

# Smart Energy Grids

Konrad Pustka

Betreuer: Andreas Müller

Seminar Innovative Internettechnologien und Mobilkommunikation SS2012

Lehrstuhl Netzarchitekturen und Netzdienste

Fakultät für Informatik, Technische Universität München

Email: konrad.pustka@in.tum.de

## KURZFASSUNG

Im Rahmen der Energiewende werden zunehmend erneuerbare Energien für die Stromerzeugung eingesetzt. Durch die dadurch steigende Volatilität der Stromquellen müssen neue Methoden für die Vernetzung, Verteilung und Speicherung des Stromes gefunden werden. Mit Hilfe sog. „Intelligenten Stromnetze“ (Smart Energy Grids) soll der Verbrauch an die Erzeugung angepasst werden. Die Anbindung privater Haushalte an das Smart Energy Grid erfolgt über sog. „Smart Meter“, welche den aktuellen Stromverbrauch an den Stromanbieter übermitteln und in Zukunft auch die Steuerung von Verbrauchern durch den Stromanbieter zulassen sollen. Großer Streitpunkt ist hier noch der Datenschutz und die Privatsphäre der Nutzer. Aber auch das Potenzial, durch Lastverlagerung Stromspitzen zu vermeiden, sowie den allgemeinen Verbrauch zu senken, gilt es noch zu untersuchen. Hier haben private Haushalte verschiedene Möglichkeiten. Einsparungen können allein durch Austausch ineffizienter Geräte und Abschaltung nicht benötigter Verbraucher erreicht werden. Aktuelle Studien untersuchen hierbei den Einfluss von Smart Metern auf das Nutzungsverhalten. Durch zukünftige Technologien zur Stromgewinnung und Speicherung werden sich auf diesem Gebiet weitere Möglichkeiten ergeben.

## Schlüsselworte

Smart Energy Grid, Smart Meter, Einsparpotenzial

## 1. EINLEITUNG

Mit dem auf 2020 festgelegten Ausstieg aus der Atomenergie hat die Bundesregierung Deutschland den ersten Schritt in Richtung nachhaltiger Energieversorgung vollzogen. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtstromverbrauch soll dabei von aktuell 20% (Wert für Deutschland im Jahr 2011) auf mind. 35% gesteigert werden [1]. Mit der Verlagerung hin zu regenerativen

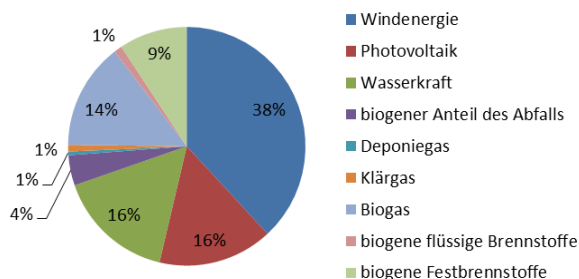


Abbildung 1. Struktur der Stromgewinnung aus erneuerbaren Energien in Deutschland (2011) [4]

Stromerzeugungsmethoden kommt allerdings, neben der technischen Umsetzung, eine weitere große Herausforderung auf die Bundesregierung zu. Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern ist, außer von dem Material selbst, unabhängig von natürlichen Einflüssen. Viele der Stromerzeugungsmethoden aus erneuerbaren Energien beruhen allerdings auf Umwelteinflüssen, welche sich durch den Menschen nur schwer oder gar nicht beeinflussen lassen. Betrachtet man beispielsweise ausschließlich den Strom aus erneuerbaren Energien in Deutschland, so ist zu sehen, dass 2011 etwa 70% davon mit Wasserkraft, Windenergie oder Photovoltaik erzeugt wurde (siehe Abbildung 1). Je nach Wetterlage können diese Energie-Quellen stark schwanken. Eine weitere Veränderung des Stromnetzes wird durch die starke Verteilung der Energieerzeuger notwendig sein. Wird im Moment etwa 80% Prozent des Stroms in wenigen großen Kraftwerken erzeugt, so wird sich das im Hinblick auf regenerative Stromerzeuger auf viele kleinere Anbieter verteilen. Diese werden, wie schon beschrieben, zusätzlich auch noch größeren Schwankungen unterlegen sein.

