaus, Auslastung, Be- bzw. Überlastbarkeit, Schutzkonzept, Stabilität bei besonderen Betriebsituationen u.ä.m. Diese Aufgaben sind aber weitgehend mit bekannten Konzepten und Technologien - z. B. Elementen der Leistungselektronik - lösbar.

Abbildung 1  
Wandel in der Energieversorgung  
© 2001 Copyright Siemens AG

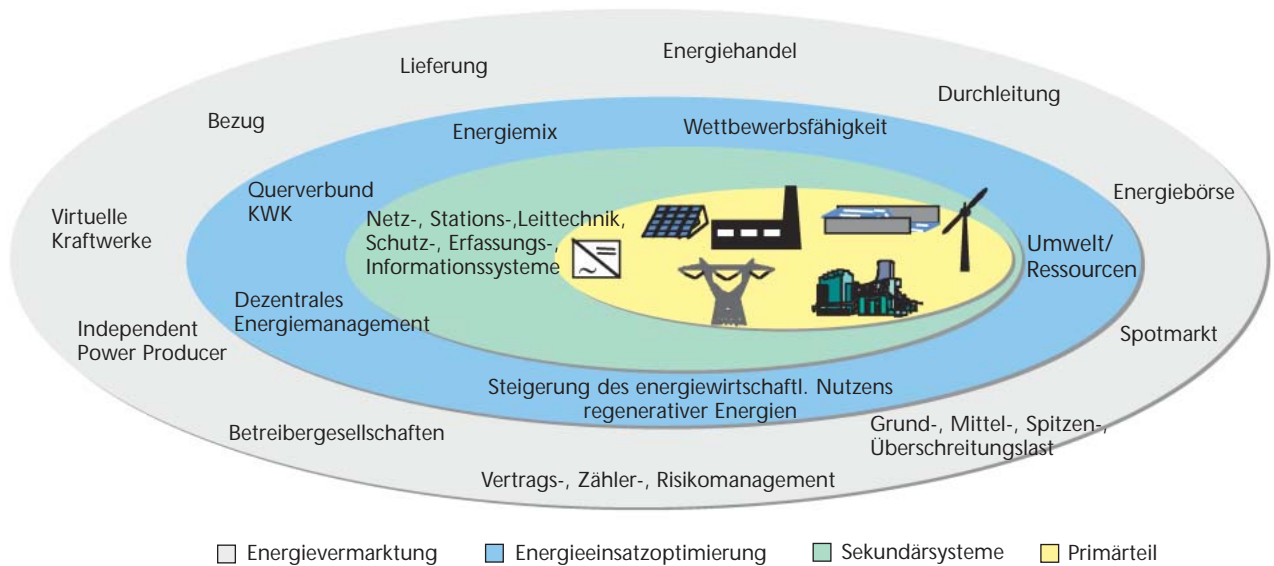


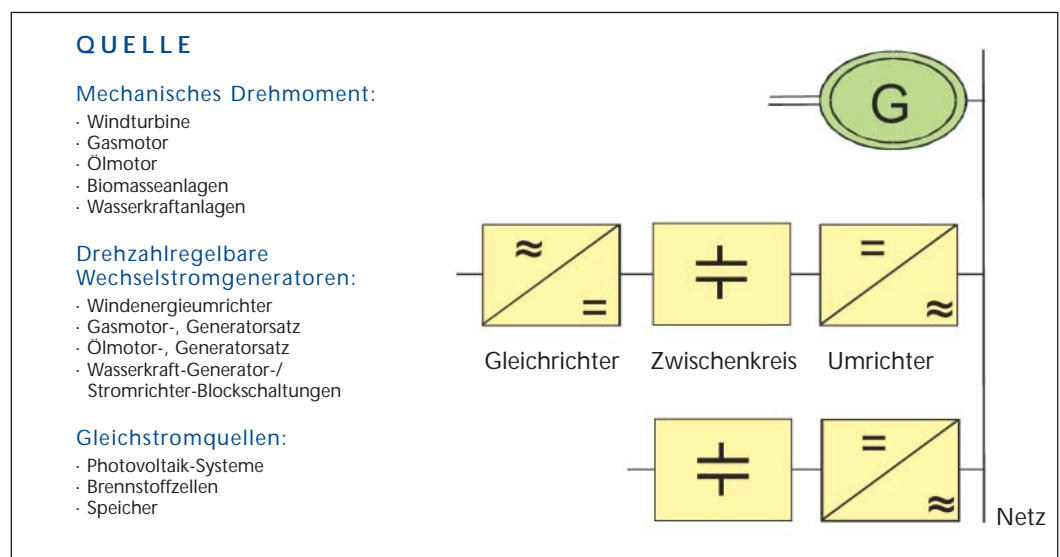
Abbildung 2  
Elemente und  
Tätigkeitsfelder  
zukünftiger  
Energiewirtschaft  
© 2001 Copyright  
Siemens AG

