

The Internet of Energy

Patrick Wiederkehr

ETH Zürich, 2008

Übersicht

Angesichts des Wachstums der Weltbevölkerung und der Weltwirtschaft verknappen sich die natürlichen Ressourcen der Erde drastisch. Die globale Klimaerwärmung macht uns deutlich, dass wir langfristig nur durch einen schonenden Einsatz dieser Ressourcen bestehen können. Umweltfreundliche Stromproduktion wird vielerorts staatlich gefördert, lässt sich jedoch nur schwer in die bestehenden Energiemärkte integrieren. Das heutige Stromnetz hat seine Kapazitätsgrenzen oftmals schon erreicht und ist dadurch sehr anfällig auf Unterbrüche und Störungen, was schnell zu grossflächigen Stromausfällen führt. „*The Internet of Energy*“ zeigt, wie mittels modernster Kommunikationstechnologie robuste und zuverlässige Strommärkte mit dezentralen Strukturen realisiert werden können.

Der Erste Teil dieser Ausarbeitung beschäftigt sich mit der Frage „*Woher kommt der Strom aus der Steckdose?*“ und versucht nach einer kurzen Übersicht des Strommarktes die Probleme der heutigen Energiesysteme zu verdeutlichen. In Zukunft werden wir uns auch die Frage „*Wohin geht der Strom in der Steckdose?*“ stellen, da jeder einzelne von uns zum potenziellen Stromerzeuger wird. Im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojektes werden im zweiten Kapitel neue Ansätze und mögliche Systeme, wie sie ganz im Sinne des „*Internet of Energy*“ aussehen könnten, vorgestellt und diskutiert. „*Was kann der Strom aus der Steckdose?*“ bildet den dritten Teil dieser Ausarbeitung. Ein neuer Standard für elektronische Intelligenz wird vorgestellt und zeigt, dass Stromleitungen nicht nur zum Energietransport verwendet werden können. Abschliessend werden in der Zusammenfassung die wichtigsten Aspekte nochmals hervorgehoben.

1. Woher kommt der Strom aus der Steckdose?

Als 1882 das erste deutsche Kraftwerk gebaut wurde, konnte man diese Frage noch sehr einfach beantworten. Das zunächst noch mit Wasserturbinen betriebene Werk konnte immerhin 30 Glühlampen mit Strom versorgen. Die Stromversorgung sowie auch der Bedarf wurden schnell flächendeckender, so dass sich die Stromversorgung schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts zu einem profitablen Geschäft entwickelte. Industriebetriebe und Privathaushalte zahlten eine fixe Grundgebühr und waren fortan zuverlässig mit Strom versorgt. Daran hat sich fast 100 Jahre lang nicht viel geändert.

1.1 Liberalisierung der Strommärkte

Erst seit den späten Achtzigerjahren des 20. Jahrhunderts wurde damit begonnen, den Strommarkt zu liberalisieren. Zunächst in Grossbritannien, im skandinavischen Raum sowie in Lateinamerika, später in einzelnen Bundesstaaten der USA und heute in fast allen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union hat der Kunde die freie Wahl des Stromanbieters [1].

In Deutschland haben sich nach der Liberalisierung von 1998 vier grosse Stromanbieter hervorgetan (E-ON, Vattenfall, RWE und EnBW), die heute fast 90% des produzierten Stromes liefern. Die restlichen 10% erkämpften sich so genannte Billigstromanbieter, von denen zurzeit etwa 800 – 900 existieren [2]. Billiger ist jedoch im Strommarkt nicht gleichbedeutend mit geringerer Qualität. Der günstigere Preis entsteht vor allem durch die Nähe zum Kunden. Einerseits verringern sich dadurch die je nach Region stark variierenden Leitungskosten, welche der Anbieter an den Leitungseigentümer bezahlen muss, andererseits werden die physikalisch bedingten Transportverluste minimiert. Zusätzlich importieren viele Billigstromanbieter den günstigeren Atomstrom sowie Überflüsse aus dem nahen Ausland.

Um den jeweils günstigsten Anbieter ausfindig zu machen, kann man einen Stromrechner verwenden. Dies ist ein webbasierter Dienst, der anhand kundenspezifischer Kriterien, wie der Region, dem durchschnittlichen Jahresverbrauch, oder auch Unterpunkten, wie Ökostrom oder Preisgarantie, den Anbieter mit dem besten Preis-/Leistungsverhältnis ermittelt. Ein Wechsel des Stromanbieters ist mit Hilfe von vorgefertigten Webformularen zwar relativ einfach, dauert in der Regel jedoch noch ca. 6 – 8 Wochen [2].

