

Das EDISON Projekt

Dipl.-Phys.
Norbert Lewald
Stadtwerke Karlsruhe
Daxlanderstr. 72
D-76127 Karlsruhe
norbert.lewald@
stadtwerke-karlsruhe.de

Einführung

Ökonomische und ökologische, sowie daraus resultierende politische Randbedingungen innerhalb der Europäischen Union und deren Mitgliedsländer werden in Zukunft zu einer verstärkten Nutzung erneuerbarer und alternativer, energie-effizienter Energietechnologie führen. Das komplexe Zusammenspiel aus Liberalisierung des Energiemarktes, Forderung nach CO₂-Reduktion und Ausstieg aus der Kernkraft in Deutschland, wird eine Umstrukturierung der Energielandschaft hin zu dezentralen Versorgungssystemen zur Folge haben. Das Projekt EDISON – eines der ersten Leitprojekte des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) des Sektors Energie – hat zum Ziel, intelligente Energieverteilungsnetze durch die Anwendung dezentraler, innovativer Erzeugungs-, Speicher-, Informations- und Kommunikationssysteme zu entwickeln. Die dabei entstehende Infrastruktur soll nicht nur eine problemlose Einbindung der zukünftigen dezentralen Komponenten ermöglichen, sondern diese auch zu ökonomischen wie qualitativen Vorteilen hinsichtlich des Netzbetriebes und Netzausbaus nutzen.

1. Versorgungsstrukturen Heute

Die zukünftig zu erwartenden und teilweise heute schon existierenden Probleme der aktuellen Versorgungsstruktur lassen sich im Kern auf drei Schlagworte reduzieren: Architektur, Information und Kommunikation.

Wie aus *Abb. 1* ersichtlich, ist die derzeitige Versorgungsstruktur eine strikte "Top-Down" Architektur, welche nur einen unidirektionalen Energiefluss von Hoch- zu Niederspannungsnetzen zulässt. Die vorgesehene Struktur der Erzeugung mittels Großkraftwerken auf den Hoch- und Höchstspannungsnetzen, des Transports über Hoch- und Mittelspannungsnetze sowie der Verteilung über Mittel- und Niederspannungsnetze läßt keinen Raum für die in Zukunft benötigte Flexibilität hinsichtlich

der Einbindbarkeit einer Vielzahl dezentraler Erzeuger auf den niedrigeren Spannungsebenen. Dies würde im Extremfall zu bidirektionalen Energieströmen und damit undefinierten Zuständen im Netz führen. Auch aus ökonomischen Gesichtspunkten heraus betrachtet, erweist sich die derzeitige Struktur als nicht mehr zeitgemäß. Mindestens 20-jährige Abschreibungszeiträume für großtechnische Anlagen und Aufbau von neuen Überkapazitäten beim weiteren Netzausbau lassen sich kaum mit den marktwirtschaftlichen Forderungen des liberalisierten Marktes nach kurzen Abschreibungszeiträumen oder flexiblen und ökonomisch wie technisch angepassten Erweiterungen in Einklang bringen. Neben der Problematik der langwierigen Genehmigungsverfahren derartiger Strukturen hat uns auch der 11. September 2001 vor Augen geführt, wie verletzlich und abhängigmachend zentrale hierarchische Großstrukturen sind. Nicht nur gegen Terrorangriffe sondern auch im Fehlerfall oder durch Importabhängigkeiten im Großen wie im Kleinen.

Mit Information ist vor allem die Information über die tatsächlichen Zustände in den Niederspannungsverteilnetzen gemeint (nicht diejenigen über Schaltzustände und Energieflüsse in Umspannwerken, Schaltanlagen oder großen Trafostationen). Meist sind dort die tatsächlichen Spannungen, Oberwellengehalte oder Blindleistungen unbekannt. Messungen werden in diesem Bereich, wenn überhaupt, nur stichprobenartig durchgeführt. Im Extremfall führt dies dazu, dass lokale Probleme im Niederspannungsnetz auf der nächst höheren Spannungsebene behoben werden, ohne Berücksichtigung der dabei entstehenden Übertragungsverluste. Lokale Probleme werden demzufolge oftmals "global" gelöst.

