



Strategien, Verfahren und neue Techniken

Symbiosen in der Energieversorgung _____

Dr.-Ing. Franz Hein - Beitrag zum Jahrbuch „Anlagentechnik 2016“

Entwurfssfassung: 15.11.2015 – siehe auch die 6 dazugehörenden Bilder

Die ganze Energieversorgung muss funktionieren, damit der Strom (weiterhin) aus der Steckdose kommt, denn „Das Wahre ist das Ganze“ (siehe bei Georg Wilhelm Friedrich Hegel). Die fortschreitende Aufteilung in immer noch mehr Markttrollen soll durch Marktgesetze (angeblich) dafür sorgen, dass der Strom immer noch günstiger aus der Steckdose kommt – wenn er überhaupt noch mit der heute für eine Selbstverständlichkeit gehaltenen ständigen Verfügbarkeit kommt. Denn für die Sicherstellung der Versorgungssicherheit sind physikalische Gesetzmäßigkeiten von deutlich größerer Bedeutung als Marktgesetze. Das führt zur Notwendigkeit, wegen den physikalisch bedingten Zusammenhängen die schon bestehende Symbiose der Energietechnik (ET) mit der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) zu vertiefen. Der immer wieder hervorgehobene Gegensatz zwischen zentral und lokal ist auch zu überwinden und in ein enges Miteinander im Netz wie auch im Geschäftsleben überzuführen. Ferner muss es zu einer Symbiose zwischen Markt und Physik kommen. Das Auftrennen in voneinander unabhängige Teile eines Gesamtsystems muss als Irrweg erkannt und revidiert werden. Die Energieversorgung funktioniert nur als zusammenhängendes Gesamtsystem.

Die Anlagentechnik in der Energieversorgung hat die große Chance, Nutznießer der Entwicklungen zum Internet der Dinge sowie der Neuerungen im Bereich der Industrie 4.0 zu werden. Sie muss sich dazu aber auch aus den bisherigen Einsatzgebieten nur bei den Energieversorgungsunternehmen in Richtung Anlagentechnik auch und sogar mit Schwerpunkt bei den Energienutzern weiterentwickeln. Dort werden solche Techniken künftig gebraucht, damit die Kunden nicht nur selbst Energie „ernten“ (vorwiegend über Photovoltaik-Anlagen) und Energie sogar wieder lokal bevorraten (z. B. mittels Batterien). Auch die Energienutzung bei den Kunden muss durch entsprechende Systeme so effizient und kostengünstig wie möglich erfolgen. Dazu werden Energieassistenzsystemen benötigt, die untereinander und mit denen in Leitzentralen vernetzt agieren. Damit können künftig die lokalen Sichten zu einer Gesamtsicht zusammengeführt werden. Diese wiederum kann dann als Dienstleistung der jeweiligen Leitzentrale zusammen mit einem durchdachten Verhaltenscodex Grundlage für ein gemeinschaftsdienliches Mitwirken aller sein. Diese Teilnahme an der Verantwortung für das große Ganze ist die größte Chance der gegenwärtigen Entwicklung. Das Ziel ist eine innige Kooperation, also eigentlich eine Symbiose in einer ganzen Reihe von Bereichen der Energieversorgung insgesamt. Drei von den vielen Ausprägungen werden in diesem Beitrag näher vorgestellt.

Gliederung des Beitrages:

1. Symbiose Energietechnik (ET) und IKT
2. Symbiose Leitzentralen und Energiezellen
3. Symbiose Markt und Physik
4. Gemeinsamkeiten bei den Symbiosen

1. Symbiose Energietechnik (ET) und IKT

Im Grunde besteht die Symbiose der Energietechnik (ET) mit der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) in der Energieversorgung von Anfang an. Nur waren es zunächst Meldelampen, Anzeigen, Messwertschreiber, Schalter und Relais, mit deren Hilfe das Beobachten, das Steuern und das logische Verknüpfen von Informationen aus den Prozessen der Energieversorgung durchgeführt wurden. Entscheidungen der diese Prozesse beobachtenden Menschen waren für eine hochverfügbare Energieversorgung unabdingbar. Für die bisher mehr analogen Techniken in den Einrichtungen der Energieversorgung und für die auf menschliche Einwirkungen abgestützten Prozesse zur Sicherstellung der Verfügbarkeit sind inzwischen elektronische Komponenten und in vermehrtem Maße höchst leistungsfähige Prozessleitsysteme unterschiedlichster Größenordnung getreten.

Statt einer Bedienung nur vor Ort sind nun abgesetzte Bedienplätze und in Leitzentralen zusammengefasste Betriebsführungen getreten, die z. T. oft schon automatisiert ablaufen. Die Entfernung zwischen Leitzentrale und einer Komponente für die Sicherstellung der Energieversorgung spielt so gut wie keine Rolle mehr. Leistungsfähige Nachrichtenwege erlauben die Übermittlung betriebsrelevanter Informationen in jedwede Richtung mit sehr kurzen Latenzzeiten. In Leitzentralen führt dies zur Möglichkeit, ohne merkbaren Zeitverzug, also quasi in Echtzeit das Energieversorgungssystem als Ganzes beobachten zu können. Die Betriebsführung in Echtzeit ist deshalb inzwischen in höheren Spannungsebenen Normalität. In nachgeordneten Spannungsebenen wird sie mehr und mehr eingeführt. Auch in anderen Branchen mit etwas geringeren Ansprüchen an Zeitnähe (z. B. in der Gasversorgung) werden entsprechende Leittechniken eingesetzt.

