Das intelligente Energiesystem als zukünftige Basis für ein nachhaltiges Energiemanagement

Dr.-Ing.
Jörg Benze

Leiter VDE-Fokusprojekt
„Energieinformationsnetze“

T-Systems Multimedia
Solutions GmbH
Riesaer Straße 5
01129 Dresden

joerg.benze@t-systems.com

Dipl.-Inform.
Christian Hübner

Angewandte
Informationstechnologien

ifak - Institut f.
Automation und
Kommunikation e.V.
Werner-Heisenberg-Str. 1
39106 Magdeburg

christian.huebner@ifak.eu

Dipl.-Phys.
Andreas Kießling

Projektleiter
Modellstadt Mannheim

MVV Energie AG
Luisenring 49
68159 Mannheim

andreas.kiessling@mvv.de

Abstract: Das Energieversorgungssystem steht vor einem Paradigmenwechsel. Die in der Vergangenheit vorherrschenden zentralen Erzeugungsstrukturen migrieren zu verteilten netzwerkartigen Erzeugungs-, Speicher-, und Verbrauchsstrukturen. Dies erfordert eine Vernetzung der Netzteilnehmer zu einem intelligenten Energieversorgungssystem (Smart Grid) als elementarer Bestandteil eines intelligenten Energiesystems. Der Beitrag präsentiert ein Begriffssystem für ein intelligentes Energiesystem und skizziert dessen Aufbau und Funktionsweise auf Basis der ersten Ergebnisse der VDE/ITG-Fokusgruppe Energieinformationsnetze.

1 Begriffe zum intelligenten Energiesystem auf Grundlage neuer Anforderungen

Energieversorgungssysteme waren in der Vergangenheit von zentralen Erzeugungs- und zentralen Netzsteuerungsfunktionen geprägt. Die Verbindung durch Kommunikationsnetze war dementsprechend für zentrale Erzeugungsanlagen, die Übertragungsnetze und die Verteilungsnetze bis hin zu den Trafostationen im Mittelspannungsbereich umgesetzt. Marktpartner sind heute vorrangig bezüglich regulierter Prozesse und zum Großhandelsmarkt verbunden. Der vor dem Ausbau mit dezentralen Erzeugungsanlagen nicht vorhandene Regelungsbedarf im Niederspanungsbereich führte dazu, dass nur geringer Bedarf an fernauslesbaren digitalen Messeinrichtungen, fernsteuerbaren Stelleinrichtungen und an der Einbeziehung von elektrischen Lasten in die Steuerung des Energiesystems bestand. Außerdem sind dezentrale Erzeugungsanlagen insbesondere für

erschienen im Tagungsband der INFORMATIK 2011
Lecture Notes in Informatics, Band P192
ISBN 978-3-88579-286-4

Wind- und Solarenergie heute noch nicht in Marktmechanismen eingebunden. Insoweit bestand nur eine geringfügige Verbindung von Elementen des Energieversorgungssystems mit Elementen der Kommunikations- und Automatisierungstechnik. Dies wandelt sich zunehmend mit dem Paradigmenwechsel von zentralen Erzeugungsstrukturen zu verteilten, netzwerkartigen Erzeugungs- und Speicherstrukturen.

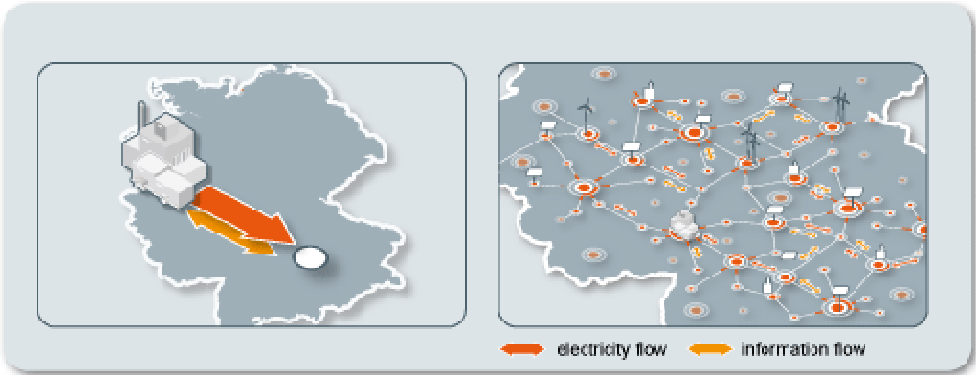

Abbildung 1: Paradigmenwechsel im Energieversorgungssystem

Die vorrangig passiven Energieversorgungsstrukturen in den unteren Spannungsebenen wandeln sich mit der zunehmenden Anzahl von dezentralen Energiequellen zu aktiven Strukturen, die zu regeln sind. Das bisher passive ***Energieversorgungssystem*** ist mit einem ***Energieinformationssystem*** zu verbinden, so dass ein ***intelligentes Energieversorgungssystem*** (***Smart Grid***) entsteht.

Auf dem Weg zur Entwicklung eines gemeinsamen Modells bzw. eines gemeinsamen Verständnisses für ein Energieinformationssystem ist als erster Schritt die Zusammenführung der verschiedenen Begriffswelten der Domänen „Energieversorgung“, „Kommunikation“ und „Automatisierung“ erforderlich, um eine gemeinsame Sprache zur Beschreibung eines intelligenten Energieversorgungssystems zu entwickeln.

Die klassische Architekturverteilung eines Energieversorgungssystems in Energiegewinnung, Energietransport, Energieverteilung und Energienutzung wird sich durch die steigende Anzahl der dezentralen Energiegewinnungsanlagen (z.B. Windkraft, Blockheiz-, Biomasse-, Geothermiekraftwerke, Solaranlagen, usw.) und vielfältigen Energiespeichern zu einer Peer-to-Peer-Architektur wandeln. Dies bedeutet die Evolution eines netzwerkartigen Systems mit Verbindungen von Systemelementen als Knoten zu einzelnen anderen Knoten. In dieser Architektur stellen Energiegewinnungsanlagen, Energie nutzende Geräte und Energiespeicher Knoten im Energieinformationssystem dar und werden durch sogenannte Netznutzer im elektrischen Netz betrieben. Energieübertragung und Energieverteilung mit zusätzlichen Automatisierungselementen (Messmittel, Stell-, Steuer- und Regelelemente) fallen mit zugehörigen Diensten unter die Verantwortlichkeit von Energie-Netzbetreibern. Dienste zur Vermittlung der Energie aus Gewinnungs-, Nutzungs- und Speicheranlagen über eine definierte Marktkommunikation liegen in der Verantwortlichkeit von

Marktakteuren. Zur Kommunikation der physischen Elemente zur Energiegewinnung, Nutzung und Speicherung sowie der Übertragung und Verteilung inklusive der Automatisierungselemente wird ein Peer-to-Peer Modell eines intelligenten Energieversorgungssystems definiert, womit Analogien zu heutigen Telekommunikationssystemen nutzbar sind. [VDE10]

Für die weiterführenden Betrachtungen soll zuerst das intelligente Energiesystem definiert werden.