Um diesen neuen Anforderungen gerecht zu werden, ist es notwendig den Aufbau des aktuellen Stromnetzes anzupassen. In Zukunft wird nicht nur die Kapazität eines Stromnetzes von Wichtigkeit sein, sondern vor allem wie der Strom verteilt und gespeichert wird. Zwischen Erzeuger, Speicher, Verbraucher und weiteren Netzkomponenten muss eine bidirektionale Kommunikation stattfinden, um die vorhandenen Ressourcen optimal verteilen zu können. Der Begriff „Smart Energy Grid“ (im Folgenden Smart Grid genannt) beschreibt dabei die Vision eines intelligenten Stromnetzes, welches all diese Faktoren beachtet und selbstständig die bestmögliche Verknüpfung der Netzteilnehmer herstellt. Die „Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE“ verwendet folgende Definition für Smart Grids:

„Der Begriff „Smart Grid“ (Intelligentes Energieversorgungssystem) umfasst die Vernetzung und Steuerung von intelligenten Erzeugern, Speichern, Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und Energieverteilungsnetzen mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Ziel ist auf Basis eines transparenten energie- und kosteneffizienten sowie sicheren und zuverlässigen Systembetriebs die nachhaltige und umweltverträgliche Sicherstellung der Energieversorgung.“ [3]

Viele Strom-Anbieter werben mit diesem Begriff auch für Strom- und Kosteneinsparungen in privaten Haushalten. Inwieweit dies zutrifft und in welchen Bereichen der private Endverbraucher tatsächlich zu einer besseren Lastverteilung beitragen kann, soll in dieser Arbeit dargestellt werden.

doi: 10.2313/NET-2012-08-1\_09

Im folgenden Abschnitt 2 wird zunächst der Aufbau eines Smart Grids genauer definiert. Dabei wird sowohl auf die einzelnen Komponenten, als auch auf die Kommunikationswege und Sicherheitsaspekte eingegangen. Abschnitt 3 befasst sich mit den Einsparpotenzialen in privaten Haushalten. Verschiedene Möglichkeiten der optimierten Stromnutzung werden aufgezeigt und auf ihren Nutzen untersucht. Zum Abschluss wird in Abschnitt 4 eine Zusammenfassung über die Ergebnisse dieser Arbeit gegeben.

## 2. AUFBAU EINES SMART GRIDS

Das Stromnetz in Deutschland ist in mehrere Ebenen untergliedert: Höchst-, Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetz [2]. Das Höchstspannungsnetz ist für den Transport von Strom über große Strecken zuständig. In diesem Netz speisen Großkraftwerke ein. Kleinere Stromerzeugungsanlagen dagegen speisen in das Hoch- oder Mittelspannungsnetz ein. Dies sind folglich die Netze, die für Smart Grids von Bedeutung sind.

### 2.1 Teilnehmer

Ein Smart Grid umfasst ein großes Areal an verschiedenen Teilnehmern mit jeweils eigenen Interessen. Ein Überblick über die Verknüpfung der Teilnehmer sowie den Strom- und Datenfluss ist in Abbildung 2 dargestellt.

Auf der einen Seite stehen die Stromerzeuger. Dies können konventionelle Kraftwerke, Biomasse-Verbrennungs-Anlagen, Windparks oder andere auf erneuerbaren Energien basierende Kraftwerke sein. Die Erzeugung muss dabei bestmöglich an den Verbrauch angepasst werden.

Um den überschüssigen Strom „konservieren“ zu können werden Speicherkraftwerke benötigt. Die gängigste Art ist das Pumpspeicherkraftwerk. Wenn Strom verfügbar ist wird dort Wasser in einen höhergelegenen Speicher gepumpt, um später, mit Hilfe des Wasserdrucks, Turbinen und Generatoren antreiben zu können. Der Wirkungsgrad liegt dabei bei 75-80% [5].

