

## > Future Energy Grid

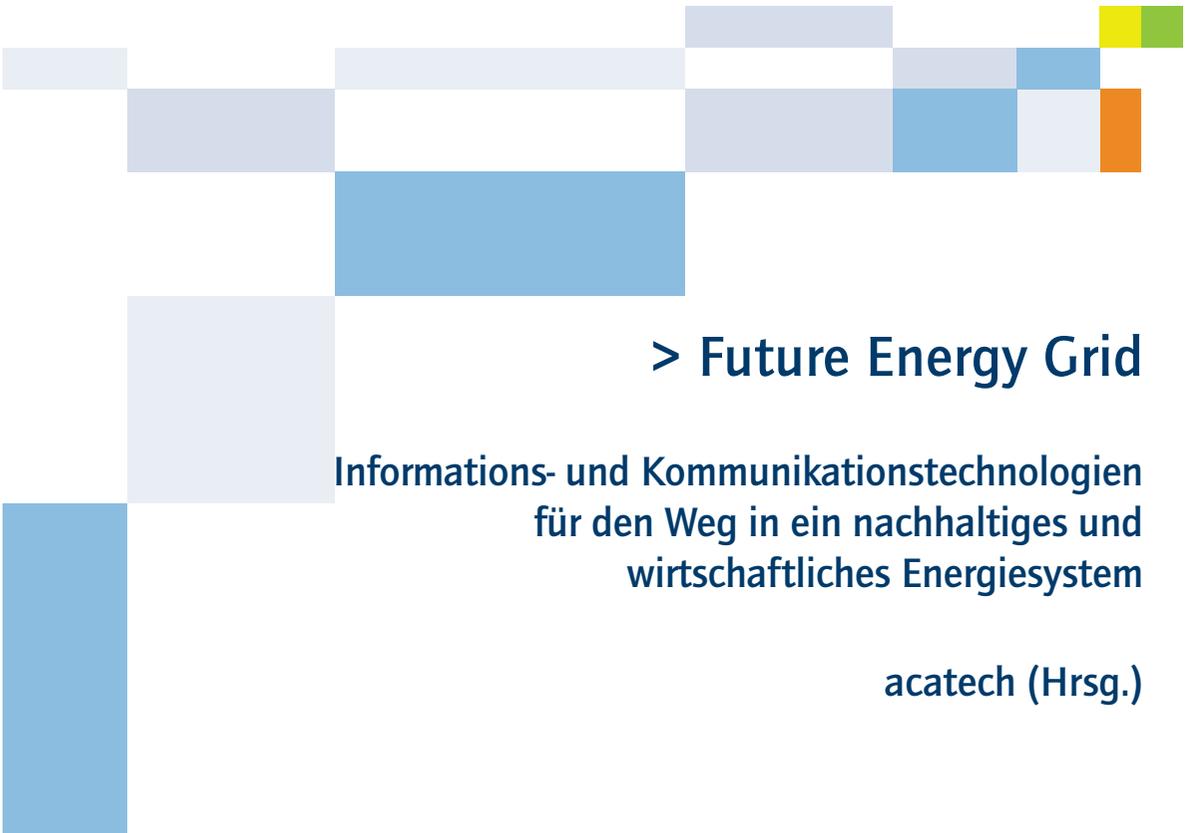
Informations- und Kommunikationstechnologien  
für den Weg in ein nachhaltiges und  
wirtschaftliches Energiesystem

acatech (Hrsg.)

# acatech POSITION

 acatech

DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



## > Future Energy Grid

Informations- und Kommunikationstechnologien  
für den Weg in ein nachhaltiges und  
wirtschaftliches Energiesystem

acatech (Hrsg.)

# acatech POSITION

Februar 2012

**Herausgeber:**

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2012

Geschäftsstelle  
Residenz München  
Hofgartenstraße 2  
80539 München

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)

Koordination: Dr. Andreas König

Redaktion: : Renate Danelius, Linda Tönskötter

Layout-Konzeption: acatech

Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS,  
Sankt Augustin

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf [www.springerlink.com](http://www.springerlink.com)

## > INHALT

KURZFASSUNG	4
PROJEKT	8
1 EINLEITUNG	10
2 ACHT THESEN ZUR ZUKUNFT DER STROMVERSORGUNG	15
3 ZEHN EMPFEHLUNGEN FÜR DEN SMART-GRID-AUFBAU IN DEUTSCHLAND	20
LITERATUR	28

## KURZFASSUNG

Deutschlands Energiewende kann nur mit Smart Grids gelingen. Bis 2022 will Deutschland aus der Kernenergie aussteigen und zügig auf eine Energieversorgung auf der Grundlage erneuerbarer Energien, wie Wind- oder Sonnenenergie, umstellen. Die Stromproduktion aus diesen Energiequellen ist jedoch sehr unregelmäßig, da Wind und Sonne nicht kontinuierlich zur Verfügung stehen. Das derzeitige Elektrizitätsnetz ist für einen hohen Anteil fluktuierender Energiequellen nicht ausgelegt. Die erneuerbaren Energien lassen sich in großem Umfang nur in das Elektrizitätssystem integrieren, wenn Netzinfrastruktur und Speicherkapazitäten erweitert werden. Unerlässlich ist für die künftige Stromversorgung Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT). In einem sogenannten Smart Grid verschmelzen IKT und Energietechnik, die einzelnen Infrastrukturkomponenten kommunizieren miteinander und passen so Stromverbrauch und -erzeugung intelligent einander an.

Doch die IKT ist nicht nur ein wichtiger Enabler für die erfolgreiche Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem und damit für eine nachhaltige Energieversorgung. Smart Grids können dazu beitragen, dass Deutschland seine Energieressourcen effizient nutzt. Sie können maßgeblich zu einer weiterhin zuverlässigen Versorgung der Menschen mit langfristig bezahlbarem Strom beitragen. Durch die Verbindung mit IKT stehen den Verbrauchern neue intelligente Anwendungen zur Verfügung, die zum Beispiel beim Energiesparen helfen oder den Stromverbrauch automatisiert analysieren und derart steuern, dass sie stets möglichst günstige Tarife nutzen. Es entstehen neue Marktmodelle und Wertschöpfungsketten, die besonders für kleine Unternehmen und Start-ups, aber auch für kleine Energieerzeuger Chancen eröffnen. Sie können mit innovativen, smarten Diensten und Anwendungen am Markt teilnehmen bzw. regenerativen Strom gewinnmaximierend in das Netz einspeisen oder vermarkten. Die Endkunden profitieren von variablen Stromtarifen, die der unterschiedlichen Netzauslastung im Tagesverlauf entsprechen, und können bei-

spielsweise günstigen Nachtstrom nutzen. Insgesamt kann sich Deutschland mit der Entwicklung und dem Export zukunftsfähiger Smart-Grid-Technologien international einen Wettbewerbsvorteil verschaffen und sich als Leitanbieter in diesem Bereich etablieren. Wachstum und Wertschöpfung werden gefördert und Arbeitsplätze geschaffen.

### **Regenerativ, dezentral und fluktuierend – Herausforderungen für den Aufbau eines Smart Grids**

Mit dem Umbau der Elektrizitätsinfrastruktur kommen immense Herausforderungen auf Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Bevölkerung zu. Die Koordinierung der schwankenden Stromerzeugung und des je nach Tageszeit unterschiedlichen Stromverbrauchs ist das eine. Darüber hinaus wird zukünftig die Stromerzeugung deutlich dezentraler strukturiert sein. Nicht mehr ausschließlich vergleichsweise wenige zentrale Kraftwerke bestimmen das Energiesystem, sondern zahlreiche verstreute Klein- und Kleinstherzeuger, wie Photovoltaikflächen, Windparks, Blockheizkraftwerke, Geothermie- oder Biomasseanlagen speisen Strom in das System ein. Verbraucher werden zunehmend auch zu Erzeugern und betreiben beispielsweise eigene Photovoltaikanlagen. Statt wie bisher von den zentralen Großerzeugungseinheiten hin zu den Verbrauchern, fließt der Strom nun auch in umgekehrter Richtung, von den Verbrauchern zu den Großerzeugern. An diesen „bidirektionalen“ Stromverkehr muss die Netzinfrastruktur angepasst werden: Wie kann der Strom der zahlreichen Kleinstherzeuger an die ebenfalls zahlreichen Verbraucher optimal abgegeben werden? Wie wird sichergestellt, dass immer ausreichend Strom zur Verfügung steht, die Netzfrequenz stabil bleibt und wie können wir in Zeiten der Überproduktion überschüssige Energie speichern? Eine zusätzliche Herausforderung werden neue intelligente Geräte darstellen, die ebenfalls in die Infrastruktur integriert werden müssen. Zum Beispiel Elektrofahrzeuge: Sie benötigen einerseits selbst Strom, andererseits könnten sie in Stehzeiten den in ihren Batterien gespeicherten, ungenutzten Strom wieder in das Netz einspeisen, wenn der Strombedarf im System

hoch ist. Das intelligente Energiesystem der Zukunft muss also Verbraucher, Erzeuger, Speicher sowie Netzbetreiber miteinander vernetzen. Im gesamten System erhöht sich folglich der Bedarf an Messungen, an automatisierter Regelung und somit an Kommunikation zwischen einzelnen Komponenten.

Für die Gewährleistung der Netzstabilität und Versorgungssicherheit stellen die skizzierten Entwicklungen eine große technische und ökonomische Herausforderung dar. Die elektrische und die IKT-Infrastruktur müssen ausgebaut werden. Stellt die IKT-Lastigkeit des neuen Netzes einerseits seine Stärke dar, beinhaltet sie andererseits auch Risiken. Es ist unbedingt sicherzustellen, dass die virtuellen Anteile der Infrastruktur nicht zu Einfallstoren für Hacker und kriminelle Angreifer werden. Da das Smart Grid eine sicherheitskritische Infrastruktur ist, müssen Sicherheitsmaßnahmen den Aufbauprozess von Beginn an begleiten. Ein Smart Grid transportiert nicht nur Strom, sondern auch riesige Mengen an Daten und Informationen. Deshalb kommt dem Datenschutz und der Informationssicherheit eine besonders wichtige Rolle bei der Umgestaltung des Energiesystems zu. Wer zu welcher Zeit und zu welchem Zweck Zugang zu den Daten hat, sollte transparent und nachvollziehbar sein. Rückschlüsse seitens Dritter auf das individuelle Nutzungsverhalten dürfen nachweislich nicht möglich sein. Bei allen Aufwänden muss der Strom dabei bezahlbar bleiben, um für den Wirtschaftsstandort Deutschland keine Nachteile erwachsen zu lassen und den hohen Lebensstandard zu bewahren. Regulatorische Maßnahmen müssen getroffen und finanzielle Anreize gesetzt werden, damit neue Märkte, Wertschöpfungsketten und Arbeitsplätze entstehen können. Daneben müssen auch die Menschen in Deutschland die Erneuerung des Energiesystems mittragen. Den Verbrauchern muss ein deutliches und transparentes Bild von dem gezeichnet werden, was sie im Smart Grid erwartet. Denn ohne das Vertrauen der Menschen in die Sicherheit des Smart Grids bleibt das Energienetz der Zukunft visionäre Theorie.

Acht Thesen beschreiben die Zukunft der Energieversorgung:

- Die Energiewende ist möglich, erfordert aber unbedingt den Umbau der Elektrizitätsnetze zu Smart Grids.
- Eine gelungene Migration zum Smart Grid bedarf der effizienten Synchronisation vieler Handlungsfelder und des koordinierten Zusammenspiels zahlreicher Akteure.
- Das notwendige Systemverständnis in Wirtschaft, Wissenschaft und Politik ist noch nicht in ausreichendem Maße erreicht.
- Der Smart-Grid-Aufbau erfolgt in drei Phasen: Konzeptionsphase, Integrationsphase und Fusionsphase.
- Neue Märkte, Marktrolle, Wertschöpfungsketten und Arbeitsplätze entfalten sich nur, wenn der gesetzliche Rahmen stimmt.
- Der deutsche Weg ist ohne die Orientierung an internationalen Entwicklungen nicht gangbar.
- Akzeptanz entsteht durch verbrauchergerechten Dialog und attraktive Produkte.
- Das Smart Grid ist eine sicherheitskritische Infrastruktur – Sicherheitsmaßnahmen müssen den Aufbauprozess von Beginn an begleiten.