Das ***intelligente Energiesystem*** **(*Smart energy system***; auch beschrieben mit der Metapher ***Internet der Energie***, in Deutschland mit der Marke ***E-Energy*** definiert) wird in nachfolgender Abbildung veranschaulicht. Es entspricht der Summe aus ***intelligentem Energieversorgungssystem*** (***Smart Grid***) als physische Infrastrukturebene vermittelt über IKT-Plattformen zur virtuellen Ebene der ***Energiedienste*** (e***nergy services***).

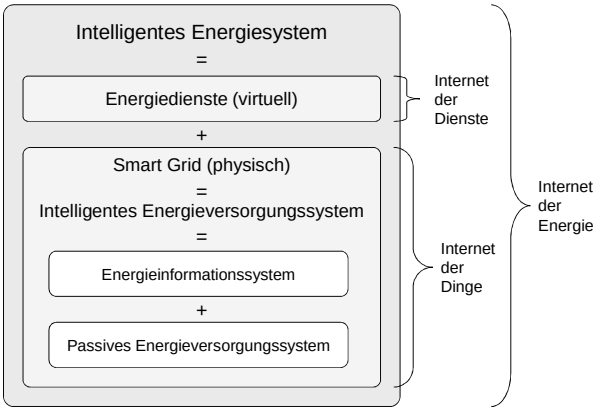

Abbildung 2: Das intelligente Energiesystem (Smart energy system)

Das Smart Grid als physische Ebene umfasst dabei die IP-basierte kommunikative Vernetzung von physischen ***Energiesystemelement***en. Somit kann es als ein Bereich im **Internet der Dinge** betrachtet werden. Die virtuelle Ebene zur elektronischen Kommunikation von Prozessschritten wiederum umfasst ***Energiedienste*** für den ***intelligenten Energiemarkt*** (***Smart energy market***) und die ***intelligente Energienetzführung*** (***Smart grid operations***). Diese Ebene wird durch eine elektronische Dienstekommunikation über das IP-Protokoll beschrieben und ist damit ein Bereich im ***Internet der Energiedienste***.

Analog dieser Betrachtungsweise wurde im Spiegelgremium DKE SMART.GRID zur IEC SMB SG 3 „Smart Grid“ der Begriff Smart Grid folgendermaßen definiert und auch in die deutsche Normungs-Roadmap [Dk10] übernommen:

„Der Begriff „Smart Grid“ (Intelligentes Energieversorgungssystem) umfasst die Vernetzung und Steuerung von intelligenten Erzeugern, Speichern, Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und -verteilungsnetzen mit Hilfe von

ISBN 978-3-88579-286-4

Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Ziel ist auf Basis eines transparenten energie- und kosteneffizienten sowie sicheren und zuverlässigen Systembetriebs die nachhaltige und umweltverträgliche Sicherstellung der Energieversorgung.“

Das nachfolgende Bild stellt die Wirkungen im Smart Grid auf Grundlage neuer Markt- und Netzführungstechnologien dar.

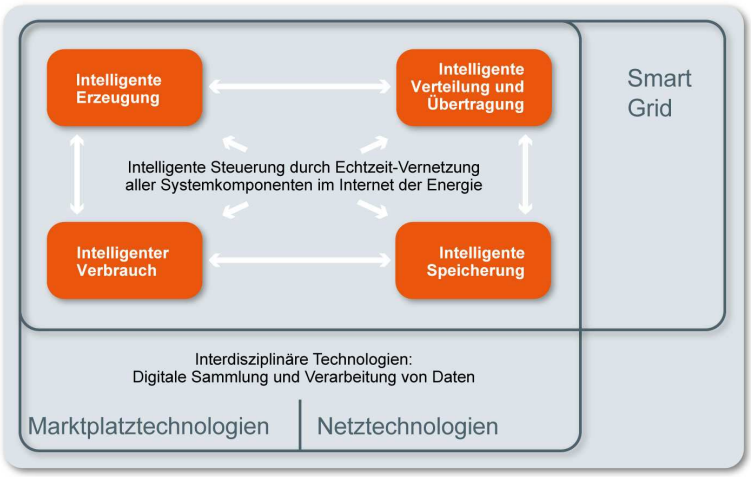

Abbildung 3: Smart Grid als gesamthaftes intelligentes Energieversorgungssystem

Zur Erläuterung der Verbindung von Energiesystemelementen als Bereich des Internets der Dinge mit dem Internet der Dienste wurde die Metapher ***Internet der Energie*** eingeführt.

Das intelligente Energieversorgungssystem (Smart Grid) wiederum entspricht der Verzahnung der bisher passiven Bereiche des ***Energieversorgungssystems***, bestehend aus den ***Energiesystemelementen***

- Energiegewinnungseinrichtungen (betrieben durch Rolle Erzeuger),
- Energiespeicher (Verantwortlichkeit in Rolle des Speicherbetreibers),
- Energienutzungseinrichtungen (betrieben durch Rolle des Verbrauchers oder Endkunden)
- und Einrichtungen zum Energietransport mit zugehörigen Betriebsmitteln (in Verantwortlichkeit der Rolle des Netzbetreibers)

mit einem ***Energieinformationssystem*** aus ***Kommunikationssystem*** und ***Automatisierungssystem***.

