



Prof. Dr. Christian Jänig
Stadtwerke Unna GmbH

Vom Virtuellen Kraftwerk zum vernetzten Energiesystem



Gliederung

I. Einführung

II. Ausgangssituation

1. Der "energiewirtschaftliche Tetraeder" – die Quadratur des Kreises?
2. Veränderungen der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen
 - 2.1 Das ökologische Gesetz des („energiewirtschaftlichen“) Kapitalismus
 - 2.2 Die Unfähigkeit des marktdogmatischen Liberalismus zur Generierung einer ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit
 - 2.3 Technologische "Quantensprünge" im Bereich der regenerativen Energieerzeugung
 - 2.4 Die (R)Evolution der Informationstechnik

III. Paradigmenwechsel zu dezentralen Energiesystemen auf Grund sich verändernder gesellschaftspolitischer, ökonomischer und ökologischer Rahmenbedingungen

1. Einführung
2. Das Konzept des "Virtuellen Kraftwerkes"
3. Die Konzeption des "intelligenten Lokalen Energiemanagementsystems (ILEMS)
 - 3.1 Die "Philosophie" des ILEMS
 - 3.2 Regelungstechnische Strukturmerkmale
 - 3.3 Informationstechnologische Strukturmerkmale
4. Das Leitprojekt "Virtuelles Kraftwerk" in Unna
 - 4.1 Grundlagen
 - 4.2 Die derzeitigen Regelungssysteme
 - 4.3 Die Regulationsstruktur des "Virtuellen Kraftwerkes"
5. Zusammenfassung

I. Einführung

Durch die Liberalisierung der Energiemärkte auf der Grundlage der GATT-Verträge sollte neben der „Zerschlagung“ der Monopolstrukturen – die in Deutschland allerdings erst als Folge des (Reichs-)Energiewirtschaftsgesetzes von 1936 entstanden sind – im Bereich von Erzeugung und Verteilung auch der Markteintritt neuer, bisher „energieferner“ Akteure erreicht werden. Grundgedanke war hierbei die (nationalökonomische) Liberalismustheorie, der gemäß sich auf liberalisierten Märkten auf Grund der Wettbewerbs- und Konkurrenzsituation „marktgerechte“ Preise einstellen werden – „der Markt wird es schon richten“.

Plakativ kann für das Scheitern dieses marktdogmatischen Liberalismus¹ angeführt werden:

- der nationalökonomisch ausgerichtete marktdogmatische (Neo-)Liberalismus enthält (zwangsläufig) kaum Mechanismen und Instrumente für globalisierte Wettbewerbsmärkte
- die im nationalökonomisch fundierten Neo-Liberalismus unterstellten idealtypischen Annahmen und Grundbedingungen sind im realen Wettbewerbsmarkt nicht existent²
- die wirtschafts- und gesellschaftspolitisch notwendigen Steuerungsmechanismen führen anstelle einer Deregulierung zu einer Re-Regulierung und konterkarieren somit die Grundbedingungen des Liberalismus
- die unterschiedlichen Machtverhältnisse der einzelnen Marktakteure führen zu einer Oligopolisierung anstelle der angestrebten vollkommenen Konkurrenz (K. Marx hatte mit seiner „Ergebnisvorhersage“ für die Entwicklung des Kapitalismus zur Oligopolisierung wohl Recht, nur beschrieb er den falschen Weg...)

Dies führte sowohl bei der EU als auch der bundesdeutschen Liberalisierung des Energiemarktes zu oligopolistischen Erzeugungsstrukturen, so dass beispielsweise die Volatilität der Strompreise an der EEX weniger das Resultat des Wettbewerbsgeschehens auf dem Erzeugungsmarkt als vielmehr das Ergebnis oligopolistischer Strukturen sind – bekanntlich besitzen die „großen 4“ Kraftwerksbetreiber in Deutschland ca. 85 % der relevanten (Groß-) Kraftwerkskapazität.

Mittlere und kleinere, vor allem kommunal ausgerichtete Energieversorger können sich im Rahmen marktwirtschaftlicher Gegebenheiten aus dieser Erzeugungsabhängigkeit nur dadurch lösen, dass sie

- gemeinschaftlich Mittellastkraftwerke (vor allem auf GuD-Basis) errichten und betreiben, um hierdurch Einfluss auf ihre Strombezugskosten zu nehmen
- den sowohl ökologisch als auch technologisch/ökonomisch induzierten Paradigmenwechsel von zentralen zu dezentralen Energiestrukturen als Chance begreifen und aktiv unterstützen
- durch die lokal dominierte Kundenbindungsführerschaft anstelle einer Kosten- oder Preisführerschaft ihre Stärken zum Einsatz bringen und somit nachhaltig ihre „Überlebensfähigkeit“ bewahren³

¹ vgl. Jänig (2004), Wissensmanagement, Berlin, Heidelberg etc. 2004, S. 40 ff

² vgl. die Ausführungen in Abschnitt II, 2.2

³ vgl. Jänig (2004) a. a. O., S. 360 ff

- anstelle der „monolithischen“ Energie-Kilowattstunde „angereicherte“ Energiedienstleistungen vermarkten, um dem Kundenwunsch nach Komplexitätsreduzierung entsprechen zu können.

Diese „holzschnittartigen“ Thesen sollen nachfolgend näher erläutert werden.

II. Ausgangssituation

1. Der "energiewirtschaftliche Tetraeder" – die Quadratur des Kreises?

Um die Vereinbarkeit bzw. Unvereinbarkeit von Ökonomie und Ökologie zu kennzeichnen, wird häufig das Bild von der „Quadratur des Kreises“ bemüht und damit ein sich konterkarierendes Verhältnis postuliert. Des Weiteren wird der Begriff der „Nachhaltigkeit“ sowohl von Ökologen als auch Ökonomen ge- bzw. teilweise auch missbraucht - daher erscheint dieser Begriff in der medialen, öffentlichen Wahrnehmung als ambivalent. Ungeachtet dessen beeinflussen sich zwangsläufig sowohl eine „nachhaltige Ökonomie“ als auch die ökologische Nachhaltigkeit in erheblichem Maße. Dies gilt nicht nur für die globale Sichtweise, sondern vor allem auch für den lokalen Bereich - analog zum klassischen Motto des „Global denken - lokal handeln“.

„Bricht“ man diese Interdependenzen auf die Energieversorgung herunter, so haben wir es eigentlich mit einem dreidimensionalen Vektorraum bzw. Tetraeder zu tun, der durch die Dimensionen „**Marktliberalisierung**“ bzw. Globalismus“, „**Ökologie**“ und „**Dezentrale Energiesysteme**“ bzw. -konzepte“ definiert wird. Der Vektor „Ökologie“ soll hierbei durch die Kriterien „rohstoffsparendes Wirtschaften“ bzw. „Ressourceninputoptimierung“ charakterisiert werden, während der „Globalismus“ als wirtschaftliche Dimension der Globalisierung durch „Marktliberalisierung“ und „(R)Evolution der Informationstechnologie“ gekennzeichnet ist. Aus diesem Kontext heraus resultiert dann letztlich der Paradigmenwechsel von zentralen zu „dezentralen Energiesystemen“ als dritter Vektor. Insgesamt ergibt sich somit ein „energiewirtschaftlicher Tetraeder“ oder auch Trilemma (vgl. Abb. Nr. 1). Letzteres soll im Folgenden im Hinblick auf seine Inhalte und Auswirkungen „spotlichtartig“ beschrieben werden.

2. Veränderungen der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen

2.1 Das ökologische Gesetz des („energiewirtschaftlichen“) Kapitalismus

Unbestritten wurde bisher die Energie- und Rohstoffsicherung meistens mit der Erschließung neuer Quellen bzw. Ressourcen gleichgesetzt. Auch die bisher praktizierte sog. "Umweltpolitik" fokussierte fast ausschließlich auf die **Schadstoffproblematik**, nicht jedoch auf die **Ressourcenproblematik**: Die Verringerung der Schadstoffemissionen wurde im Sinne eines "Reparaturbetriebes" durch den Einsatz neuer Technologien bzw. Verfahren erreicht - diese implizierten jedoch einen zusätzlichen Ressourcenverbrauch und damit eine zusätzliche, nachhaltige Beeinträchtigung. Der hierdurch in der Vergangenheit ausgelöste und sich - bei unverändertem Verhalten - noch verstärkende Stress, dem unser Planet unterliegt, muss zwangsläufig zu irreversiblen Änderungen führen. Dieser Stress basiert sowohl auf dem hohen Ressourcenverzehr fossiler Energien und des Wassers als auch der Bevölkerungszunahme, vor allem in der sog. Dritten Welt - die Weltbevölkerung hat sich zwischen 1950 und 1990 verdoppelt und wird sich bis zum Jahre 2050 nochmals verdoppeln (bei einer optimistischen Einschätzung der ergriffenen Maßnahme zur Geburtenkontrolle). Da letzterer Prozess eine inhärente Eigendynamik besitzt und kaum noch im Verlauf der kommenden drei Generationen wesentlich zu beeinflussen ist, muss der Energieverbrauch pro Kopf der Weltbevölkerung auf ca. 1,5 kW (= 13.000 kWh p. a.) reduziert werden⁴. Dies würde eine Reduzierung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen auf ca. 2,5 - 3,5 t pro Kopf der Weltbevölkerung im

⁴ - in den USA beträgt er derzeit 11 kW und in der BRD 6 kW

Jahr implizieren⁵. Die sich hieraus ergebende Grundbedingung, nämlich **niedrigere Schadstoffemissionen bei gleichzeitiger Reduzierung des Ressourcenverzehr**s zu erreichen, wurde jedoch bisher noch nicht gelöst⁶. Dies führt zu einer "Plünderung unseres Planeten" als Ergebnis der von E. v. Weizsäcker als "ökonomisches Zeitalter" gekennzeichneten letzten beiden Jahrhunderte. Gegenstand bzw. Fokus des sich hieran anschließenden "ökologischen Zeitalters" muss es daher sein, Modelle und Konzeptionen zur Überwindung dieser vorgeblich ökonomischen Sachzwänge zu entwickeln und deren Ergebnisse in Form ökologischer Systeme, Verfahren, Handlungsanweisungen und ganzheitlicher Denkstrukturen umzusetzen. Diesbezüglich ist - analog zur Natur - ein vernetzter, systemischer bzw. holistischer Denkansatz zwingend erforderlich: Die Natur funktioniert prinzipiell auch wie ein vernetztes, holistisches System, bei dem alle Subsysteme bzw. Systemelemente direkt oder indirekt miteinander verbunden sind - sowohl bei der "Produktion" als auch der "Entsorgung". Aus diesem Grund gibt es im natürlichen Kreislauf auch keine "Abfallprobleme", da die "Reststoffe" bzw. der Output eines Elementes als Input von einem anderen wiederum genutzt bzw. verarbeitet werden. Das anthropogene Handeln greift allerdings in dieses System ein und beeinträchtigt dessen Ultrastabilität - mit weitreichenden, zerstörerischen Folgen. Aus ökonomischer Sicht lässt sich hieraus das „**ökologische Gesetz des Kapitalismus**“ ableiten: Nicht vom Ressourcenverbrauch des Planeten Erde, sondern von den Zinsen dieser Ressourcen zu leben. Nur dann erwachsen sowohl den Entwicklungsländern als auch den nachfolgenden Generationen jene ökonomisch-ökologischen Handlungsräume, die diese benötigen. Für den Energiebereich impliziert dies die Generierung einer sowohl ökonomisch als auch ökologisch nachhaltig ausgerichteten Energieerzeugung, -verteilung und -verwendung. Ungeachtet des Wissens über diese allgemein be- und anerkannten Daten, Informationen und Erkenntnisse wird dennoch fast permanent hiergegen verstoßen.

2.2 Die Unfähigkeit des marktdogmatischen Liberalismus zur Generierung einer ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit

Eine der Ursachen für dieses scheinbar irrationale Verhalten ist darin zu sehen, dass die Nationalökonomie im Rahmen der **globalen Liberalisierung** nur noch in geringem Maße eine „erklärende Funktion“ bzw. axiomatischen Charakter besitzt und daher kaum Handlungsempfehlungen geben sowie wirkungsrelevante Methoden und Instrumente zur Verfügung stellen kann - obwohl sie strukturell ein axiomatisches System repräsentiert: Auf der Basis von Grundbedingungen bzw. -annahmen werden deduktiv-logisch im aristotelischen Sinne „allgemeingültige“ Schlussfolgerungen abgeleitet. Grundlage des marktdogmatischen Liberalismus ist hierbei die Prämisse, dass der „Markt“ per se zu Gleichgewichtszuständen führt, wobei inhärent unterstellt wird, dass

- alle Marktteilnehmer über quantitativ und qualitativ vollständige Informationen bzw. vollständiges Wissen verfügen
- alle Marktteilnehmer ein einheitliches und eindeutiges Wertesystem beachten und akzeptieren; dieses unterliegt weder einem kurz- bis mittelfristigen Wandel, noch versuchen die Marktteilnehmer, die einzelnen Werte bzw. deren Präferenzen zu beeinflussen (z. B. diejenigen der Nachfrager im Rahmen der Werbung)
- sich alle Marktteilnehmer bei wirtschaftlichen Entscheidungen immer „rational“ im Sinne des „homo oeconomicus“ verhalten

⁵ bei derzeit 20,9 t in den USA und 13,3 t in der BRD

⁶ vgl. v. Weizsäcker, E. U., Lovins, A. B., Lovins, L. H. (1995), Faktor 4 - Doppelter Wohlstand, halbiertes Verbrauch, München 1995

- im Rahmen des Marktgeschehens sich immer die Besten durchsetzen (quasi ein Wirtschaftsdarwinismus); da sich jedoch Wohlstand und finanzielle Ressourcen "vererben" und sich hierdurch wirtschaftliche Macht aggregiert, ist die jeweilige Ausgangsbasis für die Marktakteure ungleich und impliziert wirtschaftliche Ungleichheiten bzw. Ungerechtigkeiten.

Die marktdogmatische Theorie des Liberalismus negiert somit den Einfluss der Marktteilnehmer sowie deren subjektiven, egoistischen Nutzenvorstellungen und -erwartungen: Die Präferenzen der Beteiligten als auch deren Handlungsmöglichkeiten zur Marktbeeinflussung sind nicht unabhängig voneinander und gleichen sich dadurch aus, sondern aggregieren sich clusterweise und determinieren hierdurch die Marktpreise bzw. -mechanismen (z. B. im Kapital- bzw. Finanzmarkt). Des Weiteren wird die Marktebene eines Produktes häufig nicht durch den "freien Wettbewerb", sondern durch Werbung, Marketing und Manipulation bestimmt; hierdurch wird das Axiom des "Manchester-Liberalismus", die freie und rationale Wahl und damit "vernünftige Entscheidung" des Verbrauchers, gegenstandslos bzw. sogar ad absurdum geführt. Die Marktmechanismen und daraus resultierenden Marktpreise können somit kein "neutrales Institut", das zum Gleichgewicht führt, sein - sie führen vielmehr zum Ungleichgewicht bzw. zur Instabilität, die durch staatliche Reglementierungen verhindert werden muss⁷. Der Wettbewerb allein kann daher per se - wie von einer prästabilisierenden Harmonie durchzogen - nicht zur Verwirklichung gemeinwohlorientierter Ziele führen; Wettbewerb und Gemeinwohl sind vielmehr dichotome Elemente⁸. Zur Durchsetzung der Zielsetzungen des Gemeinwohls bedarf es daher instrumentell der staatlichen Regulierung - entweder in Form der Durchgriffsregelung oder einer „kooperativen Wirtschaftslenkung“.

Diese theorieimmanente Kritik gilt insbesondere gegenüber dem marktdogmatischen (Neo-)Liberalismus, da die globalisierten Rahmenbedingungen bzw. Ordnungssysteme (z. B. in Form von GATT oder WTO) im darwinistischen Sinn die (betriebs-)wirtschaftliche Optimierungsentscheidung zwischen mehreren Optionen fokussieren und dadurch u. a. das Prinzip der Subsidiarität konterkarieren. Der marktdogmatische Liberalismus ist zwangsläufig nicht in der Lage, Rahmenbedingungen bzw. Marktordnungen für den Globalismus zu definieren, da er auf singulären, individuellen bzw. egoistischen Interessen und Logiken basiert und zu unformen Marktstrukturen führt. Er kann somit per se keine Regelungsinstanzen für die kapitalistisch-darwinistischen Prozesse des Globalismus generieren. Globalisierte Märkte optimieren ausschließlich die ökonomische Allokation; sie bedürfen somit aus gesellschaftspolitischer bzw. -ethischer Sicht sozialer, kultureller, ökologischer und damit politischer Rahmenbedingungen. Letzere können aufgrund der derzeitigen Erfahrungen nur als Vorgaben aufgrund des Primats von Politik und Ethik erfolgen - beispielsweise im Rahmen einer neuen „Weltordnung“ auf der Grundlage der sozialen Marktwirtschaft mit ökologischer Ausrichtung.