Eng verknüpft mit der mangelnden Information über Zustände in den Niederspannungsverteilnetzen sind die nicht oder nur sehr begrenzt vorhandenen Kommunikationsmöglichkeiten innerhalb des Netzes. Die der Netzleittechnik bekannten Kommunikationswege sorgen für

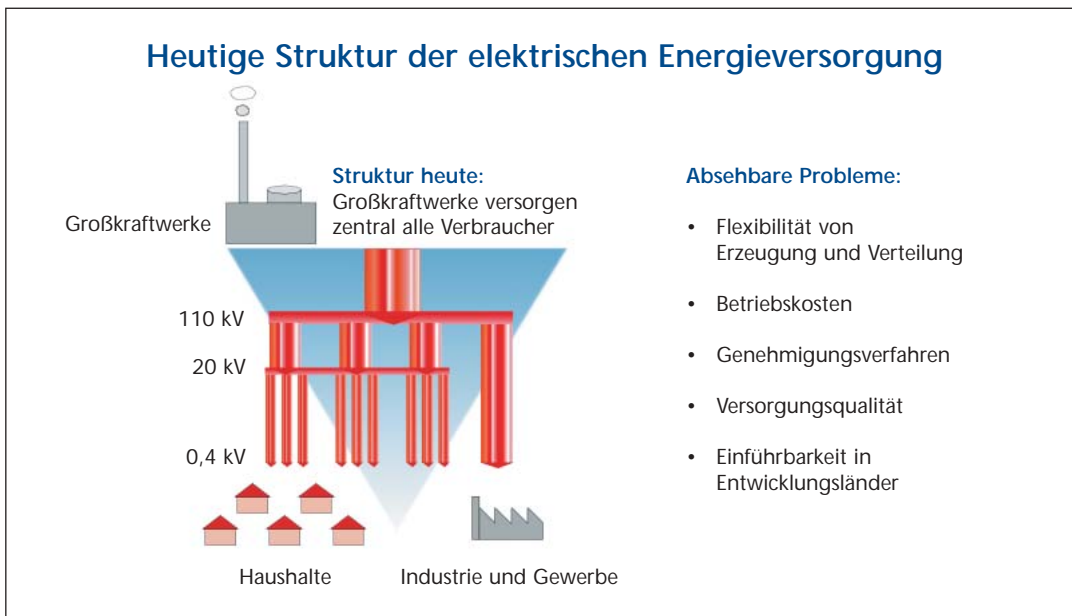


Abbildung 1
Klassische "Top-Down" Architektur des elektrischen Netzes

eine grundlegende Funktion des Netzes und stellen den unidirektionalen Energiefluß sicher. Um aber eine Vielzahl dezentraler Systeme "beherrschbar" zu machen und nicht nur den Energiefluß zu kontrollieren sondern auch die Spannungsqualität sicherzustellen oder lokale Probleme überhaupt erst sichtbar zu machen, bedarf es einer durchgängigen bidirektionalen Kommunikation zwischen allen beteiligten Systemen: Netzleitsystem, Managementsystem, dezentralen Speichern und Erzeugern, Verbrauchern und Knotenpunkten.