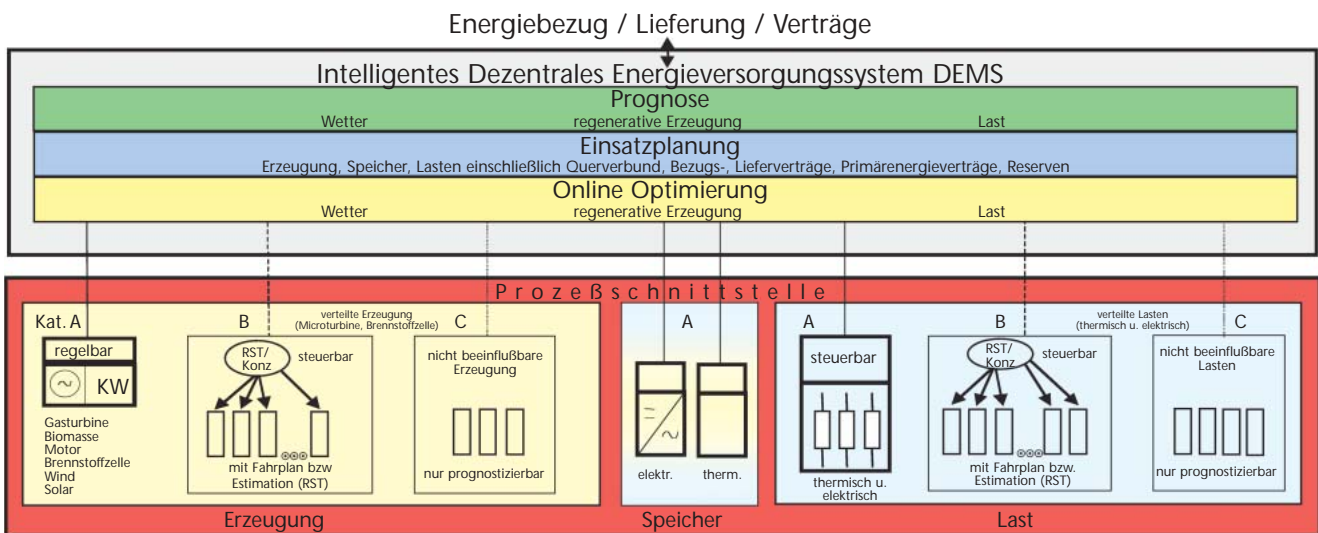
Wichtiger für das Erzielen einer breiten Akzeptanz ist neben der Steigerung des ökologischen Nutzens vor allem die Erhöhung des energiewirtschaftlichen Nutzens der regenerativen und dezentralen Energiequellen durch intelligentes Energiemanagement.

Eine Wettbewerbsfähigkeit dargebotsabhängiger Energieerzeugungen mit Großkraftwerken ist im Grundlastbereich zunächst kaum zu erwarten. Daher sind durch zusätzliche Maßnahmen z. B. aus der Automatisierungs- und Informationstechnik dezentrale Erzeugungen und Lasten in Clustern durch Prognosesysteme

überschaubar und planbar zu machen, gegebenenfalls zu regeln, Speicher zu bewirtschaften sowie verteilte kleine Kraft-Wärme-Kopplungen durch intelligentes Energiemanagement zu höherer Energieeffizienz und vertragsbasierter Vermarktbarkeit zu führen: D.h. Steigerung des energiewirtschaftlichen Nutzens durch intelligentes Zusammenfassen von Kilowatt zu Megawatt und Gigawatt mit beeinflussbaren vertragsfähigen Leistungsprofilen. Ausgangsbasis dafür sind dezentrale Energieversorgungssysteme, die nach entsprechendem Konzept integriert sind und die optimierungsrelevante Funktionen beinhalten.