Diese systemimmanente Natur der Marktwirtschaft erfordert daher auch, dass das aus nationaler Sicht zu sehende wirtschaftspolitische "magische Viereck" (Wachstum, Arbeitslosenquote, Inflationsquote, Staatsverschuldung) durch ein **global gültiges "magisches Viereck"** mit den Achsen "Bevölkerungswachstum", "Ressourcenverbrauch", "Wirtschaftswachstum" und "gesellschaftspolitisch-soziale Entwicklung" ergänzt bzw. ersetzt werden muss. Im Hinblick auf die Ressource „Energie“ ist es daher nicht verwunderlich, wenn namhafte Wissenschaftler feststellen, dass

"das verschwenderische Energiewirtschaftssystem der Ersten Welt, wie es sich seit der Technisierung entwickelt hat, (...) nicht mehr zukunftsfähig [ist] und (...) nicht auf die Dritte

⁷ vgl. Soros, G. (1997), Die kapitalistische Bedrohung, in: DIE ZEIT Nr. 4, 52. Jg., S. 25 ff, Hamburg 1997 sowie Jänig (2004), a. a. O

⁸ vgl. Hermann, E. (1997), Binnenmarkt-Richtlinien für Strom und Gas - Gestaltungsspielräume und Tendenzen bei einer Umsetzung in den EU-Mitgliedsstaaten, Berlin 1997

Welt übertragen werden [darf]. Die Zeit drängt, umgehend die ökologische Umsteuerung sowohl der Industrie- wie der Agrargesellschaften einzuleiten. Nur eine ökologische Marktwirtschaft wird die Stoff- und Energieflüsse auf ein umweltverträgliches Maß einschränken und umweltschädliche Stoff- und Energieumsätze weitgehend vermeiden können.“⁹

Dies erfordert allerdings, den Begriff der „**Nachhaltigkeit**“ zu erweitern: Dies impliziert die langfristige Ausbalancierung der sozialen, ökonomischen, ökologischen und kulturellen Aspekte der Gesellschaft im Rahmen des Prozesses einer „Dematerialisierung“ durch die signifikante Erhöhung der (kognitiven und materiellen) Ressourcenproduktivität.

2.3 Technologische "Quantensprünge" im Bereich der regenerativen Energieerzeugung

Als Konsequenz „energietechnologischer Quantensprünge“ schließlich hat sich in den vergangenen beiden Jahrzehnten - größtenteils auch bedingt durch nationalstaatliche Subventionen und Programme - ein **technologischer „Quantensprung“** bei den Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung bzw. zur elektro-thermischen Verwertung nachwachsender Rohstoffe vollzogen. Beispielhaft seien die Windkraft- und Photovoltaikanlagen sowie Kraft-Wärme-Kopplungssysteme zur Nutzung von Gruben- und Biogas als auch in den Bereichen Holzvergasung, -verschmelzung und -verbrennung angeführt. Nicht vergessen werden dürfen in diesem Zusammenhang auch die Brennstoffzellen- sowie die Wasserstofftechnik, auch wenn erstere erst in ca. 10 Jahren und letztere in ca. 40 Jahren ihren (markt-) wirtschaftlichen Durchbruch erzielen werden. Derartige Erzeugungssysteme sind - vor allem vor dem Hintergrund des EEG bzw. KWKG - wirtschaftlich konkurrenzfähig gegenüber der Energieerzeugung in zentralen Großkraftwerken. Anhängern des markt-dogmatischen Liberalismus bzw. Ordoliberalismus mag und kann diese Subvention ein „Dorn im Auge“ sein - dies erscheint allerdings als ideologische Phantomdiskussion, da damit jede staatliche Unterstützung des F+E-Bereiches bzw. spezifischer Marktsegmente und Technologien (einschließlich aller Facetten der Informations- und Gentechnologie beispielsweise) sowie alle ordnungspolitischen Maßnahmen in Frage zu stellen wären. Bekanntlich lehnen die marktwirtschaftlichen Akteure in „sonnigen Zeiten“ jeden staatlichen Eingriff ab, während bei „Schlechtwetterperioden“ nationalstaatliche Interventionen verlangt werden.

2.4 Die (R)Evolution der Informationstechnik

In den beiden letzten Jahrzehnten wurden sowohl in den USA als auch im deutschsprachigen Raum die traditionellen Produktionsfaktoren „Arbeit, Kapital und Boden“ bzw. „Men, Machine, Material and Money“ durch die Faktoren Information bzw. Wissen¹⁰ ergänzt. Letztere wurden jedoch anfangs nur in ihrer quantitativen Ausprägung im Gegensatz zu den qualitativen Dimensionen der ersteren gesehen. Die Entwicklung sowohl der hardwaretechnischen Komponenten sowie der Netztechnologien als auch der entsprechenden Applikationen führten jedoch zur **Instrumentalisierung und Operationalisierung des Faktors „Information“**, um hierdurch anstelle der früher angestrebten Komplexitätsreduzierung die Erhöhung von **Flexibilität und Adaptionfähigkeit** erreichen zu können. Somit mutiert die Informationstechnik zu einer Kernkompetenz als technologischer Basis für Planungs- und Steuerungssysteme. Nur durch diese Instrumentalisierung und Operationalisierung der Information im Rahmen eines Informations- und Wissensmanagements ist es möglich, die mit dezentralen Energieversorgungskonzepten verbundene Zielsetzung nachfragefokussierter Planungs-, Erzeugungs- und Verteilungsstrukturen zu erreichen und somit andere Wertschöpfungspro-

⁹ Bach, W. (1996), Energie und Klima, in: Spektrum der Wissenschaft, Nr. 7, 1996, S. 30 - 40

¹⁰ Hierbei wird Wissen als mehrdimensionale Verknüpfung mehrerer Informationen sowie der sich anschließenden zielgerichteten (objektorientierten) Analyse, Bewertung und Anwendung verstanden – vgl. Jänig (2004), S. 129 ff.

zesse zu generieren. Hierdurch werden die „klassischen Infrastrukturen“ - auf zentraler Erzeugung sowie dezentralem (lokalen) Verbrauch basierende Verteilnetzstrukturen - durch die intelligente, multimediale Vernetzung von Erzeugung, Verteilung und Verbrauch unter Einbeziehung wissensbasierter Informations- und Kommunikationsnetzwerke qualitativ verbessert. Des Weiteren wird das Dezentralitätsprinzip neben der Erzeugerebene auch auf die Ebene der Koordinierung und Steuerung der Verteilung und des Verbrauchs transformiert. Im Vergleich zu den bisherigen „klassischen“ Versorgungsstrukturen ergibt sich hierbei ein zusätzlicher Aufwand für Bereitstellung, Transport und Verarbeitung der benötigten Daten und Informationen, der jedoch **informationstechnologisch** realisierbar ist. Voraussetzung hierfür ist, dass die Versorgungs- **und** Informationsstrukturen modular konzipiert und erweiterbar sein müssen, um flexibel an sich ändernde Kontextbedingungen auf Erzeuger-, Verteilungs- und Verbraucherebene angepasst werden zu können. Durch eine derartige vollständige Aggregation von Energieerzeugung, -transport und -verteilung einerseits sowie Daten- und Informationserhebung, -transport und -verarbeitung andererseits wird die systemische, ganzheitliche Strukturierung dezentraler Energiekonzepte bzw. -systeme gewährleistet. Aus „hierarchischer Sicht“ optimiert sich hierbei auf der unteren Ebene jedes dezentrale Energiesystem mit den Komponenten Erzeugung, Verteilung und Verbrauch zunächst im Rahmen eines eigenständigen Regelkreissystems selbst, in dem die Prognosen von Verbrauch und Erzeugung in Verbindung mit dem Erzeugungs- und Lastmanagement zeitgleich erfolgen und gegenseitig optimiert bzw. abgeglichen werden. Ergänzend hierzu wird auf horizontaler Ebene zwischen mehreren dezentralen Systemen der Überschuss oder der Bedarf an Energie unter Berücksichtigung der steuerbaren Last- und Erzeugungsstrukturen sowie unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Kriterien vertragsbasiert ausgeglichen.

Die Evolution der Informationstechnik ermöglicht somit die systemische Integration dezentraler Erzeugungseinheiten in ein **dezentral strukturiertes, nachfragefokussiertes Energiekonzept bzw. -system**. Die Zielsetzung hierbei besteht darin, zentrale und dezentrale Erzeugungseinheiten **nachfrageabhängig** dergestalt „intelligent“ miteinander zu vernetzen, so dass **integrierte, durchgängige Energie- und Informations- sowie Kommunikationsstrukturen** einerseits die Optimierung von der Erzeugung über Übertragung und Verteilung bis zum Endverbrauch ermöglichen und andererseits den Energieverbrauch an die momentan verfügbare (zentrale und dezentrale) Erzeugerleistung nach ökonomischen und ökologischen Kriterien ausrichten und unter der Berücksichtigung physikalischer Gegebenheiten in den bestehenden Netzverbund integrieren können. Diese zentrale Bedingung dezentraler Energiestrukturen impliziert fast zwangsläufig das Vorhandensein entsprechender Informationstechnologien bzw. eines intelligenten **Informations- und Wissensmanagements**.

Aufgrund dieser "holzschnittartig" skizzierten Veränderungen der Rahmenbedingungen der Energiewirtschaft wird sich in den nächsten 10 – 20 Jahren der Paradigmenwechsel von zentralen zu dezentralen Energiesystemen vollziehen.

III. Der Paradigmenwechsel von zentralen zu dezentralen Energiesystemen

1. Einführung

Die in Monopolzeiten entwickelte und heute noch weitgehend bestehende Philosophie bzw. Ideologie der nationalen Energieversorgung fokussiert überwiegend darauf, mittels großer Kraftwerkseinheiten zentral die Grund-, Mittel- und Spitzenlast zu erzeugen und über Hochspannungsnetze zu den Lastschwerpunkten zu übertragen, dort zu transformieren und über Mittel- bzw. Niederspannungsnetze bis zum Endverbraucher zu verteilen. Diese zentralistisch-hierarchische, erzeugungsdominierte Struktur beinhaltet sowohl auf der Erzeugungsebene als auch auf den jeweiligen Verteilungsebenen jeweils für sich getrennte, eigenständige Regelungssysteme, die überwiegend ökonomisch fokussierte Erfahrungswerte bzw. -quoten berücksichtigen, wobei das Sicherheits- und Reservedenken im Vordergrund steht.

Diese **angebotsorientierte** Erzeugung und Übertragung hatte bis vor kurzem einerseits ihre Berechtigung aufgrund der sich hieraus ergebenden günstigeren Kostenstrukturen (sog. economies of scale) im Rahmen demarkierter Gebiets- bzw. Monopolstrukturen. Die implizit zu Grunde liegende „Angebotsorientierung“ basierte andererseits darauf, dass aufgrund des Fehlens der notwendigen Informations- und Kommunikationstechnologien und -strukturen die Vielzahl der Endverbraucher bei ihrem individuellen und unkorrelierten sowie nicht koordinierten energetischen Abnahmeverhalten weder direkt erfasst noch „geregelt“ werden konnten. Infolgedessen mussten große Kraftwerksleistungen zentral vorgehalten werden, um sowohl extreme Lastspitzen „auffangen“ als auch die Reserveleistung für Störfälle vorhalten zu können.

In den letzten zwei Jahrzehnten sind allerdings dezentrale, kleinteilige Erzeugungssysteme - teilweise auch aus ökologischen Gründen heraus - zur technologischen „Marktreife“ weiterentwickelt worden: neben der „lokalisierten“ Kraft-Wärme-Kopplung (Motoren-BHKW, Microgasturbine, Brennstoffzelle etc.) sind hier vor allem Windenergieanlagen, kleinere Wasserkraftwerke, Erzeugungseinheiten auf der Grundlage von Biomasse sowie die Photovoltaik zu nennen. Aufgrund dieser ökologisch und/oder ökonomisch induzierten Entwicklung muss davon ausgegangen werden, dass die Energieerzeugung mit einem entsprechend hohen Anteil fluktuierender Quellen dezentrale Strukturen annehmen wird. Dies führt zwangsläufig zu einer Verlagerung der Systemführung und Überwachung auf die unteren Netzebenen und erfordert daher die „intelligente“, informationstechnologisch gestützte Einbindung und Steuerung dieser dezentralen Einheiten im Rahmen dezentraler Energieversorgungskonzepte¹¹.

Der sich hierdurch ergebende Paradigmenwechsel kann „plakativ“ mit dem Wandel von

der zentralen, angebotsorientierten Energieversorgung von „**oben nach unten**“¹² mit getrennten, jeweils für sich geregelten Erzeugungs- und Verteilungsstrukturen

zur

dezentralen, nachfragefokussierten Energieversorgung „**von unten nach oben**“ bei gleichzeitiger Optimierung dezentraler und zentraler Erzeugung sowie dezentralem Verbrauch auf der Grundlage hierarchischer, vermaschter Regelkreissysteme unter Berücksichtigung ökonomischer **und** ökologischer Parameter

gekennzeichnet werden. Die sich hierbei ergebende integrale Mischstruktur erfordert die Existenz „intelligenter Lokaler Energiemanagementsysteme (ILEMS)“. Die „plakative“ Zielsetzung hierbei lautet, die Energie dort zu erzeugen, wo sie verbraucht wird bzw. vice versa. Hierdurch soll die Energieeffizienz sowohl der konventionellen als auch der regenerativen Erzeugungsanlagen durch die Verbrauchsoptimierung bzw. -regelung erhöht werden. Dies bedingt ein kategorisiertes und kaskadiertes „Clustering“ sowohl der Erzeugungs- als auch der Verbrauchsanlagen. Die Bildung dieser Cluster erfolgt unter Berücksichtigung der jeweiligen energiewirtschaftlichen Bedeutung sowie der jeweiligen kurz- bzw. mittelfristigen Beeinflussbarkeit¹³. Diese Entwicklung kann auch als „back to the roots“ charakterisiert werden, da die Stromversorgung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch lokale Erzeugungseinheiten sowie dazugehörige Verteilnetze geprägt wurde. Erst nach dem Ende des 1. Weltkrieges wurden diese „lokalen Inseln“ auf nationaler Ebene miteinander vernetzt, der sich dann ab 1950 die internationale Verflechtung auf der Höchstspannungsebene anschloss. In sog. „netzfernen“ Gebieten existieren allerdings auch heute noch dezentrale Inselssysteme - gekennzeichnet durch Hybridstrukturen aufgrund der Einbindung regenerativer Erzeugungsanlagen. Durch eine Vernetzung dieser „Inselssysteme“ entstehen per se dezentrale

¹¹ dieser Begriff darf nicht mit dem Objekt der in den 80er Jahren geführten Diskussion über „Energieversorgungskonzepte“ verwechselt werden

¹² bezogen auf die Spannungsebenen

¹³ vgl. Bitsche, R., Feldmann, W., Aumayr, G. (2002), Virtuelle Kraftwerke - Einbindung dezentraler Energieerzeugungsanlagen, in: etz 2002, Nr. 9, S. 16 - 23

trale Energiekonzepte bzw. -systeme. Zwar bestehen derzeit noch unterschiedliche Zeitvorstellungen, wann frühestens oder spätestens dezentrale Energiekonzepte bzw. -systeme ihre „Marktreife“ erlangen werden – der „publizierte Trend“ unterstellt allerdings den Zeitraum zwischen 2015 und 2030¹⁴.