2. Versorgungsstruktur Morgen

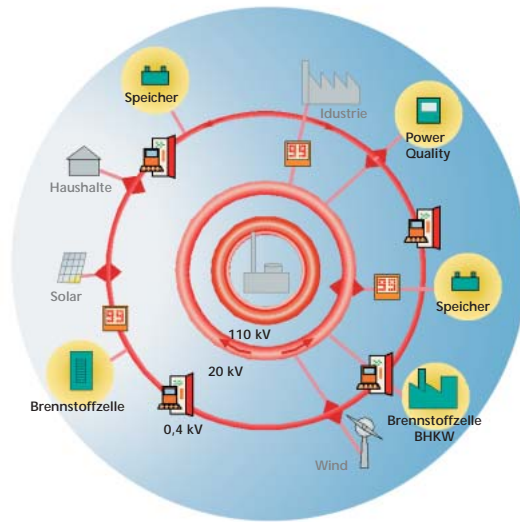
In der Diskussion über die möglichen Energieversorgungsstrukturen von Morgen ist derzeit sicher, dass es vermehrte dezentrale Einspeisung geben wird. Welche Technologien zu welchen Anteilen daran teilhaben werden, sei hier hinten angestellt. Die Möglichkeiten reichen von Motor-Blockheizkraftwerken (BHKW) über Mikroturbinen bis zu den innovativen Brennstoffzellen in den "konventionellen" Technologien sowie von Wasser- über Windkraft zu Solaranlagen auf Seiten der erneuerbaren Energiequellen.

Die zu der "Top-Down" Architektur konträre Meinung eines totalen Umbaus hinzu einer "Bottom-Up" Architektur, bei der nur noch

lokaler Verbrauch durch lokale Erzeugung mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien befriedigt wird, wäre prinzipiell sicherlich erstrebenswert ist aber ökonomisch derzeit noch nicht durchführbar. Dies würde zudem aktuellen und durchaus sinnvollen Bestrebungen entgegen stehen, erneuerbare Energien in klimatisch wie geographisch bevorzugten Gegenden zu ernten und sie dann geographisch entfernten Gebieten zuzuführen, in denen diese Energiemenge auch tatsächlich genutzt werden kann. Zu nennen sind hier Offshore Windparks aber auch solarthermische Großanlagen im nördlichen Afrika.

Sinnvoll hingegen scheint ein integraler Ansatz zu sein, welcher auch im Projekt EDISON verfolgt wird und der in [Abb. 2](#) dargestellt ist. Hierbei wird die existierende, zentrale, hierarchische Versorgungsstruktur nicht nur um Meßwerterfassungs- und bidirektionale Kommunikationsmöglichkeiten in und über alle Spannungsebenen hinweg ergänzt, sondern im Einzelfall auch um energietechnische Anlagen erweitert. Die energietechnischen Anlagen können eine vermehrt dezentrale Einspeisung energietechnisch kontrollieren und nutzen und gegebenenfalls sogar einen bidirektionalen Energiefluß innerhalb einer Spannungsebene oder auch über verschiedene Spannungsebenen hinaus managen.

Die Lösung: zentrale / dezentrale intelligente Energieversorgung



Vorteile:

■ Brennstoffzellensysteme
■ Energiesysteme
■ Power Quality Geräte

+

■ Intelligente Kommunikationssysteme

+

■ Dezentrale Energiemanagementsysteme

=

EDISON

plus Mehrwert...

Abbildung 2
Integraler Ansatz zur
Restrukturierung des
elektrischen Netzes im
Projekt EDISON.