Die Entwicklungen in der IKT brachten eine extreme Verringerung der Größe von IT-Komponenten, gewaltige Steigerungen bei deren Leistungsfähigkeit und das zu deutlich geringeren Kosten. Die massenhafte Verbreitung wie auch die zunehmende Verlässlichkeit der IKT-Komponenten hat in Verbindung mit sogenannten „physikalischen“ Systemen zu einer Vielzahl von „Cyber-Physical-Systems“ geführt. Darin bilden die Energietechnik und die IKT eine Einheit. In Autos sind solche Systeme als Fahrerassistenzsysteme mit „embedded systems“ längst Normalität und erlauben sicheres und kostengünstigeres Fahren. Selbst in der Medizintechnik und bei der Unterstützung von gesundheitlich eingeschränkten Personen sind solche Systeme ausgesprochen hilfreich (siehe dazu die Entwicklungen in der AAL = ambient assisted living).

Immer geht es darum, eine Gesamtsicht herzustellen, mittels Mustererkennungen auszuwerten, dabei gewonnene Erkenntnisse zu verbreiten und diese an vielen Stellen im Einklang mit lokalen Informationen und Bedürfnissen umzusetzen. Im Bereich der Energieversorgung sind das dann miteinander agierende Energieinformationssysteme (Bild 1). Diese finden sich künftig in allen Energiezellen und sorgen dort für ein autonomes, damit stochastisches Mitwirken bei allen Aufgaben der Sicherstellung der Energieversorgung. Sie sind dafür innerhalb einer Energiezelle untereinander und über entsprechende Nachrichtenwege auch mit Partner-Einrichtungen vernetzt (Bild 2). Diese Vernetzungen und die Energieassistenzsysteme können als Logistik-Unterbau der Energieversorgung betrachtet werden. Die Energiekunden werden damit befähigt, als „mündige“ Energienutzer bei den so wichtigen Infrastrukturen mitzuwirken.

Solche Systeme gibt es künftig in allen Netzebenen und auch allen Ebenen der die Kunden unterstützenden Unternehmen. Vorstehend erwähnte Entwicklungen erlauben nun mittels Energieassistenzsystemen auch ein lokales Mitwirken der Energienutzer bei allen Aufgaben der Energieversorgung. Insgesamt bilden sich so in den Netzebenen und in den die Energienutzer unterstützenden Unternehmen Energiegemeinschaften. (Bild 3). Wichtig dabei ist, dass aus den Bedürfnissen und Teilsichten der einzelnen Energiezellen eine Gesamtsicht gebildet wird und diese diesen Energiezellen wieder zugänglich gemacht wird. Damit ist es in jeder Energiezelle möglich, zum Funktionieren des Gesamtsystems beizutragen. Dies wird durch einen jeweils zum betrachteten Zeitbereich passenden Verhaltenscodex „orchestriert“. Das zentrale Steuern wird so komplett ersetzt durch eine neue Art der Führung, die auf das gemeinschaftsdienliche Mitwirken vieler autonom agierender Teilnehmer aufbaut. Ein chaotisches Durcheinander oder ein Fehlverhalten des Gesamtsystems kann so verhindert werden.

Durch die Komponenten der IKT dehnt sich künftig die Anlagentechnik bis zu den Einrichtungen aus, in denen die Energie „geerntet“, bevorratet und genutzt wird. Das Beherrschen der Infrastrukturen der Energieversorgung ist damit in allen Spannungsebenen bis hin zum „mündigen“ Energienutzer möglich. Daraus ergeben sich neue Chancen für die Mitwirkung aller an der ständigen Sicherstellung der Energieversorgung. Von deren Verfügbarkeit hängen unsere Lebensumstände und Lebensqualität in einer ganz extremen Weise ab. Ein Ausfall der Energieversorgung hat auf alle anderen Techniken und somit auf unser Leben insgesamt massive Auswirkungen. Deshalb kommt einer funktionierenden Symbiose von Energietechnik und IKT eine ausgesprochen hohe Bedeutung zu.

2. Symbiose Leitzentralen und Energiezellen

Die Leistungsflüsse verbinden die Energiezellen untereinander. Leitzentralen haben die Aufgabe, diese Leistungsflüsse und die dafür notwendigen Komponenten im Gesamtsystem zu überwachen. Dazu sind Informationsflüsse zur Zentrale nötig. Künftig sind in jeder Ebene Informationsflüsse aus den Teilsichten der Energiezellen nötig, welche die lokalen Bedürfnisse in die jeweilige Leitzentrale transferieren, damit dort eine Gesamtsicht auf die Energiesituation und den Netzzustand als Ganzes erstellt werden kann.