1.2 Ökostrom

Mit dem Begriff Ökostrom bezeichnet man den Strom, welcher ausschliesslich aus erneuerbaren Quellen produziert wird. Dazu zählen Wasser- und Windkraft, Sonnenenergie, Erdwärme und Biomasse (Verbrennung nachwachsender Rohstoffe und organischen Abfällen). Der „grüne Strom“ wird immer beliebter, was vor allem auf das steigende Umweltbewusstsein der Bevölkerung zurückzuführen ist. Die Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen erhält aufgrund ihres ökologischen und umweltpolitischen Aspekts staatliche Förderungen. Durch die vermehrte Nutzung von Strom, der auf ökologisch vertretbare Weise hergestellt wird, nimmt der Anteil an produziertem CO₂ pro erzeugter Kilowattstunde ab.

Der Strom aus der Steckdose besteht also je länger je mehr aus einem bunten Strom-Mix. Mit den heutigen Systemen ist es aber noch nicht möglich die tatsächlichen Quellen ausfindig zu machen. Oft kommt es vor, dass anstelle von Ökostrom konventionelle Energie geliefert wird [3].

Um der steigenden Komplexität der Interaktion zwischen Verbraucher und Produzent gerecht zu werden, müssen neue Modelle und neue Infrastrukturen eingesetzt werden. Wie genau solche zukünftigen Systeme aussehen könnten ist Gegenstand dieser Ausarbeitung und wird im nächsten Kapitel ausführlich dargestellt.

1.3 Probleme heutiger zentralisierter Stromnetze

Das Betreiben eines stabilen Stromnetzes ist mit einem sehr hohen Aufwand verbunden. Wie die in letzter Zeit immer häufigeren, grossflächigen Stromausfälle deutlich zeigen, stossen die heutigen Netzwerke oft an ihre Kapazitätsgrenzen¹. Das liegt hauptsächlich an der Tatsache, dass keine effizienten Speicher für elektrische Energie existieren. Es muss immer genau soviel Strom erzeugt werden, wie gerade

¹ USA , 14. August 2003: *Northeast Blackout*. Der Unterbruch einer einzelnen Leitung führte zur verketteten Abschaltung von über 100 Kraftwerken. In Amerika und Kanada waren ca. 50 Millionen Menschen betroffen. Die entstandene Schadenssumme wurde auf 6 Milliarden US-Dollar geschätzt.

Am 28. September 2003 beschädigte ein Sturm eine Stromleitung von Italien in die Schweiz. Mit Ausnahme von Sardinien war ganz Italien 9 Stunden ohne Strom. Insgesamt 56 Millionen Menschen waren betroffen [4].

verbraucht wird, und umgekehrt kann jeweils nur so viel Strom verbraucht werden, wie gerade produziert wird. Um dieses Gleichgewicht garantieren zu können, muss der Verbrauch stets im Voraus abgeschätzt werden. Im Falle von ungeplantem Mehr- oder Minderverbrauch muss entsprechend schnell reagiert werden. Um bei Spitzenlast (siehe Abb. 1) genügend Reserven bereit zu haben, verlässt man sich auf sogenannte Spitzenlastkraftwerke wie z. B. Gaskraftwerke oder Pumpspeicherkraftwerke. Sie zeichnen sich durch einen sehr hohen Grad an Dynamik aus, da sie sehr schnell auf Schwankungen und Ausfälle anderer Werke reagieren können und daher oft nur wenige Stunden am Tag betrieben werden. Diese Abhängigkeit der einzelnen Werke untereinander führt einerseits zu hohen Strompreisen und andererseits bei einem Werksausfall schnell zur Überlastung der Leitungen, worauf sich die Werke automatisch herunterfahren. So kommt es zu folgeschweren, grossflächigen Netzausfällen.

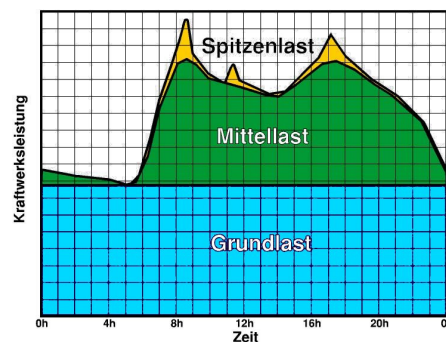


Abb. 1. Typischer Tagesverlauf des Stromverbrauchs

2. Wohin geht der Strom in der Steckdose?

In naher Zukunft wird jeder einzelne von uns zum potentiellen Stromproduzenten - sei es mit einer hauseigenen Solaranlage oder einem kleinen Generator im Keller. Überschüssige Energie kann man entweder ins allgemeine Stromnetz einspeisen oder direkt seinen Nachbarn anbieten.