Abbildung 3  
Einspeiseeinheiten  
für regenerative  
bzw. dezentrale  
Energiequellen  
© 2001 Copyright  
Siemens AG





## 1. Intelligente dezentrale Energieversorgungssysteme

Solche intelligenten dezentralen Energieversorgungssysteme können aus verschiedenen kleinen Erzeugereinheiten (z. B. auf der Basis von Wind, Sonne, Wasser, Biomasse, Gas), aber auch Speichern, sowie unterschiedlich strukturierten industriellen und privaten Verbrauchern mit oder ohne Netzanbindung bestehen. Primärseitig können diese regenerativen/dezentralen Erzeugungen - wie oben erwähnt - je nach Charakteristik konventionell aber auch mit modernster Leistungselektronik in das System eingebunden werden (Abb. 3):

So z. B. ausgehend vom mechanischen Drehmoment als Energiequelle - der klassische Drehstromgenerator mit direkter Einspeisung ins Netz, drehzahlregelbare Wechselstromgeneratoren, die insbesondere bei Windkraftanlagen der Erhöhung der Netzverträglichkeit dienen und über Gleichrichter, Zwischenkreis und Umrichter ins Netz einspeisen und schließlich Gleichstromquellen ebenfalls mit Einspeisung über Zwischenkreis und Umrichter.

Neben der elektrischen Energie fällt bei Kraft-Wärme-Kopplung Wärme an, die ausgekoppelt und den Verbrauchern für Produktionsprozesse bzw. Heizung zugeleitet wird.

Ziel eines ganzheitlichen dezentralen Energieversorgungskonzeptes ist es nun,

- die Energie möglichst dort zu erzeugen, wo sie gebraucht wird, bzw. zu verbrauchen, wo sie erzeugt wird
- die verfügbare Energie – insbesondere dargebotsabhängige regenerative Energie – der Last zuzuführen, die im Augenblick des Dargebots den dringendsten Bedarf bzw. die beste Verwendung hat,
- der erforderlichen überregionalen Energiebezug aus dem Netz zu optimieren und so die Versorgung des Gebietes energetisch, ökonomisch und ökologisch nach vorzuziehenden Kriterien zu optimieren.

Voraussetzung dafür ist eine leistungsfähige Kommunikation zwischen Erzeugung, Speicher, Verbraucher und Leitstelle sowie ein innovatives dezentrales Energiemanagementsystem mit Prognose, Einsatzplanung und Online-Optimierung einschließlich Kraft-Wärme-Kopplung sowie evtl. Rückspeisung (Abb. 4).

Zur Zeit werden verschiedene Pilotprojekte im Sinne dieses Konzeptes in Deutschland entwickelt, um Funktionalität, Effizienzsteigerung sowie energie- und gesamtwirtschaftlichen Nutzen unter Beweis zu stellen: z. B. im Rahmen des BMWi-Leitprojektes "Edison" im Netz der Stadtwerke Karlsruhe und der EnBW.

Abbildung 4  
Intelligentes  
Dezentrales  
Energieversorgungssystem mit Kraft-Wärme-Kopplung  
© 2001 Copyright  
Siemens AG

Die Basis für ein Dezentrales Energiemanagementsystem (DEMS) ist die Prognose, die ggf. bereits mit dem Wetter als einer wesentlichen Einflussgröße beginnt und die Gesamtheit aller dargebotsabhängigen Erzeugungen und Lasten voraussagt. Davon wird eine Einsatzplanung im Viertel-Stunden-Raster abgeleitet, auf deren Basis eine Online-Optimierung mit Zugriff auf die Erzeugungsregelung und die Lastregelung den aktuellen Abgleich vornimmt. Die ermittelten Sollwerte werden über eine Prozessschnittstelle an die Erzeuger-, Last-, und Speicherelemente weitergegeben bzw. die Ist-Werte zurückgemeldet bzw. berücksichtigt.