#### Die acatech STUDIE „Future Energy Grid“

Die Thesen und folgenden Empfehlungen basieren auf der acatech STUDIE „Future Energy Grid. Migrationspfade ins Internet der Energie“. Sie beschreibt den Beitrag der IKT für den Aufbau eines neuen, intelligenten Energiesystems sowie die Herausforderungen und Chancen, die damit einhergehen. Dabei werden drei stark unterschiedliche Szenarien betrachtet, die in ihrer Gesamtheit einen möglichen Entwicklungskorridor bis zum Jahr 2030 aufzeigen.

Das erste Szenario „20. Jahrhundert“ zeigt in Bezug auf das Smart Grid eine Ähnlichkeit mit der heutigen Struktur. Der IKT-Einsatz ist weitgehend auf die hohen Spannungsebenen beschränkt, das heißt auf das Übertragungsnetz, welches die Gesamtheit der Netzteile auf Höchstspannungsebene

umfasst, und auf die Großkraftwerke. Es wird weiterhin hauptsächlich in großen zentralen Einheiten Elektrizität erzeugt, meist auf der Basis konventioneller Brennstoffe. Die Infrastruktur wird insbesondere im europäischen Verbundnetz, dem Zusammenschluss der nationalen Übertragungsnetze, zur Verbesserung des europaweiten Stromhandels ausgebaut. Im Verteilnetz, das die Netzbestandteile der Nieder-, Mittel- und Hochspannungsebene umfasst, sind nur geringe Anpassungen notwendig. Für dieses Szenario müsste sich der politische Wille ändern, die Energieversorgung auf eine regenerative Basis zu stellen.

Das zweite Szenario „Komplexitätsfalle“ ist dadurch gekennzeichnet, dass zwar die Energiewende vorangetrieben werden soll, es jedoch nicht gelingt, die geeigneten technischen und ordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen zu schaffen. Dies führt dazu, dass sich ein Smart Grid nur unzureichend ausbilden kann und sich daher der Ausbau der fluktuierenden und dezentralen Einspeisung verzögert. Das Szenario zeichnet sich durch geringe Effizienz bei hohen Kosten aus. Seine Umsetzung ist dann wahrscheinlich, wenn es nicht gelingt, eine Synchronisation der technischen und rahmenpolitischen Entwicklungen sowie der beteiligten Akteure, ein geordnetes Zusammenspiel und einen Monitoringprozess zu etablieren.

Im Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“ ist ein Smart Grid im Einklang mit den energiepolitischen Zielen der Energiewende in vollem Umfang etabliert. Eine marktwirtschaftlich orientierte Integration der erneuerbaren Energien und des Stromtransports ist gelungen. Smart Grids steuern intelligent und sicher die Balance zwischen Verbrauch, Erzeugung, Speicherung und Stromverteilung in Echtzeit. Aufgrund neuer Dienstleistungen auch für Endanwender stoßen die neuen Technologien auf breite Akzeptanz.

Für jedes der drei Szenarien wird der sogenannte IKT-technische Migrationspfad beschrieben. Er zeigt, welche techni-

schen Entwicklungsschritte zu welchem Zeitpunkt erreicht sein müssen und welche Vorbedingungen für diese Schritte zu schaffen sind, um die infrastrukturellen Grundlagen zum Erreichen des gesetzten energiepolitischen Ziels zu schaffen, nämlich im Jahr 2030 50 Prozent des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Quellen zu decken.

Der Migrationspfad in das wünschenswerte Energiesystem des Szenarios „Nachhaltig Wirtschaftlich“ wird dabei in drei Phasen eingeteilt: In der „Konzeptionsphase“ bis zum Jahr 2015 werden die Weichen für die folgenden Phasen gestellt. Die notwendigen technischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen werden konzipiert. In der darauffolgenden „Integrationsphase“ (2015 bis 2020) werden die stark kommunikativen Systembestandteile, beispielsweise dezentrale Erzeugungsanlagen, intelligente Haushaltsgeräte oder neue Marktplätze, zunehmend über IKT in die bestehende Elektrizitätsinfrastruktur eingebunden. Das Netz wird erst in dieser Phase einen entsprechenden Umbau erfahren. In der Dekade von 2020 bis 2030, der „Fusionsphase“, sind die kommunikativen mit weniger kommunikativen Systemelementen, wie den zentralen Erzeugungseinheiten oder den Verteilnetzen, so intensiv vernetzt, dass ein „fusionsiertes“ System entstanden ist.

#### **Zehn Empfehlungen für den Weg zum Smart Grid**

In der Gesamtschau der drei Szenarien trägt lediglich das Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“ effizient zu der Umsetzung der energiepolitischen Ziele bei. Wenn die Energiewende gelingen soll – und das ist nach Ansicht von acatech möglich –, dann muss von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft der Aufbau eines Smart Grids entsprechend den Vorstellungen in diesem Szenario vorangetrieben werden; nämlich zügig und in Abstimmung mit allen beteiligten Akteuren. Es bedarf der gemeinsamen und zielgerichteten Anstrengung, um den in das gesellschaftlich gewünschte Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“ führenden Pfad einzuschlagen und den Pfad zur „Komplexitätsfalle“ zu vermeiden.

acatech empfiehlt daher konkret:

1. Eine *Task-Force* „*Future Energy Grid*“ erarbeitet eine abgestimmte und zielgerichtete Strategie zur Implementierung eines Smart Grids in Deutschland. Sie ist mit Vertretern der Wirtschaft, der Wissenschaft, der Behörden und zivilgesellschaftlicher Einrichtungen wie Nichtregierungsorganisationen zu besetzen.
2. Eine *Roadmap* für die zügige Weiterentwicklung systembestimmender Technologien ist zu erstellen, um die rechtzeitige technische Umsetzung des Smart Grids zu ermöglichen.
3. Eine *ationale Forschungsagenda* benennt die akuten Forschungsthemen und macht Vorschläge zur Fördermittelplanung. Ziel ist es, Systemverständnis zu schaffen.
4. Ein *wissenschaftliches Kompetenzzentrum* soll eingerichtet werden, welches Informationen sowie Fachwissen bündelt und maßgeblich zum Aufbau von Systemkompetenz beiträgt.
5. Der gesetzgeberische Rahmen ist anzupassen. Notwendig ist eine neue *Marktordnung*. Diese sollte unter anderem Anreize für eine marktkonforme Stromerzeugung, für Investitionen in Speichertechnologien, Netze und IKT-Infrastrukturen enthalten. Der Rechtsrahmen zum Datenschutz ist weiterzuentwickeln.
6. Im Anschluss an die Erprobungsphase in den sechs Modellregionen im Rahmen der E-Energy-Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) müssen erweiterte *Pilotregionen* etabliert werden. Neben den technologischen Fragestellungen sollten in diesen auch innovative Konzepte für eine neue Marktordnung getestet werden.
7. Die Umsetzung der Gesamtstrategie und der Technologie-Roadmap muss durch ein *Smart-Grid-Monitoring* begleitet und in den Monitoringprozess „Energie der Zukunft“ der Bundesregierung integriert werden. Die Monitoringergebnisse dienen der Bundesregierung zur regelmäßigen Überprüfung der Maßnahmen.
8. Die *Zusammenarbeit mit den Nachbarstaaten* etwa im Dachverband European Network of Transmission System Operators for Energy (ENTSO-E) muss ausgebaut und die Entwicklung von Technologiestandards vorangetrieben werden, denn das Energienetz macht an Landesgrenzen nicht Halt. Hierbei sollte Deutschland als Vorreiter bei der Umstellung des Elektrizitätssystems auf regenerative Energien eine leitende Position einnehmen.
9. Die Bevölkerung ist in den Umbau des Energiesystems einzubinden. Dialogforen ermöglichen den Austausch mit den Bürgern, die umfassend über die neuen Technologien aufgeklärt werden müssen, um Vertrauen in das Smart Grid zu schaffen.
10. Spezialisierte *Fachkräfte* für Smart Grids müssen ausgebildet werden. Besonders ist hierbei auf die Ausbildung der Schnittstellenberufe wie Energieinformatiker zwischen Energietechnologie und IKT zu achten. Die Ausbildung zu bestehenden Berufen wie Heizungsbauer oder Elektriker muss angepasst werden.

# PROJEKT

Diese Position entstand auf Grundlage der acatech STUDIE *Future Energy Grid. Migrationspfade ins Internet der Energie* (Appelrath et al. 2012).

## > PROJEKTLEITUNG

- Prof. Dr. Dr. h.c. Hans-Jürgen Appelrath, Universität Oldenburg/OFFIS/acatech
- Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. E. h. Henning Kagermann, acatech Präsident

## > PROJEKTGRUPPE

- Prof. Dr. rer. nat. habil. Frank Behrendt, TU Berlin/acatech
- Dr. Andreas Breuer, RWE Deutschland AG
- Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Broy, TU München/acatech
- Christoph Burger, European School of Management and Technology ESMT
- Christian Dänekas, OFFIS
- Torsten Drzisga, Nokia Siemens Networks Deutschland GmbH & Co. KG
- Dr. Jörg Hermsmeier, EWE AG
- Prof. Dr.-Ing. Bernd Hillemeier, TU Berlin/acatech
- Ludwig Karg, B.A.U.M. Consult
- Prof. Dr. Jochen Kreuzel, Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
- Dr. Till Luhmann, BTC AG
- Mathias Maerten, Siemens AG
- Prof. Dr. Friedemann Mattern, ETH Zürich/acatech
- Dr. Christoph Mayer, OFFIS
- Sebastian Rohjans, OFFIS
- Dr. Michael Stadler, BTC AG
- Prof. Dr. Orestis Terzidis, SAP AG
- Thomas Theisen, RWE Deutschland AG
- Prof. Dr. Klaus Vieweg, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg/acatech

- Prof. Dr. Anke Weidlich, SAP AG
- Dr. Michael Weinhold, Siemens AG
- Carsten Wissing, OFFIS

## > REVIEWER

- Prof. Dr. Otthein Herzog, Universität Bremen und Jacobs University Bremen (Vorsitz der Review-Gruppe)
- Prof. Dr. Robert Schlögl, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft
- Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat, TU Braunschweig

acatech dankt allen externen Fachgutachtern. Die Inhalte der vorliegenden Position liegen in der alleinigen Verantwortung von acatech.

## > AUFTRÄGE/MITARBEITER

### European School of Management and Technology, ESMT

- Michael Holtermann
- Dr. Jens Weinmann

### IWI-HSG Universität St. Gallen

- Prof. Dr. Felix Wortmann
- Prof. Dr. Robert Winter
- Stefan Bischoff

### SINUS Markt- und Sozialforschung GmbH

- Wolfgang Plöger
- Jan Hecht

## > KONSORTIALPARTNER/MITARBEITER

### OFFIS, Institut für Informatik, Universität Oldenburg

- Christian Dänekas
- Dr. Christoph Mayer
- Sebastian Rohjans
- Carsten Wissing

## > PROJEKTKOORDINATION

- Christian Dänekas, OFFIS
- Dr. Ulrich Glotzbach, acatech Geschäftsstelle
- Dr.-Ing. Andreas König, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Christoph Mayer, OFFIS

## > PROJEKTVERLAUF

Projektlaufzeit: 1. September 2010 bis 29. Februar 2012

Diese acatech POSITION wurde am 16. Dezember 2011 durch das acatech Präsidium syndiziert.