Der Trend geht also hin zu möglichst vielen, dezentralen Anlagen zur Deckung des Eigenbedarfs. Überschüsse aus der eigenen Stromproduktion solcher kleinen

Anlagen lassen sich jedoch relativ schlecht planen, da sie oft vom Eigenverbrauch des Betreibers abhängen und je nach Technologie sogar wetterabhängig sind. Solche schlecht planbaren Anlagen machen das gesamte Stromnetz zusätzlich instabil. Will man sie optimal in das bestehende Stromnetz einbinden, müssen neue Modelle zur Integration gefunden werden.

Zukünftige Systeme sollten also einerseits Spitzenlasten durch eine optimierte Planung der Verbraucher minimieren, und andererseits ein hochgradig dezentralisiertes Netzwerk verwalten können. Diese, sowie weitere mittel- bis langfristige Ziele - wie etwa die Förderung von effizienten und umweltfreundlichen Stromquellen, oder die Verringerung der Transportverluste - sind Gegenstand aktueller Forschung. Wir werden uns nun stellvertretend für die Vielzahl laufender Forschungsprojekte eines genauer ansehen.

2.1 SESAM – Virtuelle Kraftwerke

SESAM steht für „*Selbstorganisation und Spontaneität in Energiemärkten*“ und wird von der Universität Karlsruhe geleitet. Das SESAM-Projekt [5, 6, 7] verfolgt die Vision eines neugestalteten Energiesystems. Neben konventionellen Grosskraftwerken sollen auch möglichst viele dezentrale Anlagen, wie beispielsweise Solaranlagen, Brennstoffzellen oder Blockheizkraftwerke, zur Stromerzeugung miteinbezogen werden. Diese Technologien ermöglichen eine umweltschonendere Energieproduktion als konventionelle Grosskraftwerke, da sie entweder erneuerbare Ressourcen nutzen, oder durch eine gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme einen deutlich höheren Wirkungsgrad erzielen.

Das eben bereits erwähnte Blockheizkraftwerk arbeitet mit Diesel-, (Bio-) Gasmotoren oder Gasturbinen. Solche in der Regel eher kleinen Anlagen haben mit ca. 30% zwar einen niedrigeren Wirkungsgrad als Grosskraftwerke (ca. 45%), doch durch die zusätzliche, ortsnahe Nutzung der Abwärme kann bis zu 90% der eingesetzten Primärenergie ausgenützt werden [8]. So können einzelne Gebäude oder ganze Siedlungen auf effiziente, umweltschonende Weise mit Strom und Heizenergie versorgt werden. Durch den vermehrten Einsatz vieler solcher lokalen Anlagen entfallen die teuren Transportverluste auf den Leitungen sowie deren Nutzungsgebühr.

Um eine hohe Versorgungssicherheit zu gewährleisten, werden in der SESAM-Vision diese dezentralisierten Energieerzeuger (auch dezentralisierte Energieumwandlungs-

anlagen, kurz DEA, genannt) zu sogenannten „*Virtuellen Kraftwerken*“ vernetzt. Ein Virtuelles Kraftwerk steuert die angeschlossenen Energieerzeuger sowie auch die Verbraucher wie Haushalte und Industrieunternehmen über sogenannte Intelligente Energiemanagementsysteme (IEMS).

Die Kernaufgaben eines IEMS sind:

- Steuerung dezentraler Energieumwandlungsanlagen (DEA).
- Planung der angeschlossenen Verbraucher in Abhängigkeit von den aktuellen Strompreisen
- Automatisierter An- und Verkauf der benötigten Energie auf elektronischen Märkten

2.1.1 Zentrale vs. dezentrale Verwaltung der Virtuellen Kraftwerke

All diese Aufgaben könnten theoretisch zentral von den Virtuellen Kraftwerken (VK) koordiniert werden. Dieser Ansatz stösst jedoch schnell an Grenzen. Zum einen wächst die Komplexität der zentralen Optimierung von Angebot und Nachfrage exponentiell mit der Zahl der Erzeuger und Lasten im VK, andererseits stellt eine zentrale Leitstelle einen „*Single Point of Failure*“ dar. Dies würde durch die Einführung mehrerer Optimierungsstufen sowie redundanter Datenspeicherung und –verarbeitung jedoch nur teilweise gelöst. Nebst den technischen Schwierigkeiten bei der Realisierung von zentral geführten VK entstehen zudem rechtliche Probleme, wenn z.B. Lasten und Verbraucher in ein VK integriert werden sollen, welche nicht Kunden des VK sind.