Hierdurch werden die „klassischen Infrastrukturen“ - auf zentraler Erzeugung sowie dezentralem (lokalen) Verbrauch basierende Verteilnetzstrukturen - durch die **intelligente, multimediale Vernetzung von Erzeugung, Verteilung und Verbrauch** unter Einbeziehung wissenschaftlicher Informations- und Kommunikationsnetzwerke und -systeme qualitativ verbessert. Des Weiteren wird das Dezentralitätsprinzip neben der Erzeugerebene auch auf die Ebene der Koordinierung und Steuerung der Verteilung und des Verbrauchs transformiert. Im Vergleich zu den bisherigen „klassischen“ Versorgungsstrukturen ergibt sich hierbei ein zusätzlicher Aufwand für Bereitstellung, Transport und Verarbeitung der benötigten Daten und Informationen, der jedoch **informationstechnologisch** realisierbar ist. Voraussetzung hierfür ist, dass die Versorgungs- und Informationsstrukturen modular konzipiert und erweiterbar sein müssen, um flexibel an sich ändernde Rahmenbedingungen auf Erzeuger-, Verteilungs- und Verbraucherebene angepasst werden zu können. Durch eine derartige vollständige Aggregation von Energieerzeugung, -transport und -verteilung einerseits sowie Daten- und Informationserhebung, -transport und -verarbeitung andererseits wird die systemische, ganzheitliche Strukturierung dezentraler Energiekonzepte bzw. -systeme gewährleistet. Aus „hierarchischer Sicht“ optimiert sich hierbei auf der unteren Ebene jedes dezentrale Energiesystem mit den Komponenten Erzeugung, Verteilung und Verbrauch zunächst im Rahmen eines eigenständigen Regelkreissystems selbst, in dem die Prognosen von Verbrauch und Erzeugung in Verbindung mit dem Erzeugungs- und Lastmanagement zeitgleich erfolgen und gegenseitig optimiert bzw. abgeglichen werden. Ergänzend hierzu wird auf horizontaler Ebene zwischen mehreren dezentralen Energiesystemen der Überschuss oder der Bedarf an Energie unter Berücksichtigung der steuerbaren Last- und Erzeugungsstrukturen sowie unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Kriterien vertragsbasiert ausgeglichen (vgl. Abb. Nr. 2).

Energieüberschüsse oder -defizite, die auf diese Weise nicht dezentral auf dieser (lokalen) Ebene der dezentralen Energiesysteme horizontal ausgeglichen bzw. verteilt werden können, werden auf die nächsthöhere, regionale Hochspannungsebene (110 kV) auf Basis exakter Lastgänge und Bezugsfahrpläne eingespeist bzw. abgerufen. Dies bedingt, dass in den dezentralen Systemen Maßnahmen bzw. Instrumente zur Verbrauchsbeeinflussung, Versorgungssicherheit und Reservehaltung involviert sind. Im Hinblick auf die Reservehaltung differenziert man hierbei zwischen der **positiven Reservestrategie** (kostenoptimale Steigerung der Eigenerzeugung bzw. Lastverringerung sowie Nutzung der Reserveverträge) sowie der **negativen Reservestrategie** (kostenoptimale Verringerung der auf dem Energiemix basierenden Eigenerzeugung bzw. Lastzuschaltung sowie Lieferung im Rahmen von Export- (Liefer-)Verträgen). Hierbei wird durch das **intelligente Lokale Energiemanagementsystem** (ILEMS) des dezentralen Energiesystems sowohl die generell verfügbare Systemreserve als auch die Minutensystemreserve online und zeitaktuell unter Berücksichtigung von Grund-, Mittel- und Spitzen- sowie Überschreitungslast optimiert. Im Fokus des lokalen Energiemanagementsystems steht somit die optimale Online-Abgleichung des Energiebedarfs an die dezentral verfügbare Erzeugerleistung sowie den aus der jeweils gewählten Reservestrategie resultierenden Handlungsmöglichkeiten des Energiebezuges aus zentralen Erzeugungseinheiten. Die sich hierbei ergebenden Handlungsalternativen im Rahmen des Erzeugungs-/Lastmanagements werden unter Berücksichtigung ökonomischer (kostenoptimierender) sowie ökologischer Kriterien (Schonung fossiler Ressourcen) simuliert und bewertet. Im Normalfall schließlich sind die diesbezüglich erforderlichen Erzeugungseinheiten für Grund- und Reserverlast auf der hierarchisch dritten (nationalen) Ebene angesiedelt und speisen in das Höchstspannungsnetz ein. Insgesamt ergibt sich hierdurch die aufgezeigte, hierarchi-

¹⁴ vgl. Guterl, F. (2002), The Energy Squeeze, in: Newsweek Nr. 14, Vol. CXXXIX, S. 50 – 54, New York 2002

sche Struktur auf der Grundlage horizontal und vertikal integrierter sowie „intelligenter“ dezentraler Energiesysteme (-konzepte). Die hierdurch realisierbare **intelligente Integration** dezentraler und zentraler Erzeugungseinheiten bzw. -systeme im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung ermöglicht zum einen auf der Grundlage von Kosten-/Nutzenbewertungen die ökonomisch sinnvolle Einbindung dezentraler Erzeugungssysteme in das Gesamtsystem der Energieversorgung. Dies erfordert jedoch neue Formen und Strukturen der Systemintegration sowie andere Reserve- und Versorgungssicherheitsstrategien. Sie ermöglicht zum anderen die notwendige „Effizienzrevolution“, die sowohl durch vermindertes Wachstum des Energieverbrauchs als auch des Primärenergieeinsatzes charakterisiert ist¹⁵ - dies führt zwangsläufig zur Reduzierung der Schadstoffemissionen sowie zur Schonung fossiler Primärenergieträger und somit zur Anwendung des anfangs angeführten „ökologischen Gesetzes des Kapitalismus“.

2. Das Konzept des „Virtuellen Kraftwerks“

Durch den vorstehend erläuterten Paradigmenwechsel zu dezentralen Energiekonzepten und -systemen mit dementsprechenden Erzeugungs- und Verteilungsstrukturen wird zwangsläufig auf der unteren, lokalen Ebene eine doppelte Strukturveränderung impliziert:

- „intelligente“ Verteilnetzstrukturen
- eine ökonomisch und ökologisch optimierte Struktur integrierter, dezentraler Erzeugungs- und Speichereinheiten bei gleichzeitiger Verbrauchssteuerung.

Zu „Monopolzeiten“ wurden die hierarchischen, vermaschten Verteilnetze unter dem Gesichtspunkt der Versorgungssicherheit als „Einbahnsystem“ mit entsprechenden Redundanzen konzipiert: Von der Erzeugungseinheit „Großkraftwerk“ wurde die elektrische Energie über die Verbundebene in die Verteilnetze eingespeist und dort „monodirektional“ zur „Steckdose des Endverbrauchers“ transportiert. Durch die zunehmende Installation und Integration dezentraler Erzeugungseinheiten - fast ausschließlich auf der Nieder- und Mittelspannungsebene - sind zwangsläufig bidirektionale Netzstrukturen sowie Informations- und Kommunikationsnetze zur Optimierung des Last- und somit auch Verbrauchsmanagements (Energie-transfer) erforderlich. Zielsetzung ist somit die wirtschaftliche und ökologische Integration dezentraler und erneuerbarer Energie-Erzeugungsanlagen in bestehende Versorgungsstrukturen im Rahmen der Verlagerung von Funktionen und Aufgaben konventioneller (Groß-) Kraftwerke auf die dezentralen Energieerzeuger im Mittel- und Niederspannungsnetz. Die - auch vor dem Hintergrund der Marktliberalisierung erforderlichen - Kostenvorteile derartiger Strukturen resultieren aus

- der Einsatzoptimierung der jeweils ökonomisch und ökologisch nachhaltig wirkenden dezentralen Erzeugungseinheiten unter Berücksichtigung der spezifischen System- und Ressourcenverfügbarkeit zur Reduzierung der Bezugsleistung aus dem Übertragungsnetz
- der Vermeidung punktuell erforderlicher Vergrößerungen der Transportkapazität des Verteilnetzes vor dem Hintergrund einer gezielten Installation und Integration dezentraler Erzeugungseinheiten.

Hierdurch gelingt es einerseits, dem sich aus der Marktliberalisierung ergebenden „Wettbewerbsdruck“ Stand halten zu können. Andererseits kann der aus dem Benchmarking der Netznutzungsentgelte resultierende Kostendruck im Bereich des Netzbetreibers (Erweiterungsinvestitionen, Instandhaltung etc.) zumindest teilweise kompensiert werden. Diese Kostenreduzierung wird zum einen dadurch ermöglicht, dass – zumindest auf der Mittelspan-

¹⁵ vgl. von Weizsäcker et al (1995)

nungsebene – eine teilweise Abkehr von dem „n-1-Prinzip“ erfolgen kann, da die Energieerzeugung quasi „hinter dem Gartenzaun“ des Verbrauchers erfolgt, so dass die „klassischen“ Redundanzgründe (z. B. Ausfall eines Umspannwerkes als zentraler Einspeisung) an Dominanz verlieren. Zum anderen verringern sich die Netzkosten auf Grund der möglichen Reduzierung der Transportkapazitäten (d. h. der Querschnittsdimensionierungen der Kabel) vor dem Hintergrund der bidirektionalen Energieflussrichtungen. Des Weiteren kann eine Reduzierung der "Kosten des Gesamtsystems" sowohl durch die Optimierung der jeweiligen Reservehaltung als auch durch eine Verringerung zusätzlicher Kapazitätserweiterungen auf der Höchst- und Hochspannungsebene realisiert werden. Die Summe dieser Faktoren impliziert zwangsläufig ein „Umdenken“ auf der „philosophischen Metaebene“ der Versorgungssicherheit und führt zu der eingangs angesprochenen pretialen Steuerung des Netzbetriebsmanagements. Im Rahmen eines derartigen „**Asset Managements**“ - verstanden als Management des gesamten Lebenszyklus (lifecycle) der Netzbetriebsmittel - soll die langfristige Optimierung von Entgelterwartung, Kostenstruktur und Risikomanagement im Rahmen einer elektrowirtschaftlich rationellen Betriebsführung realisiert werden. Im Fokus steht dabei die Bereitstellung von Übertragungs- bzw. Verteilungskapazitäten bei entsprechender Qualität des sicheren Netzbetriebes sowie der Frequenz- und Spannungshaltung. Das hierbei zu Grunde liegende strategische Asset Management fokussiert auf die Optimierung von Investitionen und Instandhaltung unter Berücksichtigung der durch interne und externe Marktpreise definierten Rentabilität. Module einer derartigen Strategie sind u. a.

- Strategieentwicklungs- und -umsetzungsprozesse unter Einbeziehung der Methodik der Balanced Scorecard
- Investitions- und Instandhaltungsmanagement im Sinne einer risikoorientierten, optimierten Ressourcenallokation auf Grundlage informationstechnologischer Systeme (z. B. OPTIMINST)¹⁶
- Vertrags- und Auftragsmanagement
- Operatives Betriebsführungsmanagement
- Konzeption und ständige Weiterentwicklung des zur Prozessdurchführung erforderlichen Risikomanagements.

Voraussetzung hierfür ist ein „intelligentes“ Netz- und Energiemanagementsystem mit entsprechenden Informations- und Kommunikationssystemen und -strukturen auf lokaler Ebene, das die dezentrale Erzeugung, die aus dem Verbundnetz bezogene Leistung sowie die jeweiligen Netz- und Verbrauchslasten mit der Zielsetzung minimaler ökonomischer und ökologischer Gesamtkosten regelt bzw. steuert. Neben der hierzu erforderlichen Lastmanagementsoftware mit Simulations- und Optimierungsberechnungen ist des Weiteren ein Informations- und Wissensmanagementsystem (Energiedatenmanagement, Business Intelligence System, Data Warehouses, Auswertetools etc.) unter Einbeziehung der Internettechnologien sowie (falls technologisch möglich) der Powerline-Kommunikation erforderlich. Die Informations- bzw. Kommunikationskomponenten ermöglichen des Weiteren, den angeschlossenen Endverbrauchern zusätzliche Dienstleistungen anzubieten. Ein derartig konzipiertes „intelligentes Lokales Energiemanagementsystem“ kann daher mittels der Module „Prognose“, „Einsatzplanung/-simulation“ und „Online-Optimierung“

- die Energieerzeugungs- bzw. -bezugskosten minimieren

¹⁶ OPTIMINST ist ein von EUS, dem Lehrstuhl für elektrische Energieversorgung an der Universität Dortmund sowie den Stadtwerken Unna GmbH entwickeltes Programm zur Realisierung eines risikoorientierten Instandhaltungsmanagements mit der Möglichkeit der Simulation verschiedener Instandhaltungsstrategien

- den Netznutzungsgrad durch die Vermeidung punktueller Überbelastungen optimieren
- den (Aus-)Nutzungsgrad regenerativer Energieressourcen maximieren.

Die durch das dezentrale Energieversorgungskonzept fokussierte **integrierte und „intelligente“ Einsatzoptimierung unterschiedlicher dezentraler Erzeugungseinheiten** repräsentiert letztlich ein „**virtuelles Kraftwerk**“, d. h. die regelungstechnische Zusammenfassung sowie ökonomische und ökologische Optimierung dezentraler Erzeugungsanlagen auf lokaler Ebene im Rahmen eines dezentralen Energiesystems. Dies bietet dem übergeordneten lokalen Energiemanagementsystem (ILEMS) Tagesprognosen seiner (potentiellen) Erzeugungsverfügbarkeit im Viertelstunden- bzw. Minutenraster an und bekommt auf dieser Grundlage einen dementsprechenden Leistungsfahrplan vorgegeben, der durch die Online-Optimierung so exakt wie möglich „abgefahren“ wird. Hierdurch wird dieses Mixtum aus dezentralen, verteilten sowie heterogenen Erzeugungs- und Speichereinheiten als „virtuelle große Erzeugungseinheit“ analog zur Fahrweise eines Großkraftwerkes betrieben, da die dezentral verteilten Erzeugungsanlagen mit der Zielsetzung, ein vorher definiertes sowie situativ anzupassendes Erzeugungsprofil („Fahrplan“) abfahren zu können, zentral gesteuert bzw. geregelt werden. Aufgrund der Heterogenität der Erzeugungseinheiten sowie des jeweils zu Grunde liegenden spezifischen Primärenergieeinsatzes ergeben sich zwangsläufig lineare und stochastische „Fahrplanbedingungen“, die die Fahrplangestaltung und -simulation sowie das „Abfahren“ des Fahrplanes gegenüber demjenigen eines realen Großkraftwerkes schwieriger machen.

Großräumig verteilte, dezentrale KWK-Anlagen (Verbrennungsmotoren, Expansionsmotoren, Turbinen, Kohlevergasung/-verschmelzung, Brennstoffzellen etc.) ermöglichen - unabhängig vom jeweiligen Primärenergieeinsatz (fossile oder nachwachsende Rohstoffe) - häufig lineare Fahrplangestaltungen unter der Berücksichtigung einer ökologischen und energetischen Optimierung. Problematischer wird dagegen die fahrplanmäßige Integration von regenerativen Erzeugungssystemen auf Wind- und Sonnenbasis aufgrund ihrer stochastischen Verfügbarkeit und Leistungsbereitstellung. Die Integration eines derartigen regenerativen, fluktuierenden Erzeugungsangebotes erfordert die strukturierte Generierung eines Erzeugungsfahrplanes, der regelbare sowie zu- und abschaltbare und nicht beeinflussbare (nur prognostizierbare) Komponenten enthält. Nur hierdurch ist es möglich, diese stochastisch sich verhaltenden Erzeugungskapazitäten auf der Grundlage entsprechender Betriebs- und Reservestrategien zu „linearisieren“ unter Einbeziehung von Prognose- und Simulationsverfahren sowie korrespondierender Leistungsfahrpläne als „virtuelle Erzeugungseinheit“ in das dezentrale Energieversorgungssystem bzw. -konzept zu integrieren sowie netzverträglich unter Berücksichtigung der Blindleistungsregelung zu implementieren. Dies führt andererseits zwangsläufig sowohl zu einer wesentlichen Steigerung der energiewirtschaftlichen und ökologischen Effizienz der regenerativen Energieerzeugung als auch zur Erhöhung der Energieeffizienz des Gesamtsystems.