Das zukünftige intelligente Energiesystem aus verschiedenen Energieträgern (Elektrizität, Wärme, Gas) besteht also einerseits aus einem Netzwerk physischer Energiesystemelemente im Energieversorgungssystem sowie Elementen des Kommunikationssystems und des Automatisierungssystems, die miteinander

kommunikativ und informationsverarbeitend verbunden sind. Es besteht aber anderseits auch aus einer virtuellen Diensteebene für den Energiemarkt und die Energienetzführung zur Abwicklung des Austausches von Energie. In Deutschland wird mit E-Energy (intelligentes Energiesystem der Zukunft im Kontext des gleichnamigen Förderprogramms der Bundesregierung) die kommunikative Verbindung der genannten physischen Elemente, die Verbindung der Infrastruktur zu einer elektronischen Dienstebene über IT-Plattformen sowie die Dienstekommunikation mittels elektronischer Geschäftsprozesse unter Nutzung der Internetprotokolle implementiert.

Die Energiediensteumgebung (Internet der Dienste) als rein virtueller Raum für Geschäftsprozesse auf Basis von webbasierten, verteilten, gesicherten und echtzeitfähigen IT-Plattformen kann nur in Verbindung mit den physischen Komponenten der Energieversorgung existieren. Dazu gilt es die Infrastruktur der Versorgungswirtschaft für Elektrizität, Wärme und Gas als Energieversorgungssystem mit dem Internet als Kommunikationsnetz sowie zusätzlichen Automatisierungseinrichtungen zu einem intelligenten Energieversorgungssystem über eine vermittelnde Infrastruktur zu verbinden. Betrachtungen zum Betrieb dieser Infrastruktur sollen einem gesonderten Abschnitt geführt werden. Weiterhin gilt es, die Prozesses des Energiemarktes und der Energienetzführung miteinander in Einklang zu bringen (Abbildung 4), sowie die Sicherheit der Energieversorgung als kritische Infrastruktur und die Einhaltung der Bedürfnisse zur Informationssicherheit und des Schutzes privater Daten der Energienutzer trotz zunehmender Vernetzung zu gewährleisten. Dies wird deutlich hervorgehoben, um die Grenzen reiner Marktansätze sowie legislative und regulatorische Anpassungsbedarfe bei der Entfaltung der zukünftigen Energiewirtschaft zu erkennen, sowie die Netz- und Energienutzer immer im Auge zu behalten.

ISBN 978-3-88579-286-4

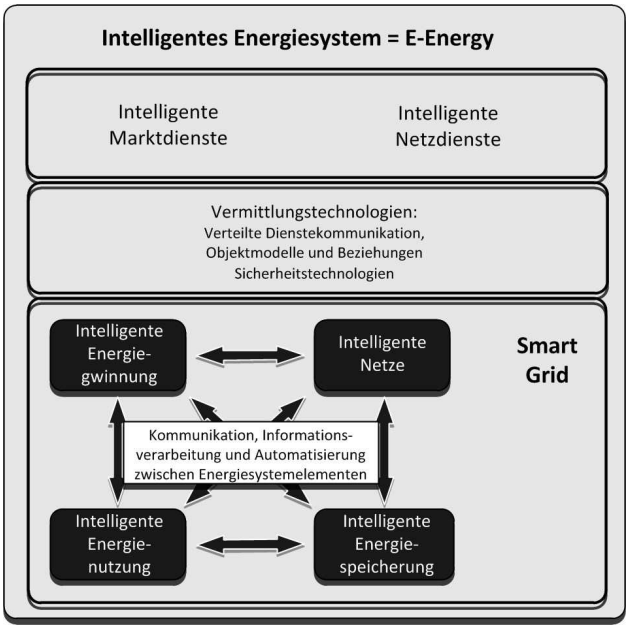

Abbildung 4: Markt- und Netzdienste im Kontext des Smart Grids

2 Referenzarchitektur für das intelligente Energiesystem

Das intelligente Energiesystem soll durch folgende vier Architekturebenen beschrieben werden, die zuerst mit nachfolgender Abbildung abgeleitet aus der Konzeptabbildung im vorhergehenden einleitenden Abschnitt eingeführt werden.

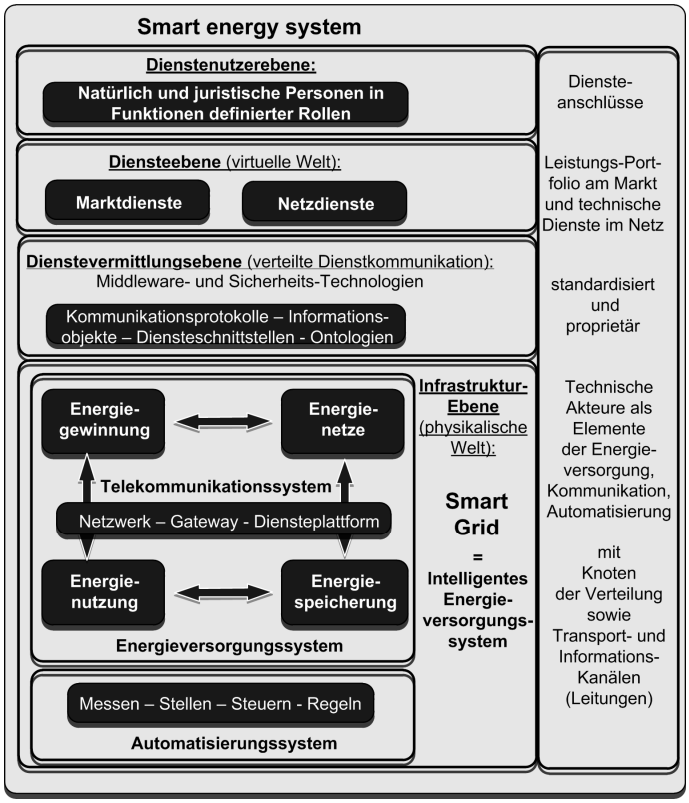

Abbildung 5: Modellierung des intelligenten Energiesystems (Smart energy system) als Smart Grid zuzüglich Markt- und Netzdienste [VDE10]

Die oberste Ebene wird als **Dienstenutzerebene** definiert. Als ***Dienstenutzer*** wirken ***Akteure*** in Form natürlicher oder juristischer Personen mit über Rollen zugeordneten Verantwortlichkeiten, welche die Dienste der darunter liegende Ebene nutzen. Die Rollendefinitionen werden in einem nachfolgenden Abschnitt gesondert ausgeführt.