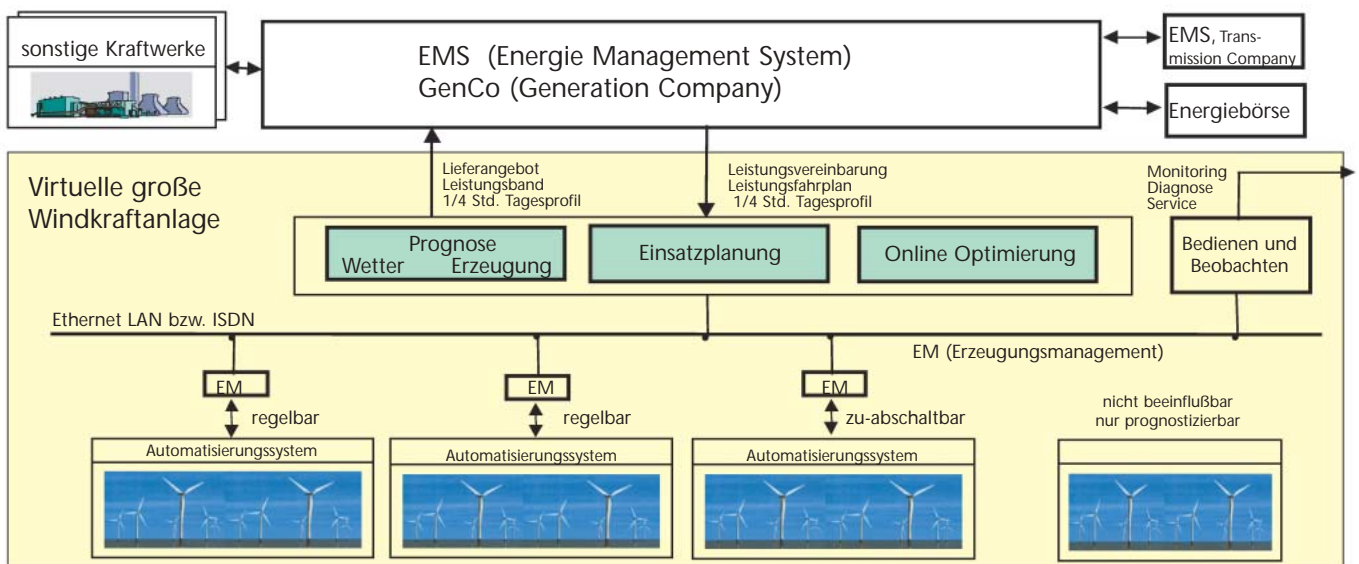
Das Energiemanagementsystem besitzt auch die Möglichkeit einer Simulation, mit der die Projektierung und Auslegung des Energieparks mit seinen unterschiedlichen Erzeugern, Speichern und Lasten, seinem Betriebsverhalten sowie möglichen Ergänzungen bei neuen Kundenanforderungen oder weiterem Ausbau optimiert werden können. Darüber hinaus können auch operative energie- und betriebswirtschaftliche Simulationen durchgeführt, um den wirtschaftlichen Nutzen zu ermitteln.

angeschlossen sind. Dabei wird der kommunikative Aufwand entsprechend dem möglichen Beitrag der einzelnen Anlagenobjekte zum Optimierungsergebnis differenziert bemessen. Als Ergebnis einer Aufwand-/Nutzenbetrachtung wird z. B. die Kategorie A (Anlagenobjekte mit großer Bedeutung) über eine Standleitung im Minutentakt geregelt, während die Kategorie B z. B. über Wählleitungen nur mehrstündige Leistungsfahrplanvorgaben bzw. Rundsteuersignale erhält. Kategorie C hingegen wird gar nicht beeinflusst, sondern nur prognostiziert und eingeplant. Nach außen hin erhält das Energiemanagement Vorgaben zu Bezug, Lieferung und zu entsprechenden Verträgen.

