

IT-Systeme für nachhaltiges Energiemanagement

Von Hans-Jürgen Appelrath und Christoph Mayer

Ein nachhaltiges, zunehmend dezentralisiertes Erzeugen und Transportieren von Strom bis hin zu autonomer werdenden Verbrauchern bedarf intelligenter und flexibler IT-Systeme. Solche Systeme müssen Erzeugung und Verbrauch verlässlich prognostizieren, entsprechende Ein- und Verkaufsaktivitäten kontrollieren und die dezentralisierte Steuerung und Regelung von Erzeugern und Verbrauchern bzw. deren Anlagen und Geräten reibungslos realisieren. Stichworte dazu sind: Energie-wirtschaftliche Rahmenbedingungen und ihre IT-Anforderungen, die IT-Integration von virtuellen Kraftwerken, Fragen der Normierung und Kommunikationsstandardisierung, die Bedeutung flexibler Software-Architekturen und qualitätsgesicherter Daten, veränderte Geschäftsprozesse und Wertschöpfung im Energiemarkt sowie Fragen der IT-Sicherheit.

Sustainable, increasingly decentralized generation and transportation of energy to ever more autonomous consumers demands more intelligent and flexible IT-systems. Such systems must predict generation and consumption reliably, control corresponding sales and purchase activities and smoothly facilitate the decentralized management and control of suppliers and consumers, and their facilities and equipment. Keywords are: economic energy constraints and their IT-requirements, the IT-integration of virtual power plants, questions of standards and standardizing communications, the importance of flexible software architectures and quality secured data, changed business processes and added value in the energy market, as well as questions of IT-security.



Die Energieversorgung der Zukunft, die sich im Spannungsfeld von Wirtschaftlichkeit und Ökologie befindet, ist auch und vor allem ein IT-Projekt.

Als wesentliche Komponenten der zukünftigen Energie- und Wärmeversorgung gelten regenerative Energiequellen und Anlagen zur effizienten, dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), also eine abgestimmte Erzeugung von elektrischer Energie und von Wärme bzw. Kälte. Bereits heute wird mit Erneuerbaren Energiequellen wie Wind- und Photovoltaikanlagen der Strom nicht mehr nur „top down“ wie bei konventionellen Großkraftwerken über die Hoch- (60 - 220 kV) und Mittelspannungsebene (6-60 kV) eingespeist, sondern auch „bottom up“ über die dazu früher unüblichen Niederspannungsebenen (230-400 Volt). Diese kleinen Stromeinspeiser in Wohn- bzw.

Bürogebäuden und in gewerblich genutzten Objekten sind bislang erst selten vorhanden, ihre Zahl wird künftig jedoch deutlich ansteigen, ebenso wie die Anzahl der KWK-Anlagen oder in fernerer Zukunft auch die der Brennstoffzellen.

Im Vergleich zu langfristig geplanten Großkraftwerken, auf die die IT-Systeme frühzeitig eingestellt werden konnten, wird das neu entstehende Energie-Erzeuger-Verbraucher-Gesamtsystem weitaus schwerer zu entwickeln sein. Die geringen Installationskosten und -zeiten für Kleinerzeuger und die wachsende „Unkalkulierbarkeit“ der Einspeisung durch dezentrale Systeme bringt ein viel dynamischeres Gesamtsystem

hervor. Wie lässt sich so eine immer komplexer werdende Energieversorgung mit ihren steigenden Anforderungen im Spannungsfeld von Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Ökologie koordinieren und auch langfristig steuern?