3. Die Konzeption des „intelligenten Lokalen Energiemanagementsystems“ (ILEMS)

3.1 Die "Philosophie" des ILEMS

Die Integration und Aggregation sowie Koordination der spezifischen Fahrpläne der jeweiligen Module eines „virtuellen Kraftwerks“ geschieht durch das überlagerte, **intelligente Lokale Energiemanagementsystem (ILEMS)**. Plakativ fasst es die dezentralen Erzeugungen und Lasten in sog. „Clustern“ mit gleichen Einflussgrößen bzw. Parametern zusammen und generiert durch Prognose-, Simulations- und Optimierungssysteme sowohl deren Planbarkeit als auch deren Regelungsfähigkeit. Einbezogen werden hierbei zwangsläufig auch Speichersysteme, um stochastische Erzeugungsstrukturen auf der Grundlage wahrscheinlicher

keitstheoretischer Aussagen zu „linearisieren“ bzw. deterministisch zu gestalten und somit zu beeinflussbaren bzw. zu planbaren und somit kontrahierungsfähigen Leistungsprofilen bzw. zur vertragsbasierten Vermarktungsfähigkeit zu gelangen. Das hierzu erforderliche Datenmodell ist allerdings auf Grund der (fast) beliebig großen Anzahl an dezentralen Erzeugungseinheiten und beeinflussbaren Verbrauchern im Rahmen einer individuellen Modellierung vor dem Hintergrund der verfügbaren Rechnerkapazitäten (derzeit) noch nicht realisierbar. Deshalb bietet sich das sog. „Clustering“ an, bei dem die Vielzahl der Module bzw. Einheiten durch eine Modellkomponente abgebildet wird. Deren Parameter (Eigenschaften) sind allerdings dynamisierbar (variabel) und basieren auf statistisch begründeten Annahmen und Prognosen zur Potenzialabschätzung (sowohl des Erzeugungs- als auch des Verbrauchspotenzials). Im Fokus steht hierbei der Vergleich zwischen einem statischen „Referenzfall“ sowie „virtuell“ zu definierenden und simulierenden dynamischen Zustandsveränderungen – letztere werden mit wahrscheinlichkeitstheoretischen „Leistungswerten“ unterlegt. Aus der Simulation dieser mehr- bzw. vielfachen Vergleichsrechnungen kann dann das ökonomische und/oder ökologische Optimum ermittelt werden. Zu berücksichtigen ist hierbei jedoch – wie bei jeder Simulation - auf Grund der Abstraktion und Formalisierung, dass die Genauigkeit des Ergebnisses zwangsläufig von der „Richtigkeit“ der zugrunde gelegten wahrscheinlichkeitstheoretischen Annahmen abhängt. Aus diesem Grunde kann auch keine „Blaupause“ für alle denkbaren Systemkonfigurationen erstellt bzw. erwartet werden. Vielmehr ist für jedes dezentrale Energiekonzept bzw. -system die Erstellung einer konkreten „Fallstudie“ (Systemstudie) erforderlich. Letztendlich fokussiert eine derartige „Virtualisierung“ auf der Aggregation von Bezugs- und Erzeugungsmanagement, der Portfolioeinsatzoptimierung sowie dem dezentralen Lastmanagement einschließlich der Steuerung des Verbraucherverhaltens sowie auf dessen Optimierung im Sinne des Gesamtsystems „dezentrales Energiesystem“. Es fokussiert somit auf Prognose, Einsatzplanung und Online-Optimierung (einschließlich der Störfalloptimierung) von Erzeugung, Speicherung **und** Verbrauch und somit auf einer ausgeglichenen Leistungsbilanz des lokalen Bilanzkreises. Wesentliche Funktionen sind daher

- Zustandsanalyse, Monitoring und Visualisierung des Gesamtsystems
- Online-Fahrplanprognose der erzeugbaren elektrischen und thermischen Leistung bzw. Speicherung
- Onlineprognose, -analyse und -beeinflussung des aktuellen Lastbedarfs
- Planung und Umsetzung von Kompensationsmaßnahmen bei Toleranzbandverletzungen (z. B. zusätzlicher Bezug bzw. Einspeisung auf horizontaler und vertikaler Ebene) sowie einem „Störungsmanagement“
- Generierung von ökonomischen/ökologischen Optimierungsbandbreiten

Um eine derartige integrierte bzw. ganzheitliche lokale Optimierung sowie den vertragsbasierten Energieaustausch auf horizontaler und vertikaler Ebene realisieren zu können, ist die einerseits intelligente bidirektionale Kommunikation zwischen Erzeugungseinheiten, Speichermedien und Verbrauchern sowie andererseits das Informations- und Wissensmanagement im Rahmen des „ILEMS“ erforderlich. Dies erfolgt informationstechnologisch beispielsweise durch terrestrische LAN/WAN sowie Wireless-Netze unter Einbeziehung von ISDN, GSM, UMTS etc. Derzeit verfügbare Schnittstellen für den Datenaustausch sind vor allem OPC¹⁷ und XML¹⁸. Zu konstatieren ist allerdings derzeit noch ein Übergewicht proprietärer informationstechnologischer Systeme, Strukturen und Applikationen sowohl zur Steuerung der Erzeugungsanlagen als auch bei den Kommunikationssystemen, die Optimierungen oder Erweiterungen häufig unwirtschaftlich werden lassen oder gänzlich unmöglich machen. Erforderlich sind daher auf Erzeugungs-, Übertragungs- und Verbrauchsebene modular konzi-

¹⁷ OPC = **O**bjekt **L**inking and **E**mbedding for **P**rocess **C**ontrol

¹⁸ XML = **E**xtr^em^e Markup Language

pierte Systeme und Komponenten, die ein sog. „Baukastenprinzip“ im Sinne einer heterogenen, aber dennoch kompatiblen Systemtechnik ermöglichen, um - basierend auf offenen Standards - eine einheitliche Energie- und Informationsübertragung zwischen den einzelnen Erzeugungs- und Verbrauchskomponenten als auch der übergeordneten Regelung (ILEMS) zu gewährleisten: Analog zum „Informations-/Kommunikationsbus“ ist demnach auch ein „AC/DC-Energiebus“ notwendig, der die Kompatibilität zum Niederspannungsnetz und somit die - möglichst - verlustfreie Vernetzung gewährleistet. Hierbei soll der „Informations-/Kommunikationsbus“ in Form eines „Signalbussystems“ die Kommunikation zwischen den Erzeugungssystemen (Regelungsebene 1 bzw. 2), dem Lastmanagementsystem (Regelungsebene 3)¹⁹ sowie den Verbrauchern gewährleisten; als zukünftige diesbezügliche Standards bieten sich hierbei der „Europäische Installations-Bus (EIB)“ sowie die Übertragungsverfahren JINI oder U_{pre}P an²⁰.

Unter der Zielsetzung einer Erhöhung der Energieeffizienz sollte - wie bereits ausgeführt - dieses dezentrale Energiemanagementsystem als additive Komponente des Weiteren auch Module zur Beeinflussung bzw. Steuerung des Verbrauchsverhaltens beinhalten. Da - trotz aller gesellschaftspolitischen und marketinginduzierten Anstrengungen - beim Endverbraucher noch (fast) kein ökologischer Bewusstseinswandel bzw. ein ökologisch fokussiertes Verbrauchsverhalten stattgefunden hat, erfordert dies u. a. prezial determinierte Strategien, bei denen bzw. durch deren Anwendung der Endverbraucher Kosten-(Preis-)Vorteile erhält:

- a) Verminderung unnötigen Energieverbrauchs durch rationellere Nutzung ohne Komforteinbuße
- b) Senkung des individuellen Energieverbrauches durch entsprechende Energiedienstleistungen
- c) verstärkter Einsatz CO₂-ärmerer Energieträger (z. B. Erdgas)
- d) Substitution CO₂-emittierender Energieträger durch CO₂-freie Energieerzeugung (z. B. Wasser, Wind, Solarenergie, Geothermie)
- e) Verzicht auf energieintensive Dienstleistungen (z. B. Warmwasserbereitung mittels elektrischer Energie), energieintensive Produkte oder Prozesse.

Die bisherigen Ausführungen in diesem Abschnitt definieren vor allem die operativen Module bzw. Komponenten des „Virtuellen Kraftwerks“. Neben diesen "taktischen" Elementen sollte ein derartiges Konzept bzw. System jedoch auch strategische besitzen, um dynamisch und flexibel zukünftige Veränderungen zu antizipieren bzw. sich im Sinne eines ultrastabilen Systems selbständig an diese anpassen zu können. Auf „lokaler Ebene“ sind hierbei die mittel- und langfristigen Bezugsmöglichkeiten und Preisveränderungen der fossilen Energieträger (Kohle, Erdgas, Heizöl) einzubeziehen. Aus wirtschaftlicher Sicht sind hierbei nicht nur die Kosten- und Preisbestandteile zu optimieren, sondern beispielsweise auch die sich mittelfristig aus dem Handel mit Emissionszertifikaten ergebenden zusätzlichen Deckungsbeiträge zu berücksichtigen. Des Weiteren sind die Verfügbarkeiten der regenerativen Energieträger (Biomasse, Wind, Sonne etc.) unter Berücksichtigung ihrer Rahmenbedingungen (Windstärke, Sonneneinstrahlung, Klima- bzw. Wetterveränderungen sowie deren Prognosegenauigkeiten aufgrund verbesserter Modellrechnungen etc.) zu integrieren. Schließlich sind auch demographische Faktoren (Altersstruktur, Haushaltsstruktur, Bevölkerungswachstum etc.) sowie technologische Veränderungen (neue Erzeugungssysteme, Wirkungsgradverbesserung der vorhandenen Systeme etc.) zu involvieren. Hieraus ergeben sich zwangsläufig Handlungsszenarien mit unterschiedlichen Entscheidungsalternativen. Sinnvoll erscheint es daher, sog. „Korridore“ bzw. Bandbreiten zu definieren, für die jeweils spezifische Entschei-

¹⁹ vgl. Abb. Nr. 5

²⁰ vgl. Bitsch et al (2002), S. 18 ff.

dungs- und Handlungsalternativen sinnvoll bzw. andere ausgeschlossen werden. Diese „Bandbreiten“ wesentlicher Rahmenbedingungen bzw. Faktoren „fließen“ dann in die Simulationen der Systemzustände sowie deren Bewertung ein. Hierdurch soll die Ermittlung spezifischer technischer, ökonomischer und ökologischer Grenzwerte ermöglicht werden, die den Übergang von einer zur anderen Handlungsalternative (z. B. Übergang von einem Energieträger zum anderen) definieren. Erforderlich sind hierbei die Online-Simulation und der Test unterschiedlicher Strukturen und Situationen des dezentralen Energieversorgungssystems, um im Rahmen von Szenarien mit unterschiedlichen Strategien und Zielfunktionen verschiedene Konzeptalternativen beschreiben, analysieren und ökonomisch sowie ökologisch bewerten zu können.

3.2 Regelungstechnische Strukturmerkmale

Wie bereits ausgeführt und verdeutlicht wurde, erfordert sowohl das Konzept des „Virtuellen Kraftwerks“ als auch generell dasjenige „dezentraler Energiesysteme“ ein umfassendes Informations- und Wissensmanagement auf der Grundlage einer intelligenten, multimedialen Vernetzung von Bezug, Erzeugung, Verteilung und Verbrauch. Dieses muss bzw. kann von seiner Struktur her als „**hierarchisches, vermaschtes Regelkreissystem**“ mit dem lokalen Energiemanagementsystem (İLEMS) als „obersten Regler“ im Sinne des „controlling overlayers“²¹ verstanden werden. Dieses - aus morphologischer Sicht - „aktive Regelungssystem“ basiert auf dem Prinzip der Regelung als „**Störungskompensation mit Rückkopplung**“ (vgl. Abb. Nr. 3).

Hierbei „funktionieren“ die jeweiligen Regelkreissysteme der einzelnen BHKW-Module (Motor, Kessel, Speicher, Gasturbine, Brennstoffzelle etc.) bzw. Windenergie- oder Photovoltaikanlagen aus kybernetischer Sicht in Relation zum Gesamtsystem als Steuerungs- und Regelungssysteme niedrigerer Ordnung, die in ihrem jeweiligen Wirkungsbereich aufgrund vorgegebener „Soll-Werte“ (z. B. Betriebsstunden, Wirkungsgrad, Fahrplan etc.) „autonom“ arbeiten. Autonome (griech.: Selbstgesetzgebung) Systeme steuern bzw. regeln lateral spezifische Funktionen sowie repetitive Abläufe (Routineprozesse etc.), ohne dass Einwirkungsmöglichkeiten höherer Regelsysteme erfolgen bzw. erforderlich werden; diese Autonomie dient zur Aufrechterhaltung der sog. Homöostase (Gleichgewichtszustand wichtiger Funktionen und Bedingungen) und somit zum Erhalt einer stabilen „inneren Umwelt“. Diesbezüglich wird dem Regler laufend der tatsächliche Systemzustand (d. h. die Regelstrecke) durch den ersten Rezeptor zurückgemeldet. Auf der Grundlage vorgegebener Führungsgrößen greift der Regler dann so lange mit kompensierenden, kontrollierten Maßnahmen in den Prozessablauf der Regelstrecke ein, bis der jeweils vom „Rezeptor 2“ gemeldete Ist-Zustand mit dem Soll der Führungsgröße übereinstimmt. Im Rahmen dieser als **sekundäre Regelung** bezeichneten Störungskompensation werden Steuerstrecke und/oder Führungsgröße mit einer gewissen „Bandbreite“ ausgelegt, so dass das System bzw. der Regler auf eine spezifische Anzahl definierter Störgrößen autonom reagieren kann - auf der Grundlage von Rückkopplungen verändert das System sein Verhalten selbstständig. Nehmen die Störgrößen jedoch in qualitativer und/oder quantitativer Dimension Werte an, die außerhalb dieser Bandbreite liegen, so ist eine Störungskompensation durch die sekundäre Regelung nicht mehr möglich²². In diesem Fall findet eine „Rückkopplung“ mit der nächsthöheren Regelungsebene statt, die eine Abstimmung und Störungskompensation durch die zentrale Koordination der „unteren Regelungssysteme“ herbeiführt (sog. **primäre Regelung**). Ein weiterer Grund für das Auftreten und Wirken dieser Primärregelung ist auch darin zu sehen, dass sich die unteren autonomen Regelsysteme antagonistisch verhalten (können) - die Tätigkeit des einen Systems kann negative Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit bzw. den Regelungspro-

²¹ vgl. Etzioni, A. (1975), Die aktive Gesellschaft, Opladen 1975 sowie Jänig, Chr. (1984), Konzeption und Implementierung eines computergestützten Informationssystems als "Geplanter Wandel" der Verwaltungsorganisation, Krefeld 1984

²² Fuchs, H. (1974), Steuerung und Regelung in betrieblichen Systemen, in: Grochla, E., Fuchs, H., Lehmann, H. (Hrsg., 1974), Systemtheorie und Betrieb, Sonderheft Nr. 3 der Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Wiesbaden 1974

Diese kurz erläuterten „einfachen“ Steuerungs- und Regelmechanismen können in gewisser Beziehung beliebig in komplexen Steuerungs- und Regelungssystemen kombiniert werden. Hierbei spricht man von einer **Vermaschung**, d. h. die Regelgröße des einen Regelkreises repräsentiert den Sollwert (die Führungsgröße) des anderen. Diese Vermaschung kann sowohl einseitig als auch wechselseitig bestehen; hierdurch entstehen Steuerungs- und Regelungssysteme höherer Ordnung, bei denen die Steuer- bzw. Regelstrecke ein oder mehrere Steuerungs- und Regelungssysteme niedriger Ordnung umfasst. Demzufolge kann dann jede Komponente der Steuerungs- und Regelssysteme niedrigerer Ordnung zur Sollgröße des Steuerungs- und Regelungssystems höherer Ordnung werden. Letzteres wiederum kann einzelne Komponenten des Systems niedrigerer Ordnung beeinflussen oder gar dessen Kopplungsstruktur verändern. Eine derartige Störungskompensation im Rahmen vermaschter Regelkreissysteme kann im Endeffekt beinhalten, dass die Struktur des Reglers nicht von vornherein festgelegt ist, sondern sich aus den jeweiligen Störungsdimensionen ergibt.

Derartige hierarchische, vermaschte Regelungssysteme sind in der Natur häufig vorzufinden. So besitzt beispielsweise der „homo sapiens“ ein System mit vier hierarchischen Ebenen sowie jeweils spezifischen Funktionen. Das Rückenmark als unterste Ebene regelt zum einen autonom über laterale Befehlsachsen spezifische Funktionen (z. B. Herztätigkeit). Zum anderen überträgt es vertikal aufbereitete bzw. verdichtete Informationen über das sympathische Nervensystem zum Hirnstamm bzw. Mittelhirn, das als „übergeordnetes Regelungssystem“ zur Koordination verschiedener Funktionen bzw. Organe dient und deren Homöostase gewährleisten soll (z. B. Blutdruck und Herzfrequenz). Sollte eines dieser Organe in systemkritische Zustände geraten (beispielsweise eine zu hohe Herzfrequenz), so werden alle damit zusammenhängenden Funktionen und Organe „überregelt“. Gleichzeitig überträgt es vertikal (ebenfalls über das „sympathische System“) die „von unten“ stammenden Informationen nach einer weiteren Aufbereitung („Filterung“) an das nächsthöhere Regelungssystem, dem Zwischenhirn. Dieses erhält neben diesen verdichteten Informationen des Weiteren über ein unabhängiges, redundantes System (parasympathisches System) „ungefilterte“ Informationen von den jeweiligen untergeordneten Regelungssystemen und -prozessen. Schließlich gelangen über ein drittes Informationssystem (somatisches System) Daten aus der externen Umwelt in dieses Regelungssystem, so dass es aufgrund des übergeordneten Informations- und Wissensstandes entsprechende „Abgleiche“ vornehmen und - bei systemkritischen Abweichungen - im Rahmen der Primärregelung (zentrale Koordination) eingreifen kann. Vom Zwischenhirn gehen schließlich alle verfügbaren System- und Umweltinformationen über 32 + 12 Nervenpaare an das Großhirn als höchstem Regelungssystem, das im Rahmen willentlicher bzw. willkürlicher Entscheidungsprozesse (z. B. Denkprozesse) entweder vertikal über die untergeordneten Regelungssysteme oder direkt im Rahmen der Durchgriffsregelung auf die unteren Regelungsstrecken einwirkt (beispielsweise die „Überregelung“ im Rahmen athletischer Wettbewerbe, bei denen der Sieg auch auf Kosten von Organschäden angestrebt wird).

