



> Forschungsfragen im  
„Internet der Energie“

Hans-Jürgen Appelrath, Frank Behrendt,  
Kristina Bognar, Friedemann Mattern,  
Christoph Mayer, Markus Weiss

**acatech MATERIALIEN – NR. 1**

Diskussionspapier für die acatech Projektgruppe  
„Future Energy Grid – Migrationspfade ins Internet der Energie“

**Autoren:**

Prof. Dr. Dr. h. c. Hans-Jürgen Appelrath  
Universität Oldenburg  
Department für Informatik  
26121 Oldenburg

Prof. Dr. rer. nat. habil. Frank Behrendt  
Technische Universität Berlin  
Institut für Energietechnik  
10623 Berlin

Kristina Bogner  
Technische Universität Berlin  
Institut für Energietechnik  
10623 Berlin

Prof. Dr. Friedemann Mattern  
ETH Zürich  
Institute for Pervasive Computing  
8092 Zürich

Dr. Christoph Mayer  
OFFIS e. V.  
26121 Oldenburg

Markus Weiss  
ETH Zürich  
Department of Computer Science  
8092 Zürich

**Projekt:**

Future Energy Grid - Migrationspfade ins Internet der Energie

**Empfohlene Zitierweise:**

Appelrath, Hans-Jürgen et al.: Forschungsfragen im „Internet der Energie“. acatech Materialien Nr. 1, München 2011.

**Reihenherausgeber:**

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

Geschäftsstelle  
Residenz München  
Hofgartenstraße 2  
80539 München

acatech Hauptstadtbüro  
Unter den Linden 14  
10117 Berlin

T +49(0)89/5203090  
F +49(0)89/5203099

T +49(0)30/206309610  
F +49(0)30/206309611

E-Mail: [info@acatech.de](mailto:info@acatech.de)  
Internet: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

ISSN: 2191-8481/ISBN: 978-3-942044-93-6

© acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften 2011

Redaktion: Dr. Christoph Meyer, Samia Salem  
Layout-Konzeption: acatech  
Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS, Sankt Augustin  
Druck: LaserLine

## > INHALT

<b>1. ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN</b>	<b>4</b>
<b>2. EINLEITUNG UND MOTIVATION</b>	<b>4</b>
Herausforderung für das IdE	5
Lösungskonzept: Smart Grid und IdE	5
Zukünftige Hauptaufgaben des IdE	6
<b>3. FORSCHUNGSFRAGEN ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE IM IdE</b>	<b>6</b>
3.1 Kunde/Abnehmer	6
3.2 Stromtransport/Netzbetrieb	9
3.3 Erzeugung	11
3.4 Handel	13
3.5 Services	14
<b>4. FORSCHUNGSFRAGEN ZU ÜBERGREIFENDEN THEMEN</b>	<b>15</b>
4.1 Energiesysteme	15
4.2 Interoperabilität, Integration und Kommunikation	16
4.3 Sicherheit/Informationssicherheit	18
<b>5. REFERENZEN</b>	<b>20</b>

## 1. ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN

Ziel des vorliegenden Diskussionspapiers für die acatech Projektgruppe „e-Energy/Internet der Energie“ ist eine Zusammenstellung des wesentlichen Forschungs- und Entwicklungsbedarfs im Umfeld der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)<sup>1</sup> hinsichtlich der Vision eines „Internet der Energie“ (IdE). Das Papier fokussiert daher Fragen, die einen starken Bezug zu einer zunehmend „automatisierten Intelligenz“ der Energieversorgung haben. Insbesondere werden elektrotechnische, soziologische, ökologische, ökonomische und regulatorische Aspekte nur soweit erwähnt, wie sie zur Klärung der IKT-Anforderungen des Internets der Energie notwendig sind (z.B. Akzeptanzfragen bezüglich des IKT-Einsatzes bei Kunden).

In allen Bereichen des IdE bestehen offene Forschungsfragen, deren Beantwortung für den Aufbau der Energieversorgung der Zukunft notwendig ist. Der überwiegende Teil der Fragen zielt dabei auf die Entwicklung von IKT-Komponenten und IKT-basierten Prozessen, die sich in der energiewirtschaftlichen Praxis marktrelevant verwerten lassen. Durch den angestoßenen Wissens- und Technologietransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft ergeben sich gute Chancen für deutsche Unternehmen (Hersteller, IKT-Unternehmen, Dienstleister, Anlagenhersteller usw.) in einem dynamischen Wachstumsmarkt. Ein wesentliches Schlüsselement bei der Umsetzung des IdE ist dabei die schrittweise und systematische Realisierung von Interoperabilität durch geeignete Standards. Dies schafft nicht zuletzt Investitionssicherheit für Hersteller und Anwender von IKT-Komponenten für die Energiewirtschaft.

### EMPFEHLUNGEN

Die Vielfalt der noch zu lösenden FuE-Aufgaben verlangt nach konkreten und vor allem priorisierten Maßnahmen zur Umsetzung für Politik, Wissenschaft und Wirtschaft. Dazu fehlen jedoch detaillierte Untersuchungen der Forschungsfragen und deren Eingliederung in ein nationales energiepolitisches Gesamtszenario, die Ermittlung der Wettbewerbssituation der deutschen Wissenschaft und Wirtschaft sowie die anschließende Gewichtung der Fragestellungen bzw. der resultierenden Handlungsempfehlungen.

In einer von acatech zu erstellenden Studie sollten daher folgende Fragestellungen bearbeitet und recherchiert werden:

- Wie ist der internationale Entwicklungsstand beim Thema IdE?
- Welche Entwicklungsziele werden international verfolgt?
- Welche technologischen Herausforderungen resultieren für die einzelnen Branchen?
- Welche Wettbewerbsposition hat die deutsche Wissenschaft in den relevanten Themenfeldern?
- Welche Wettbewerbsstellung haben die Unternehmen in den Themenfeldern?
- Welche Prioritäten werden von der deutschen Industrie und weiteren wichtigen Akteuren beim Thema IdE gesehen?

Dazu müssen geeignete Kriterien bzw. Kategorien zur Einordnung der IdE-Aktivitäten definiert werden, um zu einem aussagekräftigen Vergleich zu gelangen.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen sollten in der Studie in Abhängigkeit von möglichen Szenarien konkrete Maßnahmen für die Politik, Wissenschaft und Wirtschaft erarbeitet und empfohlen werden. Diese beinhalten insbesondere, welche Fragestellungen dringlich für die mittel- und langfristige Wettbewerbsposition für Wissenschaft und Industrie zu bearbeiten sind und welche Aspekte der Themenfelder genauer analysiert bzw. erforscht werden müssen.

## 2. EINLEITUNG UND MOTIVATION

In Deutschland liegt der gegenwärtige Anteil der Nutzung erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung bei ca. 16 %<sup>2</sup>. Für das Jahr 2020 strebt die Bundesregierung einen Anteil von 30 % der erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung<sup>3</sup> und damit eine Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern an. Daher wird ein Nebeneinander von fluktuierender Einspeisung aus großen Kraftwerksparks (etwa bei der Offshore-Nutzung von Windenergie), dezentralen Kleinerzeugern und den verbleibenden konventionellen Kraftwerkskapazitäten zu beherrschen sein.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Im Folgenden wird der Kürze halber nur noch von Forschungsbedarf, Forschungsfragen etc. gesprochen.

<sup>2</sup> Brutto-Stromerzeugung 2009 nach Energieträgern in Deutschland [http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE\\_Brutto-Stromerzeugung\\_2007\\_nach\\_Energietraegern\\_in\\_Deutschland](http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_Brutto-Stromerzeugung_2007_nach_Energietraegern_in_Deutschland)

<sup>3</sup> <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/44741/>

<sup>4</sup> Technologien wie z.B. die Kernfusion, von denen noch nicht absehbar ist, ob sie industrielle Reife erlangen, werden im IdE-Zusammenhang nicht betrachtet.

## HERAUSFORDERUNG FÜR DAS IdE: STRUKTURWANDEL IN DER (ELEKTRISCHEN) ENERGIEWIRTSCHAFT

Die Stromversorgungskonzepte in den Industrieländern beruhen heute im Kern auf der Verfügbarkeit fossiler Großkraftwerke, in denen Wärme bereitgestellt wird, die mittels Turbinen und davon wiederum angetriebenen Generatoren in elektrische Energie überführt wird. Diese wird dann über die Übertragungsnetze (für Hoch- und Höchstspannungen oberhalb von 50 kV) und Verteilnetze (Mittel- und Niederspannung) industriellen und privaten Nutzern zugeführt. Teilweise wird die Wärme auch direkt für Nah- und Fernwärmeversorgungskonzepte genutzt. Durch den heutigen Mix von Grundlast, Mittellast und Spitzenlastkraftwerken kann so annähernd jeder auftretende Bedarf bedient werden.

Bei diesem meist uni-direktionalen Konzept besteht keine oder nur eine sehr geringe Notwendigkeit an Speicherkapazitäten für überschüssigen Strom. Der hauptsächlichliche Speicher ist zumeist der fossile Energieträger, dessen Einsatz sich an der jeweiligen Bedarfssituation orientiert. Die Anforderungen an die Steuer- und Regelkonzepte für die Bereitstellung elektrischer Energie sind in diesem Szenario von überschaubarer Komplexität und wurden über lange Zeit verlässlich ohne den Einsatz von IKT geregelt. Die Lastflüsse sind überwiegend vertikaler Natur in Richtung abnehmender Spannungsebenen (so genannte Top-Down-Energieversorgung). Schon heute – und zukünftig in erheblichem Maße – ist das Angebot an Strom aus Windkraft und Photovoltaik und die Nachfrage seitens der Verbraucher nicht deckungsgleich. Hieraus resultiert eine erhebliche Veränderung der Lastflüsse auf den einzelnen Spannungsebenen, die in der Umkehr dieser Flüsse hin zu höheren Spannungsebenen resultieren können (so genannte Bottom-Up-Energieversorgung). Die erforderlichen Überwachungs-, Mess- und Regelkonzepte sowie deren verlässliche Implementierung werden erhebliche Anforderungen an die eingesetzte Hardware und Software stellen.

Darüber hinaus kehrt sich ein bisher zentrales Paradigma der Stromversorgung teilweise um: Folgt heute die Erzeugung elektrischer Energie dem Verbrauch (die Kraftwerke werden im sog. Lastfolgebetrieb gefahren), wird sich der Verbrauch in Zukunft stärker nach der intermittierenden Erzeugung richten müssen (Demand Side Management). Um die vielen kleinen Erzeuger und auch Verbraucher künftig zu steuern, sind grundlegend neue Ansätze und Konzepte notwendig. Eine fehlende

Koordination des Netzbetriebs (physikalischer Stromfluss in Echtzeit) mit dem Marktgeschehen (15 Min. Intervalle, Berücksichtigung der individuellen Spitzenlast unabhängig von der Spitzenlast im Netz) wird in Zukunft zu nicht beherrschbaren Problemen führen.