Aufgrund all dieser Probleme muss ein alternativer Ansatz zu zentral verwalteten VK gefunden werden. Eine vielversprechende Lösung könnten dezentrale Strukturen sein. Dabei wird die zentrale Optimierung des Last- und Erzeugereinsatzes weitgehend durch dezentrale Optimierung mit dezentral entscheidenden Einheiten ersetzt, um so die Robustheit und Skalierbarkeit des Systems zu erhöhen. Genau dies ist der Ansatz des SESAM-Projektes und soll nun genauer betrachtet werden.

2.1.2 Automatisierte Energiemärkte

Basis eines dezentral verwalteten VK ist ein sich selbst organisierender, internetbasierter Energiemarkt. Akteure sind sowohl die Betreiber der DEA (also z.B. von Solar-, Brennstoff-, Wind- oder Blockheizkraftwerken) sowie auch die Nachfrager bzw. Verbraucher. Dabei sind die Rollen nicht festgelegt, sondern können je nach Bedarf dynamisch ändern. Ein Besitzer einer Solaranlage ist also sowohl Stromanbieter - sofern er mehr Strom produziert als er selber verbraucht – oder aber auch Verbraucher, wenn er im Winter zusätzlichen Bedarf an Heizenergie hat (Abb. 2).

Wichtigster Aspekt ist dabei die Selbstorganisation der genannten Marktteilnehmer, welche möglichst autonom das Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage anhand des aktuellen Strompreises herstellen. Ein solches System stellt natürlich sehr hohe Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur bezüglich Sicherheit, Robustheit und Skalierbarkeit. Zusätzlich müssen selbst die kleinsten Einheiten des Systems flexibel und rasch auf Marktveränderungen reagieren können.

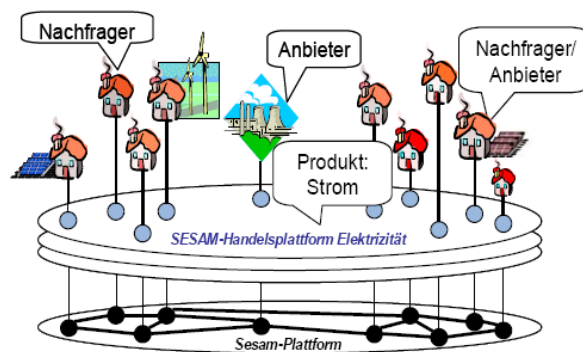


Abb. 2. Die SESAM Handelsplattform

Ganz im Sinne einer dezentralen Lösung findet der Handel über die Marktplattform auf der Basis eines Peer-to-Peer-Netzwerks statt. Peer-to-Peer-Netzwerke haben keine zentrale Instanz und somit keinen Single Point of Failure, was der Robustheit des Gesamtsystems zugunsten kommt. In Kombination mit *Service-orientierten Architekturen* (SOA) ist es möglich, dass jeder einzelne Knoten (Peer) individuelle, den Ansprüchen des Teilnehmers entsprechende, Dienste anbieten kann. Um die Transaktionen abzusichern, wurden verteilte Authentifizierungsmechanismen

entwickelt, welche über vertrauenswürdige Stellen die Identität der Marktteilnehmer sicherstellen.

2.1.3 Intelligente Stromzähler (Smart Meters)

Von zentraler Bedeutung für das Funktionieren eines automatisierten Marktplatzes sind intelligente Stromzähler. Als Bestandteil des IEMS sind sie in allen Haushalten und Industrieanlagen fest installiert. Zusätzlich zur traditionellen Stromzählung müssen sie alle angeschlossenen Verbraucher, wie Kühlschränke oder Waschmaschinen, steuern und deren Einsatz für den Folgetag anhand des aktuellen Strompreises möglichst effizient planen. Zu den grossen Verbrauchern in Haushalten zählen Kühlgeräte, Elektroheizungen, Warmwasserboiler, Klimaanlage und Trockner, künftig aber auch Systeme mit Batteriespeicher oder Ladeeinrichtungen von Elektrofahrzeugen. Die Anbindung dieser Geräte ist eng mit der Frage der Gebäudeautomatisierung verknüpft. In modernen Gebäuden existieren zwar teilweise solche Systeme schon, sie sind jedoch oft für unterschiedliche Anwendungen konzipiert und benutzen sehr unterschiedliche Kommunikationssysteme, welche bisher weitgehend unabhängig voneinander arbeiten. Ansätze für eine einheitliche Ansteuerung aller Haushaltsgeräte sind zum Teil schon Marktreif und werden ausführlich im dritten Teil dieser Ausarbeitung behandelt.