- Erster Zielpunkt zum Erreichen des dargestellten integralen Ansatzes ist mit Sicherheit die Bereitstellung geeigneter Meßwertfassung. Da diese großflächig und damit in hoher Stückzahl zur Verfügung stehen muss, muss diese erheblich einfacher, flexibler und vor allem kostengünstiger werden.
- Zweiter Zielpunkt wäre demnach die Implementierung einer bidirektionalen Kommunikationsstruktur, welche nicht nur die gewonnenen Meßwerte zum Zustand des Netzes auswertet, sondern auch die Möglichkeit zur aktiven Kontrolle verschiedenster energietechnischer Anlagen liefert. Seien es Erzeuger, Verbraucher, Speicher oder auch rein qualitätsverbessernde Anlagen.
- Dritter Zielpunkt wäre der konzentrierte Einsatz dezentraler Technologien. Aus der Sicht eines Netzeilbetreibers sind das dezentrale Anlagen zur Erzeugung elektrischer Energie, die in dem vorausgesagten Szenario in vermehrter Stückzahl implementiert werden, als auch Anlagen, die einer Kontrolle des komplexeren Energieflusses und einer Stabilisierung und Qualitätsverbesserung des Netzes dienen. Hierzu gehören lokale Speichersysteme, Power-Quality (PQ) Geräte, Gleichspannungskopplungen aber auch komplexere
- Kontrolleinheiten die aus einer Kombination aus Puffer, Erzeuger und innovativen Umrichtertechnik mit PQ-Fähigkeiten bestehen.
- Der vierte Zielpunkt ist die Entwicklung eines Managementsystems, welches den technischen Anforderungen der neuen Struktur gewachsen ist, und die ökonomischen Potenziale derselben auszunutzen vermag. Ein solches System sollte aber nicht als Ersatz der existierenden Netzleittechnik verstanden werden, sondern als Ergänzung, die die Möglichkeiten des integralen Ansatzes voll ausschöpfen kann.

3. Projektstruktur EDISON

Das BMWi Leitprojekt EDISON trägt der zu recht gestellten Forderung Rechnung, dass neben theoretischen Analysen eine Restrukturierung des existierenden Netzes testweise begonnen werden müsse. EDISON verfolgt dabei den oben erläuterten integralen Ansatz. Auch wenn es sich bei diesem Projekt mit einem Gesamtvolumen von ca. 19 M€ bei einer Förderung seitens des BMWi von annähernd 8 M€ um eines der großen Projekte auf dem Sektor der dezentralen Energieumwandlung handelt, können die geplanten Implementierungen auf Grund der Kosten-

struktur in der Energieversorgung natürlich nicht mehr als exemplarischen Charakter haben.

Um dem allumfassenden Gedanken eines Leitprojektes Rechnung zu tragen, ist die Projektstruktur von EDISON in mehrere Teilprojekte gegliedert. Die einzelnen Teilprojekte sowie die geplanten Laufzeiten sind dem *Abb. 3* zu entnehmen. Basis und Ausgangspunkt ist eine tiefgehende Netzanalyse den beiden beteiligten Versorgungsunternehmen, um existierenden Schwachstellen und die möglichen Potenziale für den Einsatz dezentraler Technologien auszuloten. Diese Analyse beinhaltet ebenfalls eine Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten der unter Zielpunkt drei beschriebenen energie-technischen Anlagen.

Die Entwicklung und Anpassung eines dezentralen Energiemanagementsystems sowie die Ausarbeitung einer adäquaten Kommunikationsstruktur decken die Zielpunkte vier respektive zwei ab. Das dezentrale Energiemanagementsystem hat dabei nicht die totale Kontrolle aller existierenden Anlagen zum Ziel, sondern eine koordinierende Funktion zwischen den einzelnen Einheiten mit dem Ziel deren Einsatz im Bezug auf die ökonomischen aber auch ökologischen Randbedingungen sowie die Qualitätsverbesserungen um Netzbetrieb zu optimieren. Eine Prämisse innerhalb EDISON ist das Verlagern von kontrollierender "Intelligenz" in die lokalen Endgeräte. Erst wenn die lokalen Einheiten über lokale "Intelligenz" verfügen, kann vor einem wirklich dezentralen Ansatz gesprochen werden.

Die Ausarbeitung der Kommunikationsstruktur orientiert sich implementierungsspezifisch an den existierenden Gegebenheiten und Möglichkeiten, analysiert jedoch parallel dazu die Potenziale und Randbedingungen einer zukünftigen Kommunikationsinfrastruktur. Im Hinblick auf eine zeit- wie kostenmässige Begrenzung der Implementierung wird also vorzugsweise auf bereits existierende oder kostengünstig und schnell zu realisierende Lösungen zurückgegriffen.