## > FINANZIERUNG

Das Projekt wurde im Rahmen der E-Energy-Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie gefördert (Förderkennzeichen 01ME10013 und 01ME10012A).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projektträger: Projektträger im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

acatech dankt außerdem den folgenden Unternehmen für ihre Unterstützung: EWE AG/BTC AG, Nokia Siemens Networks GmbH & Co. KG, RWE Deutschland AG, SAP AG, Siemens AG

# 1 EINLEITUNG

Durch den jüngst beschlossenen Ausstieg aus der Kernenergie bis zum Jahr 2022 wird Deutschland das Tempo des Umstiegs in ein Energiesystem beschleunigen, welches auf erneuerbaren Energien basiert. Die Nutzung erneuerbarer Energien, allen voran Wind- und Sonnenenergie, wird bis zum Jahr 2050 kontinuierlich ausgebaut. Der regenerative Anteil am Bruttostromverbrauch soll von aktuell rund 17 auf 35 Prozent bis 2020, auf 50 Prozent bis 2030, auf 65 Prozent bis 2040 und schließlich auf 80 Prozent bis 2050 steigen. Wenn diese Ziele erreicht werden sollen, muss das Elektrizitätssystem von Grund auf umgebaut werden, denn es ist für so große Anteile an regenerativer Energie nicht konzipiert. Gleichzeitig zu diesem staatlich gestalteten Umbau der Erzeugungsstruktur wird der Energiemarkt in Europa liberalisiert, um den Wettbewerb zu fördern. Dabei darf auf eine weiterhin zuverlässige und bezahlbare Stromversorgung in Deutschland nicht verzichtet werden.

Diese ambitionierten Ziele sind mit vielen technischen und politischen Herausforderungen verbunden:

Der Anteil fossiler Primärenergieträger, wie Stein- und Braunkohle, Erdöl oder Erdgas, am Stromaufkommen wird in einigen Jahrzehnten nur noch gering sein. Das bedeutet auch, dass nicht länger zentrale Großeinheiten zuverlässig und steuerbar den Strom erzeugen, sondern Fluktuationen der Erzeugung und dezentrale Einspeiser das System prägen werden. Da Wind- und Sonnenenergie nicht immer gleichermaßen zur Verfügung stehen, unterliegt deren Stromerzeugung starken Schwankungen.

Um die Herausforderungen in Verbindung mit der Erzeugungsumstellung zu meistern, ist zunächst die elektrische Infrastruktur umfangreich zu ertüchtigen.

Der Aufbau und die Funktion dieser Infrastruktur kann in Kürze wie folgt skizziert werden: Für den Langstreckentransport, beispielsweise zwischen Nord- und Süddeutschland, wird das Übertragungsnetz genutzt, welches durch die Gesamtheit der Netzteile auf der Höchstspannungsebene (220 bis 380 kV) gebildet wird. Das Übertragungsnetz ist durch die meist überirdisch verlaufenden Freileitungen mit den sichtbaren Strommasten charakterisiert. Es gibt derzeit vier Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) in Deutschland. Für den Transport in Verbrauchernähe oder den Kurzstreckentransport wird das Verteilnetz genutzt, in dem die Hoch- (110 kV), Mittel- (10 bis 40 kV) und Niederspannungsnetze (230 bis 400 V) zusammengefasst werden. Hier wird der Strom zumeist über Erdkabel übertragen. Im Vergleich zu der Zahl der ÜNB ist die Zahl der Verteilnetzbetreiber (VNB) in Deutschland mit etwa 866 deutlich höher. Von den insgesamt 1,73 Millionen Kilometern Netzlänge im Jahr 2009 in Deutschland waren 35 000 Kilometer (ca. 2 Prozent) dem Höchstspannungsnetz und damit dem Übertragungsnetz zuzuordnen. Mit 76 800 Kilometern (ca. 4 Prozent) in der Höchstspannungsebene, 497 000 Kilometern (ca. 29 Prozent) in der Mittelspannungsebene und 1,12 Millionen Kilometern (65 Prozent) in der Niederspannungsebene liegt der Anteil für das Verteilnetz demnach bei rund 98 Prozent des gesamten deutschen Netzes.<sup>1</sup> Die Verbindung der verschiedenen Netzabschnitte und Spannungsebenen wird durch Kuppelstellen, Schaltanlagen und rund 550 000 Transformatoren geregelt.<sup>2</sup>

Der Stromfluss im Netz war in der Vergangenheit stets von den großen Erzeugern und damit den hohen Spannungsebenen des Übertragungsnetzes hin zu den Verbrauchern in den niedrigeren Spannungsebenen des Verteilnetzes gerichtet. Ein Stromfluss aus den unteren in die oberen Spannungsebenen war beim Design der Infrastruktur nicht vorgesehen. In dieser Struktur waren zwar massiver IKT-Einsatz, Sensorik und Automatisierung in den Übertragungsnetzen

<sup>1</sup> BNetzA 2010, S. 84-85.

<sup>2</sup> BDEW 2011.

und den Kraftwerken, nicht jedoch in den Verteilnetzen notwendig.

Durch die dezentrale Einspeisung, also Stromerzeugung im Verteilnetz, findet eine immer stärkere Rückspeisung statt: Wurden 2010 noch knapp unter 69 TWh aus Wind und Photovoltaik dezentral eingespeist, sind für das Jahr 2030 über 150 TWh zu erwarten, die sehr häufig nicht lokal genutzt werden können.<sup>3</sup> Dazu ist ein Netzausbau in den Verteilnetzen unumgänglich.

Die Stromerzeugung folgt bis heute in weiten Teilen der Last, das heißt dem Stromverbrauch. Steigt der Stromverbrauch, wird die Leistung einzelner Kraftwerke erhöht oder es werden zusätzliche Kraftwerke hinzu geschaltet. Umgekehrt verhält es sich, wenn die Last abnimmt. In Deutschland – wie auch in allen anderen Ländern – besteht also ein lastgeführtes Elektrizitätssystem. Die Verbraucher können dem Netz zu jeder Zeit so viel Strom entnehmen, wie sie möchten bzw. wie es die physikalischen Gegebenheiten der Netzinfrastruktur zulassen. Die Netzbetreiber haben neben anderen Aufgaben die gesetzliche Pflicht, unter diesen Voraussetzungen für eine unterbrechungsfreie stabile Stromversorgung zu sorgen.

Während auf der Übertragungsebene allein der Netzausbau die Herausforderungen löst, führen beide Entwicklungen, also sowohl die fluktuierende als auch die dezentrale Einspeisung, dazu, dass das Verteilnetz zukünftig ähnlich einem Übertragungsnetz betrieben werden muss. Dies bedeutet den verstärkten Einsatz von Messeinrichtungen, Automatisierung und intelligenter leistungselektronischer Komponenten, welcher nur durch innovative IKT beherrscht werden kann.

Berücksichtigt man zudem, dass private und industrielle Verbraucher in zunehmendem Maße auch selbst Erzeu-

gungsanlagen betreiben und wechselweise Strom aus dem Netz beziehen oder in das Netz einspeisen, damit auf dem Energiemarkt sowohl als Anbieter wie auch als Nachfrager auftreten und somit mittelfristig viele kleinere Akteure direkt über IKT-Systeme an den Markt angebunden sind, entspricht man der Idee des Smart Grids.

Wie können technologische Migrationspfade in das Energiesystem auf der Basis von Smart Grids konkret aussehen? Was kann die IKT zur Bewältigung der technischen Herausforderungen im Energiesystem der Zukunft beitragen? Allein die hier skizzierten technischen Herausforderungen sind sehr vielschichtig, daneben sind jedoch auch solche marktwirtschaftlicher, regulatorischer und gesellschaftlicher Art zu bewältigen: Was kann und muss parallel zur Technologieentwicklung noch getan werden, damit die Energiewende im Hochindustrieland Deutschland gelingt und einen Vorbildcharakter für andere Staaten entwickelt? Wie muss die Marktordnung gestaltet werden, damit sich die innovativen Technologien und neuen Marktrollen umsetzen lassen? Wie erwirbt die Bevölkerung das notwendige Verständnis der Technologien, um diese Entwicklung mitgestalten zu können? Wie sieht die deutsche Strategie im Vergleich zu den Strategien anderer Länder aus und was kann Deutschland aus den Erfahrungen im Ausland lernen? Dies sind die konkreten Fragen, derer sich das acatech Projekt „Future Energy Grid. Migrationspfade ins Internet der Energie“ angenommen hat. Die hier vorgestellten Empfehlungen basieren auf den Ergebnissen aus diesem Projekt, die parallel zu der hier vorliegenden POSITION als Endbericht in der Reihe acatech STUDIE<sup>4</sup> erscheinen.

In der Studie werden Antworten formuliert, soweit dies nach dem heutigen Wissensstand möglich ist.

In einem Smart Grid sind IKT und Energiesystemtechnik miteinander verschmolzen. Eine Betrachtung der notwendigen

<sup>3</sup> s. DLR/Fraunhofer IWES/IFNE 2010, Szenario 2010 A.

<sup>4</sup> Appellrath et al. 2012.

IKT-Entwicklungspfade darf daher die Energiesystemtechnik nicht vernachlässigen.

Da die IKT-technischen und regulatorischen Herausforderungen sich überwiegend aus den Veränderungen in den Verteilnetzen ergeben, wird der Schwerpunkt der Studie und der hier vorgestellten Empfehlungen auf den Bereich der Verteilnetze gelegt. Andere für den Umstieg wichtige Aspekte, wie etwa der Aufbau eines europäischen Overlay-Netzes oder die Entwicklung neuer Speichermöglichkeiten, werden nur am Rande betrachtet.

Es gibt auf den Ausbauszenarien für erneuerbare Energien und den heutigen gesetzlichen Rahmenbedingungen beruhende Abschätzungen, die rund 13 bis 27 Milliarden Euro<sup>5</sup> Verteilnetzausbaukosten innerhalb der nächsten zehn Jahre erwarten. Kosten-/Nutzenanalysen eines Smart Grids sind derzeit aus prinzipiellen Gründen nicht möglich: Zu viele der „Stellschrauben“ sind nicht fixiert, eine Einschätzung der IKT-Kosten für das Jahr 2030 ist extrem unscharf, und nicht zuletzt ist das Smart Grid eine Idee, aber bisher keine fest zu definierende Größe. Die Studie hat sich daher nicht quantitativ mit Kosten und Nutzen befasst.

Ein technologischer Migrationspfad bedarf eines Ziels in der Zukunft des Jahres 2030. Da dieses nicht bekannt sein kann, wurde der Raum der möglichen Zukunftsentwicklungen in drei Szenarien gegliedert.

Bestimmend für die Szenarien sind die Entwicklungen der folgenden Schlüsselfaktoren:

- Ausbau der elektrischen Infrastruktur,
- Verfügbarkeit einer systemweiten IKT-Infrastruktur,
- Flexibilisierung des Stromverbrauchs,
- Energiemix,
- neue Services und Produkte,

- Endverbraucherpreise,
- Standardisierung und
- politische Rahmenbedingungen.

Das erste Szenario („20. Jahrhundert“) zeigt in punkto Smart Grid eine Ähnlichkeit mit der heutigen Struktur, bei der der IKT-Einsatz weitgehend auf die hohen Spannungsebenen und die Großkraftwerke beschränkt ist. Es wird weiterhin hauptsächlich in großen zentralen Einheiten Elektrizität erzeugt, meist auf der Basis konventioneller Brennstoffe. Die Infrastruktur wird insbesondere im europäischen Verbundnetz zur Verbesserung des europaweiten Handels ausgebaut, im Verteilnetz sind in diesem Fall keine oder nur geringe Änderungen notwendig. In diesem Szenario ändert sich der politische Wille, weg von der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien und hin zu Großkraftwerken im Mittelpunkt der Versorgung.

Das zweite Szenario „Komplexitätsfalle“ ist dadurch gekennzeichnet, dass zwar die Energiewende vorangetrieben werden soll, es jedoch nicht gelingt, die geeigneten technischen und ordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen zu schaffen. Besonders eine fehlende Umsetzungsstrategie und unzureichende Abstimmung des energierechtlichen Rahmens bereiten den Boden für dieses Szenario. Dies führt dazu, dass sich ein Smart Grid nur unzureichend ausbilden kann und sich daher der Ausbau der fluktuierenden und dezentralen Einspeisung erneuerbarer Energien verzögert. Es zeichnet sich durch geringe Effizienz bei hohen Kosten aus.

Im dritten Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“ ist ein Smart Grid im Einklang mit den energiepolitischen Zielen der Energiewende in vollem Umfang etabliert. Eine marktwirtschaftlich orientierte Integration der erneuerbaren Energien und des Stromtransports ist gelungen. Smart Grids steuern intelligent und sicher die Balance zwischen Verbrauch, Erzeugung, Speicherung und Stromverteilung in Echtzeit.

<sup>5</sup> E-Bridge 2011.

Aufgrund neuer Dienstleistungen auch für Endanwender stoßen die neuen Technologien auf breite Akzeptanz.