## LÖSUNGSKONZEPT: SMART GRID UND IdE

Als ein mögliches Lösungskonzept wird die „Smart Grid“-Vision gesehen. Auch wenn es keine allgemein akzeptierte Smart Grid-Definition gibt, besteht Einigkeit über die wesentlichen Eigenschaften.

Die DKE SMART.GRID<sup>5</sup>, das deutsche Spiegelgremium zur Gruppe IEC SMB/SG 3 („Standardization Management Board“/“Strategic Group for Smart Grid“ der IEC) definiert Smart Grid folgendermaßen:

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 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.

Man folgt damit der Vorstellung, dass sich alle energietechnischen Komponenten (Schaltgeräte, Schutzgeräte, dezentrale Energiesysteme, ...) hardware- und softwaretechnisch an die zukünftige Kommunikationsinfrastruktur anschließen lassen, um damit einerseits Zugriff auf alle für den sicheren und zuverlässigen Betrieb relevanten Daten und Informationen unter Berücksichtigung des Datenschutzes zu erhalten und andererseits eigene Daten, Funktionen und Informationen dem Gesamtsystem zur Verfügung zu stellen. Das Ziel ist eine heterarchische und flexible Informations-, Kommunikations- und Leittechnikinfrastruktur. Dieses informations- und energietechnische Gesamtsystem „Smart Grid“ übersteigt deutlich die technische Größe aller bisherigen IKT-Systeme und Infrastrukturen wie Internet oder allgemeine Kommunikationsnetze.

Evaluationskriterium der geplanten IKT-Lösungen ist das energiepolitische Zieldreieck Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit.

<sup>5</sup> www.dke.de. Die DKE ist die in Deutschland zuständige Organisation für die Erarbeitung von Normen und Sicherheitsbestimmungen in dem Bereich der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik.

Die Motivation zur Einführung von Smart Grids ist länderspezifisch verschieden. Damit unterscheiden sich auch die Anforderungen an die technologische und regulatorische Umsetzung. Typische Motivationen sind die Integration fluktuierender Einspeiser, die Bewältigung des steigenden Strombedarfs sowie die Verringerung von nichttechnischen Verlusten und Stromausfällen.

Mit dem Internet der Energie (IdE) lässt sich also das komplexe IKT-System bezeichnen, das dem Gesamtsystem eines Smart Grids zugrunde liegt<sup>6</sup>. Dazu gehören insbesondere:

- IKT-Hardwarekomponenten (Smart Meter, intelligente elektronische Geräte/„Intelligent Electronic Devices“<sup>7</sup>, Server),
- Softwarekomponenten und -systeme,
- Kommunikationseinrichtungen, sowie
- die interoperable Kommunikation zwischen diesen Systemen unter den Randbedingungen ausreichender Sicherheit und Zuverlässigkeit.

### ZUKÜNFTIGE HAUPTAUFGABEN DES IdE

Das IdE als eigenes Thema ist erst in den letzten Jahren in den Fokus der Smart Grid-Forschung und -Entwicklung – etwa im 7. Forschungsrahmenprogramm der EU oder im deutschen E-Energy-Programm – gerückt. Hauptaufgaben eines IdE als wesentliche Voraussetzung zur Schaffung eines weitgehend automatisierbaren Energiegesamtsystems, das die sich verstärkende Dynamik, Flexibilität und Komplexität der Energieversorgung beherrschbar macht, sind:

- der Aufbau einer nahtlosen Integrationsarchitektur der Automations- und IKT-Komponenten („Seamless Integration Architecture“), die sowohl horizontal als auch vertikal eine vereinfachte Integration von Diensten und Anlagen erlaubt („Plug and Play“) und dabei auch Aspekte wie Sicherheit und Zuverlässigkeit berücksichtigt,
- die Erstellung von Methoden, Verfahren und IKT-Komponenten, um die informations- und energietechnischen Komponenten eines Gesamtsystems zu integrieren und zu koordinieren,

- die Entwicklung eines Modellverständnisses der IKT-anteile des Gesamtsystems, um Wirkungszusammenhänge und Abhängigkeiten besser erkennen und mögliche Schwachstellen vermeiden zu können, sowie
- die Entwicklung marktrelevanter Anwendungen, die die gewonnenen Erkenntnisse der energiewirtschaftlichen Praxis zuführen.

### 3. FORSCHUNGSFRAGEN ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE IM IdE

Die Wertschöpfungskette der Energieversorgung lässt sich, soweit sie Bezug zum IdE hat, in die Teilbereiche Kunde, Transport/Verteilung, Erzeugung, Handel und Services gliedern. Darüber hinaus gibt es Querschnittsthemen, die sich in allen diesen Bereichen finden. Ein Schlüsselement bei der Einführung eines IdE ist eine standardbasierte Interoperabilität, die die Ausbreitung von Innovationen fördert und Insellösungen verhindert.

In der gesamten Wertschöpfungskette werden neue (Software-)Anwendungen entstehen. Dies reicht von einfachen Steuerungs- und Regelungsalgorithmen auf Feldebene in eingebetteten Systemen bis hin zur Umsetzung komplexer Transaktionen in Geschäftsprozessen auf der Marktebene. Die Datenvolumina der Ein- und Ausgaben, die Anforderungen an die zugrundeliegende Datenqualität und an die Performance des Gesamtsystems werden deutlich wachsen. Der Entwurf von Softwarelandschaften dieser Größe stellt auch neue Anforderungen an ein wissenschaftlich fundiertes, aber dennoch praxisbetontes Software Engineering.

#### 3.1 KUNDE/ABNEHMER

Für Kunden als Endabnehmer von Energie bietet die Entwicklung hin zum Smart Grid neben neuen Diensten vor allem Möglichkeiten zur optimierten Nutzung und gegebenenfalls einen Minderverbrauch von elektrischer Energie.

<sup>6</sup> Aus der Literatur lässt sich keine Abgrenzung „Smart Grid“ vs. „Internet der Energie“ gewinnen (s. z.B. Terzidis, O. et al., „Internet der Energie - IKT für Energiemärkte der Zukunft“, BDI initiativ - Internet der Energie, BDI-Drucksache Nr. 418, 2008 oder „Building the Energy Internet“, Technology Quarterly, economist, March 2004).

<sup>7</sup> „Intelligent Electronic Device“ wird hier und im folgenden Text ganz allgemein für einen mikroprozessorbasierten Controller verwendet.

Die bislang noch nicht ausgeschöpften Einsparpotenziale sind sowohl für Industriekunden als auch für den privaten Sektor – dessen Anteil heute etwa ein Viertel<sup>8</sup> des deutschen Gesamtstromverbrauchs ausmacht – relevant. Kunden sind in das Smart Grid jedoch auch als kooperative Mitspieler eingebunden, die zur Optimierung des Gesamtsystems Verbrauchs- und Prognosewerte oder Preisgebote zur Verfügung stellen und umgekehrt Status- und Steuerinformation aus dem Netz für ein Demand Side Management nutzen können. Diese Entwicklung bedingt eine zunehmende informationstechnische Anbindung kundenseitiger Netzkomponenten, Maschinen und Haushaltsgeräte. Folgende Aspekte sind in Bezug auf Energiekunden relevant und werden nachfolgend genauer betrachtet:

- Demand Side Management und flexible Strompreise
- Smart Metering
- Elektromobilität
- Feedback zum Energieverbrauch
- Technologische Voraussetzungen in Gebäuden zum Einsatz von Smart Metering.

## DEMAND SIDE MANAGEMENT UND FLEXIBLE STROMPREISE

Die zunehmende Nutzung und Verbreitung erneuerbarer Energiequellen führt zu einer erhöhten Volatilität der Stromerzeugung. Da Strom bisher nicht ausreichend in größeren Mengen speicherbar ist, versucht man auf der Verbraucherseite passgenau eine höhere Flexibilität zu erreichen. Dynamische Tarife können die Stromnachfrage feingranularer beeinflussen und das Netz durch Lastverschiebung optimiert ausnutzen und falls nötig stabilisieren. Studien, vor allem für die USA, zeigen für das Konzept einen markanten Nutzen auf. Offen ist jedoch deren Übertragbarkeit auf Deutschland. Daher wird hierzulande in Pilotprojekten die Wirkung eines Strompreissignals an der Steckdose auf Endkunden untersucht. Große Industriekunden optimieren heute schon ihren Strombezug u.a. hinsichtlich Netzkosten- und Marktpreisaspekten. Es fehlen allerdings bislang noch systematische Untersuchungen zu Integrationsmöglichkeiten in ein Smart Grid. Beispielhaft untersucht wurden bisher vor allem Kunden mit einem großen, durch Strom bedienten thermischen Bedarf, bei denen ein größeres Verschiebepotenzial vermutet wird (z.B. Kühlhäuser).

<sup>8</sup> ca. 29% in der EU-27 ([www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/final-electricity-consumption-by-sector-eu-27-1](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/final-electricity-consumption-by-sector-eu-27-1)), ca. 37% in den USA ([www.eia.doe.gov/aer/](http://www.eia.doe.gov/aer/)).

FuE-Bedarf ist in diesem Zusammenhang vor allem in den folgenden Gebieten zu erkennen:

- Regelungsalgorithmen für steuerbare Verbraucher bei Gewährleistung der Versorgungssicherheit
- Prognosesysteme für Erzeugung und Verbrauch von elektrischer Energie, auch in Abhängigkeit vor allem von (Wetter-)Prognosen
- Identifikation von Geräten bzw. Anlagen und ihren Funktionen/Services, die flexible Tarife nutzen können
- Identifikation von Industrien und Industrieanlagen, die für Demand Side Management geeignet sind
- Wirkung/Akzeptanz beim Nutzer (insbesondere: Interaktion vs. Automatisierung)
- Übertragbarkeit von Tarifmodellen (z.B. aus der Telekommunikationsbranche) auf den Energiemarkt
- Preiselastizität in Bezug auf den Strompreis, um die Auswirkungen dynamischer Tarife besser verstehen und simulieren zu können.

## SMART METERING

Digitale Stromzähler sind mit Beginn 2010 durch Vorgaben der EU auch in Deutschland für Neubauten und komplettrenovierte Altbauten gesetzlich vorgeschrieben. Die Liberalisierung des Strommarktes sowie entsprechende EU-Richtlinien (z.B. die Binnenmarkttrichtlinie Strom und Gas<sup>9</sup>) zielen darauf, dass in Europa flächendeckend intelligente Messsysteme eingeführt werden. Im industriellen Sektor wird heute schon mit fernablesbaren, hochauflösenden Leistungszählern und leistungsbezogenen Stromtarifen abgerechnet. Im privaten Sektor stellt dies hingegen eine neue Situation dar. Trotz einer Reihe prospektiver Studien bleibt das durch Smart Meter ermöglichte Einsparpotenzial in Deutschland unklar. Analysen gehen von einem Einsparpotenzial von maximal 10%, langfristig oft auch von viel geringeren Werten aus, wenn keine weitergehenden begleitenden Maßnahmen getroffen werden<sup>10</sup>. Daher ergeben sich im Bereich Smart Metering u.a. bei folgenden Themen FuE-Bedarf: tatsächliche Einspareffekte, Lastverschiebungspotenzial und deren Einflussfaktoren auf den Kunden:

- Möglichkeiten (kundengruppenspezifischer) Maßnahmen, um das Einspar- bzw. Lastverschiebungspotenzial zu erhöhen

<sup>9</sup> [http://europa.eu/legislation\\_summaries/energy/internal\\_energy\\_market](http://europa.eu/legislation_summaries/energy/internal_energy_market)

<sup>10</sup> Darby, S., "The effectiveness of feedback on energy consumption. A review for DEFRA of the literature on metering, billing, and direct displays", Environmental Change Institute, University of Oxford, 2006.