## 2. Virtuelle Großanlagen

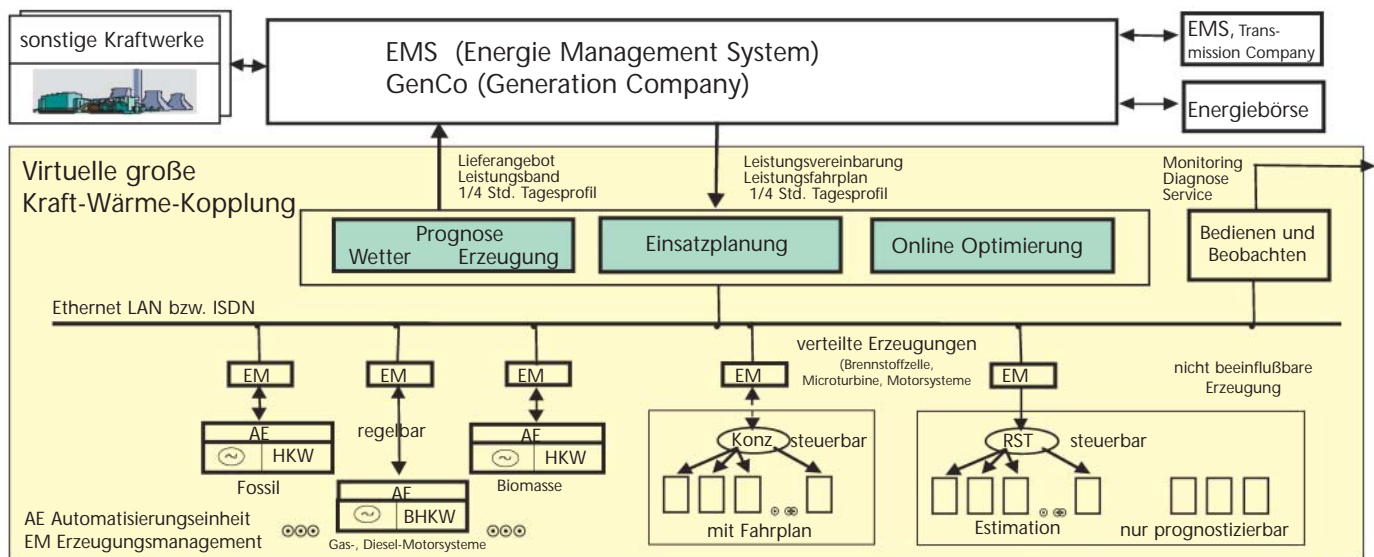
Von dem oben beschriebenen dezentralen Konzept lassen sich besondere Ausführungen ableiten, die zunehmend an Bedeutung gewinnen, da sie die Möglichkeiten des liberalisierten Energiemarktes erst erschließen helfen. Wird z. B. ein Mix unterschiedlichster verteilter

Abbildung 5  
Virtuelle große Windkraftanlagen mit Systemeinkbindung  
© 2001 Copyright  
Siemens AG



Der Optimierungsprozess für ein derartiges intelligentes dezentrales Energieversorgungssystem mit Kraft-Wärme-Kopplung und evtl. Rückspeisung verläuft kommunikativ über ISDN bzw. ein LAN, an das die einzelnen Elemente von Erzeugung, Speicherung und Last

Erzeugereinheiten, die sich in einer Zuständigkeit befinden, in zuvor beschriebener Weise zusammengefasst und durch Funktionen des Bedienens und Beobachtens ergänzt, so ergibt sich ein virtuelles Kraftwerk, das an das überlagerte Energiemanagementsystem einer



Erzeugungsgesellschaft Tagesprognosen seiner Erzeugung im Viertelstunden-Raster anbietet. Auf dieser Basis wird einem virtuellen Kraftwerk ein entsprechenden Leistungsfahrplan vorgegeben, der durch die Online-Optimierung so exakt wie möglich abgefahren wird. Damit kann dieser verteilte Erzeugungsmix als virtuelle große Erzeugungseinheit mit ergänzendem Kurzfrist-Energieaustausch über die Börse in vergleichbarer Weise zur allgemeinen Energieversorgung beitragen wie sonstige Kraftwerke.

Reduziert sich der Energiemix auf nur eine Primärenergie, z. B. Windenergie, so wird aus dem virtuellen Kraftwerk eine große virtuelle Windanlage, die ihrerseits je nach Typ und kommunikativer Anbindung aus einem Mix regelbarer, zu- und abschaltbarer sowie nicht beeinflussbarer, d.h. nur prognostizierbarer, Windkraftanlagen besteht (Abb. 5).

Damit kann ein rein regeneratives fluktuierendes Energieangebot die verteilte Erzeugungskapazität aufgrund von Prognosen und korrespondierenden Leistungsfahrplänen bei entsprechender Wahl der Betriebsstrategie als virtuelle große Erzeugungseinheit netzvertraglich ohne größere Reservevorhaltung zur allgemeinen Energieversorgung beitragen und der energiewirtschaftliche Nutzen regenerativer Energien deutlich erhöht werden. Das gilt insbesondere für große Offshore-Windparks mit installierten Leistungen >100 MW, wo je nach Netzcharakteristiken derartige Maßnahmen zunehmend erforderlich werden.