Die **Diensteebene** beinhaltet beliebige Dienste im Rahmen elektronischer und verteilter automatisierter Prozesse, die teilweise unabhängig von der unterliegenden physischen Infrastruktur wirken können. Die Dienste sind auf Basis standardisierter Schnittstellen in der untergeordneten Ebene der Informationsobjekte und Kommunikationsprotokolle unabhängig von der verwendeten Infrastruktur zu definieren und über vermittelnde Technologien zu verbinden. Die Ebene beinhaltet die wettbewerblichen Dienste zur Kommunikation unter den Marktpartnern als Leistungs-Portfolio des Energiemarktes und technische Dienste der Netzführung im regulierten Rahmen. Beispielhaft sollen Dienste für folgende Anwendungsszenarien wie virtuelle Kraftwerke, Handels-operationen, ökologische und regionale Lieferprodukte mit variablen Tarifen, Messdatenerfassungen, Abrechnungsprozesse, Systemdienstleistungen, Energiedienst-leistungen, Netzführungsdienste, usw. genannt werden.

Die Integration zwischen der Diensteebene und der physischen Infrastruktur im Bereich des intelligenten Energieversorgungssystems erfolgt durch die ***Dienstevermittlungs*-ebene** mit den der Verbindung Middleware- und Sicherheitstechnologien. Damit wird die Dienstekommunikation in verteilten und echtzeitfähigen Anwendungen mittels definierter Informationsobjekte und Objektbeziehungen (Ontologien) sichergestellt, um das Internet der Dinge mit dem Internet der Dienste zum Internet der Energie zu verbinden. Aufgrund der damit vernetzten, kritischen Infrastruktur kommt den Sicherheitstechnologien zur Einhaltung der Bedürfnisse im Bereich Informationssicherheit und Schutz privater Daten höchste Bedeutung zu.

Ebenso wird insbesondere in diesem Bereich ersichtlich, warum auch dem Thema Standardisierung zur Beförderung eines offenen und wettbewerblichen Marktes im Rahmen einer automatisierten und elektronischen Kommunikation in einer sehr verteilten Umgebung besondere Priorität zukommt. Die Dienstevermittlungsebene ermöglicht den softwaretechnischen Zugang zu Komponenten der Infrastruktur-Ebene über die Verbindung von proprietären, geräteabhängigen Zugriffsschichten mittels standardisierter Kommunikationsprotokolle, Informationsobjekte, Objektbeziehungen und Diensteschnittstellen und stellt somit eine Middleware dar, mit deren Hilfe die Elemente der Infrastruktur-Ebene aus der virtuellen Umgebung der elektronischen Prozesse erreicht werden können.

Die unterste Ebene bildet als **Infrastrukturebene** die physische Welt des Smart Grids mit den Energiesystemelementen (ESE), die Elemente des Energieversorgungssystems, des Kommunikationssystems und des Automatisierungssystems umfasst. Diese Elemente gliedern sich folgendermaßen in technische Akteure und Leitungselemente

- Adressierbare ***technische Akteure*** des Energieversorgungssystems (***Teilnehmer*** im Kommunikationssystem) in Form von Energiesenken und Energiequellen,
- Adressierbare technische Akteure des Energieversorgungssystems (Teilnehmer im Kommunikationssystem) in Form von Betriebsmitteln in Netzknoten zur Verteilung von Energie,
- Nicht adressierbare Elemente des Energieversorgungssystems in Form von Leitungen oder Kanälen für Energietransport und Energieverteilung,
- Adressierbare technische Akteure des Automatisierungssystems (Teilnehmer im Kommunikationssystem) als informationsverarbeitende Elemente mit Mess-, Stell-, Steuer- und Regeleinrichtungen,
- Adressierbare technische Akteure des Kommunikationssystems in Form von Betriebsmitteln mit Einrichtungen in Netzknoten sowie ***Gateway***s als Kommunikationsbrücken zwischen Kommunikationsnetzen in verschiedenen Wirkungsdomänen des intelligenten Energiesystems und ***Diensteplattform***en als physische Ausführungsumgebung von Diensten und Träger von ***Dienstevermittlung***s-Technologien,
- Nicht adressierbare Elemente des Kommunikationssystems

Die Einführung elektronischer Prozesse mit Diensten im Energiemarkt und bei der Netzführung sowie die kommunikative Verbindung der physischen Elemente im

ISBN 978-3-88579-286-4

Energieversorgungssystem mit Automatisierungsdiensten führen zum Aufbau eines intelligenten Energiesystems (Smart energy system).

Der Sicherheitsaspekt für das beschriebene Modell unterliegt als Querschnittsfunktion für das Gesamtsystem einer vertikalen Betrachtung. Dieser Aspekt wird hier in der Darstellung insbesondere der Middleware als verbindende Infrastruktur zugeordnet, trifft aber auf alle Orte der Diensteausführung und Datenerfassung und –speicherung zu, da die Sicherheit des Gesamtsystems von der Sicherheit des schwächsten Teils der Sicherheitsarchitektur abhängt. Insofern muss jede virtuelle oder physische Komponente, die Bestandteil eines Dienstebausteins mit einem definierten Sicherheitslevel ist, für sich selbst und im Zusammenspiel mit den Gesamtsystem ein für den Zweck (Dienstebaustein) notwendigen Sicherheitslevel aufweisen. Das Thema Informationssicherheit kann bei der hier geführten Architekturbetrachtung nicht ausreichend behandelt werden. Verwiesen wird hierzu auf folgende Quelle [Ib09].

Auf der Grundlage der Referenzarchitektur findet eine weitere Unterteilung des Energiesystems in Wirkungsdomänen statt (Abbildung 6) Dabei wird hier innerhalb der abstrakten Domänengruppen vorrangig auf die Domänen im Bereich Elektrizität Bezug genommen.