- Einspareffekte in einzelnen Kundensegmenten nach soziodemographischer und anderweitiger Klassifikation
  - Standards für Datenmodelle, Schnittstellen und Dienstfunktionen – sowohl für die Kommunikation entlang der Wertschöpfungskette als auch im Haus (zukünftig auch mit intelligenten Haushaltsgeräten)
  - Dienstleistungen, die auf einer Smart-Metering-Infrastruktur beruhen und die Akzeptanz dieser Dienstleistungen
  - Nutzen aus feingranularen Verbrauchsdaten für neue Dienstleistungen unter Berücksichtigung der gesetzlichen Regelungen zum Datenschutz
  - Auswirkungen regulatorischer Randbedingungen, wie z.B. die Verknüpfung von Telekommunikationsdienstleistungen und der Zähleranbindung.
- Aufbau einer IKT-Infrastruktur zur Einbindung der Elektrofahrzeuge in Lastmanagement- und Abrechnungsprozesse
  - Kommunikationsschnittstellen zum Smart Metering
  - Ladestrategien/Ladealgorithmen für die Batterien (auch als multikriterielle Optimierung) und deren Einbindung in das Smart Grid
  - IKT-Einbindung in Netzbetriebsführung und Einfluss auf das Stromnetz
  - Algorithmen und Verfahren zum Ausgleich fluktuierender Einspeisung
  - Informationsflüsse in zukünftigen Abrechnungsprozessen
  - IKT für Roamingmodelle und Micropayments
  - Einbindung von Elektrofahrzeugen in virtuelle Kraftwerke
  - IKT-Anforderungen bei Batteriewechselsystemen
  - Simulationsmodelle für die Bewertung unterschiedlicher Szenarien der Elektromobilität.

## ELEKTROMOBILITÄT

Durch die Einführung von Smart Metering ergibt sich das Potenzial zur Unterstützung der Abrechnungsprozesse hinsichtlich des Ladevorgangs sowie zu neuen Tarifstrukturen in Verbindung mit Elektrofahrzeugen. Diese könnten bei längeren Ladezeiten, etwa über Nacht, zudem als Puffer eines Teils der unregelmäßig anfallenden Energie (z.B. aus Windkraft) fungieren, die zu Spitzenlastzeiten teilweise wieder in das Netz zurückgespeist wird. Effizienz- und Preisvorteile könnten sich dabei für viele Marktakteure (Energieversorgungsunternehmen, Netzbetreiber, Fahrzeughalter etc.) ergeben. Die Bundesregierung fördert im Zeitraum 2009-2011 mit 115 Millionen Euro acht Modellregionen zur Weiterentwicklung der Elektromobilität<sup>11</sup>, wobei u.a. auch der Aufbau einer Stromtankstellen-Infrastruktur getestet werden soll. Bis zum Jahr 2020 soll nach Vorgabe der Bundesregierung mindestens die Zahl von einer Million Elektrofahrzeugen in Deutschland erreicht sein. Der geplanten ehrgeizigen weiteren Durchdringung der Elektromobilität steht allerdings noch eine Reihe von grundlegenden, ungelösten Problemen (etwa Auswirkungen auf die Lebensdauer der Energiespeicher/Batterien, Lade- bzw. Entladegradienten für eine optimale Kompensation kurzfristiger Fluktuationen etc.) entgegen.

Forschungsbedarf besteht u.a. in folgenden Bereichen (wobei zur Implementierung von Lösungen IKT eine wesentliche Rolle spielen dürfte, die im Einzelnen aber noch herauszuarbeiten ist):

## FEEDBACK ZUM ENERGIEVERBRAUCH

Die elektrische Leistungsaufnahme variiert zwischen verschiedenen Haushalten stark, selbst bei solchen gleicher Charakteristik. Zeitnahe direkte Rückmeldung über den Stromverbrauch<sup>12</sup> (idealerweise zusammen mit spezifischen Energiespartipps) kann – so das Ergebnis mehrerer Studien – zu Einsparungen führen<sup>13</sup>. Direktes Feedback zum Energieverbrauch ist allerdings nur der erste Schritt; wichtig (auch für die Akzeptanz durch den Kunden) erscheinen über die reine Verbrauchsinformationen hinausgehende Aspekte, welche durch die Einführung von Smart Metering und damit verbundene Technologien verfügbar werden. Für einen weitergehenden Mehrwert müssten zusätzlich auch Wasser- und Gasverbräuche sowie die Einspeisung elektrischer Energie etwa durch Photovoltaikanlagen etc. integrierbar sein. Mit der kundenbezogenen Rückmeldung der Ressourcenverbräuche beschäftigen sich bereits verschiedene Forschungs- und Pilotprojekte (z.B. EWE Box, BeAware, eTelligence<sup>14</sup>).

Relevante Forschungsfragen hinsichtlich der Unterstützung eines kundenbezogenen Feedbacks zum Energieverbrauch umfassen insbesondere die folgenden IKT-Aspekte:

- Zielgruppengerechte Gestaltung des Feedbacks (Medium,

<sup>11</sup> Siehe [www.ikt-em.de](http://www.ikt-em.de)

<sup>12</sup> Chetty, M. et al., Getting to green: understanding resource consumption in the home, Proc. UbiComp, 2008.

<sup>13</sup> Darby, S., The effectiveness of feedback on energy consumption. A review for DEFRA of the literature on metering, billing, and direct displays, Environmental Change Institute, University of Oxford, 2006.

<sup>14</sup> Webseiten zu allen genannten Projekten finden sich am Schluss des Papiers.



- Technologie, Auswahl der Funktionen etc.)
- geeignete Informationsdarstellung und Interaktionsmöglichkeiten
  - Entwicklung und Erprobung tarifbasierter Anreizsysteme
  - Zusammenhang von Feedbacksystemen mit anderen Möglichkeiten des Demand Side Management
  - Entwicklung automatisierter Beratungssysteme, die auf Lastganganalysen beruhen.

### TECHNOLOGISCHE VORAUSSETZUNGEN IN GEBÄUDEN ZUM EINSATZ VON SMART METERING

Zusätzlich zur Messung und Abrechnung des Stromverbrauchs ist die Integration anderer Verbräuche (Wasser, Gas, Fernwärme) im Haus sinnvoll. Bei einem solchen Mehrspartenbetrieb besteht die Notwendigkeit einer entsprechenden Kommunikationsinfrastruktur, die es erlaubt, die gemessenen Daten der einzelnen Messstellen in einem Gateway (Datenlogger mit Modem, Stromzähler mit integriertem Multi-Utility-Communication (MUC)-Controller etc.) zu sammeln und von dort zum Messstellenbetreiber zu kommunizieren. In Zukunft müssten für ein Demand Side Management auf Haushaltsebene auch wichtige stromverbrauchende Haushaltsgeräte (vor allem Kälte- und Wärmeerzeuger) an die Kommunikationsinfrastruktur angebunden werden. Unabhängig vom Smart Grid wurden in der Vergangenheit im Rahmen der Gebäudeautomation bereits diverse Kommunikationsstandards (EIB, KNX, etc.) entwickelt.

Ferner ist zu erwarten, dass zukünftig immer mehr physikalische Objekte „intelligent“ werden, Informationen austauschen und das Internet nutzen (Smart Home, „Internet der Dinge“). Damit stellt sich die Frage, inwiefern für diese unterschiedlichen Zwecke teilweise gemeinsame Kommunikationsinfrastrukturen genutzt werden können. Dabei geht es nicht nur um eigentliche Kommunikationstechniken und -protokolle (Powerline, LAN, WLAN, Nahbereichsfunk wie etwa ZigBee etc.), sondern auch um einheitliche Serviceschnittstellen und Infrastrukturdienste. In Zukunft könnten preisgünstige, eingebettete Webschnittstellen, die es erlauben, physikalischen Objekten (z.B. einem Smart Meter) eine eindeutige Adresse zuzuordnen, eine Alternative sein, die unter direkter Nutzung von Internettechnologien vielfältige Anwendungsmöglichkeiten eröffnet. Ideen zur Einbindung von Gebäuden und dort befindlichen Energieanlagen in eine Steuerung wurden z.B. im Projekt DINAR (BEMI-Ansatz), SmartHouse/SmartGrid im FP7 der EU oder im E-Energy Projekt MoMa prototypisch realisiert.

Im Zusammenhang mit der Vernetzung und IKT-Durchdringung im Haus ergibt sich eine Reihe von forschungsrelevanten Aspekten:

- Architekturen für eine (standardisierte) In-Haus-Kommunikationsinfrastruktur
- lokale Kommunikationstechnologien für das Gebäude
- Intra- und Internetanbindungen von Haushaltsgeräten
- Standards für smarte, kooperierende Geräte
- Nachweise vereinfachter Integration (Autokonfiguration, „plug & play“, „arrive & operate“ etc.) und Akzeptanz
- IKT-Technologien, um den Eigenverbrauch lokaler Erzeugung zu fördern.

## 3.2 STROMTRANSPORT/NETZBETRIEB

### NETZMANAGEMENT UND -AUTOMATISIERUNG

Die Erhaltung der Netzstabilität mit einer Nennfrequenz von 50 Hz wird heute noch entscheidend davon beeinflusst, dass ein großer Teil der Stromerzeugung auf großen elektromechanischen Einheiten beruht. Der zunehmende Anteil erneuerbarer Energien stellt damit das Netzmanagement nicht nur wegen der stochastisch fluktuierenden Einspeisung vor neue Herausforderungen, sondern es müssen auch neue Lösungen für die Garantie des frequenzstabilen Betriebes gefunden werden. In diesem Zusammenhang kommt der Entwicklung echtzeitfähiger Steuerungsverfahren und Simulationswerkzeuge eine zunehmende Bedeutung zu.

Auf der technischen Seite wird von der zunehmenden Einführung so genannter Flexible Alternating Current Transmission Systems (FACTS) eine Vermeidung von Engpässen im Transportnetz sowie eine Verbesserung der statischen und dynamischen Betriebszustände in den Netzen erwartet. FACTS basieren auf einer weitgehenden Nutzung leistungselektronischer Systeme zur Kontrolle der Lastflüsse. Ihre Vorteile liegen besonders im Bereich kurzfristiger und häufiger Leistungsänderungen, die schnelle Reaktionen erfordern. Diese Anwendung der Leistungselektronik wurde erstmals vor etwa 20 Jahren getestet und hat heute schon eine gewisse Bedeutung erlangt. FACTS sind Gegenstand aktueller Forschung im Bereich der Elektrotechnik. Auf IKT-Seite wird u.a. an den im Folgenden aufgeführten Ergänzungen und Alternativen zur Sicherung der Stromqualität gearbeitet.