Teilprojekt 2 – Speicher und Wandler – hat neben der Analyse derzeit verfügbarer oder

sich in der Entwicklung befindlicher Speicher- und Wandlertechnologien auch die Forschung und Entwicklung in zwei Teilbereichen bis zur Implementierungsreife zum Ziel. Erstens, die Entwicklung und Implementierung eines Ladungsausgleichskonzeptes (Charge-Equalizing) bei größeren Batterieanlagen und zweitens, die Weiterentwicklung und Implementierung einer PEM-Brennstoffzelle in der Größenordnung 5 kW_{el} .



Eine Simulation der benutzten Betriebsmittel und deren Verhalten im Lang- und Kurzzeitbereich ist einer der Schwerpunkte des Teilprojektes 5 – Simulation und Projektierung –. Da die Simulation umfassender gestaltet wird, als die eigentliche Implementierung, können aus deren Analyse Rückschlüsse auf das Netzverhalten und die Netzstabilität bei einem weiteren Ausbau gezogen werden. Ein weiterer Schwerpunkt dieses Teilprojektes ist sicherlich die unter technischen wie ökonomischen Randbedingungen durchzuführende Projektierung. Hierbei wird nicht nur das technische Betriebsverhalten analysiert, sondern in einem Iterationsprozess die technischen und ökologischen Randbedingungen mit Implementierungs- und Betriebskosten verknüpft, um eine ganzheitliche Sichtweise und Optimierung zu erreichen. Ziel hierbei ist es unter anderem auch, den ökonomischen Nutzen der vorgesehenen Implementierungen darstellen zu können.

Abbildung 3
Teilprojektstruktur und Laufzeiten in EDISON.

Teilprojekt 6 – Realisierung – und 7 – Monitoring – entsprechen den üblichen Projektansätzen. Zum Teilprojekt 6 gab es im Dezember 2000 eine Meilensteinentscheidung der Projektpartner, in der aufbauend auf der Netzanalyse die zu implementierenden energietechnischen Anlagen festgelegt wurden. Im Versorgungsgebiet der EnBW wird dies einerseits eine 250 kW_{el} PEM-Brennstoffzelle der Firma Alstom inklusive eines online-DEMS (Dezentrales Energie Management System) der Firma Siemens mit entsprechendem Kommunikations-, Monitoring- und Auswertungs-equipment sein, andererseits ein offline-DEMS welches zu Simulationszwecken für ein übergeordnetes Netzgebiet implementiert wird, um die existierenden, aber kostenmäßig nicht zu implementierenden Potenziale für dezentrale Energietechnik darstellen und analysieren zu können. Die 250 kW_{el} Brennstoffzelle wird dabei im Verband mit bereits existierenden Kesseln und einem BHKW arbeiten.

Im Versorgungsgebiet der Stadtwerke Karlsruhe wird als größtes Objekt eine Mittelspannungsgleichstromkopplung der Firma Siemens implementiert, die einem bisher nur über eine Sticheleitung versorgten Netzbezirk ein zweites Standbein verschafft. Neben dem Vorteil des kontrollierbaren Energieflusses und einer doppelt ausgelegten Netzanbindung bietet die Anlage auch qualitätsverbessernde Maßnahmen durch Spannungsstabilisierung auf beiden Seiten der Kopplung. Des weiteren sind vorge-

sehen: zwei mobile Batteriespeichereinheiten der Größe 100 kVA / 2 h der Firma EXIDE in Zusammenarbeit mit EUS zur lokalen Netzstützung in schwachen Netzgebieten oder bei netzbelastenden Anlässen wie Baustellen oder auch größeren Festaktivitäten, die bereits erwähnte Brennstoffzelle aus der Zusammenarbeit von ZSW und Fraunhofer ISE, sowie ein online-DEMS von Siemens für die Kontrolle der implementierten Einheiten.