Diese „theoretischen“ Aussagen sollen nachfolgend an der hierarchischen Struktur des intelligenten Lokalen Energiemanagementsystems (ILEMS) in dezentralen Energiesystemen präzisiert werden (vgl. die Abbildung Nr. 4).

Auf der untersten Ebene befinden sich die Steuerungs- und Regelungssysteme der einzelnen Aggregate (WEA, PV-Anlage, Motor bzw. Gasturbine eines BHKW etc.). Durch die Steuerung bzw. Regelung der aggregatspezifischen Schutzfunktionen wird die „innere Homöostase“ der Einzelaggregate gewährleistet. Überlagert werden diese von dem Regelungssystem für eine Erzeugungseinheit, beispielsweise für ein BHKW (bestehend aus beliebig vielen Modulen und Komponenten) oder für einen Windpark oder eine Hybrid-Anlage (Motoren-BHKW + Expansionsmotor + Speichersystem). Hier erfolgt die technologisch-ökonomische Optimierung der Entität der jeweiligen Einzelaggregate einer Erzeugungsanlage sowie das Gewährleisten deren „inneren Homöostase“ durch die Abstimmung und Angleichung der spezifisch vorhandenen bzw. zu beachtenden Schutzfunktionen. Hierarchisch übergeordnet ist dann das Leitwarten- bzw. Lastmanagementsystem, das die einzelnen Erzeu-

gungseinheiten „intelligent“ koordiniert sowie spezifisch aggregiert - in Abhängigkeit von dem unter Berücksichtigung des kontrahierten Netzbezuges jeweils definierten Fahrplan. Dies impliziert die ökonomische Optimierung bzw. übergeordnete Regelung der Entität der (fast) beliebigen Anzahl von Regelungssystemen auf der Ebene 2 bei einer quasi statischen Berücksichtigung von Bezug und Abgabe (Verbrauch) im Rahmen sog. Jahres- und Monats- bzw. Wochenfahrpläne. Zur Aufrechterhaltung der Homöostase und somit Beibehaltung der stabilen „inneren Umwelt“ erfolgt hier die erzeugungsanlagen-spezifische „Feinabstimmung“, die jedoch zwangsläufig im Hinblick auf die Entität „Dezentrales Energiesystem“ nur eine Grobabstimmung sein kann. Deren jeweils situationsabhängige Feinabstimmung wird durch die 4. Regelungsebene realisiert. Dieses quasi als „controlling overlay“ fungierende „intelligente Lokale Energiemanagementsystem“ (ILEMS) koordiniert schließlich diese Erzeugungskapazität sowie den Netzbezug in Abstimmung mit bzw. Beeinflussung der Energienachfrage und fungiert somit quasi als „Lastprofil-Generator“, der in Echtzeit die dynamische Erzeugungs- bzw. Bezugsstruktur mit dem Verbrauchsverhalten korreliert und letztlich die aktuelle Abnahme als Grenzwert aus fahrplanbasierter Eigenerzeugung und fahrplanbasiertem Bezug ausrichtet. Hierbei wird der aktuelle Energieverbrauch ebenfalls - soweit dies möglich ist - beeinflusst und damit gesteuert (z. B. durch abschaltbare Verträge, pretiale Preissysteme etc.). Soweit und solange keine verbrauchsindividuelle Echtzeit-Datenerfassung möglich ist, können mittels des sog. „Fuzzy-Clustering“ Standard-Lastprofile erzeugt und eingesetzt werden. Hierdurch werden die „Unschärfen“ der zu Monopolzeiten ausreichenden „Randintegral fokussierten Differenzmethode“ reduziert und somit eine signifikante Verbesserung der kurz- und mittelfristigen Lastprognose sowie der Netzausbauplanung erreicht. Des Weiteren können hierbei auch im Rahmen einer probabilistischen Netzanalyse die realen Belastungszustände des Netzes und somit das Erkennen vorhandener Kapazitätsressourcen exakter als bei der deterministischen Methode analysiert bzw. ermittelt werden²³. Beachtet werden muss hierbei allerdings die jeweilige „Aktualität“ der ermittelten „Standard-Lastprofile“, auf die sich beispielsweise wirtschaftliche, soziale und demographische Veränderungen auswirken können. Entscheidend ist somit die Zugrundelegung eines ausgewogenen Verhältnisses zwischen „harten“ und „weichen“ Informationen über die dem Cluster zugehörigen Einzelabnehmern. Letzteres setzt zwangsläufig die Existenz von Regelungssystemen analog zur 2. Ebene bei den Verbrauchern voraus (beispielsweise im Rahmen eines „Facility Managements“). Das Regelungssystem der 4. Ebene repräsentiert somit zumindest zwei Kernfunktionen bzw. -prozesse:

- die ereignisorientierte (situative) Regelung zum Herbeiführen bzw. Aufrechterhalten der Ultrastabilität des Gesamtsystems (Dezentrales Energiesystem)
- die langfristige technologische und ökonomische Optimierung des „Dezentralen Energiesystems“ zum Gewährleisten seiner nachhaltigen „Überlebensfähigkeit“.

Im Rahmen der ersteren Funktionalität wird kurzfristig bewusst die „innere Homöostase“ der untergeordneten Regelungssysteme der Ebenen 1 und 2 vernachlässigt, um schnell und flexibel auf momentane, situationsbedingte Diskrepanzen zwischen den Soll- und Ist-Werten des Gesamtsystems reagieren zu können. Dies trifft beispielsweise für technologisch implizierte Störungen zu. Das gilt auch für die kurzfristig mögliche Erzielung weiterer ökonomischer Deckungsbeiträge, z. B. durch den zusätzlichen Energieverkauf über Strombörsen, die kurzfristige Nutzung von im Vergleich zur Eigenerzeugung bzw. zum Bezug preiswerterer Regelenergie oder die vertraglich vereinbarte Lieferung von Regelenergie etc. Im Rahmen einer kurzfristig erforderlichen Reaktion (Minuten- bis Stundenbereich) erfolgt die „Durchgriffsregelung“. Bei „planbaren“ Reaktionen (Reaktionszeit > 2 Stunden) wird das Prinzip der „zentralen Koordination“ durch die Vorgabe von neuen Sollwerten für die Regler der untergeordneten Systeme angewandt.

²³ vgl. Tiedemann, R. (2002), Fuzzy-Clusteranalyse zur Klassifizierung von Lastganglinien. VDI-GET-Expertenseminar „Lastprofile in der leitungsgebundenen Energieversorgung“, Berlin, 24.04.2002

Im Rahmen der Funktionalität „Langfristoptimierung“ des Gesamtsystems (Dezentrales Energiesystem) erfolgt die Simulation verschiedener Szenarien, um antizipativ auf sich verändernde Rahmenbedingungen (Struktur- und Preisveränderungen, Übergang zu anderen Primärenergien, sozial und demographisch bedingte Veränderungen des Verbraucherverhaltens, Veränderung der Abnehmerstrukturen etc.) reagieren zu können. Zwangsläufig müssen hierbei auch die Beeinflussungsmöglichkeiten des Verbraucherverhaltens – beispielsweise durch LCP/IRP-Instrumente, neue (Energie-) Dienstleistungen etc. – involviert werden, um die ökonomische und ökologische Ultrastabilität und somit die Nachhaltigkeit des Gesamtsystems zu gewährleisten.

Deutlich wird hierbei, dass beispielhaft die Koordinations- bzw. Regelungsprozesse auf der 1. und 2. Ebene autonom durch die jeweiligen Regelungssysteme erfolgen (Sekundärregelung), ohne dass eine Rückkopplung mit der 3. Ebene erfolgen muss. Des Weiteren kann das „ILEMS“ als „oberstes Regelungssystem“ im Rahmen der Durchgriffsregelung direkt auf die Steuerung eines Aggregates (1. Ebene) einwirken. Die Primärregelung im Rahmen der „zentralen Koordination“ durch das ILEMS erfolgt dann beispielsweise durch die Vorgabe von „Fahrplänen“ an die 3. Ebene (Leitwartenmanagementsystem). Letzteres wiederum kann im Rahmen der dezentralen Koordination für die Regler der 1. Ebene spezifische Parameterwerte definieren (vgl. Abb. Nr. 5).

Unter Einbeziehung der Triade „Daten – Informationen – Wissen“²⁴ kann konstatiert werden, dass auf der Regelungsebene 1 fast ausschließlich Daten verarbeitet werden. Auf der Ebene 2 beträgt die Relation zwischen Daten- und Informationsverarbeitung ca. 70 : 30, während sich dieses Verhältnis auf der Ebene 3 umkehrt. Auf der höheren Ebene des sog. „Controlling overlayer“ (lokales Energiemanagementsystem als Ebene 4) erfolgt fast ausschließlich eine Informationsverarbeitung im Rahmen der ereignisorientierten Systemregelung sowie überwiegend eine Wissensverarbeitung bei der Funktionalität „Langfristoptimierung durch Simulation“.

Aus dieser „holzschnittartigen“ Skizzierung wird deutlich, dass die in sich konsistente Konzeption eines derartigen hierarchischen, vermaschten Regelungssystems für das dezentrale Energieversorgungssystem zum einen sehr komplex ist und daher einen eindeutig strukturierten, technologischen (Denk-)Prozess erfordert. Zum anderen ist es erforderlich, eine Vielzahl vorhandener „monovalenter“ und häufig informationstechnologisch inkompatibler Regelungssysteme der unteren Ebenen (beispielsweise die Aggregatsteuerungen etc.) zu einem „intelligenten“, selbstlernenden System zu aggregieren. Aus der Abb. 6 wird die Vernetzung der einzelnen informationstechnologischen (Teil-)Systeme deutlich.

3.3 Informationstechnologische Strukturmerkmale

An früherer Stelle wurde bereits deutlich, dass sowohl ein dezentrales Energieversorgungssystem als auch das für seine ökologische/ökonomische Funktionsfähigkeit zwingend erforderliche lokale Energiemanagementsystem in Form eines hierarchischen, vermaschten Regelungssystems spezifische, integrierte und durchgängige Daten- und Informationsstrukturen bzw. Kommunikationssysteme benötigt, um die vollständige und konsistente Daten- und Informationsbasis über die Einsatzoptionen aller Erzeugungsanlagen im „Online-Betrieb“ zu ermöglichen. Diese Systeme sind interdependent und parallel zur Struktur des „klassischen Verteilnetzes“ zu installieren und werten dieses dadurch qualitativ auf. Sie fungieren quasi als „Nervenbahnen“ zwischen den einzelnen Regelungssystemen sowie den jeweils angeschlossenen und zu beeinflussenden Erzeugungs-, Verteilungs- und Verbrauchseinheiten und dienen zum Transport der jeweils notwendigen Zähl- und Messdaten, Informationen sowie Steuerungsimpulse. Modellhaft kann dieses intelligente Informations- und Kommunikationssystem als **neuronaies Netzwerk** mit dem Nervensystem des menschlichen Körpers

²⁴ vgl. Jänig, Chr. (2004), S. 69 ff

verglichen werden²⁵: Zum einen steuert der Hypothalamus bidirektional über das vegetative Nervensystem (hierarchisches Regelungssystem) als autonomes System die Prozesse im menschlichen Organismus in Abhängigkeit von dem jeweiligen Belastungszustand. Ergänzend bzw. zusätzlich fließen des Weiteren verdichtete Daten und Informationen über die jeweiligen internen Systemzustände etc. über dieses System zum Thalamus sowie zum Großhirn. Letzteres erhält neben diesen vertikal übertragenen, verdichteten und somit „gefilterten“ Informationen zusätzlich über das sensorische System „gefilterte und ungefilterte Informationen“ über die einzelnen Aggregat- und Systemzustände sowie aus der Außenwelt. Schließlich gelangen über das somatische System Daten, Informationen sowie Steuerungs- und Regelungsimpulse vom Großhirn sowohl über die Vertikalachse als auch direkt zu den einzelnen Systemen und Aggregaten, da es aufgrund der vollständigen Informations- und Wissenslage als sog. „controlling overlayer“ bewusst und willentlich die Primärregelung in Form der zentralen Koordination bzw. der Durchgriffsregelung vornehmen kann. Im letzteren Fall bedient sich der „controlling overlayer“ des „peripheren“ Systems, um direkte Regelungs- und Steuerungsbefehle an die beeinflussbaren Untersysteme bzw. deren Module zu geben (Durchgriffsregelung). Das Kleinhirn erhält als „Controllinginstanz“ bzw. Regler vom Großhirn den „Fahrplan“ als Steuerungs- und Regelungspläne; durch seine Einbindung in das somatische System führt es „Soll-Ist-Vergleiche“ durch und regelt die Abweichungen über die Vertikalachse nach (zentrale Koordination) - vgl. Abb. Nr. 7.

Unter Berücksichtigung des vorstehend erläuterten Regelungssystems werden auf den Ebenen „1 - 3“ die entsprechenden Daten, Informationen sowie Steuerungsbefehle über das „vegetative“ Informationssystem in lateraler sowie vertikaler Richtung transportiert. Unabhängig von dieser Transport- und Transformationsfunktion werden hier spezifische Aggregatzustände bzw. „Erregungsmuster“ gespeichert, um bei definierten Abweichungen bzw. Störungszuständen autonom reagieren zu können. Parallel hierzu erhält das „lokale Energiemanagementsystem“ als „controlling overlayer“ Systemzustandsinformationen über das „sensorische System“ als Grundlage für die eigenen Steuerungs- und Regelungsfunktionen im Rahmen der primären sowie Durchgriffsregelung. Durch diese Parallelität der Informationsübertragungssysteme wird das Prinzip der Redundanz gewährleistet. Des Weiteren erhält das „ILEMS“ Informationen aus der „Umwelt“ (Netzzustand bzw. Auslastung, Energieverbrauchsstatus etc.) ebenfalls über das „sensorische System“, so dass es durch Rückmeldungen bzw. Rückkopplungen über Informationen sämtlicher Zustände des dezentralen Energieversorgungssystems bzw. seiner sensorischen Elemente sowie über die Bedingungen der Umwelt (Energieverbrauch, Netzbezug) verfügen kann. Die im Einzelfall erforderlichen Steuerungen und Regelungen werden dann über das „somatische System“ gegenüber den untergeordneten Regelungssystemen der Ebenen 1 - 3 im Rahmen der zentralen Koordination sowie ebenfalls über das „periphere somatische System“ im Rahmen der Durchgriffsregelung realisiert (dieser strukturelle Aufbau kann schematisch der Abbildung Nr. 8 entnommen werden).

Die hierzu erforderlichen physikalischen Leitungswege bzw. Netzstrukturen müssen zwar nicht die Übertragungskapazität menschlicher Nervenbahnen (ca. 300 - 400 Impulse pro Sekunde bei 500 bis 1.000 Hertz) besitzen; deutlich wird jedoch, dass in Abhängigkeit von der hierarchischen Ebene der jeweiligen Regelungssysteme auch die Anforderungen an die Übertragungskapazitäten des Informationssystems steigen. Sowohl aus Gründen der Redundanz wie auch aus Übertragungskapazitätsgründen ist es daher erforderlich, die angesprochenen Informations- und Kommunikationssysteme auf verschiedenen „Plattformen“ zu installieren. Während das „vegetative System“ im Rahmen der „klassischen“ Fernwirklinien realisiert werden kann, sollte das „sensorische System“ als eigenständiges Informationssystem auf hiervon redundanten Datenkabelnetzen beruhen - beispielsweise auf der Grundlage des sog. EDM (Energiedatenmanagement), das digitalisierte Fest- und Mobilnetze sowie Intra- und Internet aggregiert. Das sog. „somatische System“ schließlich muss sich als weite-

²⁵ vgl. Jänig, W. (1998), Vegetatives Nervensystem, in: Schmidt, R. F. (Hrsg., 1998), Neuro- und Sinnesphysiologie, 3. Aufl., Berlin/Heidelberg 1998

res redundantes System aufgrund der Heterogenität der zu erreichenden Anlagen bzw. Aggregate (z. B. Energie verbrauchende Anlagen bei Privatkunden) auf unterschiedliche Leitungswege „abstützen“ können (Internet, Festverbindungen, Mobilnetz etc.).