Angestrebt wird ein systemweites, in Echtzeit koordiniertes Netzüberwachungs-, Regelungs- und Schutzsystem, das zu jedem Zeitpunkt sowohl die Lastflüsse des Regelbetriebes steuerbar macht, wie auch das Stromsystem im Fehler- bzw. Schadensfall beherrschbar bleiben lässt. In Abhängigkeit von der räumlichen Ausdehnung der Netze und damit der Möglichkeit, ggf. verschiedene erneuerbare Energiequellen über weite Distanzen miteinander zu koordinieren, ergeben sich vielfältige Kombinationsmöglichkeiten, die einer technischen und ökonomischen Optimierung zugeführt werden müssen. Demgegenüber werden auch dezentrale Steuerungsansätze verfolgt werden, um die unteren Netzebenen mit einzubeziehen. Für eine langfristige Betrachtung ist zu untersuchen, inwieweit die auf eine zentrale Versorgung und verbraucher-nahe Erzeugung entworfene Netzeinteilung durch Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) und ein Verwischen der Unterscheidung zwischen Übertragung und Verteilung durch ein neues Netzmanagement Sinn ergibt und welche IKT-Werkzeuge dafür notwendig wären.

Die große Anzahl an Sensoren und aktiven Elementen insbesondere im Verteilnetz verlangt andere Netzleittechniksysteme. So wird die Netzleittechnik (NLT) der Zukunft deutlich stärker automatisiert und prozess- statt funktionsorientiert konzipiert sein müssen, um z.B. problematische Situationen eigenständig zu erkennen und Prozesse zur Behebung proaktiv vorschlagen zu können. Visualisierungsansätze für die grafische Aufarbeitung dieser Vorschläge und der zugrunde liegenden Daten zur Unterstützung des NLT-Personals müssen entwickelt werden. Zusätzlich wird ein modularer Aufbau mit standardbasierten Schnittstellen erwartet, um Module verschiedener Hersteller integrieren zu können.

FuE-Themen bei Netzmanagement und -automatisierung für ein „Internet der Energie“ sind:

- echtzeitfähige Simulationswerkzeuge
- neue Benutzungsschnittstellen für Netzleitsysteme (Modelle für die Mensch-Maschine-Interaktion)
- Prozessgetriebene NLT
- Echtzeitübertragung von (Feld-)Daten und deren Aufbereitung
- Einbindung der Prognose fluktuierender Einspeisung
- Modularisierung und lose Kopplung der Systeme.

## SELBSTHEILUNG UND STÖRUNGSBEHEBUNG

Im Verteilnetz sind Verfahren und Technologien zu entwickeln, die automatisiert Störungen (z.B. durch Engpassmanagement) (pro)aktiv verhindern oder nach Störungen das Netz reaktiv wieder in Betrieb nehmen. Dazu müssen aktive Komponenten erweitert und vernetzt oder dezentrale Komponenten in den Stand versetzt werden, nach Störungen das Netz autonom zu stützen, indem auf Sensorinformationen zu Spannungs- oder Frequenzänderungen reagiert wird. Die durch die Einführung der elektronischen Zähler entstehende Advanced Metering Infrastructure (AMI) kann dabei prinzipiell genutzt werden, um die Risiken eines Blackouts zu entdecken, Blackouts insbesondere im Verteilnetz zu erkennen, um Störungen zu lokalisieren und bei der Wiederherstellung der Versorgung Unterstützung zu leisten. Eine Microgridbildung, also die Umschaltung auf kontrollierten Inselbetrieb, kann im Zusammenspiel von Netztechnik und dezentralen Ressourcen dafür sorgen, dass die Versorgung zumindest partiell aufrechterhalten wird. Entsprechende Systeme und Verfahren bedürfen aber noch weiterer Forschungsanstrengungen.

Auch die Stationsautomatisierung bietet das Potenzial für Weiterentwicklungen. So können zukünftig Funktionen entwickelt und in den Steuersystemen der Einspeiser oder Schaltanlagen implementiert werden, die automatisiert Probleme erkennen, Alarmer auslösen und verarbeiten. Autonome Einheiten tragen so zur Störungsbehebung bei und unterstützen z.B. bei der Behebung von Spannungs- und Frequenzabweichungen.

FuE-Themen im Kontext intelligenter Autonomie zur Störungsbehebung und Vermeidung sind:

- Algorithmen zur (dezentralen) automatisierten Störungserkennung
- Automatisierung der Prozesse zur Störungsbehebung
- (automatisierte) Prozesse zum selektiven Wiederhochfahren unter Nutzung der AMI und dezentraler Energieresourcen
- schnelle Datenaufbereitung, um die Echtzeitfähigkeit des Gesamtsystems unterstützen bzw. ermöglichen zu können
- Einsatz der AMI zur Störungserkennung und Behebung
- Selbstorganisation von dezentralen Anlagen zur Störungsbehebung
- autonome, dezentrale Beiträge zur Störungsbehebung (inkl. Schwarzstartfähigkeit, d.h. stromausfallsichere IKT).

## WIDE-AREA SITUATIONAL AWARENESS UND KONTROLLE

Das elektrische Netz muss zukünftig über größere geographische Regionen als Gesamtheit überwacht werden, also im Gegensatz zu heute deutlich über den Verantwortungsbereich eines einzelnen Netzbetreibers hinaus. Dies ist notwendig, da in Zukunft über große geographische Regionen hinweg Ausgleichsmaßnahmen für fluktuierende Einspeisung getroffen werden sollen. An Anwendungen, die diese Verbesserung erreichen sollen, stellen sich ganz neue Herausforderungen: Eine große Anzahl an Messwerten und Netzdaten muss über die Netzgrenzen hinweg transportiert werden, der Zustand einzelner Komponenten in Bezug zum Gesamtsystem muss beurteilt werden, eine Steuerungsstrategie muss entwickelt werden usw. Zusätzlich müssen Prognosen zu Erzeugung und Verbrauch eingebracht werden. Diese Informationen könnten auch dazu genutzt werden, dem Netz im Fehlerfall eine Selbstheilung („self-healing“) zu ermöglichen. Dazu muss eine große Anzahl an unterschiedlichen steuerbaren Netzkomponenten unter Echtzeitbedingungen automatisiert koordiniert werden. Die informationstechnische Verbindung des gesamten Gebietes des europäischen Verbundnetzes muss als Voraussetzung angesehen werden; die erforderliche echtzeitfähige IKT-Infrastruktur wirft aber noch viele unbeantwortete Forschungsfragen auf.

FuE-Themen zu diesen und verwandten Fragestellungen sind:

- Aufbau einer echtzeitfähigen IKT-Infrastruktur zum Wide Area Monitoring, Control and Protection System
- Datenaufbereitung in Echtzeit
- Aggregation von Teilsystemen
- Verfahren zur kompakten bzw. optimierten Informationsübertragung und Verarbeitung (z.B. Deltaverfahren)
- Verdichtung von Prognosen und Risikoabschätzung
- Datenprozessierung über Systemgrenzen.

## BEITRÄGE VIRTUELLER KRAFTWERKE ZUR REGEL-ENERGIE UND ZU SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN

Aufgrund des Ausbaus stark fluktuierender Einspeisung wird die Netzregelung vor neue Aufgaben gestellt. Inwieweit hierbei der Zusammenschluss kleinerer Energieerzeugungsanlagen zu einem als virtuelle Kraftwerke (VK) bezeichneten zentral gesteuerten Verbund zumindest in Teilen Abhilfe schaffen kann, ist gegenwärtig Gegenstand intensiver Forschungsanstrengungen (z.B. Projekte DEZENT, CRISP, FEN).

Hierbei wird auch die Vorhersagbarkeit z.B. der verfügbaren Windkraft, der erwarteten elektrischen und thermischen Lasten und – daran eng gekoppelt – die Planbarkeit des Betriebes von VK eine wichtige Rolle spielen.

Im Bereich der regulatorischen Voraussetzungen muss die Regulierungsbehörde Regeln für die Einspeisung aus VK setzen. Es müssen gegebenenfalls anfallende Mehrkosten für den Netzausbau bzw. die Netzkoppelstellen klar geregelt und zugeordnet werden.

In den letzten Jahren sind kostengünstige Hardware- bzw. Software-Lösungen und Leistungselektronikkomponenten entstanden, die es den neuen Anlagentypen im Prinzip ermöglichen, Systemdienstleistungen – etwa Blindleistungskompensation – anzubieten. Hier ist zu untersuchen, inwieweit VK genutzt werden können, um den sicheren und zuverlässigen Netzbetrieb zu unterstützen. Erste Hinweise werden aus den E-Energy-Projekten zu erwarten sein, in denen VK mit Netzbetrieb umgesetzt werden.

Um den Einsatz von VK in der Praxis voranzutreiben, müssen noch in vielen Themenfeldern FuE-Arbeiten geleistet werden:

- Systemdienstleistungen durch VK
- IKT-Steuerung der Leistungselektronik zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen
- geeignete Kombination von dezentralen Ressourcen zur Teilnahme am Regelleistungsmarkt (inkl. Risikoabschätzungen)
- Skalierbarkeit, Zuverlässigkeit und Robustheit der jeweiligen VK-Ansätze für die Anforderungen der Netzbetriebsführung
- Selbstorganisation von Anlagen z.B. mittels Software-Agenten zur Netzunterstützung.

## 3.3 ERZEUGUNG

In den vergangenen Jahren wurde eine große Anzahl an Projekten zur Erforschung der Effekte und Potenziale einer zunehmend dezentralen Einspeisung v.a. durch regenerative, teils steuerbare teils fluktuierende Einspeiser durchgeführt (z.B. EU-DEEP, MICROGRIDS, MOREMICROGRIDS, DINAR). Darüber hinaus wurden die Prognosen zur Einspeisung aus regenerativen Energien, besonders Wind und Solar, verbessert. IKT-spezifische Fragestellungen werden erst in der letzten Zeit bearbeitet. Im Folgenden werden diese erläutert.

## IKT-INTEGRATION DER ANLAGEN

Eine IKT-Integration von – bezogen auf die Leistung – kleinen und mittleren Anlagen kann nur gelingen, wenn die Schnittstellen bereits vor Inbetriebnahme unabhängig vom Netz oder dem VK, in dem der Anschluss erfolgt, so gestaltet werden, dass die Inbetriebnahme semi-automatisch erfolgt („Plug and Play“).