Darüber hinaus können auch Kraft-Wärme-Kopplungssysteme mit elektrischer Rückspeisung in gleicher Weise zu virtuellen großen Erzeugungseinheiten zusammengefasst werden - trotz möglicher großräumiger Verteilung in kleinen Einheiten (Abb. 6). Auch hier ergeben sich neben grundsätzlicher energetischer und ökologischer Optimierung z.T. auch neue Geschäftsmöglichkeiten für Energiedienstleister. Bisherige Gasversorger z. B. können ihren Kunden zukünftig dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungssysteme mit Leasing-Vertrag zur Verfügung stellen und sich für ausgewählte Einheiten zugleich einen vertraglich vereinbarten Zugriff auf die Betriebsführung zur Gesamtsystemoptimierung vorbehalten. Aufgrund der nunmehr möglichen elektrischen Rückspeisung werden die Gasversorger zu Querverbundunternehmen und können auf Basis eines prognostizierten Wärmebedarfs und optimierter Leistungsplanung vertragsfähige Stromspeisung ins Verteilungsnetz anbieten. Dabei kann die Struktur des Querverbundes durchaus sehr komplex sein je nach Anlagenobjekten - z. B. Kraftwerk, Heizwerk, Heizkraftwerk, Blockheizkraftwerk und Speicher - und Primärenergieträgern wie z. B. Kohle, Öl oder Gas (Abb. 7). Es ist letztlich nur eine Frage der Eigentümerschaft, des Optimierungsbereiches und der Optimierungsziele bzw. -strategie sowie kostenoptimierten Auslegung des dezentralen Versorgungssystems. Entscheidend ist dabei vor allem die eingesetzte Kommunikation.

Abbildung 6  
Virtuelle Kraft-Wärme-Kopplung mit Systemeinkbindung  
© 2001 Copyright Siemens AG

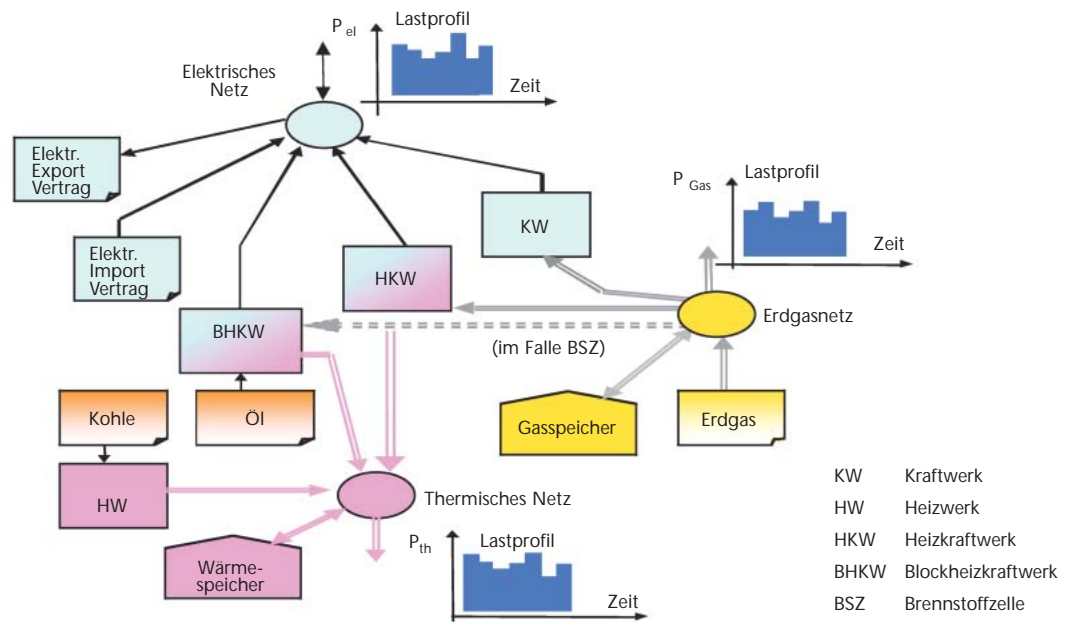


Abbildung 7  
Struktur eines  
Querverbundsystems  
© 2001 Copyright  
Siemens AG