Haushaltsgeräte oder neue Marktplätze, interagieren mit dem Stromversorgungssystem.

Will man die Entwicklungen der IKT im Smart Grid beschreiben, muss man berücksichtigen, dass die zukünftige IKT-basierte Stromversorgung auf drei Systemebenen mit unterschiedlichen Aufgaben und Anforderungen stattfindet (vgl. dazu Abbildung 1): Die geschlossene Systemebene umfasst Komponenten, die der direkten Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit dienen. In der geschlossenen Systemebene gibt es neben dem Netzbetreiber nur wenige weitere Akteure, die zudem genau bekannt sind. Typische Komponenten der geschlossenen Systemebene sind die IKT-Systeme zum Monitoring und zur Ansteuerung von Schalt-handlungen im Verteilnetz.

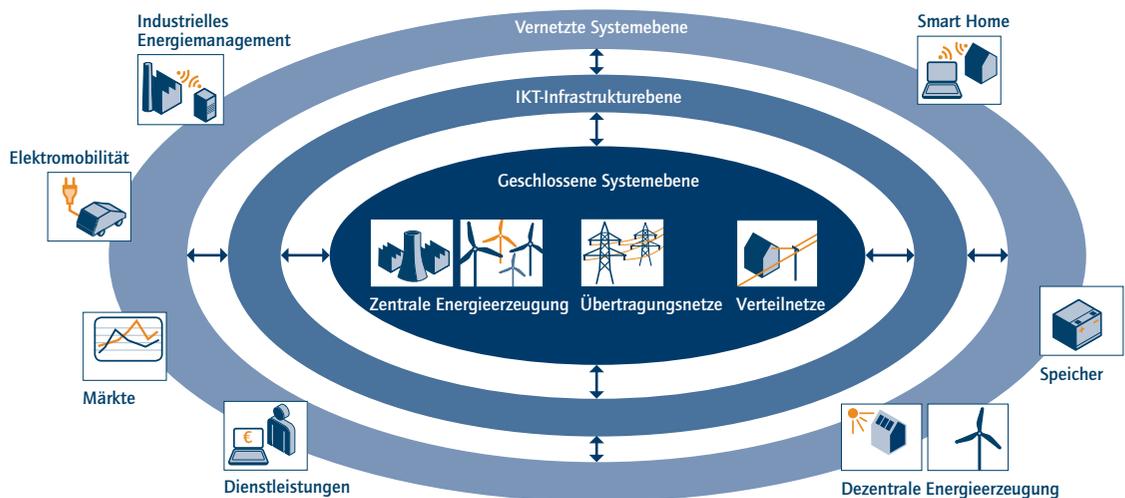
Zwischen den beiden Ebenen befindet sich die IKT-Infrastrukturebene. Diese gewährleistet, dass Komponenten in Realzeit und sicher mit anderen Komponenten kommunizieren können.

Die acatech STUDIE zeigt, welche IKT-Technologiefelder in der jeweiligen Systemebene für die zukünftige Energieversorgung notwendig sind und welche technischen Fortschritte in diesen Technologiefeldern zu erreichen sind. Dabei sind Innovationen in den Technologiefeldern der IKT-Infrastrukturebene die Grundlage für die weiteren Schritte eines IKT-basierten Energiesystems.

Dem gegenüber steht die vernetzte Systemebene: Sehr viele Komponenten sehr vieler und heterogener Akteure ,beispielsweise dezentrale Erzeugungsanlagen, intelligente

Die acatech STUDIE erarbeitet für jedes der Szenarien einen Migrationspfad, der darstellt, welche technischen Entwicklungsschritte zu welchem Zeitpunkt anstehen und welche

Abbildung 1: Aufbau und Bestandteile des abstrakten und vereinfachten Systemmodells mit ausgewählten, grundlegenden Technologien, Funktionalitäten und Anwendungsbereichen.



Vorbedingungen dafür zu schaffen sind, um das jeweilige Szenario im Jahr 2030 realisieren zu können.

Am anspruchsvollsten ist der Migrationspfad in das Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“, der jedoch unabdingbar für eine Energieerzeugung ist, wie sie beispielsweise derzeit die Politik anstrebt.

Aus Sicht von acatech bedarf es der gemeinsamen und zielgerichteten Anstrengung, um den in das Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“ führenden Pfad einzuschlagen und den Pfad in die „Komplexitätsfalle“ zu vermeiden.

Gerade weil Deutschland für seinen geplanten Umbau des Energiesystems zum Smart Grid Pionier sein muss, müssen internationale Entwicklungen beachtet werden. Viele der relevanten Gesetze und Direktiven werden verbindlich auf europäischer Ebene beschlossen. Nationale Sonderwege führen daher in eine Sackgasse. Um Produkte international vermarkten oder auch Produkte international einkaufen

zu können, ist die Nutzung internationaler Standards und Beteiligung bei deren Entwicklung notwendig. Der Ausbau des europäischen Übertragungsnetzes (Stichwort Overlay-Netz) ist notwendig, wenn die Chancen des Energiesystems der Zukunft in vollem Umfang genutzt werden sollen.

Die angestrebte Energiewende kann nur gelingen, wenn das Energiesystem zügig in ein IKT-basiertes Stromversorgungssystem umgebaut wird. Die vorliegende acatech POSITION gibt zehn Empfehlungen, wie die Barrieren bei der Errichtung eines Smart Grids beseitigt und die aus Sicht von acatech notwendigen Anpassungen unterstützt werden können.

Diese Empfehlungen sind aus den Ergebnissen der acatech STUDIE abgeleitet. Die Kernergebnisse werden zuvor in acht Thesen pointiert zusammengefasst.

## 2 ACHT THESEN ZUR ZUKUNFT DER STROMVERSORGUNG

**These 1:** Die Energiewende ist möglich, erfordert aber unbedingt den Umbau der Elektrizitätsnetze zu Smart Grids.

Die Energiewende ist ein gesamtgesellschaftliches Wagnis. Soll sie gelingen, so ist neben den Investitionen in den Netzausbau der Aufbau eines Smart Grids unerlässlich. Nur mit Hilfe einer kommunikativen Elektrizitätsinfrastruktur kann die Integration umfangreicher fluktuierender als auch dezentraler erneuerbarer Stromerzeugung gelingen – und gleichzeitig die sehr hohe Versorgungssicherheit weiterhin gewährleistet werden. Der Einsatz von IKT und deren Verschmelzung mit der Energietechnologie sind daher alternativlos.

Die acatech STUDIE skizziert mit dem Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“ eine Gestaltung des Smart Grids in Deutschland in den kommenden 20 Jahren und leitet daraus den technologischen Migrationspfad von heute bis zum Jahr 2030 ab. Um diesen Migrationspfad in die Praxis umzusetzen und die notwendigen Innovations- und Vermarktungsanreize zu schaffen, sind weitreichende Entwicklungen in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft notwendig.

Zwei weitere Szenarien sind für das zukünftige Smart Grid denkbar. Diese entsprechen entweder nicht dem derzeitigen gesellschaftlichen Konsens des Umstiegs auf erneuerbare Energiequellen (Szenario „20. Jahrhundert“) oder sind mit hohen Kosten und Effizienzverlusten sowie Verzögerungen (Szenario „Komplexitätsfalle“) verbunden. In der Gesamtschau der drei Szenarien trägt lediglich das Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“ effizient zur Umsetzung der energiepolitischen Ziele bei. Wenn die Energiewende gelingen soll – und das ist nach Ansicht von acatech möglich –, dann muss von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft der Aufbau eines Smart Grids entsprechend der Vorstellungen in diesem Szenario vorangetrieben werden; nämlich zügig und in Abstimmung mit allen beteiligten Akteuren.

**These 2:** Eine gelungene Migration zum Smart Grid bedarf der effizienten Synchronisation vieler Handlungsfelder und des koordinierten Zusammenspiels zahlreicher Akteure.

Das sich dynamisch wandelnde Elektrizitätssystem macht bereits heute deutlich: In zahlreichen Handlungsfeldern, wie Marktregulierung und Anreizgestaltung, Technologieentwicklung und -implementierung, Daten- und Infrastruktursicherheit sowie Bürgerdialog, müssen für den Aufbau eines Smart Grids Anpassungen vorgenommen werden. Für die Erarbeitung konsensfähiger Lösungen und Konzepte ist eine Verschränkung dieser Handlungsfelder mit den Akteuren aus Politik, Wirtschaft, zivilgesellschaftlichen Organisationen, wie Nichtregierungsorganisationen, Fach- und Dachverbänden<sup>6</sup>, der Wissenschaft und mit den Verbrauchern notwendig. Eine Konsensfindung im Rahmen einer solch breiten Interessenschaft ist erfahrungsgemäß ein langwieriger Prozess. Umwelt- und Naturschutzinteressen (etwa der Erhalt des Landschaftsbildes oder Schutz von Vögeln vor Verletzungen durch Windkraftanlagen) sowie Bedenken und Vorbehalte in der Bevölkerung treffen auf unternehmerische Zielstellungen und energiepolitische Zielvorgaben. Die Zeit drängt jedoch und erfordert ein zügiges Handeln. Denn der Umbau des Energiesystems ist dringend notwendig. Soll dieser nachhaltig sein und gleichzeitig den sehr eng gesteckten Zeitrahmen nicht sprengen, dann muss eine Balance zwischen der Beteiligung aller Interessensgruppen einerseits und einer effizienten Vorgehensweise andererseits gefunden werden.

Wird eine solche Synchronisation nicht erreicht, kann das Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“ nicht Realität werden. Sowohl der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien als auch die Entwicklung eines Wettbewerbs im Energiemarkt würden deutlich verlangsamt. Je nach Entwicklung des politischen Willens würde das Jahr 2030 eher den Szenarien „Komplexitätsfalle“ oder „20. Jahrhundert“ gleichen.

<sup>6</sup> Zu den Fach- und Dachverbänden zählen unter anderem der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (BITKOM), der Verband der Elektrotechnik (VDE) mit seinen Fachorganisationen Energietechnische Gesellschaft (ETG) und Forum Netztechnik/Netzbetrieb (FNN), der Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektroindustrie (ZVEI) und der Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH).

**These 3:** Das Ganze ist mehr als die Summe der Teile – das notwendige Systemverständnis in Wirtschaft, Wissenschaft und Politik ist noch nicht in ausreichendem Maße erreicht.

Es gibt keine prinzipiellen technologischen Hürden für die Implementierung von Smart Grids. Auch wenn noch viele Technologien für den langfristigen Aufbau von Smart Grids zu erforschen und zu entwickeln sind, besteht die Hauptherausforderung in dem besseren Verständnis des Gesamtsystems und der Steuerung des Umsetzungsprozesses. Am Energiesystem sind sowohl IKT und Energietechnik beteiligt, aber auch die Umwelt, Märkte, Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft. Die Schnittstellen zwischen den Bereichen müssen besser verstanden werden, da der Aufbau eines Smart Grids in Deutschland die Märkte, die Wirtschaft und die Zivilgesellschaft noch stärker als bisher miteinander vernetzt.

Innerhalb des komplexen Geflechts „Energiesystem“ muss in kurzer Zeit ein Paradigmenwechsel erfolgreich vollzogen werden, also von den konventionellen hin zu den erneuerbaren Energien, von der zentralen hin zur dezentralen Erzeugung und von der monopolistisch geprägten Struktur zum verstärkten Wettbewerb. Soll dies gelingen, dann müssen die bestehenden Wechselbeziehungen und Abhängigkeiten der Systemkomponenten untereinander sowie zwischen den vorhandenen und noch entstehenden Akteuren bekannt und die neuen Wechselwirkungen abzuschätzen sein.

Durch ein verbessertes Systemverständnis können die Auswirkungen der notwendigen Entscheidungen besser beurteilt und gleichzeitig der Prozess zur Entscheidungsfindung effizienter gestaltet werden. Geringes Systemverständnis führt im besten Fall zu einer sehr langsamen Entwicklung, da zur Risikovermeidung nur kleine Schrittweiten beim Systemumbau riskiert werden. Im schlimmsten Fall werden Maßnahmen eingeleitet, die sich gegenseitig behindern

und zu Ineffizienz, hohen Kosten und fehlenden Marktanreizen führen. Dann droht die „Komplexitätsfalle“.