Eine große Bedeutung kommt auch den Netzbetreibern zu. Durch die direkte Schnittstelle zu Erzeugern und Verbrauchern können diese den Stromfluss im Netz optimal anpassen. Sie sind das Bindeglied zwischen Strom-Erzeuger und Verbraucher.

Am Ende steht der Verbraucher. Durch die größeren

Schwankungen in der Stromerzeugung muss dieser durch geschickte Steuerung der Endgeräte seinen Verbrauch an das Angebot anpassen. Besonders Lastspitzen, welche im Moment morgen, mittags und abends auftreten gilt es zu vermeiden [6]. Welche Möglichkeiten er dabei hat wird im nächsten Kapitel dieser Arbeit aufgezeigt.

Auf den Verbraucher kommt darüber hinaus noch eine komplett neue Aufgabe zu. Über eigene Stromerzeugungsanlagen (z.B. eine Photovoltaik-Anlage auf dem Hausdach) und Stromspeicher (z.B. einen „Haus-Akku“) kann Strom bei Bedarf in das Netz eingespeist werden. Gerade der Bereich der privaten Stromspeicher wird in Zukunft immer wichtiger werden, eine große Bedeutung wird dabei auch den Elektro-Autos zukommen. Der Verbraucher wird somit vom reinen Strom-Konsumenten auch zum Strom-Produzenten. Er wird deswegen auch als „Prosumer“ bezeichnet. Der „Prosumer“ hat über Strommärkte die Möglichkeit aktiv am Energiehandel teilzunehmen.

### 2.2 Smart Meter

Eine wichtige Voraussetzung für die neuen Aufgaben des Endverbrauchers ist der „Smart Meter“. Beschrieben wird dadurch ein allgemeiner Zähler für Energie (es besteht keine Beschränkung auf Strom), welcher über eine Kommunikationsschnittstelle den tatsächlichen Verbrauch und die Nutzungszeit auslesbar macht. Je nach Modell sind über den Smart Meter auch weitere Funktionen, wie z.B. die Steuerung elektrischer Geräte, vorhanden. In Deutschland müssen Smart Meter seit Januar 2010 bei Neubauten, größeren Renovierungen und Verbrauchern mit einem Jahresverbrauch von mehr als 6.000 kWh eingebaut werden (vgl. §21c Abs. 1 EnGW [7]). Die Definition eines Smart Meters beschränkt sich dabei allerdings auf die Grundfunktionalität des Anzeigens des Verbrauchs und der Nutzungszeit (vgl. §21d Abs. 1 EnGW [8]). In den meisten Fällen ist es dem Endverbraucher und auch dem Stromanbieter somit nicht möglich den Stromverbrauch über eine Datenschnittstelle abzurufen. Die nächste Generation der Smart Meter soll 2013 eingeführt werden [9].

### 2.3 Kommunikationsnetze

Um all die bisher beschriebenen Teilnehmer miteinander zu vernetzen ist es notwendig neue Kommunikationsnetze zu