Aufgrund dieser (fast) flächendeckenden Informationsstruktur bzw. -architektur ist das lokale Energiemanagementsystem in der Lage, seine Funktionen „Prognose und Simulation“, „operative Planung“, „Optimierung und Controlling“ sowie „Monitoring“ zu realisieren. Ohne derartige „intelligente“ sowie multimediale Informations- und Kommunikationsstrukturen einschließlich interaktiver Zähl- und Messwertübertragungen etc. ist allerdings das für dezentrale Energiesysteme zwingend erforderliche „lokale Energiemanagementsystem“ nicht realisierbar. Obwohl die zur Verfügung stehende Informationstechnik diese Aufgaben grundsätzlich lösen könnte bzw. kann, existieren zwangsläufig noch erhebliche Schwierigkeiten bei den spezifischen Problemlösungen, beispielsweise im Rahmen der Kompatibilität der individuellen Aggregat- bzw. Anlagensteuerungen, des einzubeziehenden Energiedatenmanagements sowie der häufig proprietären und heterogenen Lastmanagement- bzw. Netzführungssysteme.

4. Das Leitprojekt „Virtuelles Kraftwerk“ in Unna

4.1 Grundlagen

Aus den bisherigen Ausführungen wurde deutlich, dass ein dezentrales Energiesystem, bestehend aus mehreren KWK-Anlagen, Brennstoffzellen in Privathäusern, Photovoltaikanlagen unterschiedlicher Leistungsgrößen sowie Windenergieanlagen mit Nennleistungen zwischen 150 bis 1.500 kW sowohl von der Struktur, seiner Regelungsfähigkeit mittels vermaschter, hierarchischer Regelungssysteme als auch dem erforderlichen Datenmodell äußerst komplex ist. Gerade für das letztere sind beispielsweise Informationen und Daten über die Netzleistungen bzw. -lasten (Lage, Verteilung, Netztopologie), dem zu Grunde liegenden Bedarf (elektrisch, thermisch) sowie den diesen bestimmende Einflüsse (Wetter, Nutzungsarten, Saisonaleinflüsse) und die hierdurch implizierten Profile (Jahr, Woche, Tag) sowie Strukturen (schaltbar, steuerbar, unbeeinflussbar) erforderlich. Des Weiteren müssen Informationen über die Erzeugungseinheiten bzw. -ressourcen (fossil und regenerativ), deren Verfügbarkeit unter Berücksichtigung von Kopplungsprozessen sowie den ökonomischen Möglichkeiten des horizontalen Leistungsaustausches und des Bezuges aus der übergeordneten Netzebene verfügbar sein. Schließlich sind für ein effizientes lokales Energiemanagementsystem auch noch Daten und Informationen über die elektrischen und thermischen Speichermöglichkeiten „online“ erforderlich. Ein derartiges Datenmodell unter Involvierung der jeweils zu Grunde liegenden komplexen Regelungs- und Steuerungssysteme quasi „auf der grünen Wiese“ zu konzipieren und in einem weiteren Schritt unter realen Bedingungen zu evaluieren, ist (fast) unmöglich. Aus diesem Grund wurde **induktiv** im Rahmen des Leitprojektes in Unna die anfangs bestehende sowie die geplante Erweiterung der dezentralen Erzeugungsstruktur mit den vorhandenen autonomen Regelungssystemen zu Grunde gelegt.

Im Rahmen dieses „bottom-up-Ansatzes“ wurden in einem ersten Schritt die bislang teilautonomen Regelungssysteme sowohl physikalisch (Datenleitungen) als auch regelungstechnisch miteinander vernetzt.

Im zweiten Schritt wurde das lokale Energiemanagementsystem unter Einbeziehung des vorhandenen Lastmanagementsystems als „controlling overlayer“ konzipiert, strukturiert sowie implementiert.

Im dritten Schritt wurde dann das sich hierbei ergebende „hierarchische, vermaschte Regelungssystem“ sowie das sich dahinter befindliche Datenmodell mit den Echtdateien der vorhandenen Erzeugungsanlagen evaluiert und entsprechend korrigiert bzw. angepasst. Aus informationstechnologischen (Komplexität der Programmierung) sowie realen Gründen heraus bildete dieses Datenmodell zu Beginn „nur“ die Regelung der Erzeugungs- und Netzbe-

zugsstrukturen ohne die Komponente „Beeinflussung des Verbraucherverhaltens“ ab. Letzteres Modul soll erst dann in das Modell bzw. Konzept aufgrund seiner Interdependenz zum ersteren einbezogen werden, wenn das erstere Modul „dezentrale Erzeugung und Netzbezug“ in sich konsistent ist.

Im letzten Schritt schließlich werden die Interdependenzen sowie Rückkopplungen dieser beiden Module im Rahmen des Gesamtsystems analysiert, getestet sowie mit Echtdaten evaluiert²⁶. Die Transformation dieses Datenmodells auf eine „höhere Ebene“ durch die Integration und Aggregation weiterer Erzeugungs- und Verbrauchseinheiten ist dann „relativ einfach“ - einfacher auf jeden Fall, als es die deduktive Erstellung des Gesamtsystems „in einem Wurf“ sein würde.

Die erzeugungstechnologischen Komponenten des „Virtuellen Kraftwerks“ im Rahmen dieses dezentralen Energieversorgungssystems sind neben sechs KWK-Anlagen mit unterschiedlichen Leistungsgrößen sowie Erzeugungstechnologien zwei sog. „Windparks“ mit Windenergieanlagen zwischen 150 kW und 1.500 kW, eine Wasserkraftanlage, eine Microgas- und Entspannungsturbine sowie mehrere kleinere Photovoltaikanlagen - letztere sind allerdings aufgrund ihrer Leistungsgröße energetisch unbedeutend. Die genaue geographische Dislozierung dieser Anlagen kann der Abb. Nr. 9 entnommen werden.

4.2 Die derzeitigen Regelungssysteme

Die vorstehend aufgeführten Erzeugungsanlagen bzw. -systeme wurden früher durch autonome bzw. teilautonome Systeme geregelt. In Analogie zu der eingangs erläuterten vierstufigen Hierarchie des vermaschten Regelungssystems ergaben sich hierbei die nachfolgenden Charakteristika:

1. Ebene (Sekundärregelung als Selbstkoordination)

In den BHKW's werden die Aggregate (Motoren, Kessel, Turbine etc.) jeweils einzeln für sich überwacht und im Rahmen von Störungsanalysensystemen (z. B. TEM-Steuerung), Sicherheitsketten etc. geregelt. Ergänzt wird dies für die elektrischen Erzeugungsmodule durch automatische Netzsynchonisierungssysteme. Die Wasserkraftanlage und die einzelnen Windenergieanlagen in den Windparks sowie Microgas- und Entspannungsturbine werden ebenfalls durch autonome Einzelsysteme gesteuert.

2. Ebene (Sekundärregelung als dezentrale Koordination)

In den BHKW's befindet sich darüber hinaus jeweils ein Regelungssystem der 2. Ebene, das unter Berücksichtigung der vorgegebenen Parameter (z. B. Betriebsstunden der Einzelaggregate, Verfügbarkeit, Energieanforderung etc.) das jeweilige Gesamtsystem wirtschaftlich optimiert. Als „Steuer- bzw. Regelstrecke“ werden hierbei jeweils thermische Speicher eingesetzt. Alle Systeme sind nach den Kriterien der sog. „Sekundärregelung“ konzipiert.

3. Ebene (Primärregelung als „zentrale Koordination“)

Das sog. „Leitwartenmanagementsystem“ optimiert die Eigenerzeugung der elektrischen und thermischen Energie im dezentralen Energieversorgungssystem unter Berücksichtigung des Abnahmeverhaltens (Netzlast) sowie der kontrahierten Bezugsmöglichkeiten (Strom- und Gasbezug). Als Regelstrecken wurden hierbei neben den spezifischen thermischen Speichern auch die thermische Speicherfähigkeit der hinter den KWK-Anlagen befindlichen Ver-

²⁶ diese iterative Vorgehensweise entspricht dem Modell der Bezugsrahmengenese - vgl. Jänig (1984), Konzeption und Implementierung eines computergestützten Informationssystems als "Geplanter Wandel" der Verwaltungsorganisation, Krefeld 1984, S. XV

sorgungsnetze eingesetzt. Zusätzlich wurde unter Berücksichtigung ökonomischer Kriterien eine gegenseitige Optimierung der Erzeugungskosten „Wärme“ bzw. „Strom“ durchgeführt. Des Weiteren realisierte über das Leitwartensystem die optimierte Betriebsführung der Strom-, Gas- und Wärmenetze. Die für Planungsaufgaben (Neubau, Ausbau etc.) erforderlichen Funktionen wurden im Rahmen eines sog. „ASP-Ansatzes“²⁷ online über das Internet bei einem Drittunternehmen durchgeführt.

Dieses vorhandene dreistufige Regelungssystem musste im Rahmen des Konzeptes "Virtuelles Kraftwerk" erweitert werden. Hierbei sollte das im Rahmen des Projektes konzipierte und installierte „lokale Energiemanagementsystem“ auf den Ebenen 1 - 3 die vorhandenen (teil-)autonomen Regelungssysteme aggregieren, um als sog. „controlling overlayer“ sowohl bei einer „zentralen Koordination“ als auch der „Durchgriffsregelung“ eine unter ökonomischen wie auch ökologischen Gesichtspunkten optimierte und „intelligent integrierte“ Erzeugungsstruktur des dezentralen Energiesystems unter aktiver Einbindung sowie Steuerung des Verbraucherverhaltens zu gewährleisten.

4.3 Die Regelungsstruktur des „Virtuellen Kraftwerkes“

In dem in Unna vorhandenen Leitwartenmanagementsystem waren bereits die ersten drei Regelungsebenen implementiert und funktionsfähig. In einem ersten Schritt wurde daher zusätzlich das digitale Energiedatenmanagement - quasi als „vegetatives System“ - eingebunden, damit die erforderlichen Zähl- und Messwerte sowie Daten über Verfügbarkeit etc. mittels eines redundanten Systems zur Verfügung stehen. Des Weiteren wurden über diese „Ankopplung“ verbrauchsbezogene Daten und Informationen „aus der Umwelt“ d. h. von den Energieverbrauchern, erfasst, aggregiert und verarbeitet. Diese nicht gemessenen Verbrauchsinformationen konnten zu Beginn durch analytische bzw. synthetische Lastprofile²⁸ repräsentiert und im Datenmodell abgelegt werden. Zu einem späteren Zeitpunkt – nach der wirtschaftlichen „Marktreife“ entsprechender Informationsübertragungstechnologien (z. B. UMTS, Powerline) sowie der erforderlichen digitalen Zähler und Fernauslesesysteme – sollen „online“ der aktuelle Verbrauch sektoral bzw. individuell gemessen und bidirektional auf der Grundlage von Simulationsberechnungen die situativ erforderlichen Steuerungs- und Regelungsimpulse zur Verbrauchsbeeinflussung übertragen werden.

In einem zweiten Schritt wurden die vorhandenen Simulations-Tools unter Einbeziehung dieser Daten und Informationen dergestalt weiterentwickelt, dass Prognosen sowohl über Eigenerzeugung und Energieverbrauch als auch unter Einbeziehung der vorgegebenen (kontrahierten) Bezugsfahrpläne erstellt und aufeinander abgeglichen sowie optimiert werden können. Eine wesentliche Schwierigkeit hierbei ist sicherlich die „linearisierte“ Prognose bzw. Simulation der stochastischen Erzeugungskapazitäten (z. B. Windenergie- und Photovoltaikanlagen). Hieraus resultiert letztlich die notwendige informationstechnologische Architektur (vgl. Abb. Nr. 6). In einem dritten Schritt wurden dann in dieses Simulationsmodell ökonomische Parameter (beispielsweise die fahrplanbasierenden Energiebezugskosten, die Kosten für Regelenergie bei Fahrplanabweichungen, die interdependenten Energieeinsatzkosten im Rahmen der Koppelproduktion, die börsenorientierten Deckungsbeiträge für Einspeisungen in das Übertragungsnetz etc.) sowie ökologische Rahmenbedingungen (z. B. Reduzierung der jahresbezogenen Schadstoffemissionswerte etc.) implementiert. Hierdurch soll u. a. auch eine „regelungstechnologische“ Grundlage für den in den nächsten Jahren zu erwartenden Zertifikatehandel für Schadstoffemissionen geschaffen werden. In einem vierten Schritt werden dann verbrauchsbeeinflussende bzw. -steuernde Module involviert werden, um neben der Erzeugungs- auch die Verbrauchsseite regeln zu können. Letzteres impliziert zwangsläufig die Schaffung einer Schnittstelle zu der vorhandenen Abrechnungssoftware, um „online“ den Rechnungsstellungsprozess realisieren zu können. Die sich hieraus insgesamt ergebenden Daten und Informationen determinieren dann letztlich die Strukturparameter für den

²⁷ ASP = Application Service Providing

²⁸ vgl. die Ausführungen in Abschnitt 2.2

zu generierenden Algorithmus für das ÌLEMS im Rahmen seiner Funktion als „controlling overlayer“ bzw. der notwendigen Primärregelung im Sinne der Durchgriffsregelung. Die hieraus resultierenden Regelungsstufen bzw. -arten können der Abb. Nr. 10 entnommen werden.

5. Zusammenfassung

Unstrittig ist, dass die einerseits durch die Globalisierung initiierten Veränderungen der ökonomischen Rahmenbedingungen als auch andererseits das durch ökologische Zwänge implizierte „ökologische Gesetz des Kapitalismus“ zu einem neuen, anderen Kontext der Energiewirtschaft und damit zum beschriebenen Paradigmenwechsel von zentralen zu dezentralen Energiesystemen führen wird. Für lokale Energiedienstleistungsunternehmen bietet sich hierdurch sowie aufgrund ihrer „lokalen“ Markt- und Kundennähe die Chance, ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit in einem ganzheitlichen und systematischen Konzept zu realisieren. „Unternehmen, die umweltstrategische Probleme, Chancen und Risiken bewusst erkennen und im Sinne einer nachhaltigen Wertsteigerung berücksichtigen sowie soziale Kompetenzen und gesellschaftspolitische Interessen als Faktoren in ihre Entscheidungsprozesse involvieren, erzielen häufig höhere Wertsteigerungsraten als andere Unternehmen: Der künftige wirtschaftliche Erfolg eines Unternehmens aus Sicht des Kunden hängt überwiegend von der Bereitschaft ab, sich selbst als Akteur eines „nachhaltigen Wirtschaftens“ zu positionieren. Hierunter wird die Ausbalancierung bzw. Abstimmung und Ausgleich der sozialen, ökonomischen, kulturellen, (informations-) technologischen sowie strukturellen Komponenten einer Unternehmung auf lange Sicht verstanden.“²⁹

Neben dieser „metaphilosophischen“ Strategiebene werden durch das Konzept des „virtuellen Kraftwerks“ – unabhängig von den ökologischen Zielsetzungen – auch ökonomische Vorteile generiert. Hier ist zum einen die Reduzierung der Kosten der „extern“ zu beschaffenden Stromleistung und –arbeit sowie die Vermeidung der Netznutzungsentgelte im ÜNB-Bereich anzuführen. Des Weiteren führen die genaueren Lastgangprognosen (> 95 %) zu einer verbesserten Einsatzoptimierung sowohl der eigenen Erzeugungsanlagen als auch der Nutzung der Stromeinspeisungen aus regenerativen Erzeugungsanlagen. Zum anderen führt der gezielte und planmäßige Zubau sowie die Integration dezentraler Erzeugungssysteme im vorhandenen Nieder- und Mittelspannungsnetz dazu, dass an und für sich erforderliche Kapazitätsverstärkungen des Verteilnetzes auf Grund zusätzlicher Lastschwerpunkte (z. B. Neubaugebiete, Gewerbe- und Industrieansiedlungen) reduziert werden können – soweit sie nicht gänzlich entfallen können; aus diesem Grunde ist das Netzplanungsmodul (s. Abb. 5) ein integraler Bestandteil des Systemkonzeptes „virtuelles Kraftwerk“. Die traditionell monolaterale Netzstruktur („vom Großkraftwerk bis zur Steckdose des Endverbrauchers“) wird in eine bilaterale transformiert.