**These 4:** Der Smart-Grid-Aufbau erfolgt in drei Phasen: Konzeptionsphase, Integrationsphase und Fusionsphase.

Die Studie identifiziert für den Migrationspfad in das Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“ bis zum Jahr 2030 drei Phasen: In der „Konzeptionsphase“ bis zum Jahr 2015 werden die Weichen für die folgenden Phasen gestellt. Die notwendigen technischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen werden konzipiert. In der darauffolgenden „Integrationsphase“ (2015 bis 2020) werden die Komponenten der vernetzten Systemebene zunehmend mithilfe der IKT in die geschlossene Systemebene eingebunden und die Steuerung der geschlossenen Systemebene mithilfe der IKT realisiert. Das Netz wird erst in dieser Phase einen entsprechenden Umbau erfahren. In der Dekade von 2020 bis 2030, der „Fusionsphase“, werden die Abhängigkeiten und Vernetzungen zwischen den beiden Systemebenen über die IKT-Infrastrukturebene so intensiv vermittelt, dass ein „fusioniertes“ System aus den Systemebenen entstanden ist.

Die Weichen für den Smart-Grid-Aufbau werden in der Konzeptionsphase gestellt. Die für diesen Zeitkorridor identifizierten notwendigen Technologieentwicklungen stellen die Grundlage für die weiteren Schritte dar. In dieser Zeit werden vor allem die technologischen Grundlagen in der geschlossenen Systemebene für die spätere Verknüpfung mit der vernetzten Ebene geschaffen. Hier muss sowohl kurzfristig als auch im Hinblick auf die langfristige Entwicklung an den Grundlagen für die notwendigen Maßnahmenpläne, der Institutionalisierung und der Verteilung von Verantwortlichkeiten gearbeitet werden.

In jeder Phase müssen Wissenschaft und Forschung in den Prozess der Neuentwicklung innovativer Technologien und

Lösungsansätze eingebunden werden. Neben den forschenden Unternehmen sind zahlreiche Forschungsinstitutionen im Feld der Smart-Grid-Forschung aktiv. Technologie- sowie Systemforschung, Grundlagenforschung und angewandte Forschung in universitären und außeruniversitären Einrichtungen müssen eng aufeinander aufbauen, wenn die notwendigen Technologieentwicklungen ausreichend schnell erfolgen sollen. Eine konsistente Aufarbeitung des aktuellen Forschungsstands sowie der Erkenntnisse aus der Praxis ist notwendig, um auf dieser Grundlage in den kommenden Jahren konzeptionell aufbauen zu können. Technologie- und Handlungsalternativen sollten auf der Grundlage eines zusammengeführten Wissensstands definiert und bewertet werden. Jedoch bleibt für diese Aufgabe nicht mehr viel Zeit.

**These 5:** Neue Märkte, Marktrollen, Wertschöpfungsketten und Arbeitsplätze entfalten sich nur, wenn der gesetzliche Rahmen stimmt.

Der Aufbau eines Smart Grids in Deutschland bedarf einer umfangreichen und zeitnahen Begleitung vonseiten der Gesetzgebung. Hervorzuheben sind hierbei die Handlungsfelder Marktregulierung, Anreizdesign und auch Standardisierung.

### Marktregulierung

In den nächsten Jahren entstehen große Wertschöpfungspotenziale für die Marktakteure an der Schnittstelle zwischen Energiemarkt und Elektrizitätsinfrastruktur. Sie müssen Prozesse nach neuen Geschäftsmodellen etablieren. Entsprechend der heutigen Marktregularien sind diese allerdings nicht erlaubt oder erlauben es nicht, die Wertschöpfung betriebswirtschaftlich zu realisieren. Beispiele dafür sind der Betrieb eines virtuellen Kraftwerks als Aggregator für dezentrale Erzeugungseinheiten zur Bereitstellung von Regenergie und die Vermarktung des Stroms an der

Börse. Zu Dienstleistungen, die auf den Energieversorger oder Netzbetreiber ausgerichtet sind, zählen beispielsweise die Aggregation von Lastprofilen für bestimmte Verbrauchergruppen, die Unterstützung der Direktvermarktung von Strom aus kleinen Erzeugungseinheiten oder neuartige Einkaufsoptionen über Genossenschaftsmodelle oder strukturierten Einkauf. Wie die konkrete Lösung am besten aussehen sollte, ist an vielen Stellen heute noch nicht klar. In der aktuellen Fachdiskussion stellt die von der EU beschlossene und seit 1998 im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) geregelte eigentumsrechtliche Entflechtung von Stromproduktion und -handel sowie Netzbetrieb (Unbundling) derzeit ein Hindernis bei der Systemoptimierung dar. In der acatech STUDIE wird hingegen davon ausgegangen, dass sich die Kräfte der Politik nicht darauf richten werden (und auch nicht richten sollen), die Entflechtung zurückzudrehen. Vielmehr sind die nichtwettbewerblichen Teile (zum Beispiel Förderung erneuerbarer Energien, Netzbetrieb) des Energiemarkts so zu regeln, dass sie den Wettbewerb im wettbewerblichen Teil (zum Beispiel Handel, Vertrieb) unterstützen und insbesondere nicht behindern.

Aufgrund ihrer zentralen Stellung im Elektrizitätssystem müssen die Verteilnetzbetreiber kurz- bis mittelfristig eine aktive und innovative Rolle bei der Marktunterstützung übernehmen. Die Gesetze sollten daher angepasst werden und damit die Grundlage für ein erfolgreiches Ineinandergreifen der Technologie- und der Marktentwicklung schaffen.

### Anreizdesign

Das derzeitige Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), welches regenerativ erzeugtem Strom Vorrang einräumt und ihn entsprechend belohnt, differenziert nicht ausreichend nach dem Zeitpunkt der Einspeisung. Um eine effiziente und intelligente Versorgungsstruktur im Smart Grid zu erreichen und gleichzeitig den Ausbau erneuerbarer Energien nicht zu gefährden, muss eine Neuregelung des EEG noch stärker

die zeitliche und örtliche Verfügbarkeit der Energieträger berücksichtigen. So kann zum Beispiel eine Einspeisung bei Engpässen in der Stromversorgung besonders belohnt werden. Dabei sollte auch die räumliche Nähe zwischen Erzeugung und Verbrauch gefördert werden, soweit dadurch der Energietransport und der damit verbundene Energieverlust gering gehalten und der Ausbau der Transportinfrastruktur vermindert werden kann.

### Standardisierung

Damit der Datenfluss sowie das Zusammenspiel der unterschiedlichen Systemkomponenten reibungslos funktionieren, werden Standards benötigt. Die Notwendigkeit zur Vereinheitlichung trifft auf elektrotechnische Systemkomponenten, wie Stecker, Schalter oder generell jegliche Schnittstellentechnik, ebenso zu wie auf Softwareprodukte, bei denen es beispielsweise um die Frage einheitlicher Protokolltypen geht. Nationale Normen und Vorgaben müssen sich dazu an die internationale Standardisierung anpassen. Vorschriften müssen ausreichend flexibel sein, um Innovationen und Wettbewerb zu ermöglichen. Dies findet zum Beispiel bei der Standardisierung auf der Feldebene der elektrischen Netze bereits erfolgreich statt. In anderen Feldern wie bei den elektronischen Zählern und der Marktkommunikation besteht jedoch noch großer Handlungsbedarf.

**These 6:** Der deutsche Weg ist ohne die Orientierung an internationalen Entwicklungen nicht gangbar.

Deutschland kann von anderen Staaten bei der Einführung von Smart Grids lernen. Der Vergleich Deutschlands mit anderen Ländern macht die spezifischen Chancen und Herausforderungen für die Technologieentwicklung sowie die Notwendigkeit für die Zusammenarbeit deutlich, insbesondere mit den europäischen Nachbarstaaten. Auf die Erfahrungen Dänemarks mit der Integration fluktuierend einspeisender Energiequellen – vor allem der Windkraft – in

ein auf konventionellen Erzeugungs- und Nutzungsstrukturen basierendes Elektrizitätssystem kann zum Beispiel zurückgegriffen werden. Das Potenzial für eine internationale Technologieführerschaft Deutschlands auf dem Gebiet Smart Grids ist besonders aufgrund der starken Hersteller, der Systemkompetenz aber auch aufgrund von Forschungs- und Entwicklungsprogrammen wie E-Energy vorhanden. Hinderlich könnte sich jedoch ein sich abzeichnender Fachkräftemangel auswirken.

Andere Länder investieren wesentlich mehr in ihre Infrastrukturen. Dies kann dazu führen, dass Deutschland zurückfällt.

Auch EU-Direktiven, Projektvorhaben wie DESERTEC, die Nutzung norwegischer Wasserkraft oder österreichischer Pumpkraftwerke zeigen deutlich: Deutschlands Weg in ein neues Energiesystem macht an den Landesgrenzen nicht Halt. Das deutsche Elektrizitätsnetz ist eingebunden in ein europäisches Netzwerk und eng mit diesem verbunden. In der nahen Zukunft muss es sogar noch mehr als bisher möglich sein, Strom europaweit zu handeln und zu transportieren. Deshalb muss Deutschland den Umbauprozess seines Energiesystems mit den übrigen europäischen Staaten koordinieren.

**These 7:** Akzeptanz entsteht durch verbrauchergerechten Dialog und attraktive Produkte.

Smart-Grid-Technologien müssen nicht nur politisch gewollt, sondern auch von der Bevölkerung akzeptiert werden. Ob und welche Eingriffe in die Autonomie der Verbraucher zulässig sind, welche Datenschutzbelange wichtig sind und inwieweit dies in Gesetzen verankert wird, müssen die Verbraucher entscheiden. Vorgaben aus der Politik oder von Experten führen mittelfristig zu mehr Problemen als der mühevollen und scheinbar langsamere Dialog. Fühlen sich die Menschen überwacht und sind sie mit dem Umgang der

gesammelten Daten nicht einverstanden, kann dies schnell dazu führen, dass die Datenauswertung untersagt wird.

Das Thema Datenschutz spielt also eine wichtige Rolle im Hinblick auf die Akzeptanz. Wer zu welcher Zeit und zu welchem Zweck Zugang zu den Daten hat, sollte deshalb transparent und nachvollziehbar gemacht werden. Ein wesentlicher Faktor für die Akzeptanz von Smart Grids wird das Vertrauen in den sicheren Datenaustausch zwischen Endverbraucher und Energieanbieter sein. Den Verbrauchern muss ein deutliches und transparentes Bild von dem gezeichnet werden, was sie im Smart Grid erwartet. Zum aktuellen Zeitpunkt ist noch nicht klar, welche Daten in welchem Umfang zwischen den Systemkomponenten fließen und von wem diese in welchem Umfang und in welcher Form (anonymisiert) gesammelt, gespeichert und weiterverarbeitet werden sollen. Transparente und akzeptierte Datenschutzrichtlinien sind für das Vertrauen der Verbraucher in neue Technologien und das Vertrauen der Akteure in sichere Investitionen notwendig.

Durch die zunehmende Liberalisierung des Strommarkts und den Wettbewerb zwischen verschiedenen Akteuren wird das Angebot für Endverbraucher zunehmend attraktiv und die steigende Interaktion zwischen allen Marktteilnehmern beschleunigt die Verbreitung. Das Internet als moderne Kommunikationstechnologie passt gut als Informationsquelle zur zukunftsweisenden Technologie von Smart Grids und wird insbesondere von modernen und internet-affinen Verbrauchern erwartet. Ebenso wird sich die Sensibilisierung der Endverbraucher für einen sparsamen Stromverbrauch aus ökologischen oder finanziellen Gründen positiv auf die Nutzung der Smart-Grid-Technologie auswirken.

**These 8:** Das Smart Grid ist eine sicherheitskritische Infrastruktur – Sicherheitsmaßnahmen müssen den Aufbauprozess von Beginn an begleiten.