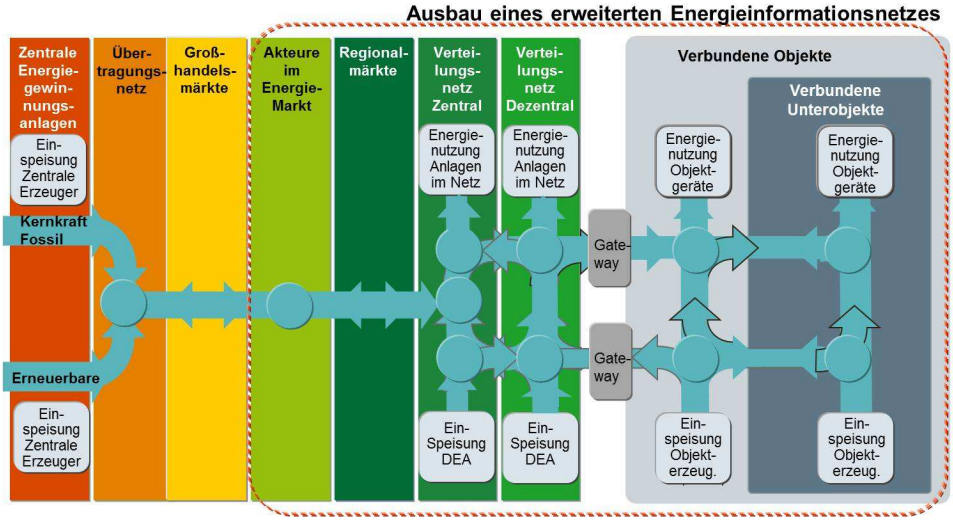

Abbildung 6: Wirkungsdomänenmodell mit Energieinformationsnetz

- Domänengruppe Energietransportnetze mit den Wirkungsdomänen
  - ➔ ***Übertragungsnetz*** für Elektrizität
  - ➔ ***Verteilungsnetz***
- Domänengruppe Energiegewinnungseinheiten mit den Wirkungsdomänen

- ➔ ***zentrale Energiegewinnungseinheit*** in Großanlagen innerhalb von Übertragungsnetzen
- ➔ ***dezentrale Energiegewinnungseinheit in den Verteilungsnetzen***
- ➔ ***Kleinenergiegewinnungseinheit in den Netznutzerobjekten***

❖ Domänengruppe für die Objekte des Netznutzers als Anschlusspunkte in den Energietransportnetzen

- ➔ ***Wohnobjekte***
- ➔ ***kommerzielle Objekte***
- ➔ ***Industrieobjekte***
- ➔ ***Mobile Objekte***

❖ Domänengruppe Energienutzungseinheiten

- ➔ ***Geräte im Haushalts-, Büro- und Gebäudebereich***
- ➔ ***Anlagen im Gewerbe- und Industriebereich***
- ➔ ***Energiespeicher***

❖ Domänengruppe Energiemarkt

- ➔ ***Energiegroßhandelsmarkt***
- ➔ ***Regelenergiemarkt***
- ➔ ***Technologie- und Energiedienstleistungsmarkt***
- ➔ ***Regionalmarkt***

Das Wirkungsdomänenmodell ist geeignet, die Abbildung der aufgezeigten Referenzarchitektur auf zellulare Netzstrukturen mit jeweils kompletter Ausstattung an Elementen im Energiesystem vorzunehmen. Es entsteht damit ein gesamthaftes intelligentes Energieversorgungssystem (Smart Grid) mit einzelnen, aber verbundenen Zellen.

3 Zellulares Systemmodell

Das eingeführte Begriffsmodell wird bezüglich der Anwendung auf eigenständige und verbundene Regelkreise im intelligenten Energieversorgungssystem ausgeführt. Diese Regelkreise bilden sogenannte Zellen mit einem vollständigen Satz der technischen Akteure als Elemente des Energieversorgungssystems sowie Elemente des Kommunikations- und Automatisierungssystems.

Der Begriff der technischen Akteure wurde angewendet auf

- Elemente des Energieversorgungssystems in Form von ***Energiequellen*** (Energiegewinnungseinrichtungen), ***Energiesenken*** (Energienutzungseinrichtungen) sowie deren Kombination (Energiespeicher),
- Elemente des Energieversorgungssystems in Form von ***Netzbetriebsmitteln*** zum Transport und Verteilung von Energie (***Energieknoten*** zur physischen Leistungsverteilung im Energieversorgungsnetz sowie ***Energietransportleitungen*** als passive Transportkanäle des Energieversorgungsnetzes),

ISBN 978-3-88579-286-4

- Elemente des Kommunikationssystems zum Informationstransport mit ***Kommunikationsknoten*** und ***Kommunikationsleitungen*** sowie ***Gateways*** als Kommunikationsbrücken zwischen verschiedenen Wirkungsdomänen des intelligenten Energiesystems und ***Diensteplattformen*** als physische Ausführungsumgebung von Diensten
- informationsverarbeitende Elemente des Automatisierungssystems mit Mess-, Stell-, Steuer- und Regeleinrichtungen.

Die Elemente des Energieversorgungssystems sind als abgeschlossene Systeme Teil eines energetischen Gesamtsystems, aber bisher nicht immer kommunikativ und damit nicht Teil eines informationstechnischen Gesamtsystems. Um das intelligente Energieversorgungssystem zu schaffen, ist jedoch diese Gruppe der technischen Akteure des Energieversorgungssystems für den Zweck des Informationsaustausches und der Informationsverarbeitung sowie zur Interaktion im Umfeld einer verteilten Automatisierung mit einem informations- und kommunikationstechnischen (IKT-) Interface zu versehen. Mit dieser bidirektionalen Schnittstelle zur Umgebung werden diese Akteure zu Teilnehmern eines Energieinformationssystems aus Kommunikations- und Automatisierungssystem. Dabei können die energetischen Betriebsmittel selbst dieses Interface als Erweiterung des Gerätes oder der Anlage enthalten oder mit weiteren Akteuren, die als gesonderte technische Akteure Kommunikations- und Automatisierungsfunktionen abbilden, verbunden sein.

Mit dieser Betrachtung kann eine Zelle als eigenständiger Regelkreis modelliert werden, die einen vollständigen Satz an Elementen des Energieversorgungssystems und des Automatisierungssystems besitzt und über Elemente des Kommunikationssystems vernetzt ist. Dazu besitzt jede Zelle analog zur Referenzarchitektur mindestens eine Kommunikationsbrücke (Gateway). Zusätzlich erhält jede Zelle zur Ausprägung des Kommunikationssystems auch mindestens eine Diensteplattform, wobei auch jedes energetische Betriebsmittel selbst Träger einer Diensteplattform sein kann. Schließlich wird zur Ausprägung des Automatisierungssystems jede Zelle mit informationsverarbeitenden Bausteinen (Mess-, Stell-, Steuer- und Regeleinrichtungen) ausgestattet, wobei auch hier wiederum jeder Baustein selbst Träger einer Diensteplattform sein kann.