Die vielen unterschiedlichen Bedürfnisse und die einzelnen Sichten der Energienutzer in den Energiezellen auf ihre eigene Situation hinsichtlich Bereitstellung, Bevorratung und Bedarf an Energie sind dafür zusammenzufassen. Auch elektrische Kenngrößen gehören dazu, damit die Netz- und Versorgungssituation in der jeweiligen Leitzentrale zu einer aussagekräftigen Gesamtsicht führen. Als Dienstleistung einer Zentrale mündet dies in der Weitergabe der Gesamtsicht an die Energiezellen und damit letztlich an die Energienutzer. Damit können diese ihr Verhalten autonom und gemeinschaftsdienlich im Sinne des Ganzen selbst steuern und ihre eigene Informationsverarbeitung plausibilisieren. Dieses Plausibilisieren anhand lokaler und von der jeweiligen Leitzentrale übermittelten Sichtweisen ist eine die Resilienz des Gesamtsystems entscheidend unterstützende Vorgehensweise.

Diese Symbiose zwischen zentral und lokal vermeidet ein Steuern einer Leitzentrale von außen in Energiezellen und damit letztlich in Kundenanlagen hinein. Ein solches Steuern von außen würde in Kundenanlagen in dort ablaufende Prozesse eingreifen und in aller Regel extrem stören oder gar zum Stillstand führen. Da keine Methode eine unzulässige Beeinflussung einer solchen Steuerung von außen vollständig und auf Dauer wirksam verhindern kann, muss auf zentrale Einwirkungen total verzichtet werden. Notwendig ist aber die Übermittlung der jeweiligen Gesamtsicht, damit dezentral im Sinne der Gesamtsicht richtig gehandelt werden kann. So wird mit dieser Symbiose eine umfassende Erhöhung der Resilienz des Gesamtsystems erzielt.

Das Gelingen der Energiewende wird zwangsläufig eine Energiebevorratung in den Energiezellen und damit letztlich auch eine lokale Energiebevorratung zur Folge haben. Damit sind die Energiezellen in der Lage, bei einem Ausfall des sie umgebenden Netzes sich für eine gewisse Zeit im Eigenbedarf (also in einer Art Notbetrieb) zu fangen. Das wiederum ist die Voraussetzung, dass sich in einer solchen Notsituation Energiezellen untereinander finden und selbstorganisiert einen Netzwiederaufbau starten können (siehe „Orchestrieren statt Steuern von außen“ im Jahrbuch Anlagentechnik 2015). Beim Netzwiederaufbau ist wegen der immer notwendigen Sicht auf das Ganze sobald wie möglich die zugehörige Leitzentrale einzubeziehen. Auch dafür dient die Symbiose von Leitzentralen und Energiezellen.

Die Weitergabe der Gesamtsicht orchestriert das Verhalten der Teilnehmer im Gesamtsystem. Das gilt beim Netzwiederaufbau genauso wie im Normalbetrieb. Die im Gesamtsystem mitwirkenden Energiezellen haben dafür wie die Mitspieler in einem Orchester einen Verhaltenscodex (im Orchester ist dies das Notenblatt). Das unterstützt das autonome Agieren und mindert von außen und auch von innen kommende Manipulationsmöglichkeiten entscheidend. Das wiederum sorgt für die so dringend notwendige Resilienz in einem fragilen System, das auf der ständigen Beibehaltung eines dynamischen Gleichgewichts zwischen zuströmender und aus dem Netz entnommener Energie beruht. Die Symbiose fördert aufgrund des Informationsaustausches zwischen Leitzentrale und Energiezellen das gegenseitige Erkennen von Fehlentwicklungen. Das macht Mustererkennungen zum raschen Aufdecken von Ungereimtheiten bis hin zum Diagnostizieren und Beheben von Störungen möglich. Auch dies stärkt die Resilienz des Gesamtsystems.

3. Symbiose Markt und Physik

Die Liberalisierung hat bewirkt, dass vermehrt Marktgesetze in der Energieversorgung Einzug hielten. Zwischenzeitlich hat dies so überhandgenommen, dass dies zu einem Verdrängen der Sicht auf die physikalischen Grundlagen der Energieversorgung geführt hat. Das äußert sich leider in einer Ignoranz gegenüber der Wirklichkeit, welche natürlich weiterhin von physikalischen Gesetzmäßigkeiten bestimmt wird. Marktgetriebene Wunschvorstellungen sollen die Wirklichkeit des physikalischen Geschehens wie auch das normalerweise autonome Verhalten der Menschen ersetzen, welche Bedarf an einem hochverfügbaren Stromzufluss haben. Dafür sollen entweder direkte zentrale Steuerungen (sogar von außen in die Anlagen der Kunden hinein) oder Steuerungen des Kundenverhaltens durch Preise für die „Produkte“ der Stromhändler und Stromlieferanten treten.