2.1.4 Elektronische Anwälte

Neben den vielen technischen Herausforderungen muss das System auch ökonomischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Bedingungen genügen. Um das Vertrauen auf Anbieter- und Nutzerseite zu gewährleisten, müssen die übergeordneten Marktmechanismen nebst automatisierten Verhandlungen und Vertragsabschlüssen auch die begleitende rechtliche Bewertung sowie Funktionalitäten zur Beweissicherheit unterstützen. Die Marktteilnehmer werden auf dem Markt von einem elektronischen Anwalt vertreten. Der Softwareagent sucht sich unter Berücksichtigung seines Verbraucherprofils und des aktuellen Strompreises potenzielle Vertragspartner. Dabei kommen unterschiedliche Handelsmechanismen zum Einsatz. Die einfachste Form, aus der traditionellen Kunden-Lieferantenbeziehung abgeleitet, ist ein „*Posted-Offer Markt*“, auf dem Verkäufer ihre Tarife über das Peer-to-Peer-Netzwerk veröffentlichen. Potenzielle Kunden suchen nach passenden Tarifen und können auf dieser Basis mit dem

Anbieter einen Vertrag abschliessen. Möglich ist jedoch auch eine Auktion, bei der ein Verbraucher gleichzeitig mit mehreren Verkäufern handelt. Dabei kann der Käufer verschiedene Anforderungen spezifizieren – wie etwa einen Mindestanteil an Ökostrom – welche verschieden gewichtet in die Bewertung der Gebote der Verkäufer einfließen.

Das Projekt SESAM wurde 2006 auf der CeBIT in Hannover einem breiten Publikum vorgestellt und stiess schon damals auf grosse Resonanz. Ein Prototyp eines Virtuellen Kraftwerkes wurde erfolgreich getestet und wartet heute nur noch auf seine Pilotumsetzung in der Realität. Es bestehen bereits enge Kontakte zu wichtigen Industriepartnern.

2.2 The „Internet of Energy“

SESAM ist nur eines von vielen laufenden Projekten [9, 10, 11], welche jedoch oft das gleiche Ziel haben. Weg von passiven, informationsarmen Einweg-Netzwerken hin zu dienste-basierten, aktiven, dezentral verwalteten Energiemärkten. Das Internet bietet dabei eine solide Basis, auf welcher solche Systeme aufgebaut werden können. Deshalb spricht man oft auch vom „*Internet of Energy*“.

Fassen wir kurz die wichtigsten Aspekte zusammen, welche für das „*Internet of Energy*“ von zentraler Bedeutung sind. Grundvoraussetzung ist ein deregulierter Energiemarkt, wie es heute in vielen Nationen bereits der Fall ist. Sich selbst organisierende Märkte sind jedoch nur realistisch, wenn auch die Einspeisung dezentral erzeugter elektrischer Energie zu betriebswirtschaftlich sinnvollen Preisen angeboten werden kann².

Technisch gesehen müssen robuste Transaktions-Plattformen entstehen, welche höchsten Ansprüchen an Flexibilität, Stabilität und Sicherheit genügen. Zusätzlich müssen auch rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, welche sich in die heutigen Märkte integrieren lassen.

Unabdingbar sind die bereits erwähnten intelligenten Zähler (wie z.B. der Smart-Meter im SESAM-Projekt). Heutige Zähler für Analyse und Messung des Stromes sind vergleichsweise unterentwickelt. Intelligente Zähler sind spezialisierte, eingebettete Systeme mit einer zentralen Recheneinheit, Speicher, Messgeräten und

² In Deutschland wird bis heute regenerativ erzeugte Elektrizität zu konstanten Preisen unabhängig vom Bedarf vergütet.

Kommunikationsmitteln, die in der Lage sein müssen detaillierte Verbrauchsprofile von Haushalten oder Firmen zu erstellen sowie diese selbstständig zu optimieren. Dabei dürfen Datenschutz und Privatsphäre nicht vergessen werden.

3. Was kann der Strom aus der Steckdose?

Wie im Abschnitt 2.1.3 bereits erwähnt, ist die individuelle Ansteuerung der einzelnen Verbraucher (wie z.B. Kühlanlagen, Heizungen, usw.) für dynamische Strommärkte essentiell und stark mit den Ansätzen in der Gebäudeautomatisierung verknüpft. Wären alle Verbraucher in einem Haus untereinander vernetzt, so könnte man leicht die für das IEMS benötigten Verbraucherprofile erstellen, und hätte gleichzeitig die technische Grundlage für universelle Gebäudesteuerung geschaffen. Vom *intelligenten Wohnen*, *Home Automation* oder dem *Smart Home* spricht man schon länger, doch sind entsprechende Produkte meist Insellösungen oder Luxusvarianten, die mit entsprechendem Installationsaufwand und hohen Kosten verbunden sind. Ein neuer Standard Namens digitalSTROM hat gute Chancen sich auf dem Markt durchzusetzen und das Potential den Umgang mit Strom zu revolutionieren.