Das Telekommunikationsnetz und das Elektrizitätsnetz wachsen in einem Smart Grid zusammen. Vor diesem Hintergrund denken die Beteiligten unweigerlich an Informationssicherheit, Terrorismusgefahr oder Versorgungssicherheit. Wie und an welchen Stellen schützen wir uns vor kriminellen Angriffen auf die IKT? Wie lässt sich das Stromsystem gegen IKT-Angriffe schützen, die sich gegen die Versorgungssicherheit richten? Wie schützen wir den Datenfluss und wer ist für den Schutz verantwortlich? Im Hinblick auf diese Aspekte müssen zunächst besonders kritische und neuralgische Punkte in der neuen Infrastruktur identifiziert werden. Verantwortlichkeiten müssen frühzeitig geklärt und Richtlinien für die Informationssicherheit zeitnah den Anforderungen angepasst und gleichzeitig auch überwacht und kontrolliert werden.

In allen Phasen des Migrationspfades in das Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“ sind der Einsatz und die Weiterentwicklung von Sicherheitsstandards und Sicherheitstechnologien Voraussetzungen für weitere Technologieentwicklungen auf allen Feldern.

## 3 ZEHN EMPFEHLUNGEN FÜR DEN SMART-GRID-AUFBAU IN DEUTSCHLAND

### 1. Empfehlung:

Eine *Task-Force* „*Future Energy Grid*“ erarbeitet eine abgestimmte und zielgerichtete Strategie zur Implementierung eines Smart Grids in Deutschland.

Die Bundesregierung setzt eine *Task-Force* „*Future Energy Grid*“ ein. Diese wird für einen beschränkten Zeitraum von drei Jahren konstituiert und erarbeitet Handlungsvorschläge für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Die *Task-Force* muss mit klar formulierten Zielvorgaben und innerhalb eines mit Meilensteinen versehenen Zeitrahmens selbstständig agieren können.

Die Hauptaufgaben der *Task-Force* gestalten sich wie folgt:

- Erarbeitung einer abgestimmten und zielgerichteten Strategie zur Implementierung eines Smart Grids in Deutschland
- Vernetzung und Konzertierung der Akteure in Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft
- Erarbeitung von Plänen zur Umgestaltung und Anpassung des marktregulatorischen Rahmens mit den entsprechenden Zeitvorgaben
- integrierte Betrachtung und Bewertung der Systemveränderungen
- Benennung und Priorisierung wesentlicher Forschungsfelder sowie der finanziellen und legislativen Anforderungen
- regelmäßige Formulierung aktueller Handlungsempfehlungen (Meilensteine) an die Politik
- Klärung der drei Fragen: Wo stehen wir? Wie kommen wir zum Ziel? Was ist sofort zu tun?

Zu Beginn der drei Jahre sollten möglichst kurzfristig die inhaltliche und strukturelle Gestaltung der Konzeptionsphase

(2012 bis 2015) und der Einstieg in die Integrationsphase für den Aufbau eines Smart Grids in Deutschland erfolgen.

Die *Task-Force* ist mit Vertretern universitärer und außeruniversitärer Wissenschaftseinrichtungen, von Fachverbänden, Unternehmen, zivilgesellschaftlichen Einrichtungen wie Nichtregierungsorganisationen und Behörden sowie mit gegebenenfalls weiteren wichtigen Akteuren zu besetzen. Alle wichtigen Handlungsfelder, wie die Normierung und Standardisierung, die Marktregulierung und die Datensicherheit, sollten durch Fachvertreter in die Arbeit der *Task-Force* eingebunden werden. Die *Task-Force* arbeitet in der Zeit, in der sie besteht, in enger Abstimmung mit der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) eingesetzten ständigen Plattform „Zukunftsfähige Energienetze“ zusammen und unterstützt diese bei deren Aufgaben. Im Gegensatz zur Plattform strebt die *Task-Force* an, in dem ihr vorgegebenen engen Zeitfenster möglichst schnell einen Konsens zwischen den Akteuren zu finden und Vorschläge zum Umgang mit Dissensen zu machen. Dieser Prozess muss transparent und öffentlich gestaltet werden.

Der Arbeitsauftrag der *Task-Force* ist es, zügig die Grundlagen für den Aufbau eines Smart Grids in Deutschland zu schaffen. Nach ihrer Auflösung gehen die bis dahin erarbeiteten Ergebnisse sowie die Aufgaben der *Task-Force*, beispielsweise zur Überwachung des Umsetzungsprozesses, an die ständige Plattform über.

Der Aufbau und die Struktur der *Task-Force* müssen zweckmäßig gestaltet sein. Sie kann beispielsweise in verschiedene thematische Arbeitsgruppen untergliedert und durch einen Lenkungskreis koordiniert werden. Ein Lenkungskreis sollte nach Möglichkeit mit hochrangigen Entscheidungsträgern aus den vertretenen Handlungsfeldern und Interessensgruppen besetzt sein.

## 2. Empfehlung:

Eine Roadmap für die technische Umsetzung ist zu erstellen.

Die Entwicklungsstufen beim Aufbau des Smart Grids sind in einer *Technologie-Roadmap* festzuhalten. Für diese dienen die in der Studie beispielhaft skizzierten Pfade und Überlegungen als Grundlage.

Konkret geht es in der Konzeptionsphase, also von heute bis zum Jahr 2015, vorrangig darum, die für den Aufbau der IKT-Infrastrukturebene notwendigen Technologien zu entwickeln und einzusetzen sowie die Grundlagen für den weiteren Aufbau der geschlossenen Systemebene zu schaffen. Zudem müssen hier verschiedene Systemalternativen erarbeitet, nebeneinander gestellt, analysiert und bewertet werden. Insbesondere Fragen der Standardisierung und der Informationssicherheit sind im Vorfeld zu klären. Die Entwicklungen der vernetzten Systemebene können zunächst vorbereitet und dem Markt überlassen werden. Wie in den Thesen erläutert, spielen der Systemzusammenhang und die Ausrichtung auf den Migrationspfad eine wesentliche Rolle. Unter diesem Gesichtspunkt muss auch das Schutzprofil des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) gestaltet werden.

Für die Integrationsphase (2015 bis 2020) wird eine deutlich fortgeschrittene Ausbaustufe der Technologiefelder der IKT-Infrastrukturebene erforderlich. Technologiefelder dieser Ebene nehmen eine Schlüsselrolle im komplexen Zusammenspiel der unterschiedlichen Technologien ein. Die Schaffung der Grundlagen für diese Technologiefelder sollte daher hohe Priorität im Maßnahmenkatalog besitzen. Aus diesem Grund sind auch weitere Schwerpunkttechnologien, wie die Netzautomatisierung oder die Entwicklung von Prognosesystemen, zu betrachten.

Die zur Vorbereitung der Fusionsphase (2020 bis 2030) notwendigen Entwicklungen, wie regionale Energiemärkte, Anlagenkommunikations- und Anlagensteuerungsmodulare sowie die Optimierung des industriellen Energieverbrauchs, müssen bereits heute angestoßen werden.

Die Roadmap wird auch einen Schwerpunkt auf die Implementierung von Sicherheitsstandards und -technologien zum Zweck des Datenschutzes, der Abwehr krimineller Angriffe und der Versorgungssicherheit legen.

Die Roadmap sollte die vorhandene Infrastruktur im Hinblick auf die neuen Anforderungen neu bewerten. Die Konvergenz der Energieinfrastrukturen für die leitungsgeladene Energieübertragung von Strom, Gas und Wärme („Hybridnetze“) muss besonders geprüft werden. Dabei ist auch auf die Möglichkeit zur Speicherung von Energie und die Nutzung vorhandener Infrastruktur und Technologien zu achten.

Die Roadmap sollte dem Motto „Stärken stärken“ treu sein und Technologieentwicklung mit dem Ziel der *internationalen Leitbieterschaft* vorantreiben.

Auch sollte Deutschland anstreben, Leitmarkt zumindest für ausgewählte hochqualitative Smart-Grid-Technologien zu werden.

Parallel zu der Technologie-Roadmap sollten auch Kommunikationsstrategien und Investitions-Roadmaps erarbeitet werden. Inhaltliche Vorgaben können auf der Grundlage der technisch orientierten acatech STUDIE an dieser Stelle nicht abgeleitet werden. Hierfür sollten schlagkräftige Konsortien in kurzfristig angelegten Studien Vorschläge erarbeiten.

Die Roadmap sollte federführend von der Task-Force „Future Energy Grid“ erarbeitet werden und integraler Teil der von diesem Gremium erarbeiteten Gesamtstrategie sein.

### 3. Empfehlung:

Eine *nationale Forschungsagenda* benennt die akuten Forschungsthemen und macht Vorschläge zur Fördermittelplanung. Ihr Ziel ist es, Systemverständnis zu schaffen.

Um die avisierten energiepolitischen Zielvorgaben zu erreichen und das dafür notwendige Smart Grid zu errichten, müssen nachhaltige Lösungskonzepte zielgerichtet und koordiniert erarbeitet werden. Die zersplitterte Förderlandschaft im Energieumfeld ist für eine schnelle und effiziente Erarbeitung von Lösungsvorschlägen zu vereinheitlichen und die unterschiedlichen Kompetenzen sind zu steuern. Forschungsaktivitäten müssen gebündelt werden. Auf der Basis des analysierten und bewerteten Ist-Stands sollte daher eine nationale Forschungsagenda erarbeitet werden. Anforderungen an die Forschungsagenda sind:

- Identifizierung und Priorisierung der akuten Forschungsthemen
- Erarbeitung von Vorschlägen zur Fördermittelplanung; Ausrichtung auf einen möglichst großen Beitrag zur Problemlösung aus Systemsicht sowie den Zugewinn zum Systemverständnis

Ein wesentlicher Bestandteil der Forschungsagenda ist dabei die Ausarbeitung spezifischer *Forschungsprogramme* und die *Ausrichtung der Forschungsförderung*. Forschungsprogramme sollten die unterschiedlichen Forschungsaufgaben nach ihrem konkreten Beitrag zum Smart Grid in Deutschland priorisieren und zukünftige Forschungsaktivitäten dementsprechend koordinieren. Die Förderung sollte von aktuell dringlichen, thematisch begrenzten Kurzzeitpro-

jekten bis hin zu Langzeitprojekten reichen. Derzeit fehlende ökonomisch-volkswirtschaftliche Modellbetrachtungen zur Kosten-Nutzen-Analyse des Technologiewandels sollten ebenso gefördert werden wie die technologischen Grundlagen und die Untersuchungen zum Verbraucherverhalten. Die Frage nach der Verknüpfung der vorhandenen Infrastruktur für den Gas- und Fernwärmetransport sowie anderer Energieinfrastrukturen mit der Elektrizitätsinfrastruktur sollte eine wichtige Rolle in der Forschung einnehmen.

Vorschläge der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften zu zukünftigen Forschungsschwerpunkten sind im Energieforschungsprogramm<sup>7</sup> zusammengefasst. Die zentralen Aussagen dieser Stellungnahme aus dem Jahr 2009 im Hinblick auf die systemische Ausrichtung der Forschungsaktivitäten haben bis heute – trotz des beschlossenen Ausstiegs aus der Kernenergienutzung – Gültigkeit. Das darin noch nicht vertiefte Smart-Grid-Thema wird daher in der acatech STUDIE und diesen Empfehlungen umfassend behandelt.

acatech sieht in der energiepolitisch angestoßenen Entwicklung eine hervorragende Chance für Deutschland, sich weltweit als Leitanbieter für Smart-Grid-Technologien zu etablieren.

acatech empfiehlt in diesem Zusammenhang auch, durch spezifische Forschungsprogramme das notwendige Verständnis für die Systemzusammenhänge zu erhöhen. Die Erkenntnisse müssen dabei direkt in eine Smart-Grid-Referenzarchitektur umgesetzt werden, das heißt in eine auf andere Regionen übertragbare Vorlage für das effiziente Zusammenspiel von Technologien und Prozessen. Hierzu gehört auch die Entwicklung internationaler Standards zur Gewährleistung der Sicherheit in der neu entstehenden Infrastruktur.

<sup>7</sup> Leopoldina/acatech/BBAW 2009.

#### 4. Empfehlung:

Ein *wissenschaftliches Kompetenzzentrum* sammelt Informationen, bereitet diese auf, stellt sie besonders kleinen und mittelständischen Unternehmen zur Verfügung und trägt maßgeblich zum Aufbau von Systemkompetenz bei.