Auch im späteren Betrieb muss die Anlage ihre Informationen „selbstbeschreibend“ veröffentlichen können. Dies bedeutet insbesondere, dass alle Steuermöglichkeiten und Abfragemöglichkeit der Anlagenzustände über die Anlagenschnittstelle zur Verfügung gestellt werden. Wissen über die Eigenschaften der Anlage ist dann in dieser Schnittstelle spezifiziert. Wissen wird in der Informatik über sogenannte Ontologien dargestellt, der formalen Darstellungen einer Menge von Konzepten und der zwischen ihnen bestehenden Beziehungen. Ein wichtiges Forschungsthema ist daher die ontologiebasierte Integration von Standards, die Forschung an geeigneten Werkzeugen und Verfahren. Auch gibt es bisher zu wenig Ergebnisse zu geeigneten Kommunikationsanbindungen.

In folgenden Themenfeldern zur Anlagenintegration sind daher noch FuE-Beiträge zu erbringen:

- Standardisierte Kommunikationsanbindung
- Hardwarekomponenten zur Gerätesteuerung
- Testverfahren (z.B. auf Standardkonformität)
- Werkzeuge und Verfahren zur Schnittstellengenerierung
- automatisierte Entwurfsverfahren für HW/SW
- Ontologiebasierte Integration von Datenmodellen einzelnen Anlagentypen und der Netzleittechnik-Ebene.

## KOORDINATION/AGGREGATION VON ANLAGEN

Die IKT-basierte Aggregation von Anlagen, häufig auch als VK bezeichnet, wird als Lösung für den Ersatz der in den nächsten Jahren aus der Erzeugung ausscheidenden fossilen Großkraftwerke diskutiert. Es gibt bereits erste kommerzielle Ansätze, Kraftwerksleistungen im Bereich von ein bis zwei Gigawatt auf Basis dieses Konzepts verlässlich ersetzen zu können, wobei erhebliche Zweifel an der kurzfristigen wirtschaftlichen und technischen Machbarkeit dieser Ansätze bestehen.

Es fehlen Grundlagen zu Verfahren der Tageseinsatzplanung sowie der untertägigen reaktiven Planung in VK, die eine

wichtige Voraussetzung für eine Integration von dezentralen Energieanlagen bzw. virtuellen Kraftwerken auf organisatorischer Ebene darstellt. Als interessanter Ansatz zur Koordination werden Möglichkeiten der Selbstorganisation jenseits kurzfristiger auktionsorientierten Koordinationsmechanismen (z.B. Projekte DEZENT, SESAM) betrachtet.

In der Anwendung gilt es, die bisherigen Ergebnisse zusammenzutragen und Demonstrations- und Forschungsprojekte durchzuführen, die untersuchen, wie skalierbare IKT-Lösungen aussehen müssen, die eine kostengünstige Inbetriebnahme und einen wirtschaftlichen Betrieb in einer dynamischen Umgebung erlauben. Die bisherigen Demonstratoren bestanden aus wenigen Anlagen. Hier ist zu erforschen und in weiteren Demonstratoren zu prüfen, welche Konzepte für eine hohe Anzahl von Anlagen tragen (im Projekt FENIX „Large Scale Virtual Power Plants“ genannt).

Die Einbindung dezentraler Verbraucher in eine Aggregation mit dezentralen Einspeisern steht noch am Beginn der Forschungsarbeiten. Hier sind noch wesentliche Arbeiten zur Erforschung der Freiheitsgrade und Potenziale auf der Verbraucherseite zu leisten.

Zur Koordination und Aggregation von Anlagen bestehen Fragen in den folgenden FuE-Themenfeldern:

- Mechanismen zur Koordination einer großen Zahl von Anlagen mit unterschiedlichen Optimierungszielen
- Modellierung von Anlagen aus Sicht des VK
- sinnvolle Clusterungen von dezentralen und fluktuierenden Einspeisern/Verbrauchern
- Selbstorganisation eines Anlagenverbunds
- Fahrplanmanagement für VK
- reaktive Planung in der Tageseinsatzplanung, d.h. die Reaktion auf im Tagesverlauf auftretende Planabweichungen
- Einbeziehung von Verbrauchern in VK durch Demand Response
- Verbesserung von Prognosen auf Verbraucher- und Erzeugerseite
- Risikobewertungen bzgl. der Wirtschaftlichkeit des VK- und Anlagenbetriebs
- Einbeziehen von Speichern (inkl. Elektromobilität)
- Integration verschiedener zeitlicher Planungshorizonte.

## PROGNOSE DER ENERGIELIEFERUNG

Die in den letzten Jahren entstandenen Windleistungsvorhersagen sind bereits vielfach im industriellen Einsatz. Bisher gab es allerdings für Anlagenbetreiber wenig Anlass, die eingespeiste Leistung zu prognostizieren oder gar zu garantieren. Nur die Übertragungsnetzbetreiber benötigen eine hinreichend genaue Kurzfristprognose, um den Strom aus erneuerbarer Einspeisung an die Börse zu bringen und den Regelleistungseinsatz zu planen – letzteres wird in den nächsten Jahren durch die vom Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vorgeschriebene Möglichkeit des Online-Monitorings stark vereinfacht werden. Soll die Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie langfristig ohne massiven Einsatz von fossilen Kraftwerken zur Ausregelung der Fluktuationen erfolgen, sind neue Ansätze gefragt. Die bekannten Prognosefehler (z.B. zeitliche Verschiebung von Windfronten, durchschnittlicher Fehler, Korrelation über größere Gebiete, Prognosefehler über größere Zeiträume) sind zu bewerten und zunächst simulativ in ihren Auswirkungen auf den Betrieb eines VK zu untersuchen.

Zu folgenden Themenfeldern gibt es FuE-Bedarf:

- Prognose der Einspeisung aus Kraft-Wärme-Kopplung
- Auswirkungen von Prognosefehlern auf die Einsatzplanung in verschiedenen Zeithorizonten
- Korrelation von Prognosefehlern (Markt, Einspeisung, Erzeugung)
- IKT-Architekturen zur Einbindung von Prognosediensten
- Standardisierung von Prognosedaten und -schnittstellen zur Einbindung in VK-Anwendungen.

## ASSET MANAGEMENT

Ein IKT-unterstütztes und teilautomatisiertes Asset Management wird in Zukunft für das Smart Grid wichtig, da sehr viele Einzelanlagen jeweils nur einen kleinen wirtschaftlichen Beitrag erbringen und daher keine aufwändigen Wartungsarbeiten zulassen. Heutige regelmäßige Wartungszyklen beruhen auf Worst Case-Betrachtungen – es wird also viel häufiger eine Wartung durchgeführt, als es der Anlagenzustand erfordert. Zustandsbasierte Wartungen können daher die Betriebskosten deutlich verringern. Dazu werden innerhalb der Anlagen IKT-Komponenten benötigt, die jenen erlauben, sich selbst besser zu überwachen bzw. wartungsrelevante Informationen an ein zentrales System weiterzugeben. Zusätzlich sind neue Anwendungen zu entwickeln, die diese Informationen analysieren und über heuristische Verfahren wie Data Mining

verbesserte Wartung ermöglichen können (Condition Monitoring).

FuE-Themen des IdE dazu sind:

- Übertragung und Weiterentwicklung vergleichbarer Ansätze aus Gebieten wie der Produktionsforschung und der Ambient Intelligence.
- Anpassung und Weiterentwicklung von Data Mining Verfahren für das Condition Monitoring.

## 3.4 HANDEL

Der Handel mit elektrischer Energie wird sich an die neuen aus Dezentralisierung und Liberalisierung resultierenden Anforderungen anpassen müssen, um insbesondere Strom aus fluktuierender oder dezentraler Einspeisung am freien Markt außerhalb des Erneuerbare-Energien-Gesetz und Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz zu handeln. Zusätzlich sollten auch Netzaspekte in die Handelsmechanismen einbezogen werden.

## GROSSHANDEL

Zur Strombelieferung werden heute in der Regel standardisierte Produkte gehandelt. Damit der Strom aus den neuen Erzeugertypen als Produkt an der Börse angeboten werden kann, muss der Strom durch IKT-Bündelung verschiedener Anlagentypen in einem VK veredelt werden. Es ist zu erforschen, inwieweit VK in der Lage sind, Standardprodukte etwa durch Tageseinsatzplanungsprozesse abzubilden, und welche reaktiven Planungsprozesse dazu geeignet sind, gehandelte Produkte auch möglichst zuverlässig liefern zu können. Hier sind die bisher eher steuerungstechnisch-orientierten VK-Systeme in die Systeme des Handels zu integrieren.

Die wirtschaftliche Motivation zum Betrieb von VK resultiert auch aus der mittelfristigen Perspektive, am Handel an der Strombörse teilzunehmen. An der Börse werden kleinere Energiemengen als 100 kWh nicht gehandelt, gängige Mengen liegen im Bereich ab 2 MWh. Der Aufwand der Börsenzulassung, sowie die notwendige IKT-Ausstattung und Handelserfahrung schließt die Teilnahme einzelner Betreiber kleinerer Erzeugungsanlagen an diesem System weitgehend aus, eröffnet jedoch den Betreibern von VK, die auf solchen Blockheizkraftwerken und evtl. weiteren dezentralen Energiesystemen basieren, zukünftig vielversprechende Marktmöglichkeiten. Interessant ist in diesem Zusammenhang nicht nur, dass eine Einspeisung vergütet werden kann, sondern dass auch

die Abnahme von Strom bei negativen Marktpreisen einen erheblichen vergütbaren Wert für die Handelsteilnehmer mit sich bringen kann. Analoge Perspektiven ergeben sich für den „Over-the-Counter“ (OTC)-Handel, also dem bilateralen Austausch von individuell vereinbarten Leistungen und für die Teilnahme an elektronischen Marktplätzen.

Die Marktteilnahme des neuen Akteurs VK, durchaus auch unter Einbeziehung von Verbrauchern, verlangt nach FuE-Anstrengungen in den folgenden Gebieten:

- Produktbildung in VK für die Teilnahme am Markt
- technische Integration von VK in den Markt
- Bewertung der Effekte von VK auf die Mechanismen des Marktes
- kombinierte Bewertung von Risiken durch Prognosefehler bei Erzeugung und Preis.

## NEUE MARKTPLATTFORMEN

Ein großes Augenmerk der Forschung richtet sich auf neue Marktplätze und Marktmodelle (E-Energy-Projekte, SESAM). Hier sind weitere Grundlagen zu schaffen und Demonstrationsprojekte durchzuführen. Netzaspekte müssen in diesen Märkten stärker berücksichtigt werden. „Lokale“ Märkte wie die „nodal markets“ in den USA könnten als erste Vorbilder zur Preisbildung dienen, müssen jedoch um viele Aspekte wie z.B. kleine Zeitintervalle und neue Produkte, die auch Systemdienstleistungen beinhalten, ergänzt werden. Es ist zu untersuchen, welche neuen Produkte und Preisbildungsmechanismen geeignet sind, das heutige System so zu modifizieren, dass auch unter den neuen Vorzeichen der fluktuierenden Einspeisung eine stabile Versorgung marktwirtschaftlich garantiert werden kann. Eine besondere Herausforderung wird es sein, Produkte für nur prognostizierbare Stromerzeuger zu definieren und das Netz in die Märkte mit einzubeziehen.