Das beschriebene informations- und kommunikationstechnische Interface stellt damit das ***bidirektionale Energiemanagement-Interface*** in den Wirkungsdomänen der Netze, der Objekte, der Energiegewinnungsanlagen und der energienutzenden Geräte dar.

Die energetischen Betriebsmittel (Elemente des Energieversorgungssystems) als Energiesenken und Energiequellen erweitert um das bidirektionale Energiemanagement-Interface aus Kommunikations- und Automatisierungssystem bilden eine Energiezelle. Verbundene Zellen bilden einen Bereich des Energieversorgungsystems einer Region. Der Begriff der Zelle lässt sich nun, wie oben schon ausgeführt, bei Vorhandensein eines vollständigen Satzes von Energiesystemelementen auf die Wirkungsdomänen der Verteilungsnetze, der Übertragungsnetze sowie der netznutzerseitigen Objekte anwenden.

Das heißt, die Referenzarchitektur bildet sich mit der zellularen Struktur immer wieder in gleicher Weise in Wirkungsdomänen ab. Es entsteht ein verbundenes System aus

ISBN 978-3-88579-286-4

Zellen als sogenannte Microgrids, die zu einem gesamthaften intelligenten Energiesystem verbunden sind.

Auf Grundlage der vollständigen Ausstattung in Wirkungsdomänen der Infrastrukturebene

- mit energetischen Betriebsmitteln,
- mit Automatisierungsbausteinen,
- mit kommunikativer Vernetzung durch das Kommunikationssystem innerhalb der Zelle,
- mit Gateways zur Verbindung von Zellen und
- mit Dienstplattformen als Träger von Ausführungsumgebungen für Dienste

wird die Verbindung eines jeden technischen Akteurs der Infrastruktur vermittelt über die Dienstvermittlungsebene mit der durch Dienstenutzer entfernt von der Zelle anwendbaren Dienstebene möglich. Ebenso wird eine vollständige Abbildung eines eigenständigen Regelkreises in der Zelle durch Implementierung einer Dienstevermittlungsebene und der Dienstebene innerhalb der Zelle geschaffen.

Dies ermöglicht die Reduktion der Komplexität durch Zellbildung zur Regelung des Energieversorgungssystems. Die gesamthafte Regelung einer Vielzahl von Elementen im Energieversorgungssystem im Übertragungsnetz oder im Verteilungsnetz durch vorrangig zentrale Netzführungsmethoden wird in eine weniger komplexe Regelung in einer Zelle des Energieversorgungssystems mit einer Teilmenge der genannten Elemente überführt. Die Regelkreise zur dezentralen Netzführung in Zellen werden wiederum durch Mechanismen externer Randbedingungen aus der zentralen Netzführung und Anreizen zum Zusammenwirken der Netzzellen zu einem gesamthaften Netz verbunden. Die Zellen sollen nur im Falle von Störungen als eigenständige Netze, sogenannte Microgrids [Ha09], wirken, die die Fähigkeit zur Inselbildung und zum Selbststart besitzen, sich aber nach Störungsbeseitigung wieder verbinden. Gleichzeitig sollen diese Zellen sich aber derart energetisch selbst optimieren, dass Strom nahe am Erzeugungsort verbraucht wird, Energieflüsse über große Entfernungen reduziert werden und damit Netzausbau minimiert wird.

4 Verteilte Steuerung der Zellstrukturen durch Agenten

Aufgrund der inhärent dezentralen Struktur des zellularen Systemansatzes bietet sich für die Beschreibung konkreter Steuerungsstrukturen eine Agenten-orientierte Sichtweise an, d.h. die mit lokaler Intelligenz ausgestatteten Steuerungseinheiten werden als Agenten bezeichnet unabhängig davon, welche konkrete Technologie für deren Implementierung zu Anwendung kommt.

Eine mögliche Steuerungsstruktur für das im vorangegangenen Abschnitt vorgestellte zellulare Systemmodell ist in Abbildung 7 dargestellt [VDE10]. Demnach bildet die Objektnetzzelle (ONZ) die kleinste zu steuernde Einheit im System und umfasst jeden Netznutzer, sowohl Energienutzer als auch dezentrale Einspeiser in der Nieder- und Mittelspannungsebene. Die Steuerung der einzelnen Verbraucher, Speicher und

ISBN 978-3-88579-286-4

Erzeugeranlagen innerhalb einer Objektnetzzelle sowie die IKT-Einbindung in das Verteilungsnetz werden durch den ONZ-Agenten realisiert.

Die einzelnen Objektnetzzellen in einem Strang der Niederspannungsebene werden zu einer Verteilungsnetzzelle (VNZ) zusammengefasst, deren Steuerung und IKT-Einbindung in die höhere Spannungsebene wiederum durch einen VNZ-Agenten bewirkt wird. Zu diesem Zweck besteht zu jedem der zugeordneten ONZ-Agenten ein bidirektionaler Kommunikationskanal, der zum Transport von Steuersignalen und Messwerten dient. Zusätzliche Messungen relevanter Kenngrößen der Netzqualität ermöglichen dem VNZ-Agenten den Netzzustand in seinem Zuständigkeitsbereich zu bestimmen. Während der VNZ-Agent aus Entflechtungsgründen nur für die Netzführung in dezentralen Strukturen des Verteilungsnetzes zuständig sein kann, lassen sich dezentrale Marktfunktionen als Bestandteil des Marktplatzes der Energie automatisiert durch einen Markt-Agenten umsetzen. Markt-Agenten und Netz-Agenten interagieren automatisiert zur Abbildung der entflechteten energiewirtschaftlichen Prozesse in regionalen Strukturen.