Das Ziel eines *Kompetenzzentrums* soll die Aufarbeitung des Ist-Stands in der Forschungs- und Initiativenlandschaft sowie der konstruktive Blick in die Zukunft der Energieforschung sein. Das Kompetenzzentrum hat im Wesentlichen die Aufgabe, Informationen aus Forschungsprojekten zu sammeln, aufzuarbeiten und einer breiten Interessentenschaft verfügbar zu machen. Durch die konsistente Aufbereitung der Ergebnisse leistet das Kompetenzzentrum einen maßgeblichen Beitrag zum Systemverständnis und dem Aufbau von Systemkompetenz. Das Kompetenzzentrum sollte in diesem Zusammenhang auch als Anlaufstelle für kleine und mittlere Unternehmen und als Informationsstelle fungieren, um die Datenbasis für Unternehmen, die keine eigenen Forschungsaktivitäten betreiben, in einer umsetzbaren Weise nutzbar zu machen. Forschungsprojekte sind zu verpflichten, dem Kompetenzzentrum Erkenntnisse zur Verfügung zu stellen. Es ist nicht die Aufgabe dieses Zentrums, eigene Forschungsaktivitäten durchzuführen. Ein Kompetenzzentrum sollte zeitnah in der Lage sein, fundierte Beiträge zur Strategie der Task-Force zu leisten.

Das Zentrum sollte von den verantwortlichen Ministerien eingerichtet und von diesen getragen werden.

#### 5. Empfehlung:

Eine neue *Marktordnung* sowie Anreize für eine marktkonforme Stromerzeugung, Investitionen in Speichertechnologien, Netze und IKT-Infrastrukturen sind erforderlich. Der Rechtsrahmen zum Datenschutz ist weiterzuentwickeln.

acatech empfiehlt eine *Neugestaltung der Marktordnung* mit dem Ziel, kurz- bis mittelfristig eine Marktregelung zu erreichen, die im Verteilnetz für den Ausgleich und die Verknüpfung von Marktaspekten und Netzaspekten sorgt. Die Neugestaltung muss Lösungsansätze zu den folgenden Fragen bieten:

- Wie sind Investitionen in Rationierung und Effizienz zu belohnen?
- Wie kann ermöglicht werden, dass aggregierte Nachfrage und Speicherkapazitäten auf den Märkten angeboten werden können?
- Wie können die Erzeuger der fluktuierenden erneuerbaren Energien für ihre preissenkende Wirkung belohnt werden?
- Wie können erneuerbare Energien besser in den Markt integriert werden?

Darüber hinaus sollte eine mittelfristige Planung für den Umbau des gesetzlichen Rahmens mit dem zeitlichen Verlauf der Maßnahmen in der Technologie-Roadmap abgestimmt werden.

Die Anreizgestaltung sollte aus der Sicht von acatech grundsätzlich darauf ausgerichtet sein, dass *Mitnahmeeffekte ausgeschlossen* werden und die *Anzahl der Instrumente* gering gehalten wird. Das EEG sollte weiter angepasst werden und verstärkt *Anreize für eine möglichst marktkonforme Stromerzeugung* setzen. Dies betrifft sowohl die zeitliche als auch die räumliche Konformität. Strom sollte

dann produziert und bereitgestellt werden können, wenn er vom Verbraucher nachgefragt wird. Ist dies nicht der Fall, dann sollte die Nachfrage dem aktuellen Angebot angepasst werden können. Strom sollte zudem nach Möglichkeit auch in der Nähe der Erzeugung verbraucht werden, wenn so die Notwendigkeit zum physikalischen Netzausbau und Transportverluste verringert werden können. Stromerzeuger (oder Aggregatoren) sollten durch die gesetzten Anreize motiviert werden, in *Speichertechnologien*, die sie mit den Erzeugungseinheiten vor Ort kombinieren, sowie in die entsprechenden Netzbetriebsmittel zum Anschluss und zur Einbindung zu investieren. Für die Netzbetreiber sollten zudem finanzielle Anreize geschaffen werden, um ihre Netze mit einer *grundlegenden IKT-Infrastruktur* zu ergänzen. Bestandteil dieser Infrastruktur ist auch eine „Datendrehscheibe“, die autorisierten Akteuren den Zugriff auf Erzeugungs-, Verbrauchs- und Anlagendaten erlaubt.

Die Bundesregierung hat frühzeitig erkannt, dass der Prozess für den Aufbau eines Smart Grids unbedingt mit einer rechtlichen Regelung zur Informationssicherheit begleitet bzw. vorbereitet werden muss. Für die Smart-Meter-Technologie wird daher aktuell vom BSI ein Schutzprofil für diese Anwendungen erarbeitet. acatech begrüßt prinzipiell diese Schritte und empfiehlt, bei der weiteren Ausgestaltung besonders die Anforderungen an die elektronischen Smart Meter in einem zukünftigen Energiesystem zu berücksichtigen als auch die europäischen Nachbarn in den Blick zu nehmen.

Viele Vorschläge aus Pilot- und Forschungsprojekten zur effizienteren Steuerung des Energiesystems beruhen auf der Nutzung von Messdaten aus dem privaten Bereich und stehen im Widerspruch zum geltenden Bundesdatenschutzgesetz (BDSG). Die Vorschläge zur Anpassung des BDSG sollten geprüft und gegebenenfalls schnell im Gesetz verabschiedet werden.

## 6. Empfehlung:

Die E-Energy-Modellregionen müssen zu erweiterten *Pilotregionen* mit weiterführenden Untersuchungsgegenständen ausgebaut werden.

Das Konzept der E-Energy-Modellregionen sollte aufbauend auf den dort gewonnenen Erkenntnissen und den neuen Fragestellungen intensiviert und regional ausgeweitet werden. Mithilfe von *Pilotregionen* sollen weiterführende technologische Fragestellungen beantwortet und mittels Ausnahmeregelungen für die Marktregulierung innovative Konzepte für Marktrollen in einem wettbewerblichen Umfeld getestet werden. Sie können wertvolle Erkenntnisse über die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Verknüpfung der bestehenden Netzinfrastrukturen für Elektrizität, Gas, Wärme/Kälte und Treibstoffe liefern. Durch das Zusammenwachsen dieser Infrastrukturen könnten Speicherkapazitäten erweitert und gegebenenfalls gesamtwirtschaftliche Kosten gesenkt werden. Dazu ist begleitend eine belastbare Kosten-Nutzen-Analyse für spezifische Technologiebausteine zu erstellen.

Die Pilotregionen ermöglichen die Prüfung und Präzisierung des Instrumentenkatalogs und leisten gleichzeitig einen Beitrag zur Erhöhung des Systemverständnisses. Durch den Schritt von der Modell- hin zur Pilotregion soll die Ausrichtung auf Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit verdeutlicht werden. Das Ziel sollte es sein, die Wettbewerbsfähigkeit der Pilotregionen zu erreichen und darzustellen. Damit sollen die getesteten Kombinationen aus regulatorischen Maßnahmen, Technologien und Akteuren einen Schaufenstercharakter entwickeln und auf diese Weise zur Nachahmung in weiteren Regionen oder im Ausland motivieren. Entsprechende Fördermittel und -programme sind bereitzustellen.

Die Erkenntnisse aus den Pilotregionen sollen dazu beitragen, sogenannte „no regret“-Maßnahmen für die Investitionen in und Umgestaltung des Energiesystems zu identifizieren und zu konkretisieren. Damit sind Maßnahmen gemeint, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit bei allen möglichen zukünftigen Entwicklungen positiv auswirken. Im Vordergrund müssen dabei folgende Untersuchungsfragen stehen: Wie können die neuen Funktionen und Markttrollen des Smart Grids mit den Vorgaben für die Entflechtung des Energiemarktes (Unbundling) und weiteren politischen Vorgaben in Einklang gebracht werden? Welche Rolle werden die Netzbetreiber zukünftig spielen? Wie wird der Datenfluss aussehen und wie wird dieser organisiert? Wie kann die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben für Datenschutz überwacht werden? Welche technischen Möglichkeiten zum Ausgleich der Fluktuationen, wie Speicherung, sind praktikabel und wirtschaftlich?

Nationale umfassende Demonstrationsprojekte bieten eine Möglichkeit, die technische Machbarkeit von Lösungen unter Beweis zu stellen, da sie als Preview-Phase<sup>8</sup> zum Testen für spätere Markteinführungen gesehen werden können. Somit bilden sie eine Grundlage für den Export und für die Partizipation an ausländischen Märkten.

## 7. Empfehlung:

Die Umsetzung der Gesamtstrategie und der Technologie-Roadmap muss durch ein Monitoring begleitet werden.

Ziel des Monitorings sollte es sein, die Beiträge des Smart Grids zu einer bezahlbaren, ökologischen und gleichzeitig sozial tragbaren, also einer nachhaltigen Energieversorgung im engeren Sinne, zu untersuchen, zu quantifizieren und zu bewerten. Zudem sollten für den Smart-Grid-Aufbau die Gewährleistung der Versorgungssicherheit überwacht

und die Arbeitsplatzentwicklung sowie die Wertschöpfungsmöglichkeiten erhoben werden.

Die Smart-Metering-Technologie muss vor einem flächendeckenden Roll-out im Rahmen des Monitorings einer Kosten-Nutzen-Analyse unterworfen werden. Aktuelle Studien deuten darauf hin, dass der Nutzen einer breitflächigen Implementierung von Smart Metern als zu gering zu bewerten ist. Für den Aufbau eines Smart Grids ist der breite Einsatz von Smart-Meter-Technologie nicht notwendig.<sup>9,10</sup> Insbesondere sollte das von der EU-Direktive 2009/72/EC bis zum 3. September 2012 geforderte Assessment zügig durchgeführt werden, da erhebliche Zweifel bestehen, ob der in der Direktive geforderte Roll-out (Ausrüstung von 80 Prozent der Verbraucher mit Smart Metern bis zum Jahr 2020) national wirtschaftlich oder ökologisch sinnvoll ist.<sup>11,12</sup>

Das Monitoring sollte federführend von der Wissenschaft, jedoch in Zusammenarbeit mit Behörden, Wirtschaftsunternehmen, Verbänden und Nichtregierungsorganisationen, erfolgen und eine operative Schnittstelle zu den Arbeiten der Task-Force haben. Das spezifisch auf den Smart-Grid-Aufbau ausgerichtete Monitoring sollte integrativer Bestandteil des im Jahr 2011 vom BMWi und vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) eingesetzten Monitoringprozesses „Energie der Zukunft“ sein, welcher den Gesamtprozess der Energiewende begleiten soll. Das Monitoring muss bald beginnen und den Prozess des Umbaus sowie bereits die Konzeptionsphase kontinuierlich begleiten.

Die Erkenntnisse fließen in die kontinuierliche Überprüfung und Überarbeitung der Strategie und der Roadmap ein. Jährliche Statusberichte ermöglichen eine genaue Beschreibung und Bewertung des Umbauprozesses sowie ein rasches Gegensteuern der Bundesregierung bei nötigen Strategieänderungen.

<sup>8</sup> ECJRCIE 2011.

<sup>9</sup> Nabe et al. 2009.

<sup>10</sup> Rohlfig 2010.

<sup>11</sup> Schäffler 2011.

<sup>12</sup> Bothe et al. 2011.

Entsprechend den verschiedenen zu begleitenden Handlungsfeldern kann das Monitoring in unterschiedliche thematische Arbeitsgruppen unterteilt sein, beispielsweise in Sozioökonomie, Ökologie, Ökonomie und Technologie. Die Vorbereitungen und erste Bestandsaufnahmen müssen bereits zu Beginn der Konzeptionsphase stattfinden.

### 8. Empfehlung:

Der deutsche Smart-Grid-Aufbau bedarf einer internationalen Zusammenarbeit, etwa im Dachverband European Network of Transmission System Operators for Energy (ENTSO-E).

Die grenzüberschreitenden Verbindungen zwischen den nationalen Energienetzen und die Notwendigkeit für einen Stromtransport in die Nachbarländer zwingt Deutschland dazu, beim Aufbau eines Smart Grids nicht nur national, sondern international zu denken und zu handeln. Ein ganzes Bündel an Aspekten ist folglich zu berücksichtigen.