### 3. Kommunikation

Die erforderliche Kommunikation erfolgt über ein Netz mit Standleitungen und Wählverbindungen zur Übertragung von Einzelwerten bzw. Zeitreihen (Abb. 8). Es können aber je nach Projektgegebenheit auch Funkverbindungen, PLC<sup>1</sup>-Strecken oder Rundsteuersysteme mit zum Einsatz kommen. Im Falle der Online-Regelung von Anlagenobjekten der Kategorie A - wie z. B. Biomasse-Kraftwerke und Blockheizkraftwerke - mit Einzelwerten im Minutentakt ist z. B. eine ISDN-Verbindung mit OPC-Schnittstelle<sup>2</sup> eine erprobte Lösung. Mehrstündige Leistungsfahrpläne mit Wertreihen für Objekte der Kategorie B - wie z. B. Solarzellen-Anlagen und Brennstoffzellen - werden zunehmend webbasiert mit XML-Schnittstelle<sup>3</sup> übertragen – gegebenenfalls durch besondere Ereignisse, z. B. Ausfall eines Systems, spontan aktualisiert aufgerufen. Mit derartigem aufwand-/ nutzenorientiertem Abgleich von Optimierungspotenzialerschliessung, kommunikativem Investment und angestrebter Amortisationszeit lassen sich zukünftig derartige Aufgabenstellungen zielführend lösen.

Das Optimierungspotenzial aus einem derartigen dezentralen Konzeptansatz sei beispielhaft an einem Testfall des Leitprojektes Edison dargestellt (Abb. 9):

Der Lastgang, bestehend aus einer Mischstruktur von privatem Verbrauch im Stadtgebiet, industrieller Last sowie rundsteuerungsabhängigen Lasten, zeigt unbeeinflusst noch die typische Nachtsenke. Der optimierte Lastgang ist in der Spitze niedriger und vom Verlauf her gleichmäßiger aufgrund der Verschiebung von beeinflussbaren Lasten in die Nachtsenke. Dazu gehört auch die Aufladung eines Batterie-Energiespeichers. Dieses Lastprofil wird abgedeckt durch die verfügbaren Grund- und Spitzenlastverträge (Grenze 15 MW), eine Gasturbine kommt vor allem am Tag zum Einsatz und der Batterie-Energiespeicher wird in Spitzen entladen. Aus dieser dezentralen Optimierung ergeben sich im vorliegenden Beispiel Energiekosteneinsparungen von ca. 25%.

### 4. Perspektiven intelligenter dezentraler Energieversorgungskonzepte

Die Potenziale neuer, intelligenter Energieversorgungskonzepte lassen sich folgendermaßen zusammenzufassen: Die Energieversorgung wird einen Wandel durchlaufen von einer in Mitteleuropa bisher mehr erzeugungsdominierten, durch Sicherheits- und Reserve-Denken geprägten Versorgungsstruktur, zur verbrauchsorientierten, ökonomisch / ökologisch opti-

<sup>1</sup> PLC = Powerline Communication <sup>2</sup> OPC = open protocol communication <sup>3</sup> XML = extended mark up language