Auch bei den Stadtwerken Karlsruhe ist ein offline-DEMS zu Simulations- und Analyse-zwecken für einen größeren Netzbezirk vorgesehen. Hier sollen aus kosten- und rechtsgründen nicht implementierbare Anlagen und Zugriffe simuliert werden. Dazu gehören neben einer Anzahl regenerativer Energieerzeuger auch Einflussnahmen auf existierende Lasten oder in Industriebetrieben bereits vorhandene Erzeuger.

Ein Novum dürfte das sich in der Endphase des Projektes EDISON anschließende Teilprojekt 8 – Marketing – sein. Dem Leitprojektcharakter entsprechend, soll nicht nur die Demonstration der Technologie dargestellt werden, sondern auch deren betriebswirtschaftliches Potenzial in Bezug auf die nächstfolgende Gerätegeneration. Dies soll auch aktiv vermarktet werden. Neben der Vermarktungskompetenz für die sicherlich existierenden Potenziale in industrialisierten Ländern stellt auch eine Übertragbarkeit der Ergebnisse für Schwellen- und Entwicklungsländer einen wichtigen

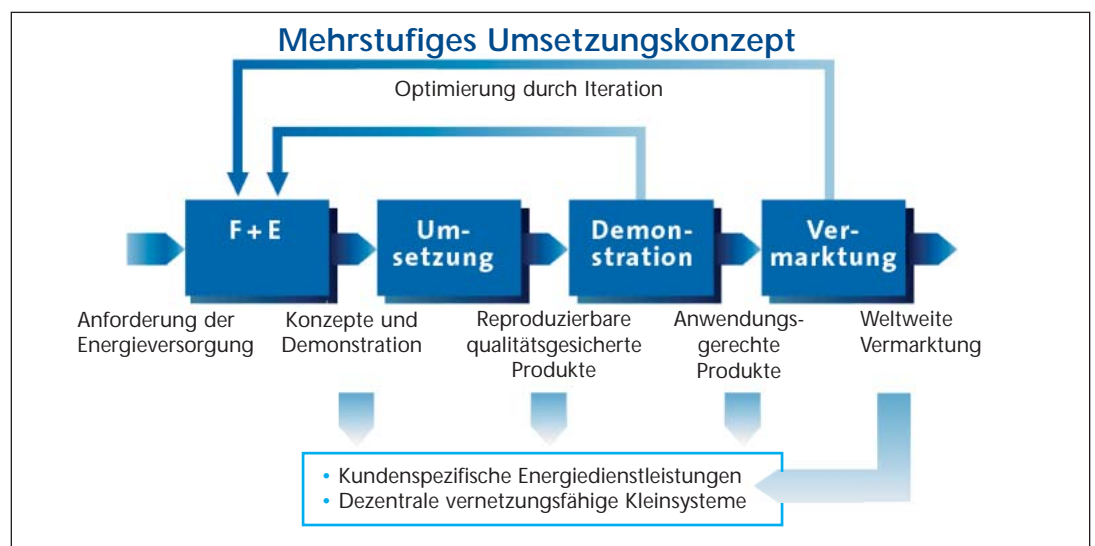


Abbildung 4
Leitprojektstruktur in
EDISON.

Aspekt dar. Hier kann und wird der dezentrale Ansatz sicherlich unter weit besseren und flexibleren Randbedingungen verfolgt werden.