Unabhängig von diesen „lokal“ zu generierenden betriebswirtschaftlichen Vorteilen können auch durch eine informationale und steuerungstechnische Aggregation geografisch dislozierter dezentraler Erzeugungsanlagen die Größenmerkmale (> 30 MW) sowie die Zertifizierungsanforderungen für die **Bereitstellung und Lieferung von Regelernergie** erfüllt werden. Aus den generellen Ausführungen in Abschnitt 2 sowie der Abb. Nr. 2 ist zu entnehmen, dass die „Überschussleistung“ der dezentralen (lokalen) Energiesysteme in das übergelagerte Übertragungsnetz eingespeist werden soll. Überwiegend besitzen kommunale Energieversorgungsunternehmen jedoch nicht die als Mindestgröße erforderliche freie Erzeugungskapazität (z. B. im Bereich der BHKW's), um eine dementsprechende Regelernergie kontrahieren und liefern zu können. Die Konzeption des „virtuellen Kraftwerks“ als auch das hierauf basierende regelungstechnische System (Lastmanagementsystem) kann eine (beliebig) große Anzahl geographisch unabhängiger dezentraler Erzeugungsanlagen zu einem Erzeugungssystem aggregieren und optimieren, da es „zu jeder Sekunde“ über den momentanen

²⁹ Jänig, Wissensmanagement, 2004, S. 467

Status der Einzelanlagen informiert ist. Des Weiteren kann es im Rahmen der Fahrplanprognose die mit spezifischen Vorlaufzeiten avisierten Leistungseinspeisungen der Regelenergie berücksichtigen und die jeweils benötigten dezentralen Erzeugungskapazitäten regelungstechnisch auf den Einspeisezeitpunkt sowie die benötigte Leistung „vorbereiten“ (z. B. durch Lastabwurf oder -reduzierung abschaltbarer Verbraucher, Einsatz von Notstromaggregaten, Optimierung der vorhandenen Speichersysteme etc.). Durch diese neben der lokalfokussierten regionalen/nationalen Aggregation und Einsatzoptimierung kleinteiliger, dezentraler Erzeugungsanlagen werden zusätzliche Deckungsbeiträge generiert, die bei einer ausschließlich lokalen Betrachtungsweise der Einsatzoptimierung nicht erzielt werden können.

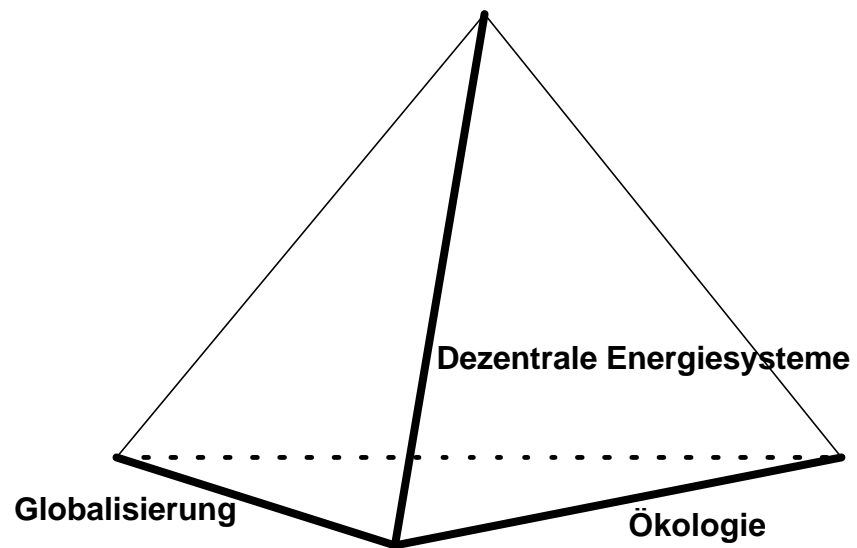


Abb. Nr. 1 „Energiewirtschaftlicher Tetraeder“

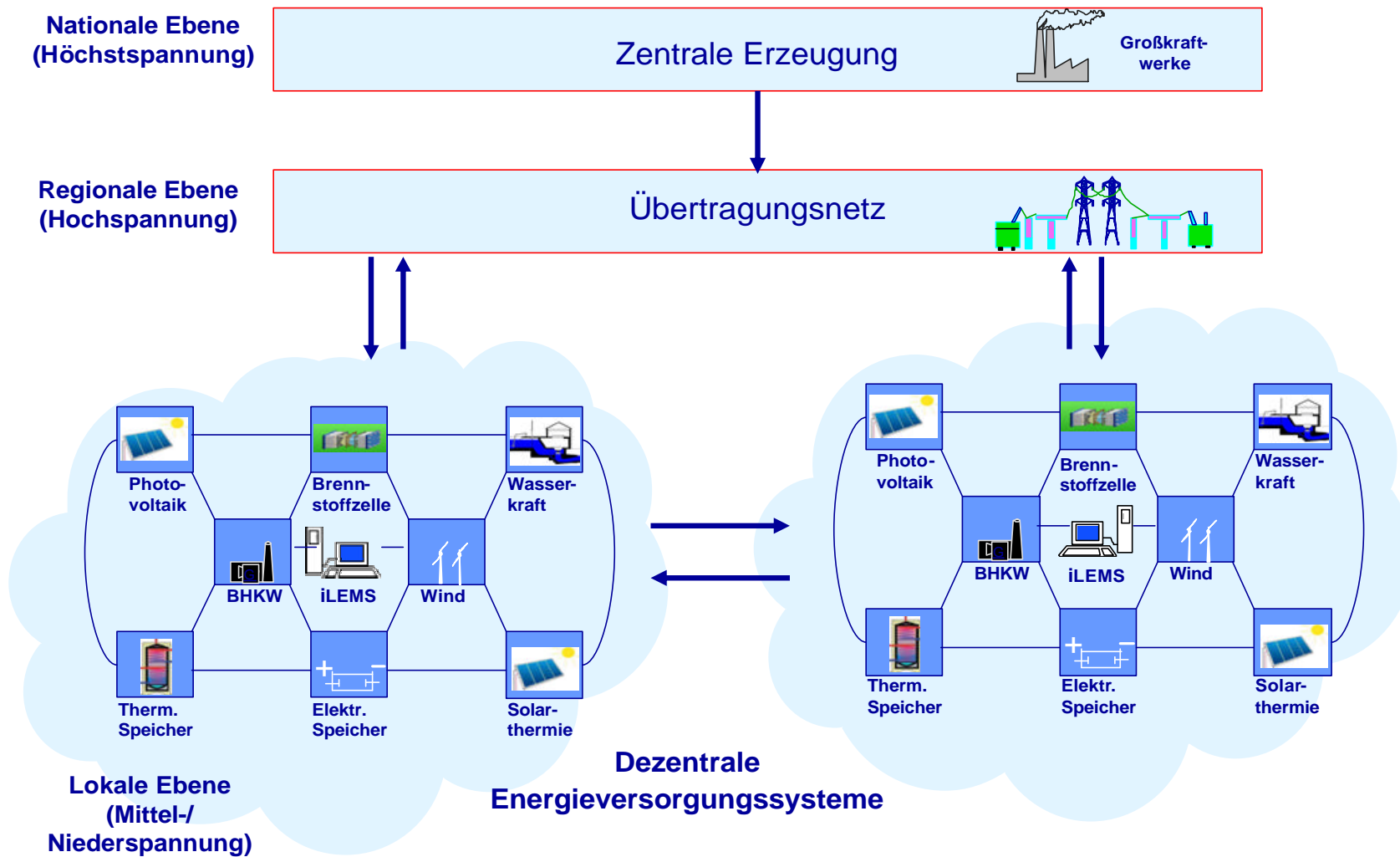


Abb. Nr. 2: "Intelligente" Integration dezentraler Energieversorgungssysteme

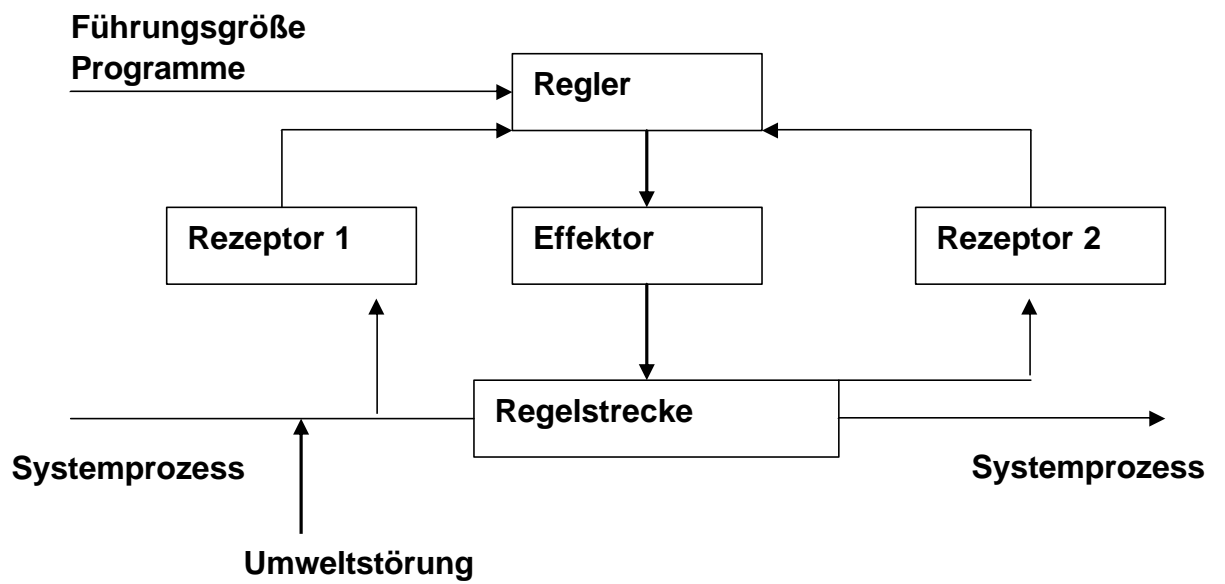


Abb. 3 Modell eines Regelkreises

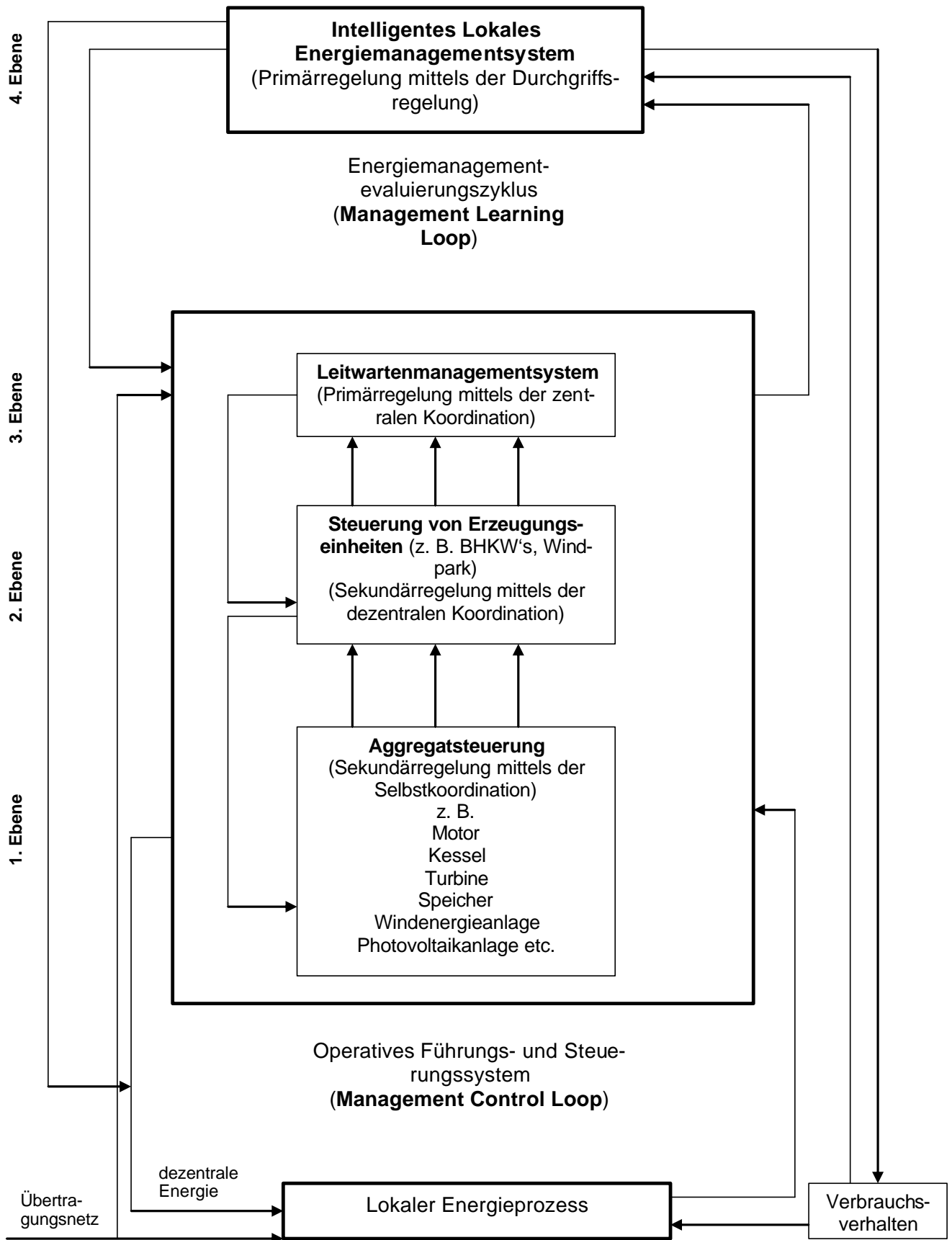


Abb. Nr. 4: Hierarchische Struktur des Regelkreissystems in dezentralen Energieversorgungssystemen

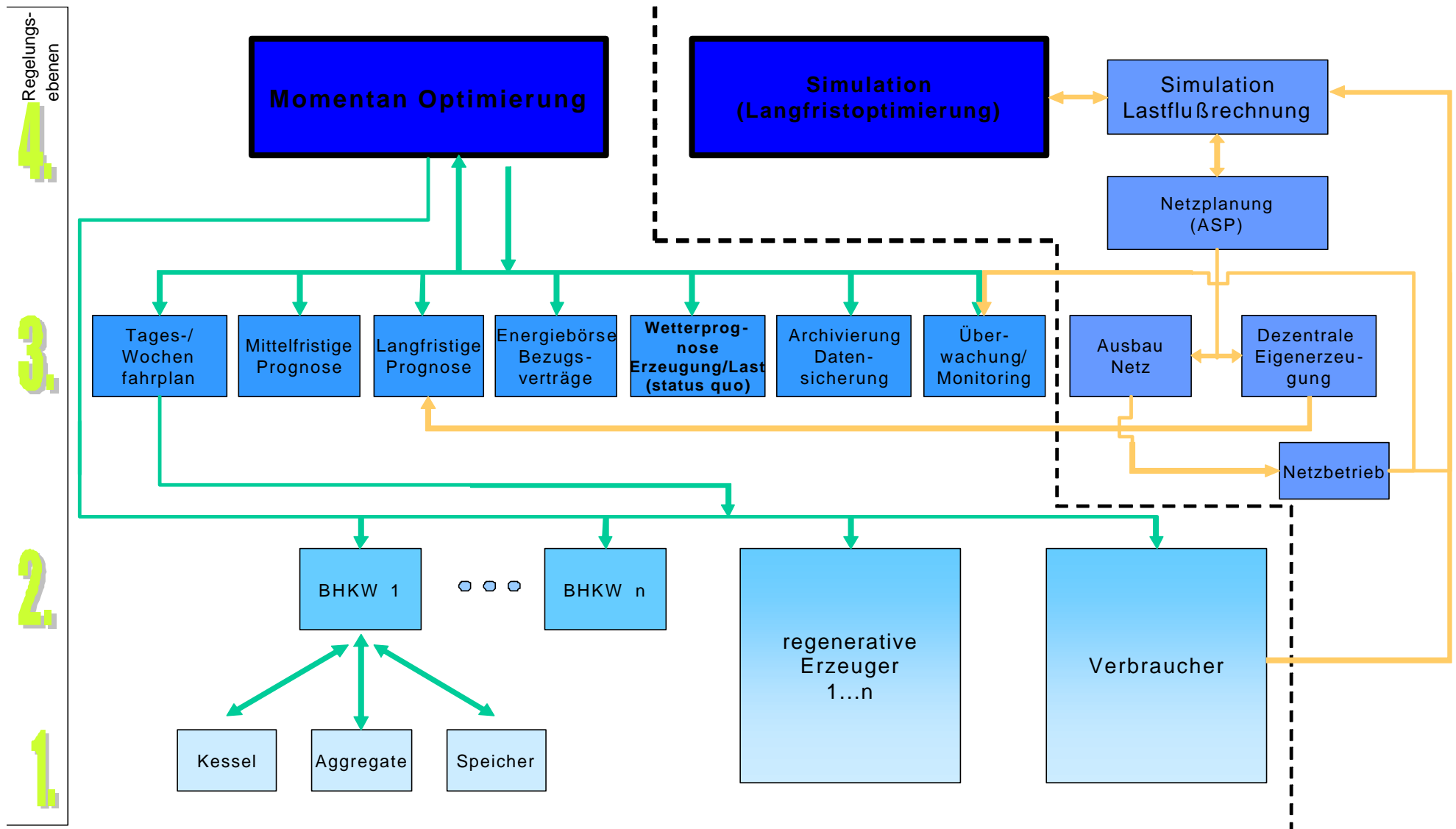


Abb.Nr. 5: Abstrahierte Darstellung der hierarchischen Regelungsstruktur des „intelligenten Lokalen Energie-Managementsystems“ (iLEMS)