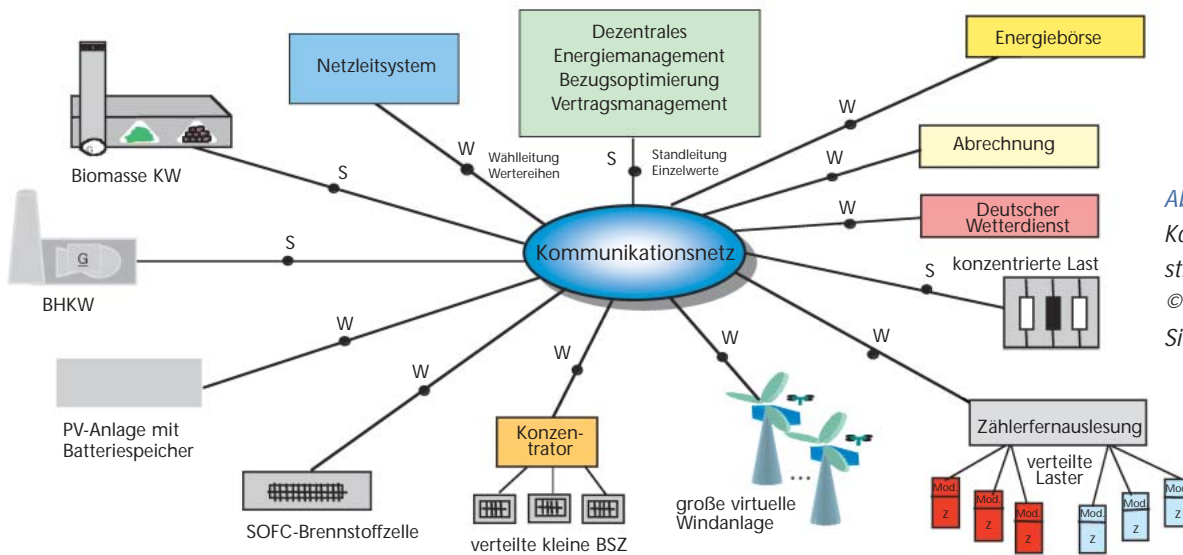


Abbildung 8  
Kommunikationsstrukturen  
© 2001 Copyright Siemens AG

mierten Energieversorgung mit folgenden Merkmalen:

- Einbeziehung aller sinnvoll nutzbaren Energieressourcen in dezentrale Energieversorgungskonzepte mit geregelter lokaler Optimierung einschließlich evtl. vertragsbasiertem Energieaustausch
- Steigerung des energiewirtschaftlichen Nutzens regenerativer Energien im Energiemix in Verbindung mit Speichern, steuerbaren Lasten unterschiedlicher Versorgungsanforderungen, Kraft-Wärme-Kopplung und virtuellen Großanlagen zur Beteiligung am Energiemarkt ("Kilowatt werden zu Megawatt und Gigawatt")
- Anwendung neuester Informations- und Kommunikationstechnologien. Die entscheidenden Technologien stehen grundsätzlich zur Verfügung. Schon heute sind nach Einschätzung der SIGRE-Konferenz (Bericht 137, Feb. 1999) fluktuierende Einspeisungen von 40% prinzipiell möglich. Allerdings sind zur schnelleren Umsetzung der neuen Technologien noch verschiedene Standardisierungserfordernisse zu definieren z. B. zu
  - Energie-Kommunikationssystemen
  - Automatisierungsschnittstellen
  - Power-Quality-Anforderungen
  - Schutzkonzepten
  - Inselbetriebsituationen

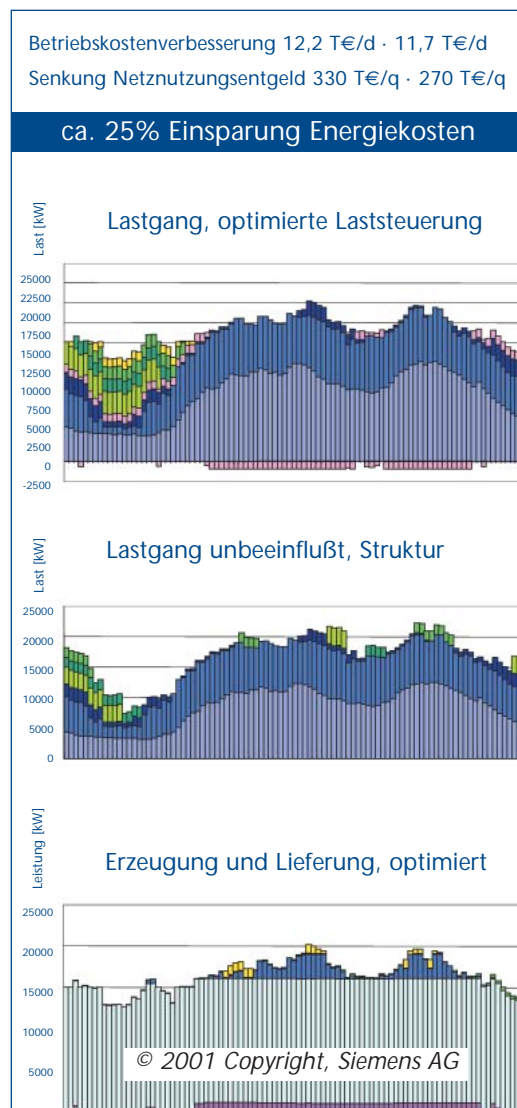


Abbildung 9  
Optimierungspotenzial durch Dezentrales Energiemanagementsystem DMS.  
Testfall Leitprojekt Edison