Es müssen *Standardisierungsfragen auf europäischer und internationaler Ebene* möglichst frühzeitig adressiert und zügig verbindliche Lösungen erarbeitet werden. Die Weichen für die Standardisierung hat dazu bereits die Deutsche Kommission für Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (DKE) mit der Normungsroadmap und zusätzlichen organisatorischen Maßnahmen als auch einer sehr aktiven Mitarbeit auf internationaler Ebene gestellt. Um die erfolgreiche Umsetzung der Technologie-Roadmap voranzutreiben, sollte Deutschland in der internationalen Standardisierung als Vorreiter bei der Umstellung des Elektrizitätssystems auf regenerative Energien eine führende Position einnehmen. Dies verlangt, nationale Sonderwege zu vermeiden, in Forschungs- und Pilotprojekten den Einsatz und die Entwicklung von Standards für verbindlich zu erklären und die Erforschung und Entwicklung von Standards

und Werkzeugen durch Förderprogramme zu unterstützen. Das könnte wiederum zu einer Leitanbieterschaft deutscher Unternehmen, insbesondere des Mittelstands, beitragen.

*Lerneffekte, die sich aus den Erfahrungen anderer Länder, wie Dänemark mit seinen hohen Anteilen an Windenergie, ergeben, sollten identifiziert und intensiver genutzt werden.* Hilfreich könnte in diesem Zusammenhang der Erfahrungsaustausch und die Mitarbeit im International Smart Grid Action Network (ISGAN) sein. Selbstverständlich sind auch die geplanten Vorhaben auf europäischer Ebene, wie der Ausbau von Kuppelstellen und der Ausbau des paneuropäischen Netzes, voranzutreiben.

### 9. Empfehlung:

Die Information und Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger schafft Akzeptanz.

Damit die Energiewende auch von den Bürgerinnen und Bürgern mitgestaltet werden kann, muss die Bevölkerung über den Prozess und seine Komplexität ausreichend informiert sein. Die Chancen, Herausforderungen und Hemmnisse sollten wertungsfrei und umfassend kommuniziert und diskutiert werden. Die Wirtschaftlichkeit von Investitionen, der Beitrag und der Nutzen der Smart-Grid-Technologien für die Energiewende wie auch für jeden einzelnen Bürger müssen deutlich gemacht werden. Die Kenntnis dieser Fakten, also die „Akzeptabilität“, stellt eine grundlegende Voraussetzung für die Akzeptanz der Maßnahmen und Technologien durch die Bevölkerung dar.<sup>13</sup>

acatech empfiehlt daher, *die Akzeptabilität als Grundlage für die Akzeptanz* zu schaffen. Hierfür ist mehr Öffentlichkeitsarbeit notwendig. Neben der Wirtschaft und zivilgesellschaftlichen Organisationen stehen vor allem Landes- und

<sup>13</sup> acatech 2011.

Bundesbehörden in der Pflicht, die Bürger weitreichender und direkter zu informieren. acatech schlägt vor, Bürgerforen zu speziellen Themen zu etablieren sowie neue Formate zur Teilhabe und einen ergebnisoffenen Dialog zwischen politischen Entscheidungsträgern, Experten und der Bevölkerung zu schaffen. Die Information der Bürger sollte aber zusätzlich mit deren Integration in einen partizipativen Prozess der Entscheidungsfindung einhergehen. Eine Teilhabe der Bevölkerung am gesamtgesellschaftlichen Diskurs wird dabei helfen, die Nachhaltigkeit der Maßnahmen deutlich zu erhöhen. Der Begriff Energiewende muss anhand konkreter Beispiele und Herausforderungen für die Bevölkerung verständlich gemacht werden. Dies sollte zu einer „Entmystifizierung“ des Smart-Grid-Gedankens beitragen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geht mit dem Bürgerdialog einen ersten Schritt in diese Richtung. Weitere Schritte müssen folgen und deutlich über das Veranstaltungsformat des Ministeriums hinausgehen. Vorbehalte in der Bevölkerung gegenüber Infrastrukturmaßnahmen sind teilweise bereits bekannt. Argumente, wie der Eingriff in das Landschaftsbild durch Windkraftanlagen („Verspargelung“) oder der Tierschutz (zum Beispiel Schutz von Vögeln vor Verletzungen durch Windkraftanlagen), zeigen eine andere Ausrichtung als die Argumente gegen die IKT, die eher Sicherheitsfragen, zum Beispiel Datensicherheit oder Datenschutz, betreffen.

#### 10. Empfehlung:

(Aus-)Bildungs- und Qualifizierungsoffensive muss zeitnah starten.

Der Bedarf an für den Betrieb und die Entwicklung der neuen Technologien notwendigen Fachkräften wurde in

der acatech STUDIE nicht analysiert. Die Wichtigkeit einer (Aus-)Bildungs- und Qualifizierungsoffensive haben aber zahlreiche Experten-Workshops und auch andere Studien, zum Beispiel des VDE, betont.<sup>14</sup>

Für die Einführung verbrauchernaher Technologien, wie Smart Meter oder intelligente Haushaltsgeräte, und deren Steuerung müssen Fachkräfte ausgebildet und geschult werden. Sie beraten und informieren im direkten Kontakt Endverbraucher fachlich kompetent und können so das Vertrauen in die Technologie und damit die Akzeptanz für diese erhöhen.

Wesentlich für die Entwicklung sind auch die Technologien, die für den Endverbraucher nicht direkt sichtbar sind, wie im Verteilnetz. Für die Verfolgung des vorgeschlagenen Migrationspfads sind ausreichend viele spezialisierte Fachkräfte notwendig.

Der aktuelle Stand der Technologieentwicklung sowie die neuesten Standards müssen in der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften abgebildet werden. Nicht nur unternehmensintern, sondern auch in externen Bildungseinrichtungen müssen Fachkräfte mit *spezialisiertem Smart-Grid-Wissen* ausgebildet werden. So müssen Haustechniker mit den Anlagen und Funktionalitäten vertraut sein und die Symbiose von IKT und Energieinfrastruktur beherrschen. Heizungsbauer, Elektriker, Bauingenieure etc. müssen in Ausbildung und Studium adäquat geschult werden. Besonders ist hierbei auf die Ausbildung in den Schnittstellenberufen zwischen Energietechnologie und IKT (zum Beispiel Energieinformatiker) zu achten. Für die Bereiche Herstellung, Ausbau und Betrieb müssen die entsprechenden Fachkapazitäten geschaffen werden.

<sup>14</sup> VDE 2011.

# LITERATUR

## acatech 2011

acatech (Hrsg.): *Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen* (acatech BEZIEHT POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011.

## Appelrath et al. 2012

Appelrath, Hans-Jürgen/Kagermann, Henning/Mayer, Christoph (Hrsg.): *Future Energy Grid. Migrationspfade ins Internet der Energie* (acatech STUDIE), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012.

## BDEW 2011

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: *Energiedaten*. URL: [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE\\_Energiedaten](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Energiedaten) [Stand: 30.08.2011].

## Bothe et al. 2011

Bothe, D. et al. „Ökonomisches Potenzial spricht für Wahlfreiheit von Haushalten bei Smart Metern“. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Vol. 6 (2011).

## BNetzA 2010

Bundesnetzagentur (Hrsg.): *Monitoringbericht 2010*. URL: <http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/191676/publicationFile/9834/Monitoringbericht-2010Energiepdf.pdf> [Stand: 15.11.2011].

## DLR/Fraunhofer IWES/IFNE 2010

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)/Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES)/Ingenieurbüro für Neue Energien (IFNE): *Langfrist-szenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Leitstudie 2010*. URL: [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2010\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2010_bf.pdf) [Stand: 13.12.2011].

## E-Bridge 2011

E-Bridge Consulting GmbH (Hrsg.): *Abschätzung des Ausbaubedarfs in deutschen Verteilungsnetzen aufgrund von Photovoltaik- und Windeinspeisungen bis 2020*. URL: [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/C8713E8E3C658D44C1257864002DDA06/\\$file/2011-03-30\\_BDEW-Gutachten%20EEG-bedingter%20Netzausbaubedarf%20VN.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/C8713E8E3C658D44C1257864002DDA06/$file/2011-03-30_BDEW-Gutachten%20EEG-bedingter%20Netzausbaubedarf%20VN.pdf) [Stand: 12.10.2011].

## ECJRCIE 2011

European Commission Joint Research Centre Institute for Energy (Hrsg.): *Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments*, Luxembourg: Publications Office of the European Union 2011.

## Schäffler 2011

Schäffler, Harald (Hrsg.): *Marktstudie Kundensegmente und Marktpotentiale 2011*, Freiburg: Forschungsgruppe Energie- und Kommunikationstechnologien (EnCT) 2011.

## Leopoldina/acatech/BBAW 2009

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina/Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech)/Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (BBAW) (Hrsg.): *Konzept für ein integriertes Energieforschungsprogramm für Deutschland*, Berlin, München 2009.

## Nabe et al. 2009

Nabe, C. et al.: *Einführung von lastvariablen und zeitvariablen Tarifen*, 2009. URL: <http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/153298/publicationFile/6483/EcosysLastvariableZeitvariableTarife19042010pdf.pdf> [Stand: 10.10.2011].

**Rohlfing 2010**

Rohlfing, Dirk: *Hannover: Bilanz des Smart-Meter Piloten*.  
URL: <http://smart-energy.blog.de/2010/07/06/> [Stand:  
12.10.2011].

**VDE 2011**

Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik  
e.V. (Hrsg.): *VDE-Trendreport 2011. Elektro- und Informati-  
onstechnik. Schwerpunkt: Smart Grids*, Frankfurt am Main:  
2011.

> **BISHER SIND IN DER REIHE acatech POSITION UND IHRER VORGÄNGERIN acatech BEZIEHT POSITION FOLGENDE BÄNDE ERSCHIENEN:**

acatech (Hrsg.): *Mehr Innovationen für Deutschland. Wie Inkubatoren akademische Hightech-Ausgründungen besser fördern können* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel. Ansätze und Voraussetzungen für eine integrierte Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Den Ausstieg aus der Kernkraft sicher gestalten. Warum Deutschland kerntechnische Kompetenz für Rückbau, Reaktorsicherheit, Endlagerung und Strahlenschutz braucht* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Smart Cities. Deutsche Hochtechnologie für die Stadt der Zukunft. Aufgaben und Chancen* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 10), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen. Anmerkungen zu einem aktuellen gesellschaftlichen Problem* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 9), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Nanoelektronik als künftige Schlüsseltechnologie der Informations- und Kommunikationstechnik in Deutschland* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 8), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Leitlinien für eine deutsche Raumfahrtspolitik* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 7), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann. Status Quo – Herausforderungen – Offene Fragen* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 6), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2010.

acatech (Hrsg.): *Intelligente Objekte – klein, vernetzt, sensitiv. Eine neue Technologie verändert die Gesellschaft und fordert zur Gestaltung heraus* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 5), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2009.

acatech (Hrsg.): *Strategie zur Förderung des Nachwuchses in Technik und Naturwissenschaft. Handlungsempfehlungen für die Gegenwart, Forschungsbedarf für die Zukunft* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 4), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2009.

acatech (Hrsg.): *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland. Empfehlungen zu Profilbildung, Lehre und Forschung* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 3), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008.

acatech (Hrsg.): *Innovationskraft der Gesundheitstechnologien. Empfehlungen zur nachhaltigen Förderung von Innovationen in der Medizintechnik* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 2), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2007.

acatech (Hrsg.): *RFID wird erwachsen. Deutschland sollte die Potenziale der elektronischen Identifikation nutzen* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 1), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2006.

### > **acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN**

acatech vertritt die Interessen der deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu erleichtern und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um die Akzeptanz des technischen Fortschritts in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft deutlich zu machen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten aus Industrie, Wissenschaft und Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland; das Präsidium, das von den Akademiemitgliedern und vom Senat bestimmt wird, lenkt die Arbeit. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin vertreten.

Weitere Informationen unter [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

### > **DIE REIHE acatech POSITION**

In dieser Reihe erscheinen Positionen der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Die Positionen enthalten konkrete Handlungsempfehlungen und richten sich an Entscheidungsträger in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sowie die interessierte Öffentlichkeit. Die Positionen werden von acatech Mitgliedern und weiteren Experten erarbeitet und vom acatech Präsidium autorisiert und herausgegeben.