„Virtuelles Kraftwerk“

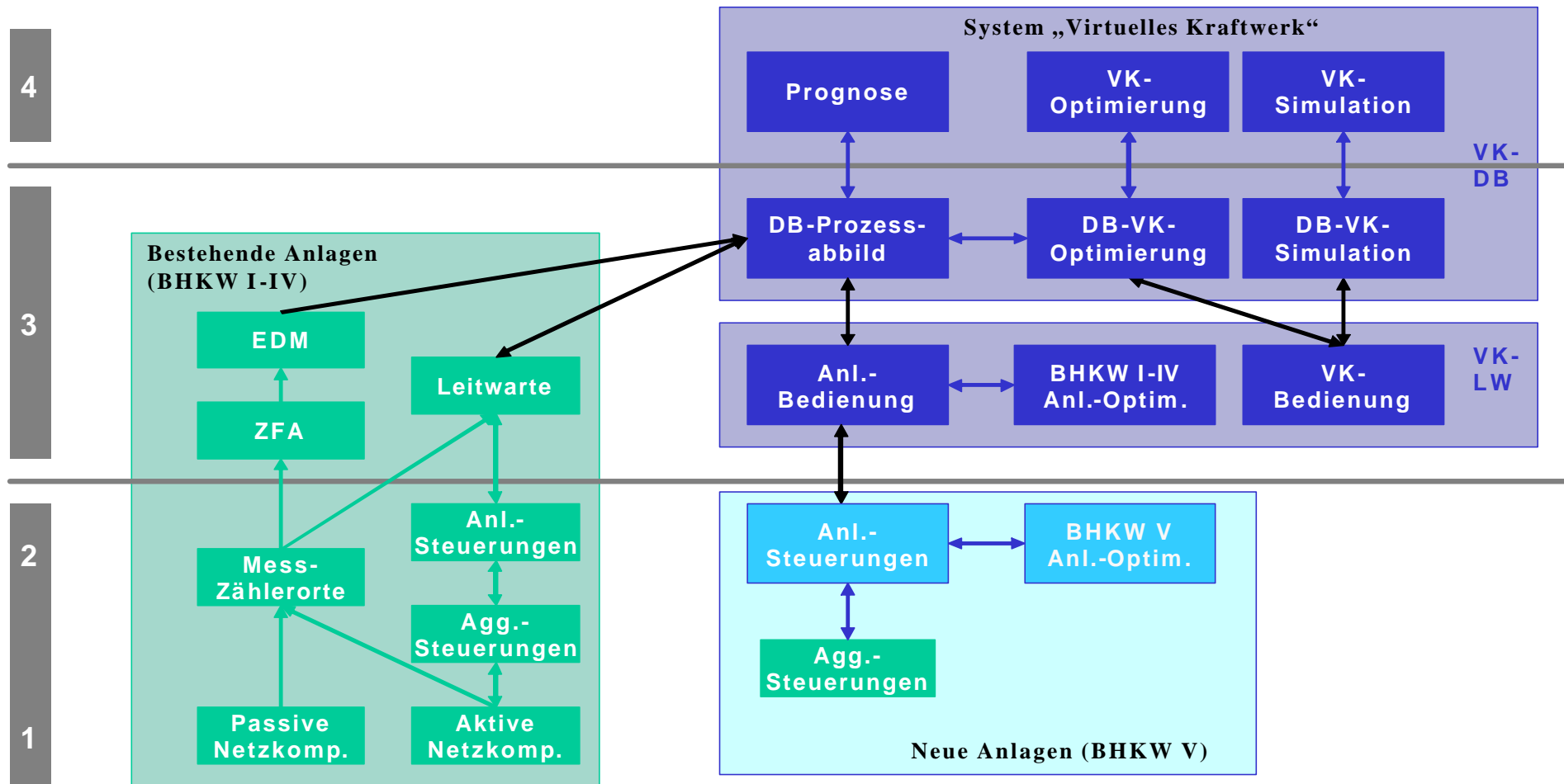
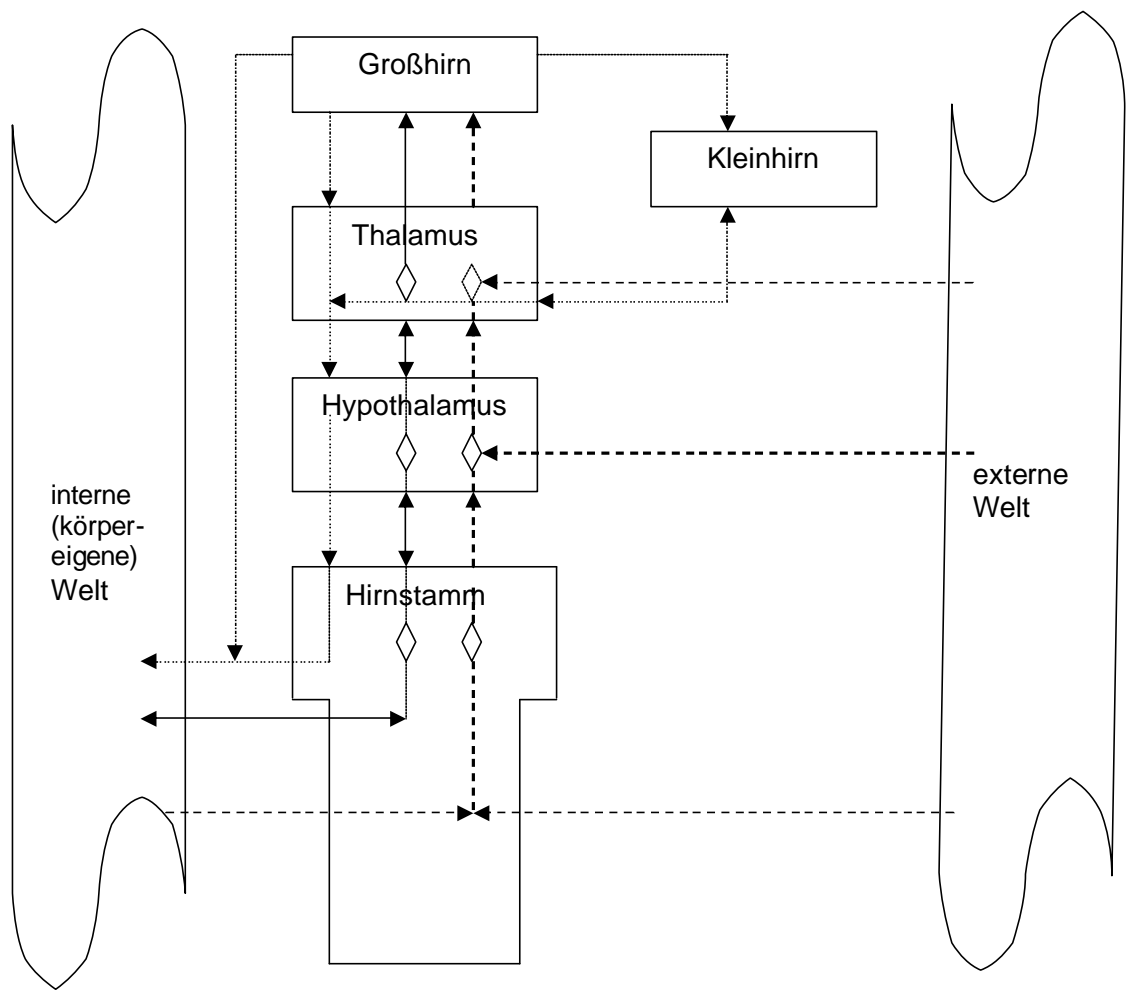


Abb. Nr. 6: Informationstechnologische Architektur des Regulationssystems „Virtuelles Kraftwerk“



- vegetatives System
- - - sensorisches System
- · · somatisches System
- ◇ „Filtermechanismen“

Abb. Nr. 7 abstrahiertes, stark vereinfachtes Schema des vegetativen und somatischen Nervensystems beim Menschen

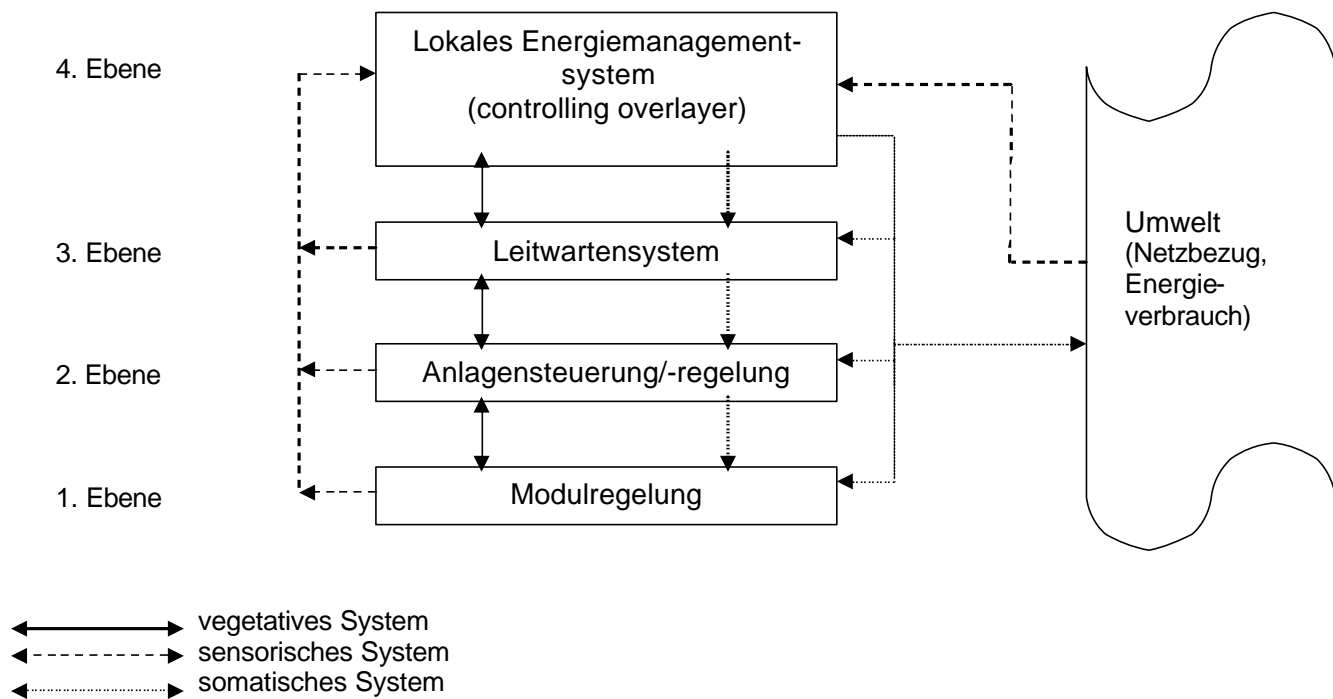


Abb. Nr. 8 Die Komponenten des „neuronalen Informations- und Kommunikationsnetzwerkes“ im Rahmen des „Lokalen Energiemanagements“

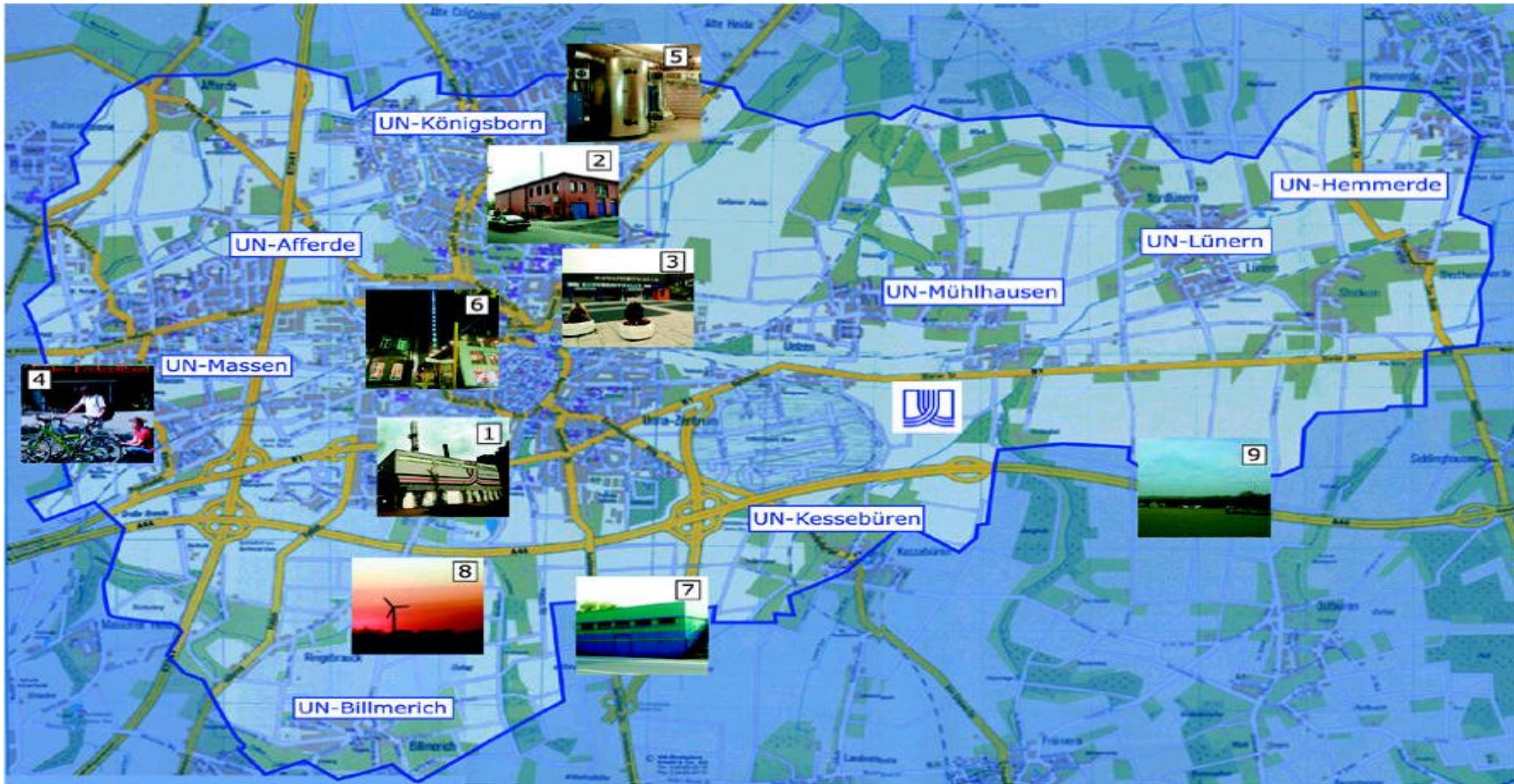


Abb. Nr. 9: Geographische Dislozierung der dezentralen Erzeugungsanlagen in Unna

„Virtuelles Kraftwerk“

Regelungs-
ebenen

4.

Primärregelung als Durchgriffsregelung

Virtuelle Kraftwerk-Steuerung. Optimierung der Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung von umfangreichen finanziellen und technischen Faktoren (Vertragsebene bis hin zur Aggregatebene)

Durchgriffsberechtigung direkt auf 2. Regelungsebene

3.

Primärregelung als zentrale Koordination

Steuerung der Erzeugungsanlagen durch Leitwartenmanagementsystem. Parameter hierfür: Abnahmeverhalten, Netzlast, Bezugsrestriktionen, etc.

2.

Sekundärregelung als dezentrale Koordination

Regelungssystem in den BHKW's. Optimierung des Einsatzes der Aggregate über Betriebsstunden, Verfügbarkeit, Energiebedarf, etc.

1.

Sekundärregelung als Selbstkoordination

Überwachung der Motoren, Kessel, Turbinen, etc. durch die eigenen Sicherheitsketten oder Störungsanalysesysteme