3.1 digitalSTROM.org

„Strom ist nicht länger dumm“ – So Prof. Dr. L. Hovestadt, Präsident der digitalSTROM-Allianz, welche am 7.7.2007 unter der Schirmherrschaft der ETH Zürich gegründet wurde [12]. Er hat einen neuen Hochvolt-Chip entwickelt, der mit seinen 6x4 mm so klein ist, dass er sich problemlos in jedes Gerät, wie z.B. eine Stereoanlage, eine Lampe, oder sogar direkt in eine Glühbirnenfassung, einbauen lässt (Abb. 3). Der sogenannte dSID-Chip (digitalSTROM-Identification-Chip) kommuniziert über die vorhandene Stromverkabelung des Gebäudes mit anderen dSID-Chips oder direkt mit einem zentralen Rechner im Sicherungskasten. Dieser kann nun alle angeschlossenen Geräte überwachen, ein- und ausschalten, Lampen dimmen, die Musik, Jalousien, sowie alle anderen denkbaren Einrichtungen individuell steuern. Dabei steht die einfache, durchgängige Bedienung stets im Vordergrund.

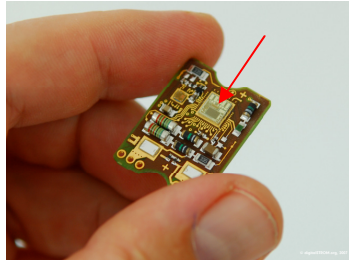


Abb. 3. (links) dSID-Chip (Pfeil) mit 120 W Effektivwertdimmer



Abb. 4. (rechts) Lüsterklemme mit integriertem dSID-Chip

DigitalStrom verbindet die Vorteile und Einfachheit von Funk (keine Planung, keine Verkabelung) mit der Sicherheit von kabelgebundenen Systemen (keine Batterien, Übertragungs- und Abhörsicherheit). Anders als bereits bekannte Systeme zur Datenübertragung auf dem Stromnetz (Powerline, Power-Plug, siehe 3.2) arbeitet der dSID-Chip nicht auf der Basis von Frequenzmodulation und bietet dadurch eine sehr hohe Funktionssicherheit und eine extrem kleine Bauform³. Netzteil, Prozessor, Kommunikationsmittel sowie eine Vielzahl von direkten analogen und digitalen Anschlüssen für verschiedenste Aufgaben konnten auf dem winzigen Chip integriert werden. Nebst den neuen Kommunikationsmöglichkeiten realisiert der 110- und 230-Volt-fähige Chip einen integrierten Überlast- und Blitzschutz sowie eine Abschaltautomatik für defekte Geräte, bei einem Stand-by-Verbrauch von nur 0.3 Watt. Das entspricht etwa einem Zehntel dessen, was ein Adapter eines Mobiltelefons verbraucht, selbst wenn kein Telefon angeschlossen ist. Dabei kann der Chip auch gleich die Stand-by-Funktion der Geräte übernehmen und so deren Stromverbrauch stark reduzieren.

Ziel der Non-Profit-Organisation ist es, den neuen Standard weltweit zu etablieren. Wichtigstes Kriterium für den Erfolg dieser Technologie ist die einfache Bedienung der neuen Systeme. Während ein technikbegeisterter Hausbesitzer mittels Touchscreen-Terminals verschiedenste Lichtstimmungen selbst programmieren kann, muss das System auch von Laien verstanden und bedient werden können. Der

³ Detailliertere Angaben zur Technik und deren Funktionsweise werden aus Gründen der dauerhaften Systemsicherheit nicht veröffentlicht. Jede Person, Organisation oder Firma kann jedoch Mitglied der Allianz werden und den Standard im Detail einsehen.

Chip kann dank seiner geringen Grösse und Kosten direkt in die Geräte eingebaut werden und ermöglicht damit eine einfache Plug-and-Play Installation. Lampen haben den Chip entweder direkt in der Leuchtmittelfassung integriert oder können, wie auch alle anderen nicht digitalSTROM-Ready Geräte, mittels bunten Lüsterklemmen ins System eingebunden werden (Abb. 4). Der digitalSTROM-Lichtschalter an der Wand sieht auf den ersten Blick genau so wie ein Herkömmlicher aus und ist auch weiterhin so zu bedienen. Durch Kippen des Schalters gegen die Ecken hin ändert ein Statuslicht von gelb für Licht auf grün für Musik oder grau für Jalousien und erlaubt deren Steuerung mit ein und demselben Schalter. Verlässt man seine Wohnung betätigt man den „Alles-Aus“-Schalter neben der Haustür und schaltet damit alle entbehrlichen elektronischen Geräte automatisch ab.