Besonders drastisch äußert sich diese Entwicklung in der Verengung der Sicht auf nur einen winzigen Zeitbereich als Ausschnitt einer ca. 12 Zehnerdekaden umfassenden Zeitachse (Bild 4). In diesem wenige Stunden umfassenden Ausschnitt kommt dem Handel mit Strom als unsere wichtigste Energieform sicherlich eine hohe Bedeutung zu. Aber das darf die Anforderungen an die Energieversorgung nicht ausschließlich bestimmen. Wenn selbst die Versorgungssicherheit nicht mehr im Mittelpunkt steht, sondern nur finanzielle Aspekte, dann ist der Bogen überspannt. Dem Netz, das für den Handel als Plattform dient, werden zudem Eigenschaften unterstellt, welche den Gesetzen der Physik total widersprechen. Es gibt eben kein unendlich leistungsfähiges Netz. Es sind nicht beliebig viele Netzanschlüsse und keineswegs überall an jeder gewünschten Stelle vorhanden. Und sprungförmige Änderungen wichtiger physikalischer Größen verträgt kein Netz.

Alle leistungsverändernden Nutzungen dürfen deshalb genaugenommen nur rampenförmig das Netz beaufschlagen. Es darf keine sprungförmigen Veränderungen geben, auch keine sprungförmig vorgegebenen Fahrplanänderungen. Alle Änderungen im physikalisch bestimmten Geschehen haben einen stetigen Verlauf. Selbst Schaltungen erfordern ein (allerdings sehr kurzzeitiges) Einschwingen des gesamten Netzverbundes auf den neuen Zustand. Bei Leistungsveränderungen im Netz bedingt dieses Einschwingen zunächst den automatisch stattfindenden Ausgleich zwischen dem Energieinhalt der Momentanreserve und dem übrigen Systemteilen. Dieser Momentanreserve als Energieinhalt der sich drehenden Massen in Synchrongeneratoren kommt als Energiepuffer eine maßgebliche Rolle zu.

Bei einer Abweichung vom Leistungsgleichgewicht tritt ein inhärenter, aufgrund des Energieerhaltungssatzes ablaufender Vorgang auf, der keinerlei Gerätschaften oder Informationsverarbeitungen benötigt. Dieser Vorgang wiederum führt zu einer Veränderung der Frequenz, weil sich aus der Drehgeschwindigkeit der die Momentanreserve bildenden Rotoren der Synchrongeneratoren exakt die überall im Netz messbare Frequenz ergibt. Die Primärregelung sorgt bei einer so festgestellten Abweichung der Frequenz von der Normfrequenz für einen vermehrten Energiezufluss bzw. geringeren Energiebezug (bei Leistungsmangel) oder vermehrten Energiebezug bzw. geringeren Energiezufluss (bei Leistungsüberschuss).

Alle leistungsverändernden Einspeisungen und Nutzungen erfordern eine Netzregelung, um Abweichungen von dem immer einzuhaltenden Leistungsgleichgewicht wieder auf null zurückzuführen. Diese Regelung setzt Änderungen der Energieflüsse voraus und benötigt Zeit. Sie hat grundsätzlich nur eine sehr begrenzte Fähigkeit, abhängig vom Erkennen und Reagieren auf Abweichungen. Eine zu hohe Gleichzeitigkeit von Veränderungen wie auch eine zu große Auslenkung aus dem dynamischen Leistungsgleichgewicht führen zur Überforderung der Regelfähigkeit und zwangsläufig zu einem großflächigen Ausfall wegen dem dann eintretenden Verlust der Netzstabilität. Dieses physikalisch bestimmte Zusammenwirken aller Komponenten für die Energieversorgung gilt es immer zu beachten.

Immer erfordert die Netzregelung eine Beeinflussbarkeit des Energieinhalts des elektrischen Teils des Gesamtsystems. Das kann weder durch eine Beeinflussung der Sonne noch des Windes erreicht werden. Jede Form des immer wieder ins Auge

gefassten Abregelns würde die die Energiegewinnung vermindern und den Nutzen der Einrichtungen schmälern. Aber die Energiebevorratung, also die Energievorsorge, kann in hohem Maß dazu dienen, Energie umzuspeichern. Das ist sicher die wichtigste Art, für eine Flexibilität des Leistungsbedarfs zu sorgen. Das Lastmanagement ist dafür deutlich weniger geeignet, da dies Eingriffsmöglichkeiten in die Prozesse bedingt, welche ja gerade für die Nutzung der elektrischen Energie von Bedeutung sind und von denen unsere Lebensqualität wie auch die Produktionen von Gütern bzw. das Erstellen von Dienstleistungen abhängig sind.

Für die Energievorsorge trägt die Gesamtheit der Netznutzer-„Community“ Verantwortung, nicht die Netzbetreiber. Es kommt deshalb darauf an, dass eine weitgehend stimmige Prognose des Umfanges an der Energie„ernte“ wie auch an der Energienutzung für den kommenden Zeitbereich von den Energienutzern erstellt wird. Eine von ihrer Planung der Zukunft abhängige Größe ist dabei der Umfang an der ins System zurückgeführten Energie (Rückspeisung aus der Bevorratung) bzw. die gewollte Einspeicherung von Energie als Notreserve (bzw. Variations„masse“).