Für eine überwiegend aus fluktuierender Einspeisung beruhende Stromversorgung werden langfristig Energiespeicher so kostengünstig sein müssen, dass im Gegensatz zu heute ein wirtschaftlicher Einsatz in größeren Mengen und größeren Zeitskalen möglich ist. Zu diesen Speichern werden aller Voraussicht nach auch kleinere dezentrale Einheiten gehören, die sich zu „virtuellen Speichern“ aggregieren lassen. Es besteht daher die Notwendigkeit, ein Verständnis zu gewinnen, wie diese Speicher in den Markt integriert werden können.

Die Marktanbindung durch Agenten, die auch auf mittlere Zeitsicht handeln, ist bisher weniger gut erforscht und evaluiert. Daher sollten weitere Untersuchungen vorgenommen werden, in welchen Zeitspannen VK gut geeignet sind, Strom zu handeln und wie die Definition der Produkte gestaltet sein sollte. Eine vergleichende Bewertung der verschiedenen bekannten Ansätze zur Identifikation zukunftsweisender Varianten fehlt bisher.

Um neue Märkte etablieren zu können, sind neben regulatorischen Fragen in folgenden Themenfeldern Erkenntnisse, Werkzeuge und Verfahren gesucht:

- Agententechnologien in Energiemärkten
- Produkte für fluktuierende Erzeuger
- verursachergerechte Einbindung von Netzkosten in den Marktpreis
- Marktteilnahme von Speichern (inkl. Elektromobilität)
- vergleichende Bewertung von Marktmodellen und Koordinationsansätzen
- Klassifikation der Akteure, die einzeln bzw. durch Aggregation am Markt teilnehmen können (Gebäude, Typen von Industrieanlagen usw.)
- Markteinbindung von Systemdienstleistungen
- Marktmechanismen zur Integration fluktuierender Erzeuger, Verbraucher und des Netzes.

## 3.5 SERVICES

Die Erweiterung des konventionellen Systems der Energieversorgung durch geeignete IKT stellt eine Voraussetzung für die mögliche Realisierung neuer energiebezogener Dienstleistungen dar. Solche Services bieten Potenzial für traditionelle Marktteilnehmer, die sich aufgrund der Deregulierung (z.B. Auftreten neuer Unternehmen im Energiesektor) oder des sich ändernden Verbrauchsverhaltens der Kunden (z.B. erhöhte Aufmerksamkeit für „grüne Themen“) weiterentwickeln oder neu positionieren. Sie bieten aber auch gleichzeitig Chancen für neue Akteure aus Industriebereichen, die bisher keinen direkten Zugang zum Strommarkt besitzen.

Neben bereits etablierten Services, wie z.B. Energiecontracting, werden in Zukunft neue Dienste entstehen bzw. verstärkt an Bedeutung gewinnen. Diese Dienste stellen teilweise neue Anforderungen an die zugrundeliegende IT und die zu automatisierenden Prozesse. Eine Bewertung des Forschungsbedarfs ist schwer, da noch nicht ausreichend Informationen über zu

erwartende neue Dienstleistungen vorliegen. Im Folgenden seien einige wesentliche zukünftig neu zu entwickelnde oder zu verändernde Dienstleistungen genannt:

- Der Betrieb virtueller Kraftwerke kann von Dienstleistern durchgeführt werden. Diese agieren dann in Richtung des Marktes wie heutige unabhängige Kraftwerksbetreiber, sogenannte „Independent Power Producer“, in Richtung der Erzeuger jedoch als Dienstleister, der Anlagen koordiniert bzw. steuert. Dazu sind neuartige Geschäftsprozesse zu entwickeln, die bis zu einem gewissen Grad auch standardisiert sein müssen, um die Möglichkeit zum Dienstleisterwechsel und damit den Wettbewerb zu fördern.
- Lastgangbasierte Energieberatung wird heute bereits für Großverbraucher durchgeführt, z.B. um die Netzentgelte durch Absenken der jährlichen Spitzenlast zu verringern. In einer komplexeren Struktur der Energieversorgung wird diese Beratung in hohem Maße IT-gestützt und außerdem auch für Haushaltskunden zugänglich sein müssen. Besonders im letzteren Fall muss die Beratung möglichst komplett automatisiert verlaufen. Ansätze dazu mit in dieser Branche neuen Akteuren gibt es bereits heute (z.B. Google Power Meter, Microsoft Hohm). Weitere zukünftige lastgangbasierte Beratungsprodukte werden auf der Basis hochaufgelöster Verbrauchsdaten Energieeffizienzmaßnahmen vorschlagen.
- Ergänzend sind Cross-Selling-Angebote denkbar, bei denen im Falle eines identifizierten „Stromfressers“ der Kunde automatisch auf ein effizienteres Produkt hingewiesen werden kann.
- Übertragungsnetzbetreiber kaufen bereits heute von Dienstleistern Prognosen zur Windeinspeisung ein, um ihrer gesetzlichen Aufgabe nachzukommen, an der Leipziger Strombörse EEX den EEG-Strom zu verkaufen, und nutzen im Tagesverlauf Hochrechnungen, um kurzfristig durch Einsatz von Regelleistung auf Prognoseabweichungen reagieren zu können. Werden zukünftig die neuen Erzeuger nach Marktpreisen statt nach dem EEG abgerechnet, gewinnt die Prognose stark an Bedeutung. Hier haben Dienstleister die Möglichkeit, als Experten für Erzeugungs- oder Verbrauchsprognosen Geschäftsmodelle aufzubauen, indem sie durch entsprechende IT-Anwendungen, Messungen und eine spezialisierte Datenbasis je nach Kundenbedürfnis spezialisierte Prognosen anbieten. Da diese Anwendungen in die IT-Systeme des Energieversorgers, des Börsenhändlers oder des VK-Betreibers integriert werden müssen, ist für Interoperabilität zu sorgen.
- Die vielen dezentralen Anlagen, aber auch größere Windanlagen, benötigen regelmäßige Wartung. Hier kann Ferndiagnostik und -wartung ein Feld für neue Dienstleistungen sein. Dies gilt auch für Elektrofahrzeuge. Es ergibt sich dadurch eine Brücke zur Domäne Verkehr/Fahrzeughersteller, da dort bereits an vergleichbaren Fragestellungen gearbeitet wird und geeignete IKT-Strukturen entwickelt werden.
- Pläne zur Elektromobilität zielen darauf ab, dass der Halter eines Elektroautos auf Wunsch den geladenen Strom nur von einem bestimmten Lieferanten bezieht, egal wo die Batterie aufgeladen wird („Roaming“). Dies könnte z.B. einen Dienstleister als Clearingstelle erfordern. Die Informationsflüsse und geeignete Implementierungen sind noch in Pilotprojekten zu entwickeln und zu erproben.
- Variable und dynamische Tarifwerke, die aktive Komponenten enthalten, werden in Zukunft auch den Endkunden mit kleinem Verbrauch angeboten werden, um den Verbrauch an die Erzeugung anzupassen. Innovative Berater können die Energieverbräuche analysieren und neue Tarifwerke vorschlagen bzw. Energielieferanten zu möglichen Auswirkungen von Kundentarifen beraten.

Im Zusammenhang mit IKT-bezogenen Services in einem zukünftigen Internet der Energie ergeben sich u.a. Fragen zu folgenden Themen:

- neue Typen von Services
- Anforderungen an diese Services, insbesondere Datenschutz oder Realzeitanforderungen
- Nutzbarkeit der Smart Grid-Daten für neue Services
- Übertragbarkeit von Services aus anderen Branchen wie z.B. Telekommunikation
- Nutzung von digitalen sozialen Netzwerken oder mobilen Technologien für neue Energiedienstleistungen
- Standardisierungsbedarf von Servicekomponenten und Datenmodellen (z.B. Abrechnung neuer Tarife, Prognosen)
- Konvergenzen mit anderen Services (z.B. Smart Home, Ambient Assisted Living).

#### 4. FORSCHUNGSFRAGEN ZU ÜBERGREIFENDEN THEMEN

##### 4.1 ENERGIESYSTEME

Forschungsfragen zum Internet der Energie werden meist nur auf Strom bezogen. Jedoch müssen die Fragestellungen auf die Gas- und Wärme-/Kälteversorgung erweitert werden,

um für integrierte Märkte mehr Effizienz zu schaffen und weitere Synergiepotenziale zu heben. So werden sich neue Randbedingungen für das Thema Smart Meter, VK oder auch IKT-Architekturen ergeben. Einige wenige Aktivitäten wie z.B. der vom Land Niedersachsen geförderte „Forschungsverbund Energie Niedersachsen“ (FEN) oder das Energieforschungsnetzwerk „ef.Ruhr“ in Nordrhein-Westfalen beziehen zwar schon Wärme und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit in ihre Überlegungen ein, betrachten aber nicht die komplette Kette von Wärmeerzeugung, -bereitstellung und -nutzung im Sinne des IdE. Als zentrale Elemente der Kopplung dienen dabei das Multi-Utility-Smart Metering und das Gebäudemanagement.

Trotz großer Fortschritte fehlt es am Verständnis der Systemdynamik eines Smart Grids – insbesondere, wenn diese über eine große geographische Ausdehnung betrachtet wird – und beim Verhalten von Komponenten, die auf teilweise autonom agierenden Einheiten basieren, wie z.B. virtuelle Kraftwerke oder Aggregationen adaptiver Verbraucher. Daher sind zusätzliche Grundlagenarbeiten zur Modellierung und Simulation nötig, aber auch Demonstrationsprojekte. Neue Methoden sind dazu zu entwickeln, wie es z.B. im Projekt NetMod bereits begonnen wurde.

FuE-Themen des IdE dazu sind:

- spartenübergreifende Modellierung des Systems zum Vergleich verschiedener Ausgleichsmöglichkeiten fluktuierender Einspeisung (DESERTEC, Speicher, thermische Umwandlung usw.) in größerem räumlichen Maßstab und auf verschiedenen (von netzrelevanten bis saisonalen) Zeitskalen
- Konzept eines IKT-Gesamtsystems, in das sich die einzelnen Technologien einer teils dezentralen und (teil-)autonomen Steuerung aller Komponenten integrieren lassen. Hierzu müssen verschiedene Ansätze entwickelt werden, die miteinander verglichen werden können – beispielsweise durch eine integrierte Simulationsplattform (zunächst ohne Echtzeitanforderungen)
- Migrationskonzept von der jetzigen Netzführung in das IdE
- Untersuchung von Steuermöglichkeiten des Gesamtsystems (zentrale/hierarchische/dezentrale Ansätze)
- Verbindung und Interaktion der Systeme der verschiedenen Domänen (z.B. Stromwirtschaft, Telekommunikation, Gebäudemanagement) inklusive Standards
- Optimierungsansätze und -ziele für Multi-Utility-Fragestellungen, insbesondere Strom und Wärme mit den jeweiligen Speichermöglichkeiten

- Steuerung und Regelung eines Gesamtsystems, dessen Bestandteile weitgehend autonom sind und sich dynamisch ändern oder ausgewechselt werden
- systemübergreifende Testverfahren für die eingesetzten IKT-Komponenten.