Nebst dem zusätzlichen Nutzerkomfort und der Sicherheit ist die bessere Kontrolle über den Energieverbrauch der einzelnen Geräte ein wichtiger Punkt. Bisher unentdeckte Stromfresser wie z.B. undichte Kühlschränke oder stark verkalkte Kaffemaschinen werden rasch identifiziert. Man geht davon aus, dass die etwa 300 Millionen Elektrogeräte in der Schweiz mit einem Stand-by-Betrieb ungefähr 10% des Stromverbrauchs verursachen [13]. Werden zusätzlich die grossen Verbraucher wie etwa die Waschmaschine oder der Tumbler nur zu bestimmten Zeiten, in denen der Strom besonders günstig oder umweltfreundlich hergestellt wird, betrieben, können die Stromkosten bis zu 30% gesenkt werden - ohne jeglichen Komfortverlust [12].

Als einer der ersten Partner in der digitalSTROM-Allianz bietet der deutsche Stromanbieter Yello schon heute in ca. 100 Haushalten den dSID-Chip in ihrem so genannten "Sparzähler-Online" an [14]. Nebst der transparenten Monatsendrechnung für den Kunden hat der Energieversorger erstmals die Möglichkeit eines exakten Managements der Stromversorgung. Wie in den vorherigen Kapiteln mehrmals erläutert, werden durch optimiertes Lastmanagement und Vermeidung von Stromspitzen die Vorhaltekosten der Versorger stark reduziert.

Die Entwicklung der Basistechnologie, dem dSID-Chip, ist seit Sommer 2007 abgeschlossen. Nun ist enge Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Firmen, Organisationen und Forschungseinrichtungen wichtig. Das Jahr 2008 wird genutzt, um zusammen mit namhaften Herstellern die Benutzerfreundlichkeit zu verfeinern und erste digitalSTROM-Ready Produkte zur Marktreife zu bringen. Erste digitalSTROM-Ready Geräte sollen ab dem dritten Quartal 2009 auf dem Markt erscheinen.

3.2 Powerline, HomePlug & Co.

Die Datenübertragung über das Stromnetz ist nicht neu. Mit Powerline, kurz auch PLC (Powerline Communications) genannt, sollte nebst Strom nun auch Internet und Telefonie aus der Steckdose kommen. Powerline war jedoch seit dem Marktstart im Juli 2001 alles andere als ein Erfolg. Dies hat vor allem technische Gründe. Das Prinzip von Powerline beruht auf der Aufmodulation eines hochfrequenten Datenkanals auf die niederfrequente Stromleitung. Die benötigten, relativ hohen Trägerfrequenzen im Megahertzbereich führen jedoch nebst hoher Rauschempfindlichkeit zu einem sehr unangenehmen Nebeneffekt: Die Stromleitungen werden zu Sendeantennen, deren Störfelder anderen Funkdiensten, wie z.B. Polizei-, Militär- oder Amateurfunk, in die Quere kommen könnten. Dies führte dazu, dass die kommerzielle Nutzung durch Gesetze⁴ stark eingeschränkt wurde. Von den vier grössten Energieversorgern Deutschlands, welche sich zu Beginn noch einen Mehrwert ihrer Stromnetze mit Telekommunikation versprachen, stieg einer nach dem anderen aus. Dennoch ist heute in verschiedenen Regionen Internet über den Stromanschluss verfügbar, wenn auch meist nur von kleineren Stadtwerken lokal angeboten. Die maximale Übertragungsrate ist jedoch auf wenige MBit/s beschränkt [16].

Zur Vernetzung innerhalb von Gebäuden ist Powerline eine gute Alternative zu Technologien wie WLAN und Ethernet. Es existiert bereits eine Vielzahl von Powerline-Adaptern für die „Inhouse Vernetzung“ über das existierende Stromnetz. Der aktuelle Standard *HomePlug AV* der *HomePlug Powerline Alliance* [17] verspricht zwar Datenübertragungsraten bis zu 200 MBit/s, doch auch dieser Wert hängt stark von der Qualität der existierenden Gebäudeverkabelung ab. Eine detailliertere Betrachtung dieser Technologie sprengt den Rahmen dieser Ausarbeitung und ist hier lediglich der Vollständigkeit wegen aufgeführt.

4. Zusammenfassung

Die Anfälligkeit konventioneller Energiesysteme mit wenigen, zentralen Grosskraftwerken sowie deren Anfälligkeit bezüglich grossflächiger Netzausfälle sind heute mehr denn je ein wichtiges Thema. Um die enormen Spitzenlasten

⁴ Bundesnetzagentur 2005 - Nutzungsbestimmung 30 (NB30) des Frequenzbereichszuweisungsplans

ausgleichen zu können, sind die Betreiber stark von sogenannten Spitzenlastkraftwerken abhängig. Dies macht den Strom teuer.