4. Die Leitidee des Projektes

Die Leitprojektidee des BMWi entsprang vor allem dem Anspruch, Projekte aus Sicht der Technologieanwender, hier des Energieversorgungsunternehmens, zu entwickeln. Neben diesem Gedanken spielt der "allumfassende" Ansatz eine weitere Hauptrolle. So ist in Leitprojekten der Forschungs- und Entwicklungsansatz gleichberechtigt zum Demonstrationsvorhaben. Weitergehend wird die Darstellung des betriebswirtschaftlichen Nutzens der gewonnenen Ergebnisse innerhalb des Projektes bindend. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse sowie deren Übertragbarkeit auf andere Strukturen ist zwingend erforderlich. Auch der in *Abb. 4* wiedergegebene Ablauf aus Forschung und Entwicklung Demonstration und Vermarktung mit seinen internen Rückkopplungen und kontinuierlichen Verbesserungen ist eine Folge des Leitprojektkarakters. Durch die lange Laufzeit ist eine durchgängige, wissenschaftliche Begleitung, die auch auf den gewonnenen Erfahrungen der Implementierung beruht, gefordert, um am Projektende wirklich fundierte und ökonomisch wie technisch aktuelle Ergebnisse liefern zu können, welche sich direkt auf dem zukünftigen Markt behaupten.

5. Über die Technik hinaus

Neben den technischen und direkt mit ihnen verbundenen ökonomischen Aspekten, hat EDISON durch die Verbindung von Kommunikationsinfrastrukturen mit Marketingaspekten natürlich auch eine nicht technisch ökonomische Zielsetzung: die Analyse des dadurch zustande kommenden Dienstleistungspotenzials. Unter der Berücksichtigung der kosten trächtigen Implementierung einer Kommunikationsinfrastruktur ein sicherlich nicht zu unterschätzender Aspekt.

Hierbei geht es nicht nur um das allorts erwähnte Internet aus der Steckdose, dessen

ökonomische wie technische Sinnhaftigkeit vielerorts mehr und mehr angezweifelt wird, sondern vor allem um die reichhaltigen Potenziale von Energieversorgungsdienstleistungen. In der entstehenden Dienstleistungsgesellschaft sind diese Potenziale geradezu ein Muss, sei es zur Kundenbindung oder um gewinnträchtige neue Geschäftszweige zu kreieren. Neben den technischen Aspekten dezentraler Versorgungsstrukturen widmet sich deshalb ein beträchtlicher Teil des Marketings innerhalb EDISON genau diesem Thema. Ziel hierbei ist es, jene potenziellen Dienstleistungen aus dem großen Fundus von Service-, Sicherheits- und Energiepaketen zu finden, welche wirklich Mehrwertdienstleistungen darstellen. Dienstleistungen also, die im Rahmen der Wertschöpfungskette mehr Werte und Nutzen schaffen, für externe Dienstleister, für Versorger und Kunden.

6. Potenzielle Problemquellen

Es sollen in diesem Artikel auch die sich bereits abzeichnenden und sich in vielen internen wie externen Diskussionen herauskristallisierenden Probleme des vorgestellten Konzepts angesprochen werden. Zurückzuführen sind sie auf zwei Gegebenheiten: die Liberalisierung des Marktes und die Kosten von Kommunikationsinfrastrukturen.

Ausgerechnet die Triebfeder der derzeitigen Bewegung, die Liberalisierung, welche durch ihre Forderungen an Flexibilität, Kostenreduktion und Wettbewerb den Prozess der Dezentralisierung erst richtig in Gang gebracht hat, könnte in letzter Konsequenz dazu führen, dass die Möglichkeiten zur ökonomischen wie technischen Optimierung nicht vollständig ausgenutzt werden können. Sicherlich werden Großvorhaben mit langen und umständlichen Genehmigungsverfahren und langen Abschreibungszeiträumen zunehmend unattraktiver, wohingegen dezentrale Lösungen mit kurzen Abschreibungszeiträumen, flexiblen und anpassungsfähigen Lösungen und wesentlich geringeren Genehmigungsproblemen zunehmend attraktiver erscheinen. Im Zuge des immer größer werdenden Kostendrucks ist es jedoch zu bezweifeln, dass die für eine Restrukturierung nötigen Investitionssummen tatsächlich