Energieversorgung als IT-Projekt

Die künftige Energieversorgung ist – ohne die Forschung und Entwicklung in anderen Technologiefeldern entlang der Energiekette von der Gewinnung/Erzeugung über Transport/Speicherung bis zu Verbrauch/Entsorgung abwerten zu wollen – zunächst und vor allem ein IT-Projekt. Dies betonen auch „unbefangene Nicht-Informatiker“ und stellen übereinstimmend fest: Ohne differenzierte Informations- und Kommunikationssysteme entlang der Wertschöpfungskette von Erzeugung, Versorgungsnetzen und Verbrauch sowie auf unterschiedlichen Aggregationsebenen eines zunehmend globalisierten Energiemarktes sind alle Bemühungen um Energieeinsparung, Energieeffizienz und Erneuerbare Energien weitgehend erfolglos. In Oldenburg konzentrieren sich die entsprechenden Forschungsaktivitäten im Informatik-Institut OFFIS, und hier in dem von der EWE AG finanzierten Projekt „Dezentrale Energiemanagementsysteme“ (DEMS) sowie in dem vom Land Niedersachsen geförderten „Forschungsverbund Energie Niedersachsen“ (FEN). Die notwendigen IuK-Technologien und die mit ihnen realisierten IT-Systeme haben dabei eine Reihe schwieriger Aufgaben zu lösen: Zunächst muss eine geeignete „IT-Infrastruktur“ geschaffen werden. Dazu sind softwaretechnische Plattformen und standardisierte Rahmenwerke zu entwickeln, die heterogene und in hohem Maße autonome und dynamische Systeme interoperabel machen und nach sich wandelnden Spielregeln koordinieren. Die Beteiligung an einer solchen IT-Infrastruktur muss ein „Plug-and-

Play“ erlauben, also ein problemloses und kostengünstiges oder sogar kostenloses „Anschließen und Loslegen“, da sich für kleine Erzeuger oder an Verbrauchsoptimierung interessierte Privathaushalte größere Investitionen oder IT-technische Verpflichtungen verbieten. Darauf aufbauend müssen Betriebsstrategien entwickelt werden, die es ermöglichen, verteilte heterogene Erzeuger zu prognostizieren sowie ihr Verhalten zu planen und zu steuern, z.B. über Fahrpläne oder variable Tarife. Als besondere Randbedingung muss die Stabilität des elektrischen Netzes gewährleistet werden. Dazu müssen bei jeder Planung von Verbrauch und Erzeugung Netzberechnungen durch das IT-System angestoßen werden, um die Verträglichkeit des „Fahrplans“ für das Gesamtnetz, aber auch für sinnvolle Ausschnitte zu prüfen.

Virtuelle Kraftwerke zur IT-Integration

Der Lösungsansatz, um die Fülle heterogener, weitgehend autonomer Akteure zu integrieren und all diese dezentralen Erzeuger- und Verbrauchereinheiten sicher und wirtschaftlich zu beherrschen, liegt in ihrer IT-technischen Kopplung und Regelung unter dem Begriff „Virtuelles Kraftwerk“ (VK). Eine wesentliche Hürde vom Übergang vieler einzelner Kleinsterzeuger und/oder -verbraucher zu einem gemeinsam wirkenden Cluster eines VKs ist – neben der Verfügbarkeit von

wirtschaftlich zu betreibenden kleineren Anlagen – die Gestaltung der Kommunikation zwischen den Stromeinspeiseknoten und dem Zentralknoten einer Leitstelle.

Die Lösung dieser Aufgaben erfordert ein vertieftes Verständnis des betrachteten Gesamtsystems von der Gebäude- und Anlagenebene bis hin zur – für den verlässlichen Betrieb zuständigen – Netzleittechnik, aber auch ein tiefes Verständnis für das Zusammenspiel technischer Systembausteine und kaufmännischer Softwarekomponenten innerhalb von Unternehmen, zunehmend jedoch auch unternehmensübergreifend. Zur Vertiefung des notwendigen Systemverständnisses tragen Simulationen von dezentralen Energieanlagen, Gebäuden und den zugehörigen Ausschnitten des Niederspannungsnetzes bei.

Bei den Untersuchungen zur dezentralen Koordination von VKs dienen zudem simulierte verteilte Energiesysteme als Verhaltensgrundlage für sogenannte „Agenten“. Agenten – als eigenständige, intelligente Softwaresysteme – scheinen geeignet, komplexe und dynamische Systeme nach unterschiedlichen Zielfunktionen zunehmend flexibel und optimiert zu betreiben.

Standards reduzieren Aufwand für Systemkopplungen

Eine „semantisch saubere“, d.h. inhaltlich unmissverständliche Kommunikation solch weit verteilter Systeme, ist insbesondere



Kompliziert und komplex: Blick in eine Schaltzentrale

re auch Gegenstand aktueller internationaler Normierungsbestrebungen. Besonders zwei Normfamilien sind für die Energiewirtschaft bedeutsam: Das Common Information Model (CIM) als Datenmodell für wichtige Objekte in Energieversorgungsunternehmen und IEC 61850 zur Kommunikation mit dezentralen Erzeugeranlagen.