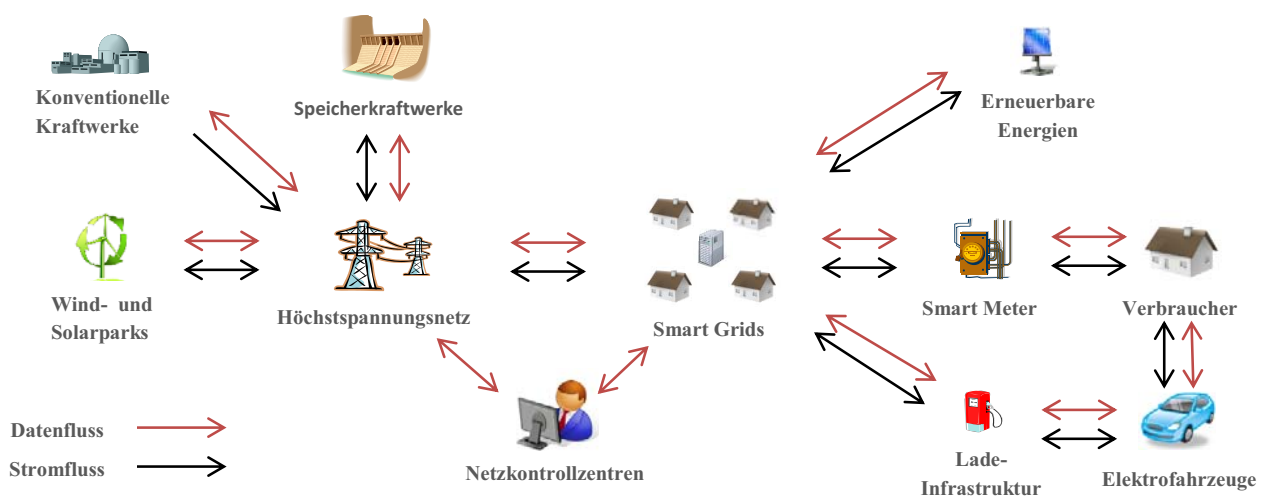


Abbildung 2. Strom- und Datenfluss im Smart Grid [2]

errichten. Für die Kommunikation zwischen Smart Metern und Netzbetreibern sind verschiedene Übertragungswege in Erprobung. Durch die direkte Verbindung des Smart Meters mit der Stromleitung bietet sich das „Power Line Communication“ (PLC) Verfahren an, bei dem die Daten direkt über das Stromnetz gesendet werden. Unklar ist aber noch, ob es den neuen Anforderungen gerecht werden kann [10]. Im Rahmen des E-Energy Förderprogramms werden deutschlandweit in sechs verschiedenen Modellregionen weitere Kommunikationssysteme, wie die Übertragung über das Handynet oder Wide-Area-Networks (WAN) getestet. Welches Verfahren sich durchsetzen wird ist allerdings noch nicht absehbar. Durch die verschiedenen Vor- und Nachteile ist davon auszugehen, dass jedes Verfahren in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten benötigt wird.

Hierfür sind auch protokollübergreifende Standards und Normen notwendig, um die genaue Implementierung möglichst flexibel zu halten. Derzeit wird weltweit an solchen Standards gearbeitet. Deutschlandweit arbeiten Gremien des VDE daran die Standardisierung von Smart Grids voranzutreiben, dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit der europäischen Normung und auf internationaler Ebene mit dem IEC. Im Rahmen der „Deutschen Normungsroadmap“ wurden dabei, die in Tabelle 1 dargestellten Kernstandards definiert [3]. Besonders relevant für den Bereich des privaten Verbrauchers sind dabei das Common Interface Model (CIM) sowie der IEC 61850 Standard. Das Common Interface Model teilt sämtliche Übertragungsdaten in Klassen und Attribute auf. Es ist also eine objektorientierte Beschreibung der Messwerte.

**Tabelle 1. Kernstandards nach der Deutschen Normungsroadmap[3]**

Kernstandards	Thema
IEC 62357	Seamless Integration Reference Architecture (SIA)
IEC 61970/61968	Common Interface Model (CIM)
IEC 61850	Substation Automation, Distributed Energy Resources
IEC 62351	Security

Im Standard „IEC 91850“ ist die Verwendung von Ethernet-Kommunikation und Internetprotokollen festgeschrieben. Des Weiteren enthält er Angaben über eine normierte Geräte- und Systembeschreibungssprache.

## 2.4 Sicherheitsaspekte

Beim Austausch von Informationen über Datenetze besteht immer die Gefahr des Auslesens oder Manipulierens der Daten durch Dritte. In IEC 62351 wurden deswegen schon frühzeitig Vorgaben für die Verschlüsselung, Authentifizierung, sowie die Erkennung von Manipulationen gemacht.