Das Gelingen eines gedeihlichen Zusammenwirkens von Markt und Physik erfordert vom Markt die Einhaltung von Rahmenbedingungen, die in der Physik der Energieversorgung begründet sind. Den Netzbetreibern obliegt es, deren Einhaltung vorab zu prüfen. Dazu sind Fahrpläne und die „Abweichungsbreite“ der dafür zugrundegelegten Prognosen den Netzbetreibern im festgelegten Zeitraster zumindest für den kommenden Tag rechtzeitig im Voraus mitzuteilen. Anhand dieser Daten sind von den Netzbetreibern mittels Netzsicherheitsberechnungen die Transportfähigkeiten der betroffenen Netze und die Einhaltung von Grenzwerten zu überprüfen. Werden dabei zulässige Bereiche für Belastungen, Spannungen und Phasenwinkel nicht eingehalten, muss unverzüglich von Seiten des Marktes eine Abänderung der Planung solange vorgenommen werden, bis die Netzbetreiber den Planungsdaten wegen dem notwendigen Einhalten der Netzstabilität und Netzsicherheit zustimmen können.

Die Netzbetreiber haben die Verantwortung für die Sicherstellung einer ausreichenden Sicherheit des Netzbetriebes. Hier ist der Begriff der (n-1)-Sicherheit sehr wesentlich, d.h. irgendeine Netzkomponente (auch Einspeisungen oder Bezüge) müssen ausfallen können, ohne dass die Netzsicherheit beeinträchtigt wird oder wesentlichen Netzgrößen (.z. B. die Spannung an den Netzknoten) nicht mehr im zulässigen Bereich sich befinden würden. Würde aufgrund der übermittelten Fahrpläne die Netzsicherheit gefährdet, müssen die Netzbetreiber die Fahrpläne zurückweisen und solange auf geänderte Planungen bestehen, bis die Netzsicherheit gemäß den durchzuführenden Berechnungen gewährleistet werden kann.

Die Gewährleistung der Versorgungssicherheit hat immer Vorrang. Die Abänderungen der Planwerte müssen unentgeltlich erfolgen und dürfen zu keinen Forderungen an die Netzbetreiber führen. Es besteht ein Zwang zur Einigung, da der Verlust der Versorgungssicherheit schwerwiegende Folgen für die Energienutzer hätte. Die Netzbetreiber haben dazu aus den Ergebnissen ihrer Berechnungen umsetzbare Hinweise abzuleiten und denjenigen mitzuteilen, welche die Plandaten erstellt haben. Naturgemäß müssen die Berechnungsgrundlagen und –ergebnisse offengelegt werden.

Alle Planungen, besonders die Prognosen, sind Einschätzungen der Zukunft und haben deshalb Schätzbreiten. Das Ergebnis der Planungen sind Fahrpläne für Bezug und Lieferung von Energie für die Zeitintervalle des Planungszeitraums (hier in der Regel der kommende Tag). In dem gleichen Zeitraster müssen künftig auch die Schätzbreiten angegeben werden. Aus dieser Vorgehensweise ergeben sich die Fahrpläne und die Risikobreiten „rund“ um die Fahrpläne, welche an die Netzbetreiber zu übermitteln sind (Bild 4).

Im Fokus der Netzbetreiber muss aber auch die Netzstabilität sein. Dazu ist eine Risikovorsorge für mögliche Abweichungen von den Fahrplänen erforderlich. Zu den Aufgaben der Netzbetreiber gehört deshalb auch, anhand der Abweichungsbreiten den voraussichtlichen Gesamtbedarf an Flexibilitäten bei den Leistungen der beteiligten Komponenten zu ermitteln. Wie in der Versicherungswirtschaft üblich, ist eine begrenzte Gleichzeitigkeit bei den Abweichungen von den Fahrplänen Grundlage der notwendigen Abschätzungen des Risikos von Abweichungen insgesamt. Das ist wie auch im Versicherungswesen nicht einfach die Summe aller Risiken, sondern ein von allen Beteiligten in seiner Gesamtheit akzeptierter Wert. Über die Größe dieses Risikos, ggf. in Abhängigkeit von der Gesamtleistung in dem von den jeweiligen Leitzentralen überwachten Bereich, ist ein Konsens zwischen der Netznutzer-Community und der Netzbetreiber-Community erforderlich (Bild 4). Für die Abdeckung dieses Risikos an Abweichungen zu den mitgeteilten Fahrplänen müssen die Netzbetreiber „Flexibilitäten“ einkaufen. Das sind Zusagen der Energienutzer, dass sie Leistungen der Einspeisungen und/oder Bezüge auf Anforderung der Netzbetreiber im angegebenen Bereich rund um den mitgeteilten Fahrplan ändern, damit die Netzregelung rasch genug das Leistungsgleichgewicht wieder herstellen kann.