CIM ist eine internationale, inzwischen weltweit anerkannte Norm der International Electrotechnical Commission (IEC). Bei der Implementierung von IT-Systemen in der Energiewirtschaft wird dieser Standard zunehmend gefordert und eingesetzt, in den USA ist er für den Datenaustausch zwischen den Akteuren des Energiemarktes sogar weitgehend vorgeschrieben. Im CIM werden wichtige technische Objekte wie Stationen, Felder, Schalter, Leitungen und Transformatoren einschließlich der Topologien der Stromnetze sowie der Informationen zu Kunden und Verträgen definiert. Da das CIM in der weit verbreiteten Beschreibungssprache UML (Unified Modeling Language) modelliert ist und nur eine grafische Darstellung bietet, werden textorientierte, linearisierte Formate benötigt, um Daten zwischen IT-Systemen auszutauschen. Durch die Verwendung von CIM ist zu erwarten, dass der Datenaustausch zwischen Akteuren im Energiesektor deutlich vereinfacht wird und IT-Systeme verschiedener Hersteller leichter miteinander verbunden und integriert werden können.

Die Standards für dezentrale Energieerzeuger bauen ihrerseits auf Standards auf, die die Kommunikation mit so genannten Sekundärgeräten aus der Netzleittechnik wie Sicherheitsschalter und Umspannwerke vereinheitlichen. In diesem Standard IEC 61850, der sich noch in der Entwicklung befindet, werden wesentliche Definitionen für Informationen, Dienste, Kommunikation und Konfiguration vorgegeben.

Trotz der Definition und Verbreitung von Normen bleiben noch viele Fragen offen, die sowohl für die Praxis als auch die Forschung relevant sind. Einzelne Normen haben inhaltliche Überlappungen, so dass Methoden gefunden werden müssen, um die teilweise redundanten Daten der verschiedenen Normen konsistent aufeinander abzubilden. Außerdem bieten die Formulierungen des Normenwerks in der Regel mehrere Möglichkeiten, um Datenaustauschformate zu definieren. Je nach Anforderung kann das zu einem hohen Datenaufkommen führen, das durch geeignete Maßnahmen – z.B. Übermittlung

nur von Änderungen in den Daten – zu begrenzen ist.

Flexible Architekturen und qualitätsgesicherte Daten

Zur Durchführung eines stabilen, sicheren und diskriminierungsfreien Energiemanagements müssen die Energieversorgungsunternehmen neue Erzeuger und Verbraucher mit ihren entsprechenden Schnittstellen nicht nur elektrisch in ihre Versorgungsnetze integrieren, sondern auch technisch in ihre IT-Landschaft einbinden. Benötigt werden daher wandlungsfähige und flexible Software-Architekturkonzepte, die sowohl offen für weitere Veränderungen sind als auch das Management einer Vielzahl von anfallenden Erzeuger- und Verbraucherdaten ermöglichen.

Das Konzept der „Service-orientierten Architektur“ (SOA) ist ein Ansatz zur Entwicklung flexibler, agiler und effektiver Systemarchitekturen. Fachliche Geschäftsfunktionen der Energiewirtschaft, wie eine Lastprognose, werden über standardisierte Formate als IT-Dienste (sogenannte Services) angeboten. Diese Dienste sollen dann von verschiedenen Akteuren des Energiemarktes relativ einfach an ihre jeweiligen IT-Systeme angeschlossen werden können. Die bedarfsorientierte Identifizierung und die konkrete Gestaltung dieser Dienste ist eine große Herausforderung, denn es müssen sowohl individuelle als auch allgemeine, akteursübergreifende Bedürfnisse berücksichtigt werden.