Ein weiterer häufig diskutierter Punkt, betreffend Smart Meter, ist die Privatsphäre der Endnutzer. Kennt der Netzbetreiber den genauen Stromverbrauch eines Kunden, so kann er über das Lastprofil des Haushalts genaue Angaben über die Gewohnheiten der Bewohner machen. Wann aufgestanden, geduscht und gefrühstückt wird, lässt sich einfach ablesen. Forscher der Fachhochschule Münster haben diese Problematik genauer untersucht und konnten anhand der von einem Smart Meter

übertragenen Daten sogar feststellen, welches Fernsehprogramm der Kunde gerade ansieht [11]. Dieses Ergebnis gilt es allerdings richtig einzuordnen, denn in dem Versuch wurde ein sekundliches Übertragungsintervall gewählt. Solch eine Granularität wird mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht notwendig, wenn nicht sogar nicht umzusetzen sein. In welchem Intervall jedoch letztendlich übertragen wird, ist noch offen. Im Moment wird in den meisten Fällen eine Viertelstunde gewählt.

Um die Privatsphäre weiter zu schützen, gibt es verschiedene Ansätze [18]. Zum einen könnte man den aktuellen Verbrauch „verschleiern“. Hierbei kommt ein Akku zum Einsatz, der zu Stoßzeiten Strom abgibt und bei allgemein niedrigem Verbrauch wieder aufgeladen wird. Hierdurch werden nicht nur Stromspitzen vermieden, der reale Verbrauch durch Verbraucher im Haushalt wird so auch „überdeckt“ und Rückschlüsse auf einzelne Geräte können nur noch sehr schwer getroffen werden.

Ein weiterer Ansatz ist das Übertragen rein statistischer Daten. Der Stromverbraucher würde so nicht mehr den Verbrauch eines einzelnen Haushalts, sondern nur noch den Gesamtverbrauch einer Gruppe von Häusern übermittelt bekommen. Dies würde ausreichen, um den Stromfluss entsprechend anpassen zu können, ohne dass genaue Details über einzelne Haushalte verfügbar wären. Die Abrechnung der Stromkosten würde über einen getrennten Weg, anhand über den Monat aggregierter Daten, stattfinden.

## 3. EINSARPOTENZIALE

Mit dem Wissen über Smart Grids, welche Ziele verfolgt werden, und wie die Struktur um einen Haushalt mit Smart Meter aussieht, soll nun das Einsparpotenzial durch Smart Grids untersucht werden. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen investiven und nicht-investiven Maßnahmen. Investive Maßnahmen beschreiben dabei bauliche Veränderungen (z.B. durch Einbau besser gedämmter Fenster oder einer effizienteren Heizung), welche meist mit einem größeren finanziellen Aufwand verbunden sind. Nicht-investive Maßnahmen dagegen sind Einsparungen, welche hauptsächlich durch angepasstes Nutzungsverhalten erreicht werden. Aufgrund der größeren Bedeutung für Smart Grids werden im folgenden Kapitel allein die nicht-investiven Maßnahmen betrachtet.

Dabei wird zunächst ein Überblick über die Verbraucher im Haushalt gegeben, um anschließend die verschiedenen Möglichkeiten des Stromsparens und der Kostensenkung zu überprüfen.

### 3.1 Verbraucher im Haushalt

In einem modernen Haushalt befindet sich eine Vielzahl an elektrischen Verbrauchern. Um Einsparpotenziale bestimmen zu können muss zunächst der Gesamtverbrauch der einzelnen Geräte betrachtet werden. Tabelle 2 zeigt eine Auflistung ausgewählter Geräte im Haushalt, mit durchschnittlichem Jahresverbrauch [12][13]. Die jährlichen Kosten wurden anhand eines Strompreises von 22 Cent/kWh geschätzt.