Wie bei sonstigen Versicherungen sind für die Risikobreiten bei den übermittelten Fahrplänen Prämienzahlungen der Netznutzer an die Netzbetreiber fällig. Diese Zahlungen müssen die Netzbetreiber in die Lage versetzen, die zur Abdeckung des ermittelten Risikos notwendigen Zusagen an Leistungsvariationsmöglichkeiten (sogenannte Flexibilitäten) „einkaufen“ zu können. Das sind dann Leistungshübe, die in Summe das Gesamtrisiko abdecken können und vom Netzbetreiber durch Verbreiten entsprechender Informationen bei den jeweiligen Anbietern aktiviert werden. Das darf dann aber nur lokal gesteuert erfolgen, damit keine äußere Beeinflussung möglich ist. Auch hier ist wieder darauf zu achten, dass dafür dezentral eine Plausibilisierung vorgenommen wird. Diese muss anhand des vor Ort gemessenen Frequenzverlaufs und der übermittelten Gesamtsicht auf die insgesamt festgestellten Notwendigkeiten bei der Primär- und Sekundärregelungen eine netzdienliche Reaktion veranlassen.

Das Leistungsgleichgewicht immer wieder rasch genug herstellen, ist die wichtigste Aufgabe der Netzregelung, die künftig durch das Verbreiten der Gesamtsicht durch Leitzentralen Aufgabe aller Beteiligten ist. Die heute dafür noch benötigten Kraftwerke gibt es nicht mehr, sobald die Energiewende gelungen ist. Nur das Mitwirken aller Energiezellen schafft wieder die Grundlagen für eine ausreichende Netzstabilität. Das Ausnutzen der Leistungshübe führt natürlich zu Abweichungen gegenüber dem übermittelten Fahrplänen. Diese Abweichungen sind vorzeichengerecht zu sammeln und ergeben positive und negative Regelenergie.

Damit nicht bewusst durch eine fehlerhafte Planung des Energieumsatzes auf Kosten aller anderen Beteiligten Spekulationen erfolgen, welche durch die Netzregelung beherrscht werden müssten, wird ein Naturalausgleich vorgesehen. Demnach muss bereits beim nächstfolgenden Planungszeitraum die positive wie auch die negative Regelenergie zeitgerecht durch genau gegenteiliges Einplanen wieder zurückgeliefert werden. Von einer Bezahlung der Regelarbeit wird abgesehen, weil dieser so rasch erfolgende Naturalausgleich jegliche Spekulation auf das Ausnutzen von Preisunterschieden unterbindet und Geldbeträge diese Art von Steuerung konterkarieren würden.

Die Planungsgenauigkeit wird sicher durch das Zahlen einer Art von Versicherungsprämie für die Schätzbreiten der Fahrpläne auf Dauer erhöht. Besonders dann, wenn ein Überschreiten der Schätzbreite im tatsächlichen Betrieb zu einer Erhöhung der Prämie führt. Wenn wie bei der Kfz-Versicherung ein Unterschreiten der Schätzbreite durch eine Bonusregelung zu einer Minderung der Prämienzahlung führt, ist das ein zusätzlicher Anreiz für genauere Prognosen bzw. für ein besseres Energiemanagement und Ausnutzen der Variationsmöglichkeiten bei der Energiebevorratung (vermehrtes Bevorraten oder Rückführung bevorrateter Energie ins System). Letztlich kommt auf die „mündigen“ Energienutzer die Aufgabe zu, sich am Ausbau, am Betrieb und an den Erneuerungen der Infrastrukturen der Energieversorgung angemessen zu beteiligen (Bild 5).

4. Gemeinsamkeiten bei den Symbiosen

Bei den angeführten Symbiosen unterstützen sich die jeweiligen Teilbereiche gegenseitig. Es ist wie bei einer Redundanz mit gleichzeitiger Diversität. Das führt zu einer erhöhten Robustheit beim jeweiligen Zusammenwirken, ob nun von ET und IKT, Leitzentralen und Energiezellen wie auch beim Markt in Kooperation mit der Physik. Eine einseitige, nur auf die Aspekte der jeweiligen Teilsicht konzentrierende Handlungsweise wird so vermieden. Jede der beiden Komponenten einer der aufgeführten Symbiosen hat jeweils eine meist deutlich unterschiedliche Sicht auf die Wirklichkeit. Das Zusammenführen der Sichten ist für die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems von ausschlaggebender Bedeutung, weil so Fehlschlüsse und Fehlhandlungen eher vermieden werden können, als bei einseitiger Betrachtungsweise.

Die Komponenten der ET und die der IKT haben sehr verschiedene Charakteristiken, auch extrem auseinander liegenden Standzeiten und Innovationszeiten. Gegen äußere Einflüsse sind sie sehr unterschiedlich empfindlich. Zum Erzielen großer Robustheit des Gesamtsystems sind die so sehr differierenden Eigenschaften immer im Blick zu halten. Die Lebenszyklen sind auch bei den anderen Symbiosen keineswegs synchron. Das führt zu der Herausforderung, dass zu ganz unterschiedlichen Zeitpunkten in einer der beiden an einer Symbiose beteiligten Bereiche eine teilweise oder sogar komplette Erneuerung angegangen werden muss. Bei der Symbiose Markt & Physik sind sogar die Rahmenbedingungen andauernd unterschiedlich. Hier ist der stete Wandel naturbedingt immer gegeben.