Die VNZ-Agenten sind kommunikativ verbunden und verhalten sich kooperativ, um gemeinsam zur Netzstabilität beizutragen. Darüber hinaus besteht eine Kommunikationsverbindung zum VNZ-Agenten der Mittelspannungsebene, der die Verteilungsnetzzellen der Niederspannung zusammenfasst und auch die Steuerung von Objektnetzzellen übernimmt, welche direkt an die Mittelspannung angeschlossen sind (z.B. Industriebetriebe und Windkraftanlagen). Auch auf dieser Ebene werden zusätzliche Messungen vorgenommen, um den Netzzustand erfassen zu können. Wie in Abbildung 7 angedeutet, ist auch der VNZ-Agent der Mittelspannungsebene mit benachbarten VNZ-Agenten verbunden und in die höhere Steuerungsebene (Leitwarte des Verteilungsnetzbetreibers) integriert.

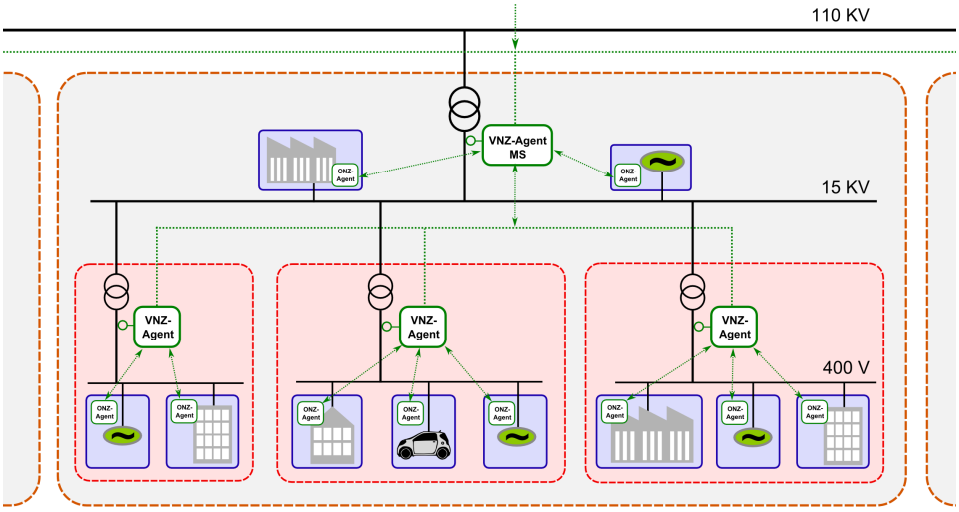

Abbildung 7: Agenten-orientierte Zellstruktur im intelligenten Energiesystem [VDE10]

Kommunikationsmittel

Für den Informationsaustausch zwischen dem VNZ-Agenten und seinen zugeordneten ONZ-Agenten ist eine auf TCP/IP basierende Kommunikationstechnologie vorgesehen. Aus diesem Grund kommen im Wesentlichen nur zwei grundsätzliche Übertragungsmöglichkeiten in Frage. Zum einen die Übertragung direkt über das Stromnetz mit Hilfe von breitbandiger Power Line Carrier-Kommunikation (BPL), zum anderen die Nutzung der öffentlichen Telekommunikationsinfrastruktur über DSL, Breitbandkabel, Glasfasernetz oder GSM/UMTS. Die Verwendung von Breitband-BPL hat den Vorteil, dass die Signale überall verfügbar sind, wo auch ein Anschluss an das Stromnetz vorhanden ist, und sich damit eine kostengünstige Kommunikationsinfrastruktur herstellen lässt. Die Nutzung aller anderen öffentlichen Telekommunikationsmedien bietet sich natürlich genauso an, da immer mehr Haushalte über einen Breitbandinternetanschluss mit Flatrate-Tarif verfügen und die bislang unerschlossenen Gebiete in Zukunft durch den Einsatz des Mobilfunkstandards LTE (UMTS-Nachfolger) mit Breitband versorgt werden sollen. Da diese Kommunikationswege nicht garantiert verfügbar sind, werden zukünftig neue Partnerschaften zwischen Energienetzbetreibern und Telekommunikationsanbietern notwendig. Zudem müssen besonders hohe Ansprüche an Sicherheit und Integrität der zu übertragenden Daten gestellt werden, d.h. es muss eine entsprechende Sicherheitsinfrastruktur für die kritische Energieinfrastruktur betrieben werden.

Für die Kommunikation zwischen den VNZ-Agenten untereinander kommen ebenfalls alle genannten verfügbaren Telekommunikationsmittel für eine IP-basierte Kommunikation in Frage. Aufgrund der im Vergleich zu den ONZ-Agenten sehr geringen Zahl der VNZ-Agenten können mehrere Kommunikationswege parallel genutzt werden. Wichtig ist, dass mehrere physische Netze zu einem besonders abgesicherten virtuellen Netz zusammengeführt werden.

Diensteplattformen als Ausführungsumgebung

Die ONZ-Agenten können als Teil eines Energie-Management-Gateways im Hoheitsbereich der Netznutzer betrachtet werden. Die Open Gateway Energy Management Alliance (OGEMA) entwickelt eine offene Software-Plattform, die als „Betriebssystem für das Energy-Management“ bezeichnet wird und die Einbindung von beliebigen Kommunikationssystemen erlaubt. Konkrete Applikationen und Dienste können für diese Plattform in Java entwickelt werden. Somit kann die softwaretechnische Umsetzung des ONZ-Agenten als ein Dienst auf Grundlage von OGEMA erfolgen.

Die VNZ-Agenten sind dem Verteilungsnetzbetreiber zugeordnet und können daher in den Ortsnetzstationen untergebracht werden, die zu diesem Zweck mit Kommunikationseinrichtungen und einem entsprechenden Rechner (Industrie-PC) ausgestattet werden müssen. Da sich die Aufgaben von VNZ-Agenten und ONZ-Agenten ähneln, liegt es nahe, hierfür auch die gleiche Ausführungsumgebung bereitzustellen. Somit bietet es sich an, auch für den VNZ-Agenten die OGEMA-Plattform zu verwenden und diese ggf. zu erweitern.