## 4.2 INTEROPERABILITÄT, INTEGRATION UND KOMMUNIKATION

### INTEROPERABILITÄT UND ARCHITEKTUREN

Das wichtigste Schlüsselement, um den Transitionsprozess von der Energieversorgung in ihrer heutigen Struktur zu einem Smart Grid anzuschieben, ist die auf Standards und Normen basierende horizontale und vertikale Interoperabilität auf allen Ebenen.

Voraussetzung für eine semantische Interoperabilität sind Datenmodelle, die von den sendenden und den verarbeitenden Systemen inhaltlich gleich interpretiert werden. Ausgangspunkt für eine unterstützende Basisarchitektur ist dabei die „Seamless Integration Architecture“ (SIA) der internationalen Standardisierungsorganisation IEC. Die wichtigsten semantischen Standards lassen sich in die Ebenen Markt, Leitsysteme und Feld/Anlagenebene gliedern.

Aufbauend auf den bisherigen Arbeiten der Standardisierungsgremien sind in folgenden Feldern FuE-Beiträge zu leisten:

- (Weiter-) Entwicklung domänenspezifischer Interoperabilitätsfragen, insbesondere zur Einbindung von Marktsignalen in die Wertschöpfungskette („Demand Response“)
- Standards für „Plug and Play“ der erzeugenden/verbrauchenden/speichernden Energieanlagen, d.h. für die semi-eigenständige Teilnahme am Smart Grid zur selbständigen Anmeldung inklusive selbstbeschreibender Schnittstellen, Konfiguration, Betrieb mit Kommunikation zur Gebäudeautomatisierung und zum Energieversorgungsunternehmen
- Datenmodelle für elektrische Speicher, z.B. im Kontext der Elektromobilität
- Advanced Metering Infrastructure (AMI): Es müssen Standards entwickelt und vereinheitlicht werden (ebenso zur Security). Dazu ist insbesondere noch zu klären, wie stark die AMI festzulegen ist: Was ist sinnvoll/möglich/nötig,



um einerseits Wettbewerb zu fördern, andererseits aber keine Innovationen zu behindern.

- Harmonisierung von Standards der verschiedenen vertikalen und horizontalen Anwendungsebenen
- Entwicklung von domänenübergreifenden, also in mehreren Branchen nutzbarer Standards, z.B. für Tarifmodelle, die Entwicklung von gemeinsamen meteorologischen und geospatialen Modellen für Prognosen von Solar- und Windanlagen bzw. Ortsvariablen
- Entwicklung eines Frameworks für eine Smart Grid-Architektur/systemübergreifende Architekturkonzepte
- Erarbeitung und Entwicklung von Werkzeugen und Verfahren, um es Herstellern von Anlagen oder Netzleitsystemen einfach zu ermöglichen, standardkonforme Module zu entwickeln und zu testen.

Um geeignete IKT-Architekturen zu finden, sind noch viele theoretische und praktische Arbeiten auch in Pilotprojekten zu leisten. An geeignete Architekturkonzepte werden insbesondere aufgrund der Dezentralisierung vielfältige Anforderungen gestellt werden. Viele nichtfunktionale Anforderungen wie Echtzeitanforderungen, Flexibilität, Robustheit etc. müssen erfüllt werden. Die Architektur muss dabei u.a. so gewählt werden, dass der ggf. hohe Datendurchsatz bewältigt werden kann. Dazu muss basierend auf einer noch zu erstellenden Referenzarchitektur ermittelt werden, wie groß die Datenvolumina sind und wie sie sich zeitlich verteilen. Es ist insbesondere zu untersuchen, welche Effekte die Wahl der Architektur auf die Stromversorgung hat (Versorgungssicherheit, Kosten, Risiken, Sicherheit usw.).

Außerdem müssen Methoden zur überprüfbar und reproduzierbaren Migration der bestehenden IKT in der Energiewirtschaft auf die erforderlichen integrierten Systeme für ein Smart Grid entwickelt werden.

Um geeignete Architekturen für das IdE zu finden, müssen in folgenden Gebieten Fortschritte erzielt werden:

- Architekturmodelle auf den verschiedenen vertikalen Ebenen
- (Weiter-)Entwicklung von Referenzarchitekturen<sup>15</sup>
- Beschreibungsmethoden und Bewertungskriterien unterschiedlicher Architekturkonzepte
- nichtfunktionale Anforderungen im IdE und deren Abbildung in eine Architektur
- Migration der heutigen IKT-Landschaft eines EVU in das Smart Grid
- unternehmensübergreifende Architekturen und Dienste.

### REMOTE UPDATE/KOMPATIBILITÄT

Betriebsmittel der Energieversorgung haben oft eine lange Lebensdauer. Elektrotechnische Bestandteile des Netzes und die Stationsleittechnik haben typische Investitionszyklen von ca. 40 Jahren, Windkraft- und PV-Anlagen von einigen Jahrzehnten. Die Modernisierung der IKT-basierten Energieversorgung schreitet jedoch viel schneller voran. Bei Kommunikationsvorrichtungen und eingebetteten Systemen im Feld, die dann ähnlich lange Zyklen haben werden, müssen daher Entwürfe gewählt werden, die sowohl abwärts- wie aufwärtskompatibel sind. Softwarebasierte Systeme müssen so ausgelegt und angebunden sein, dass Remote Updates möglich sind.

Bisher sind wenige Aspekte dieses Themas untersucht und veröffentlicht. Wichtige Themenfelder für das IdE sind

- Kompatibilität der IKT-Komponenten, insbesondere im Feld, über lange Zeiträume
- Updatemechanismen für entfernte Wartung im Feld.

### KOMMUNIKATION

Die heutigen Kommunikationsverbindungen im Übertragungsnetz können aus vielen Gründen nicht als Modell für das Smart Grid dienen, u.a. weil sie maßgeblich auf abgeschotteten Punkt-zu-Punkt-Verbindungen und proprietären Protokollen beruhen. Die Kommunikationsanforderungen für das IdE sind bisher nicht systematisch untersucht worden. Auf der einen Seite muss die Kommunikationsinfrastruktur die heutigen Systeme noch relativ lange unterstützen, auf der anderen Seite dürfen lange Investitionszyklen nicht dazu führen, dass die Hardware und Software unverändert in den Geräten verbleibt und so Innovationen verhindert werden. Da

<sup>15</sup> Der Begriff „Referenzarchitektur“ wird – nicht nur im IdE-Umfeld – uneinheitlich verwendet. Der beste Ausgangspunkt ist die „Seamless Integration Architecture“ der IEC, evtl. auch die in Entwicklung befindliche Kommunikationsreferenzarchitektur des P2030 Projekts der IEEE.

die Kommunikation im IdE IP-basiert sein wird, ist zu untersuchen, wie eine zuverlässige Kommunikation auf dieser Basis erreicht werden kann. Die Kommunikationsanforderungen in den einzelnen Anwendungsfeldern sind zu verstehen und geeignete Lösungen zu finden. Im Umfeld Elektromobilität und Gebäudemanagement werden darüber hinaus Anforderungen anderer Domänen berührt. Eine besondere Herausforderung ist der Aufbau einer Kommunikationsinfrastruktur, die in ihren wesentlichen Teilen auch bei Stromausfall funktioniert.

Wichtige FuE-Themen vor diesem Hintergrund sind

- Kommunikationsanbindung im IdE
- Zuverlässigkeit und Sicherheit der Übertragung
- unterbrechungsfreie Kommunikationsversorgung
- Echtzeitfähigkeit der Kommunikationsanbindung
- Bedrohungsszenarien der IKT-Infrastruktur
- Zusammenhang mit den Kommunikationsanforderungen und -lösungen anderer Domänen
- Aufbau eines ausfallsicheren Versorgungssystems auf Basis einer nicht-ausfallsicheren Kommunikation.

## INTELLIGENTES DATENMANAGEMENT

Die Notwendigkeit, im zukünftigen Smart Grid große Datenmengen in kurzer Zeit verarbeiten zu müssen, hat seine Ursachen in der großen Anzahl zu überwachender und steuernder Energieanlagen sowie Betriebsmittel und der Einführung der hochauflösenden elektronischen Zähler. So wäre z.B. allein beim hochaufgelösten Smart Metering im Sekundenbereich das Datenvolumen um den Faktor 32 Mio. im Vergleich zu heute erhöht. Wesentlich für das zu erwartende Datenvolumen ist dabei die gewählte Organisationsform des Systems (z.B. Aggregationskonzepte für Messwerte im Ortsnetz).

Je nach Einsatzkontext sind die Verfahren des intelligenten Datenmanagements anzupassen. Kategorien sind dabei u.a. Zuverlässigkeit, Echtzeitanforderungen, Datenqualität und Datenvolumen. Zur Überwachung des Netzes sollten Methoden des Datenstrommanagements evaluiert werden. (Automatisierte) Datenverarbeitungsalgorithmen sind zu entwickeln, einzusetzen und ständig zu verbessern, z.B. bei der Prognose von Verbrauchsdaten oder dem Erkennen netzkritischer Situationen. Zusätzlich können Datenvisualisierungen aus verschiedenen Quellen dem Betriebspersonal helfen, kritische Situationen frühzeitig zu erkennen.

In den heutigen Systemen der Versorger sind Anlagen und Betriebsmitteldaten in der Regel mit Fehlern behaftet, da diese Daten manuell eingegeben werden und keinen strengen Qualitätsanforderungen unterliegen. Dies stellt kein großes Problem dar, da die Daten kaum in automatisierte Prozesse eingehen. Aber auch Sensoren im Netz oder an den Einspeisern produzieren Fehler (Messfehler, „hängende Werte“) oder es werden schlicht keine Daten aufgrund gestörter Kommunikation übertragen.

Für viele zukünftige Anwendungen wird eine deutlich höhere Datenqualität in den Systemen benötigt. In Zukunft müssen daher automatisierte Datenqualitätssicherungsalgorithmen und -prozesse entwickelt bzw. angepasst werden.

Zum intelligenten Datenmanagement müssen in den folgenden Feldern Fortschritte erzielt werden:

- Algorithmen zur Verarbeitung großer Datenmengen
- skalierbare verteilte Systeme für das Datenmanagement
- Echtzeitauswertung von Daten
- automatisiertes Datenqualitätsmanagement
- Data Mining im jeweiligen Anwendungskontext (Prognose von Erzeugung oder Verbrauch, Bewertung von Systemzuständen usw.).