Auf der untersten Ebene der Energiezellen ist jedes stromproduzierende und jedes stromnutzende Gerät physikalischen Rahmenbedingungen unterworfen. Beim Einsatz dieser Geräte sind von den sie nutzenden Organisationseinheiten diese Rahmenbedingungen zu beachten, gleichgültig wie groß die jeweilige Energiezelle ist

und in welcher Ebene des Gesamtsystems sie angesiedelt ist. Keine Marktregel kann diese physikalischen Rahmenbedingungen außer Kraft setzen, auch nicht die Gesetzgebungen in Parlamenten und oder Verordnungen von Behörden.

In jeder Ebene summieren bzw. überlagern sich die einzelnen Rahmenbedingungen zu Eigenschaften der jeweiligen Energiezelle. Eine zusammenfassende Sicht eine Leitzentrale in einer Energiezelle führt die Einzelsichten zu einer Gesamtsicht zusammen. Das ist die wichtigste Aufgabe einer Leitzentrale. Die Kenntnis dieser Gesamtsicht ist für einzelne Komponenten in der jeweiligen Energiezelle zum Einhalten von Verhaltensregeln entscheidend wichtig. Damit ist das Bereitstellen der Gesamtsicht in einer Energiezelle durch die Leitzentrale eine wichtige Dienstleistung der jeweiligen Zentrale. Auch bei den beiden anderen Symbiosen müssen die jeweiligen Teilbereiche auf die Rahmenbedingungen im anderen Teilbereich achten.

In einem Stromnetz gibt es Ebenen unterschiedlicher Nennspannung. Das gliedert das gesamte zusammenhängende Stromnetz in Spannungsebenen. Innerhalb einer Spannungsebene schaffen Leitungen die Verbindungen zwischen den Netzknoten. Transformatoren wiederum schaffen die Verbindungen zwischen zwei Netzknoten unterschiedlicher Netzebenen gleicher Nennspannung. Die Netzknoten sind in aller Regel Übergabestellen zu Energiezellen. Eine Energiezelle hat eine oder mehrere solcher Übergabestellen. In einer Netzebene gibt es für gewöhnlich viele Energiezellen. Das gesamteuropäische Netz ist die alles zusammenfassende Energiezelle. Sämtliche Energiezellen sind selbständig. Diese mehr physikalische Sichtweise findet sich aber auch in ähnlicher bei den Bilanzierungsgebieten und damit für betriebswirtschaftliche Sichtweisen wieder. So können Analogien genutzt werden.

Damit die Energieversorgung funktioniert und trotz der bereits deutlich komplexeren Struktur eine hohe Verfügbarkeit erzielt wird, müssen sämtliche Netzebenen sich gegenseitig unterstützen. Das bedingt ein Zusammenwirken der jeweiligen Leitzentralen - horizontal in der gleichen Netzebene und vertikal zwischen den Netzebenen, welche durch Transformatoren verbunden sind. Nach „oben“ zur nächsthöheren Netzebene sind die Sichten der jeweils nachgeordneten Leitzentralen zu übermitteln, damit in jeder Netzebene Gesamtsichten gebildet werden können. Das ist ein kaskadenförmiger Informationstransport, der in Echtzeit die jeweiligen Kenngrößen zu übermitteln in der Lage sein muss. Das ist natürlich auch in umgekehrter Richtung erforderlich, damit bei der Bildung der jeweiligen Gesamtsicht die „von oben“ kommenden Informationen mit eingearbeitet werden können. Dies ist nötig, damit sich in jeder Ebene die Energiezellen gemeinschaftsdienlich, besonders auch netzdienlich verhalten können. Das ist wiederum ein kaskadenförmiger Informationstransport, nun in umgekehrter Richtung bis letztlich zu den Komponenten beim Energienutzer. Auch hier gilt für die Bilanzierungsgebiete genau das Gleiche, jedoch in anderen Zeiträumen. Wiederum können Analogien helfen, die Herausforderungen anzugehen.

5. Gemeinsame Gestaltungsgrundsätze

Das Einhalten der Zeitbedingungen ist bei allen Symbiosen oberste Prämisse. Das Prinzip der Orchestrierung und das Einhalten eines Verhaltenscodex löst das bisher gewohnte zentrale Steuern ab. Lernende Verfahren und in hohem Maße eine Selbstregulierung muss künftig dafür sorgen, dass das Energiesystem als Ganzes

wieder die hohe Verfügbarkeit aufweist, die wir gewohnt sind und die für unser Lebensumfeld eine so entscheidende Bedeutung hat. Dabei dient der jeweilige Verhaltenscodex als „Notenblatt“ im Energiesystem, damit die Orchestrierung gelingt. Leitzentralen wirken als Dirigenten und Dienstleister. Energieassistenzsysteme als Werkzeuge helfen in den Energiezellen beim „Mitspielen“. Das autonome und stochastische Mitwirken soll einen zu hohen Gleichzeitigkeitsfaktor beim Verhalten vermeiden und so die Netzstabilität günstig beeinflussen. Umfassende Zustandseinschätzung in jeder Ebene, die untereinander auch ausgetauscht werden, damit auch die energetische und wirtschaftliche Vernetzung sind geeignet, das Energieversorgungssystem ausreichend robust zu machen (Bild 6)