Um die Vielzahl der Erzeuger- und Verbraucherdaten zu managen, sind hierarchisch organisierte Architekturkonzepte sinnvoll. Hierbei werden auf jeder Hierarchieebene, wie zum Beispiel auf der Anlagen-, Teilnetz- oder Netzebene, die anfallenden Datenströme geeignet aggregiert und gefiltert. Bei den großen Informationsmengen – die im Energiemarkt verwaltet werden müssen, da sie für oft weitreichende Entscheidungen genutzt werden – ist insbesondere die Qualität der zugrundeliegenden Daten ein entscheidender Faktor. Durch die erhöhte Automatisierung der Prozesse wirken sich Mängel in der Datenqualität stärker aus, und die verteilte Datenverwaltung bei einer zunehmenden Zahl an Akteuren birgt tendenziell die Gefahr von mangelnder Verantwortung und Verlässlichkeit. Das rechtzeitige Auffinden und Beheben solcher Fehler in entscheidungsrelevanten Datenbanken verhindert daher größere Schäden und Reputationsverluste. Ein semiautomatischer Prozess

hierfür ist das „Data Quality Mining“. Dabei werden maschinelle Lernalgorithmen und statistische Auswertungsverfahren genutzt. Vereinfacht dargestellt abstrahiert man dazu von technischen Details und bringt diese auf eine für Menschen verständlichere Form der Datenbeschreibung, um Fehler leichter aufzufinden und systematisch zu beheben.

Wertschöpfung und Prozesse im Energiemarkt

Im Zuge der Liberalisierung des Energiemarktes ändern sich lang etablierte Wertschöpfungsketten und es entstehen neue Geschäftsprozesse zwischen bekannten und neuen Akteuren der Energiewirtschaft. Die im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) geforderte Entflechtung („legal unbundling“) schreibt beispielsweise die Überführung des Netzbetriebs in eigenständige Unternehmen vor. Darüber hinaus sind neue Prozesse hinzugekommen wie das erweiterte Berichtswesen zum Strommarkt für die Bundesnetzagentur. Mit der Eröffnung der Strombörse „European Energy Exchange“ (EEX) im Jahr 2000 wurde ein Handelsplatz geschaffen, auf dem zusätzlich zum Terminmarkt inzwischen auch Spotgeschäfte und so genannter Intra-Day-Handel möglich sind. Hinzu kommen die Veränderungen der Energieerzeugerstruktur durch den bereits erwähnten zunehmenden Einsatz dezentraler Anlagen. Diese zahlreichen Änderungen haben zur Folge, dass viele der im Energiebereich eingesetzten IT-Systeme schnell „veralten“ und angepasst oder neu entwickelt werden müssen.

Daher ist die Erstellung eines Referenzmodells sinnvoll, welches für die Anpassung und Entwicklung von IT-Systemen für den Energiemarkt verwendet werden kann. Es bildet unter anderem Zusammenhänge und Prozesse ab und beschreibt diese. Nachfolgend ein Beispiel für die Entwicklung eines Referenzmodells anhand der Frage: Wie könnte ein zukünftiger Energiebeschaffungsprozess aussehen? Zunächst würde zusätzlich zu den heutigen Handlungsoptionen geprüft, inwieweit die Steuerung virtueller Kraftwerke und wie z.B. variable Tarife die „Last“ im Netzgebiet beeinflussen können und zu welchen Kosten dies führt. Diese würden mit Beschaffungskosten der Börse oder anderer Stromerzeuger verglichen. Dazu müsste für jede günstige Option berechnet werden, ob sie das elektrische Netz hinreichend stabil hält. Da Lastprognosen

in Zukunft aufgrund fluktuierender Einspeisung eher ungenauer werden, wird der Planungsprozess voraussichtlich mehrfach durchgeführt werden müssen, was ohne geeignete und effiziente IT-Unterstützung gar nicht möglich wäre. Ist ein weitreichendes und weitgehend stabiles Referenzmodell erstellt, könnten auch die Prozesse im Markt formalen Analysen z.B. in Bezug auf Vollständigkeit und Fairness unterzogen werden.