## 4.3 SICHERHEIT/INFORMATIONSSICHERHEIT

Während heutige IT-Anwendungen der Energiedomäne von den meisten Experten als sicher angesehen werden, sind in den nächsten Jahren deutliche Anstrengungen zu unternehmen, um den heutigen Stand zu halten. Als Sicherheit (engl. Security) definiert man meist die Verfolgung der Schutzziele Vertraulichkeit (verhindern, dass Informationen unautorisiert eingesehen werden), Integrität (verhindern, dass Informationen unautorisiert geändert oder entwendet werden), Verfügbarkeit (autorisierte Benutzer sind in der Lage, ein System zu verwenden) und Verbindlichkeit (getätigte Aktionen sind im Nachhinein beweisbar)<sup>16</sup>.

Gefährdungspotenziale des Smart Grids sind im Wesentlichen durch die folgenden Auslöser bedingt:

<sup>16</sup> Eckert, C., IT-Sicherheit – Konzepte, Verfahren, Protokolle, Oldenbourg: Wissenschaftsverlag GmbH 2004.

- die steigende Komplexität der Netzbetriebsführung,
- ein verstärktes Bedrohungspotenzial durch Terroranschläge,
- die vergrößerte Angriffsfläche durch die IKT-Durchdringung,
- zusätzliches Datenaufkommen insbesondere im Kundenbereich,
- Standardisierung der Kommunikation statt proprietärer Protokolle („security by obscurity“).

Es müssen sowohl präventive Verfahren zum Schutz, zur Erkennung und zur Abwehr von Bedrohungen als auch Verfahren und Methoden zur Schadensbegrenzung nach erfolgtem Angriff entwickelt und eingesetzt werden.

Sicherheitsfragen müssen als Querschnittsfragen jeweils über Prozessketten hinweg betrachtet und mögliche Lösungen im jeweiligen Anwendungs- und Bedrohungskontext bewertet werden. So ist z.B. ein Netzleitsystem ganz anders zu schützen als ein einzelnes Smart Meter, eine urbane moderne Kommunikationsinfrastruktur anders als ländliche „Broadband Power Line“ Kommunikation. Auch wenn davon auszugehen ist, dass prinzipiell die notwendigen Technologien zur Verfügung stehen, gibt es wenige Ergebnisse zur Erfassung und zur Lösung von Sicherheitsfragen. Dennoch sollten Sicherheitsaspekte frühzeitig in Architekturentwürfe einbezogen werden.

Die Stromversorgung hat eine wichtige Besonderheit in Bezug auf die unterschiedlichen Aspekte der Sicherheit: Während in fast allen IKT-Anwendungsfeldern die Vertraulichkeit im Vordergrund steht, ist im IdE die Verfügbarkeit – also die Zuverlässigkeit und Unterbrechungsfreiheit der Stromversorgung – das am höchsten priorisierte Schutzziel. Dies schließt viele Maßnahmen zum Schutz aus. Als Beispiel mögen auf eingebetteten Systemen beruhende Steuerelemente in den Anlagen, die bereits erwähnten „Intelligent electronic Devices“ und „Remote Terminal Units“ mit ihren häufig schwachen Prozessoren dienen. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Reaktionszeit sind Public-Key-Infrastructure-Mechanismen in der Regel ausgeschlossen, da evtl. nicht mehr in Echtzeit auf Multicast-Nachrichten (z.B. GOOSE in IEC 61850) reagiert werden könnte.

Datenschutzfragen (engl. Privacy) ergeben sich im Wesentlichen im Zusammenhang mit elektronischen Zählern. Auf der einen Seite ist der Versorger verpflichtet, Kundendaten

nur soweit zu nutzen, wie es zur Erfüllung der Abrechnungsaufgaben nötig ist. Auf der anderen Seite wird gewünscht, dass die teils hochaufgelösten Informationen vom Netzbetreiber genutzt werden, um kritische Zustände besser zu erkennen und darauf reagieren zu können. Es sind Verfahren und Anwendungen zu entwickeln, die möglichst beide Anforderungen erfüllen.

Die wichtigen FuE-Themen in diesem bisher vernachlässigten Themenfeld sind:

- Bedrohungsanalyse und Schwachstellenanalyse der IKT
- Verfahren zu Schadensverhütung, -erkennung, -begrenzung
- Technologien zur Vereinbarung von Schutzinteressen und Informationsverwertung
- IKT-Redundanz zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit
- Berücksichtigung von Sicherheitsanforderungen beim Entwurf von Architekturen
- „long term security“ bei eingebetteten Systemkomponenten
- Datenschutz bei neuen Services
- Schutzverfahren im Feld
- Verhinderung von Preismanipulationen oder Nutzung von Insiderinformationen durch Angriffe auf Agenten.

## 5. REFERENZEN

Im Folgenden sind einige Schriften aufgeführt, die überblicksartig Fragestellungen zum Thema „Internet der Energie“ darstellen.

### **Appelrath et al. 2007**

Appelrath, H.-J. et al. (Hrsg.): Veränderungen in der Energiewirtschaft – Herausforderungen für die IT, Wirtschaftsinformatik 49 (2007), Heft 5, S. 329-330.

### **Appelrath 2008**

Appelrath, H. J. et al. (Hrsg.): IT in der Energiewirtschaft. Trackproceedings der MKWI, Berlin: GITO Verlag 2008.

### **Buchholz et al. 2008**

Buchholz, B. et al.: Smart Distribution 2020: virtuelle Kraftwerke in Verteilungsnetzen : technische, regulatorische und kommerzielle Rahmenbedingungen; Studie der Energietechnischen Gesellschaft im VDE (ETG), Frankfurt a. M.: VDE, 2008.

### **Chebbo 2009**

Chebbo M.: ICT for Sustainable Growth Unit, ICT for a Low Carbon Economy - Smart Electricity Distribution Networks, Findings by the High-Level Advisory Group on ICT for Smart Electricity Distribution Networks - On the Energy sector, European Commission Directorate-General Information Society and Media, 2009.

### **European Commission 2007**

European Commission: European Smart Grids Technology Platform, Strategic Research Agenda. [www.smartgrids.eu](http://www.smartgrids.eu), Luxemburg: European Communities, 2007.

### **Franz et al. 2006**

Franz, O. et al.: Potenziale der Informations- und Kommunikations-Technologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs (eEnergy), Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bad Honnef: Selbstverlag, 2006.

### **Günther 2009**

Günther, E.: IEC Standardization „Smart Grid“, Survey prepared for IEC SMB SG 3 „Smart Grid“. Geneva, 2009.

### **Hauser et al. 2005**

Hauser, C. H. et al.: A Failure to Communicate. In: IE Power & Energy Magazine 3 (2005), S. 47-55.

### **Horenkamp et al. 2007**

Horenkamp, W. et al.: VDE-Studie Dezentrale Energieversorgung 2020, Frankfurt a. M.: ETG, 2007.

### **IEC 2010**

IEC: Power system control and associated communications – Reference architecture, IEC 62357-TR (Ed.1.2003) 2010.

### **Locke/Gallagher 2009**

Locke, G./Gallagher, P.D.: NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards Release 1.0. Office of the National Coordinator for Smart Grid Interoperability, 2009.

**Mamo 2008**

Mamo, X.: Update of the Profiling and Mapping of Intelligent Grid R&D Programs, Technical Report. Electric Power Research Institute, 2008.

**Mayer/Rohjans 2010**

Mayer, C./Rohjans, S. (Hrsg.): Smart Grids aus IT-Sicht und ihre Einbettung in nationale und internationale Frameworks. In: Beck, H.-P.: Handbuch Energiemanagement, Wirtschaft/Recht/Technik. Auflage 2010 (to appear).

**Parker/Hoak/Cummings 2008**

Parker, D.S./Hoak, D./Cummings, J.: Pilot Evaluation of Energy Savings from Residential Energy Demand Feedback Devices. Final Report by the Florida Solar Energy Center to the U.S. Department of Energy, Cocoa, 2008.

**Rehtanz/Wietfeld 2009**

Rehtanz, C./Wietfeld, C.: Das Internet der Energie - Trends in der Automatisierung von Energienetzen. In: Automatisierungstechnik 57 (2009), S. 514-524.

**Stein/Uslar et al. 2010**

Stein, J./Uslar, M. et al.: Die Deutsche Normungsroadmap E-Energy/Smart Grid. VDE/BMWi, 2010.

**Terzidis et al. 2008**

Terzidis, O. et al.: Internet der Energie - IKT für Energiemärkte der Zukunft, BDI-Drucksache Nr. 418, Mannheim: Müllerdruck, 2008.

**Uslar et al. 2009**

Uslar, M. et al.: Untersuchung des Normungsumfeldes zum BMWi-Förderschwerpunkt „E-Energy - IKT-basiertes Energiesystem der Zukunft“. www.e-energy.de, 2009.

Die folgenden Projekte werden als Beispiele im Text referenziert:

**DEUTSCHE PROJEKTE**

**DEZENT** <http://ls3-www.cs.uni-dortmund.de/de/projekte/arbeitsgruppen/dezent/>

**DINAR** [http://www.iset.uni-kassel.de/pls/w3isetdad/www\\_iset\\_new.main\\_page?p\\_name=7231004&p\\_lang=ger](http://www.iset.uni-kassel.de/pls/w3isetdad/www_iset_new.main_page?p_name=7231004&p_lang=ger)

**E-Energy** <http://www.e-energy.de/>

**ef.Ruhr** <http://www.ef-ruhr.de/index.php?id=82>

**eTelligence** <http://www.etelligence.de>

**EWE-Box** <http://www.ewe.de/ewe-macht-zukunft/ewe-box.php>

**FEN** <http://www.fven.de/>

<b>NetMod</b>	<a href="http://www.netmod.org/">http://www.netmod.org/</a>
<b>SchwarmStrom</b>	<a href="http://www.lichtblick.de/h/schwarmstrom_288.php">http://www.lichtblick.de/h/schwarmstrom_288.php</a>
<b>SESAM</b>	<a href="http://www.internetoeconomie.uni-karlsruhe.de">http://www.internetoeconomie.uni-karlsruhe.de</a>

#### INTERNATIONALE PROJEKTE

<b>BeAware</b>	<a href="http://www.energyawareness.eu">http://www.energyawareness.eu</a>
<b>CRISP</b>	<a href="http://www.crisp.ecn.nl">http://www.crisp.ecn.nl</a>
<b>EU-DEEP</b>	<a href="http://www.eu-deep.com">http://www.eu-deep.com</a>
<b>FENIX</b>	<a href="http://fenix2.iset.uni-kassel.de/ifs/files/ifs/webui/jsps/fenix/main.jsp?page_nr=19">http://fenix2.iset.uni-kassel.de/ifs/files/ifs/webui/jsps/fenix/main.jsp?page_nr=19</a>
<b>MICROGRIDS</b>	<a href="http://www.microgrids.eu">http://www.microgrids.eu</a>
<b>MOREMICROGRIDS</b>	<a href="http://www.microgrids.eu">http://www.microgrids.eu</a>
<b>S-TEN</b>	<a href="http://www.s-ten.eu">http://www.s-ten.eu</a>
<b>SmartHouse/SmartGrid</b>	<a href="http://www.smarthouse-smartgrid.eu/">http://www.smarthouse-smartgrid.eu/</a>