Ein gleichzeitiges Fehlverhalten als Massenphänomen wird immer unwahrscheinlicher, wenn autonomes Verhalten bei einer großen Anzahl von Komponenten (Energiezellen) unter Beachtung eines für alle nachvollziehbaren und sinnvollen Verhaltenscodex vorausgesetzt werden kann. Allerdings muss ständig Achtung gegeben werden auf Vorgänge, welche die Autonomie einschränken oder aufheben (wollen). Regelrecht gefährlich sind Anwendungen von Algorithmen z. B. beim Handeln mit Energie oder Nutzen von Angeboten, weil damit der Gleichzeitigkeitsfaktor schlagartig extrem ansteigen kann. Wegen den durch keine Methode wirksam auszuschließenden Beeinflussungen in der IKT ist jedweder Zentralismus oder auch gleichgeschaltetes Verhalten in den Energiezellen zu vermeiden. Selbst beim Update von IKT-Einrichtungen ist auf unzulässig hohe Marktbeherrschung zu achten, weil sonst wiederum der Gleichzeitigkeitsfaktor bei zunächst nicht erkanntem Fehlverhalten die notwendige Robustheit negativ beeinflussen kann. Robustheit ist ein Wert an sich und für die Gemeinschaft entscheidend wichtig. Eine immer fortschreitende Effizienzsteigerung mindert im Übrigen die Robustheit und muss deshalb ausgewogen und wohlüberlegt betrieben werden.

Sämtliche künftige Geschäftsmodelle der EVU und deren zuliefernde Unternehmen sind im Kern Dienstleistungen für mündige Energienutzer entweder direkt oder indirekt über Aggregatoren, bei denen bestimmte Dienstleistungen für viele Energienutzer gemeinschaftlich angeboten werden. Der Einstieg in die Entwicklung erfolgt über indirekte und „normierte“ Dienstleistungen durch die verschiedenen Aggregatoren. Das langfristige Ziel sind jedoch individualisierte Dienstleistungen für jeden Energienutzer, ausgerichtet auf dessen Bedarfssituation. Es ist eine ähnliche Entwicklung zu erwarten, wie bei Industrie 4.0 und wie in der Automobilbranche. Normiert sind da künftig die Teile, nicht das Ganze. Das Ganze ist eine Ansammlung von eigenständigen und unabhängig handelnden Individuen, eben den „mündigen“ Energienutzern.

Der mündige Energienutzer

- hat einen eigenen Energievorrat lokal und/oder einen Anteil in anderen Energiezellen und nutzt diesen immer ausreichenden Vorrat optimal.
- nutzt die Bevorratung zur kostengünstigen Abdeckung seiner Energiebedürfnisse kurz- und langfristig.
- nutzt bei der Bevorratung das Ein- und Ausspeichern in netzdienlicher Weise und kann so „Flexibilitäten“ beisteuern.
- kann aufgrund der lokalen Bevorratung bei einem Blackout sich im Eigenbedarf und damit in einer Art Notbetriebssituation fangen.

- beteiligt sich gemeinschaftsdienlich an der Erstellung von Infrastrukturen und bei deren Betrieb, auch bei der Energiebevorratung im Gesamtsystem.
- hat zur Wahrnehmung seiner Verantwortung für eine effiziente Energienutzung Assistenzsysteme im Einsatz und überwacht deren Wirken.
- beteiligt sich an externen Infrastrukturen zur Absicherung seiner lokalen Energienutzungen.
- wartet und erneuert seine Einrichtungen sorgsam, damit sie als Teil des Gesamtsystems immer gemeinschaftsdienlich mitwirken können.

Mit den Erkenntnissen von Hegel soll die Bedeutung der Gesamtsicht für das Verhalten des Einzelnen in Erinnerung gerufen werden. Die inzwischen ideologisch verengte Konzentration auf reine Marktlösungen, die fortschreitende Trennung in Marktrollen, die damit verbundene Zerstörung physikalisch bedingter Zusammenhänge und die in ihren Auswirkungen fatale Umsetzung einer übertriebenen Sucht nach Aufteilung (Unbundling) muss überwunden werden.

Die enge informationstechnische Vernetzung einer Vielzahl von Energieeinspeisungen, -bevorratungen und -nutzungen schafft eine neue Wirklichkeit. Der damit verbundene Masseneffekt bestimmt das Verhalten des Gesamtsystems (Emergenz). Statt der in Zentralen konzentrierten Macht tritt das gemeinschaftsdienliche Mitwirken aller. Die notwendige Robustheit wird durch intensive Kooperation erzielt (Bild 6).