Das steigende Umweltbewusstsein in der Bevölkerung und die zunehmende Knappheit natürlicher Ressourcen führen zu einem grossen Interesse an ökologischer und effizienter Stromproduktion. Diese ist schon heute in Form von Wasser- und Windkraft, Sonnenenergie, Erdwärme und Biomasse verfügbar, lässt sich jedoch nur schwer in die bestehenden Netzwerke integrieren.

Die Deregulation des Strommarktes schafft die Grundlage für neue Modelle im Strommarkt. Dezentrale Strukturen versprechen robuste, dynamische, sich selbst organisierende Strommärkte, in denen eine Vielzahl umweltfreundlicher Kleinkraftwerke eine entscheidende Rolle einnehmen.

Das vorgestellte Projekt SESAM der Universität Karlsruhe zeigt ein mögliches System, in dem Kleinanlagen die lokale Nähe zum Verbraucher ausnützen, und zu dezentral verwalteten Virtuellen Kraftwerken zusammengefasst werden. Sogenannte Blockheizkraftwerke produzieren nebst Strom auch Heizenergie, welche ganze Siedlungen mit Wärme versorgen kann und so den Wirkungsgrad bei der Stromproduktion massiv erhöht.

Ein automatisierter Strommarkt, in dem An- und Verkäufer von Energie selbstständig untereinander kommunizieren und kooperieren, ist ein vielversprechender Ansatz. Dies ist eine grosse technische Herausforderung. Informationstechnische Aspekte, wie z.B. verteilte Optimierungsalgorithmen und Kommunikationsmodelle, welche die Sicherheit und Robustheit eines solchen Systems garantieren müssen, sind jedoch nicht die einzigen Kriterien. Sowohl rechtliche als auch wirtschaftliche Rahmenbedingungen sind von zentraler Bedeutung bei der Realisierung dieser Modelle.

In Zukunft werden sich nicht nur die Energieproduzenten mit neuen Modellen auseinander setzen müssen, auch auf Seiten der Verbraucher wird sich die Beziehung zu Strom stark verändern. Strom ist nicht mehr länger selbstverständlich und unerschöpflich. Wir werden unser Verhalten den neuen Bedingungen anpassen müssen, was aber nicht mit Komfortverlust gleichzustellen ist. Im Gegenteil: DigitalSTROM wird einerseits den Verbraucher für sparsameren Umgang mit Strom sensibilisieren, und legt gleichzeitig den Energieproduzenten ein entscheidendes Werkzeug zu effizienteren, effektiveren und umweltfreundlicheren Energiesystemen in die Hand.

5. Referenzen

- [1] *Energiepolitik im Liberalisierten Umfeld: Die Strommarktliberalisierung* – Energieforum Schweiz, 2003
- [2] <http://www.steckdose.de>, zugegriffen am 20.3.2008
- [3] <http://www.kostenloserstromrechner.de>, zugegriffen am 20.3.2008
- [4] *List of Power Outages*. Wikipedia, die freie Enzyklopädie, zugegriffen am 20.3.2008 auf http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_power_outages
- [5] *SESAM – Selbstorganisation und Spontaneität in liberalisierten und harmonischen Märkten* - <http://www.sesam.uni-karlsruhe.de>
- [6] *Marktmodell für ein dezentral organisiertes Energiemanagement im elektrischen Verteilnetz - Grundlage für ein internetbasiertes Managementsystem* – ETG Kongress Karlsruhe, 2007
- [7] *SESAM öffnet sich* – Unikath, das Magazin der Universität Karlsruhe. Ausgabe 3/2006
- [8] *Blockheizkraftwerke*. Wikipedia, die freie Enzyklopädie, zugegriffen am 20.3.2008 auf <http://de.wikipedia.org/wiki/Blockheizkraftwerk>
- [9] Projekt DINAR – <http://www.projektdinar.de>
- [10] Projekt smartgrids – <http://www.smartgrids.eu>
- [11] Projekt CRISP – <http://www.ecn.nl/crisp>
- [12] DigitalSTROM-Allianz & DigitalSTROM Standard, <http://www.digitalstrom.org>
- [13] *Mit einem Chip gegen Stromverschwendung* – TagesAnzeiger vom 14.9.2007
- [14] Yello Sparzähler Online - <http://www.yellostrom.de/privatkunden/mein-yello/sparzaehler-online>
- [16] teltarif.de - <http://www.teltarif.de/i/powerline.html> zugegriffen am 20.3.2008
- [17] HomePlug Powerline Alliance – <http://www.homeplug.org>