bereit gestellt werden. Problem hierbei ist sicherlich nicht die Liberalisierung selbst, sondern die daraus resultierende momentane Rechtsunsicherheit und vor allem die für energietechnische Anlagen trotz Liberalisierung existierenden Abschreibungszeiträume. Zwar sind diese Zeiträume immer noch kürzer als die eines Großkraftwerks, jedoch amortisiert sich kaum eine energietechnische Anlage innerhalb der Zeiträume, die derzeit für maximale Vertragsbindungen vorgesehen sind. Ein Versorger wird nur dann bereit sein, eine kostenträchtige Restrukturierung des Netzes vorzunehmen, wenn er zumindest Chancen sieht, dass dieses Investment sich wieder amortisiert. Sicherlich wird der Markt aber einiges von alleine richten, und wir benötigen auch auf anderen Gebieten als nur der regenerativen Energie eine Rechtsgrundlage, welche Kalkulationen zulässt, die nicht alle 12 Monate revidiert werden müssen.

Die zweite Hemmschwelle könnte gerade mit Fokus auf das viel zitierte virtuelle Kraftwerk bestehend aus Kleinanlagen, die Kosten für die benötigte Kommunikation sein. Die konventionellen Kommunikationswege (analog, ISDN, GSM) sind schlichtweg zu teuer im Verhältnis zum erzielbaren Nutzen. Die monatlichen Grundgebühren für derartige Anschlüsse im Bereich von mehr als 20 DM liegen im Bereich von 10% und mehr der monatlichen Verbrauchskosten, sind also völlig unverhältnismässig. Die Benutzung bereits existierender Anschlüsse wirft die Frage auf, ob diese frei sind, wenn sie benötigt werden und ob dies von den Endbenutzern geduldet wird. Der Ausweg scheint hier Power-Line Technologie zu sein. Aber auch diese birgt zwei gravierende Probleme: Erstens: wenn massive Störungen im Netz auftreten, hat man diese meist auch in der Kommunikation. Und Zweitens: ohne die Mehreinnahmen durch Internet oder Dienstleistungen lassen sich auch diese Netze nicht finanzieren.

Allgemein lässt sich formulieren: ohne Lösung des ökonomischen Problems der Kommunikation wird es auch keine optimierte Lösung für den Einsatz kleinerer und damit auch billigerer dezentraler Technologie geben.

7. EDISON und Solarenergie

Dem Anlass entsprechend sollte auch der Zusammenhang zwischen EDISON und dem Einsatz von Solarenergie betrachtet werden. Die ursprünglich vorgesehene Implementierung und Einbindung von Solartechnik konnte im Rahmen von EDISON aus kostentechnischen Gründen nicht realisiert werden. Dennoch hat der integrale Ansatz weitreichende Folgen für die Einbindung von Solaranlagen. Durch die Kombination von Prognose- und weitreichendem Managementmodul in DEMS, würde PV-Strom nicht nur planbar, sondern die Entlastung auf Seiten konventioneller Energieträger wäre nachvollziehbar und vor allem auch darstellbar. Durch die quasi Planbarkeit des PV-Stroms könnten andere Energieträger bei erhöhter Einspeisung tatsächlich zurückgenommen werden. Da DEMS auf ökonomischer Basis der Betriebskosten arbeitet, würde z. B. der zur Mittagszeit eingespeiste Solarstrom auch den dort anfallenden Spitzenlasttarif gegenüber gestellt, was wiederum die Preisproblematik auch ohne Einbeziehung der immer noch nicht vollständig definierbaren externen Kosten relativieren würde. Verfolgt man den integralen Ansatz konsequent, so könnten Solaranlagen, kontrollierbare und technisch ausgerüstete Wechselrichter vorausgesetzt, sogar zu einer erheblichen Qualitätsverbesserung auf der Niederspannungsseite hinsichtlich der Spannungsqualität, des Oberwellengehaltes oder des Blindleistungsverhalten führen.