Sicherheit von IT-Systemen

Der zunehmende Einsatz von IT schafft generell, insbesondere aber in der Energiewirtschaft, neue Verletzlichkeiten: Die wachsende Komplexität des Gesamtsystems erhöht die Wahrscheinlichkeit von IT-Fehlern, der verstärkte Einsatz offener Kommunikationsprotokolle kann ein Einfallstor für bösartige Angriffe sein („Hacker“), die verteilte Verantwortlichkeit durch viele Akteure erschwert die Implementierung von Sicherheitsmechanismen. „Millionen Haushalte in Europa im Dunkeln“, „IT-Systeme mitverantwortlich für Stromausfall in Kanada“, „Stundenlanger Stromausfall in Italien“ – Blackouts in der Energieversorgung nehmen zu und werden weiter steigen. Die Verfügbarkeit von Energie und die Versorgungssicherheit der Kunden ist jedoch eine der zentralen Aufgaben der Energieversorgungsunternehmen. Bereits lokal auftretende Störungen bei der Energieversorgung führen – wie im November 2006 – zu europaweiten Ausfällen, die neben hohen wirtschaftlichen Schäden auch Menschenleben gefährden können. Die Liberalisierung der Energieversorgung öffnet

zudem die Energie-märkte für eine Vielzahl neuer Akteure. Die damit einhergehende Nutzung unternehmensübergreifend genutzter Ressourcen wie Daten, Managementprozesse oder ganzer Softwarekomponenten verlangt einen besonderen Schutz vor unerlaubtem Zugriff.

Um den steigenden Anforderungen gerecht werden zu können, sind Energieversorger und Netzbetreiber auf entsprechende Konzepte, Methoden und Werkzeuge angewiesen, die bereits während des Entwicklungsprozesses helfen, Sicherheits- und Verfügbarkeitsanforderungen in IT-Systemen zu berücksichtigen. Schwachstellen in den Geschäftsprozessen können beispielsweise frühzeitig mittels Verfügbarkeitsanalysen aufgedeckt und behoben werden. Der Fokus der Untersuchungen liegt dabei vor allem auf den Prozessen, die das Übertragungsnetz steuern und regeln. Relevante Faktoren für die Analysen sind zum Beispiel zeitliche Restriktionen und Fehlertoleranzen in und zwischen den Prozessen sowie Wechselwirkungen zwischen Prozessen und den von ihnen geregelten technischen Systemen. Dazu werden Analyseverfahren für sicherheitskritische Systeme weiter erforscht und für das dezentrale Energiemanagement angepasst.

Zur Gewährleistung des Zugriffsschutzes des liberalisierten Energiemarkts muss auch ein durchgängiges Konzept zum Sicherheitsmanagement entwickelt werden. Daher werden u. a. Ansätze aus dem Bereich des Identity-Managements wie Rollen- und Berechtigungskonzepte adaptiert und so für eine transparente Verfolgung der Zugriffsstrukturen in IT-Systemen von Energieversorgungsunternehmen angepasst.

Die Autoren



Prof. Dr. Dr. h. c. Hans-Jürgen Appelrath studierte Mathematik und Informatik an den Universitäten Bonn und Dortmund, wo er 1983 promovierte. Danach arbeitete er bis 1987 an der ETH Zürich, zuletzt als Assistenzprofessor.

1987 wurde er auf den Lehrstuhl „Praktische Informatik“ am Fachbereich Informatik der Universität Oldenburg berufen und ist trotz dreier Rufe hier geblieben. Seit 1991 ist er Mitglied des dreiköpfigen Vorstands des Informatik-Instituts OFFIS, davon 1992 bis 2005 als Vorsitzender. Er nimmt zahlreiche Funktionen im Wissenschaftsbereich und auch in der Wirtschaft wahr und ist Leiter der Berufsakademie Oldenburg. 2007 wurde ihm die Ehrendoktorwürde der TU Braunschweig verliehen.



Dr. Christoph Mayer studierte Mathematik und Physik an der Universität Göttingen und war von 1990 bis 1994 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen in den Feldern Statistische

und Graphentheoretische Verfahren zur Datenanalyse. Nach der Promotion in Mathematik (1995) an der Universität Bielefeld hatte er verschiedene Leitungsfunktionen in der Industrie. Seit 2003 ist er Leiter des Bereichs „Betriebliches Informationsmanagement“ im Informatik-Institut OFFIS und beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit dem Einsatz von IT-Technologien in der Energiewirtschaft. Er ist im Vorstand des RIS Kompetenzzentrums Zukünftige Energieversorgung e.V. und des Oldenburger Energieclusters (OLEC).