Aufgrund der Agenten-orientierten Sichtweise auf die Verteilungsnetzautomation sollte auch der Einsatz spezieller Agenten-Technologien erwogen werden. Die „Foundation for Intelligent Physical Agents“ (FIPA) ist ein Standardisierungsgremium in der IEEE

ISBN 978-3-88579-286-4

Computer Society mit dem Ziel eine Kommunikationsgrundlage für heterogene, interagierende Agentensysteme zu schaffen. Dies schließt sowohl die Standardisierung von Agenten-Plattformen als auch die Spezifikation der Interaktionen der Agenten ein. Mehrere offene und kommerzielle Implementierungen dieser Spezifikationen sind verfügbar, die überwiegend in Java realisiert sind. Anstelle der Verwendung eines vollständigen Agenten-Frameworks kann bereits die Nutzung einzelner Standards (z.B. FIPA Agent Management Specification oder FIPA Agent Communication Language) vorteilhaft sein. Erste Ansätze zur Nutzung von Agenten-Systemen zur Steuerung von Energiesystemen wurde bereits in einigen Forschungsprojekten untersucht [Di04] [Lo10]. Dabei kam überwiegend das Java-basierte Agenten-Framework JADE [Be07] zum Einsatz, das die FIPA-Spezifikationen umsetzt.

Für die von den ONZ-Agenten bereitgestellte Schnittstelle ist eine Standardisierung unerlässlich, da die VNZ-Agenten eine Vielzahl von Objektnetzzellen einbinden müssen und der Aufwand zur Integration proprietärer Lösungen zu groß wäre. Diese Schnittstelle wurde im vorausgegangenen Abschnitt als bidirektionales Energiemanagement-Interface eingeführt. Dabei ist zu beachten, dass es verschiedene Klassen von Objektnetzzellen bzw. Netznutzern geben kann (z.B. direkt steuerbare Erzeugeranlagen/indirekt steuerbare Haushalte), die ggf. unterschiedliche Ausprägungen der Schnittstelle erfordern. Im Gegensatz dazu muss die funktionale Schnittstelle zwischen den VNZ-Agenten sowie deren Steuerungsalgorithmen nicht notwendigerweise standardisiert werden, da angenommen werden kann, dass alle VNZ-Agenten innerhalb eines konkreten Verteilungsnetzbereiches vom selben Anbieter stammen.

5 Fazit

Die Energieversorgungssysteme stehen am Anfang eines tiefgreifenden Wandlungsprozesses, der vor allen durch die voranschreitende Digitalisierung der Verteilnetze gekennzeichnet ist. Die Realisierung eines Smart Grid erfordert den interdisziplinären

ISBN 978-3-88579-286-4

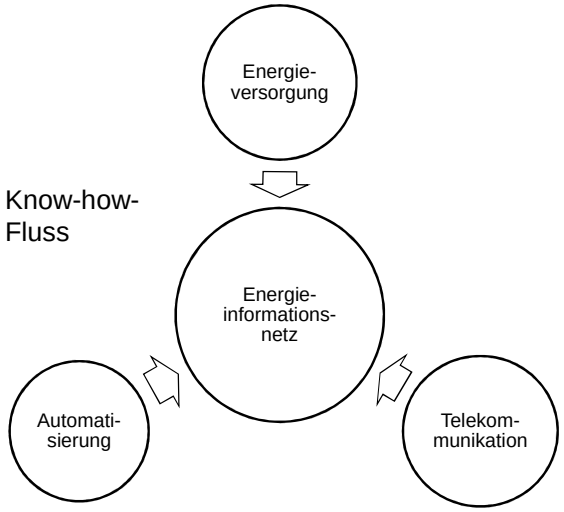

Abbildung 8: Erforderliches interdisziplinäres Know-how zur Realisierung eines Energieinformationsnetzes [VDE10]

Einsatz und die Integration von Know-how aus drei Domänen (Abbildung 8) zu einem neuen Wissensgebiet, dass der Energieinformationsnetze, welches sind von da an zu einem eigenen Fachgebiet entwickeln wird. Auf Basis von [Ib10] und [VDE10] zeichnet sich ab, dass ein Smart Grid eine zellulare Struktur aufweisen wird, bei dem die Zellen untereinander und hierarchisch kooperativ interagieren. Durch das Referenzmodell wird der Einsatz von Diensten unabhängig von der unterliegenden physischen Infrastruktur möglich. Durch den Einsatz von neuen Web-Technologien (Smart Power Grid Services) wird der massenmarktfähige digitale Zugang für Menschen und Maschinen zu Diensten des Smart Grids ermöglicht (vergleichbar dem heutigen Zugang zu Finanzdienstleistungen wie bspw. Online-Banking, Online-Broking, etc.).

Literaturverzeichnis

[Be07] F. L. Bellifemine, G. Caire, D. Greenwood: Developing Multi-Agent Systems with JADE, WILEY, Februar 2007

[Di04] A. Dimeas, N. Hatziargyriou: A Multi-Agent System for Microgrids, 3rd Hellenic Conference on Artificial Intelligence, Samos, Griechenland, Mai 2004

[Dk10] DKE - Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE in Zusammenarbeit mit E-Energy, Die deutsche Normungsroadmap E-Energy / Smart Grid – Version 1.0, Frankfurt, April 2010.

[Ha09] N.D. Hatziargyriou, A. G. Anastasiadis, A.G. Tsikalakis: Quantification of Economic, Environmental and Operational Benefits of Microgrids, IEEE PowerTech 2009, Bukarest, Rumänien, Juni 2009

[Ib10] Verantwortlicher Konsortialpartner: IBM, Mitwirkende Konsortialpartner: Ingmar Bergmann(IBM), Alfred Malina (IBM), Andreas Kießling (MVV), Markus Rindchen

ISBN 978-3-88579-286-4

(PPC), Herr Marius Rosau/Mike Trautmann (UDE), Herr Dr. David Nestle (Fraunhofer IWES); Ergebnisstudie E-Energy-Projekt Modellstadt Mannheim (moma), Arbeitsschritt 5.2 – Konzept zur internationalen Standardisierung; erschienen in moma; Mannheim; 01.02.2010

[Lo10] T. Logenthiran, Dipti Srinivasan, Ashwin M. Khambadkone: Multi-Agent System for Energy Resource Scheduling of Integrated Microgrids in a Distributed System, Electric Power Systems Research, August 2010

[VDE10] VDE – ITG-Fokusgruppe; Positionspapier - Energieinformationsnetze und systeme; 11/2010

ISBN 978-3-88579-286-4