In der Tabelle wird deutlich, dass Geräte wie Waschmaschine, Trockner, Spülmaschine, etc. (sog. „Weiße Ware“) absolut gesehen den höchsten Verbrauch haben. Aber auch die weniger „hungrigen“ Verbraucher wie einfache Lampen tragen in der

Gerät	Leist. [W]	Std. [h]	El. Arbeit [kWh]	Kosten [€]
Waschmaschine	450	300	135	29,70
Trockner	1410	158	223	49,06
Spülmaschine	550	436	240	52,80
Kühlschrank	140	2920	409	89,98
Gefrierschrank	142	2920	415	91,30
Hi-Fi-Anlage mit Plasma-TV	429	730	313,2	68,90
Deckenfluter 300W Halogen	210	365	76,7	16,86
Lampenzeile mit 3 x 20W Halogen	51	1460	74,5	16,38
Nachtlicht 15W Glühlampe	15	4380	65,7	14,45
PC-System	122	365	44,5	9,80

**Tabelle 2. Jährlicher Verbrauch und Kosten ausgewählter Haushaltsgeräte [12][13]**

Summe einen großen Teil zu den jährlichen Kosten eines Haushalts bei.

### 3.2 Einsparung durch Austausch ineffizienter Geräte

Eine einfache Möglichkeit Strom zu sparen besteht darin bestehende Geräte durch Geräte mit äquivalentem Nutzen, aber höherer Energieeffizienz auszutauschen. Ein Beispiel aus der oben genannten Liste ist der 300 W Halogen Deckenfluter. Der jährliche Verbrauch von 76,7 kWh ließe sich durch den Austausch mit einer vergleichbar hellen, 24 W ESL Energiesparlampe, auf fast ein Zehntel (8,8 kWh) reduzieren [13].

Bei vielen Geräten ist aber nicht nur der Stromverbrauch im angeschaltetem Zustand von Bedeutung, sondern auch der Verbrauch im Standby. Allein manch eine ältere Kompakt-Hi-Fi-Anlage hat im Standby immer noch eine Leistung von 10 W. Über das Jahr gesehen summiert sich das zu einem Verbrauch von 84 kWh auf, das entspricht nach obiger Kalkulation 18,47 € [13].

Heutige Geräte erlauben solch hohe Standby-Verbrauchswerte nicht mehr. Laut der EU Richtlinie 2009/125/EG Lot 6 dürfen neue Geräte seit 7.1.2010 im Standby-Betrieb nur noch 1 W verbrauchen. Zeigt das Gerät auch im Standby einen Status an (z.B. Uhrzeit oder Timer), so erhöht sich der Wert auf 2 W. Diese Werte werden ab dem 7.1.2013 auf 0,5 W bzw. 1 W reduziert.

Allein durch den Austausch älterer Geräte lässt sich also schon heute viel Strom und Geld sparen. Laut einer Studie des Bund Naturschutz Bayern liegt das Einsparpotenzial dadurch pro Haushalt bei durchschnittlich 36 % [14]. Details zu dieser Studie sind allerdings nicht bekannt.

Dieser Trend zu immer effizienteren Geräten wird auch in Zukunft weitergehen. Aktuelle Prognosen gehen davon aus, dass die Energie-Effizienz von elektrischen Geräten bis 2025 um 20 % steigen wird [12].

### 3.3 Einsparung durch Abschaltung nicht benötigter Verbraucher

Eine weitere einfache Möglichkeit des Stromsparens besteht darin, ungenutzte Verbraucher abzuschalten. Zum einen können dies Geräte sein, welche auch im Standby noch eine hohe Leistungsaufnahme haben. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben sind diese allerdings schon vom Markt verschwunden und auch, sich noch in Benutzung befindende Geräte, werden früher oder später ausgemustert werden.

Aber auch Lichter und Fernseher werden gerne angelassen, wenn man den Raum verlässt. Die schon im vorherigen Abschnitt genannte Studie des Bund Naturschutz geht hierbei von einem Sparpotenzial von 4 % aus [14].

### 3.4 Einsparung durch Feedback

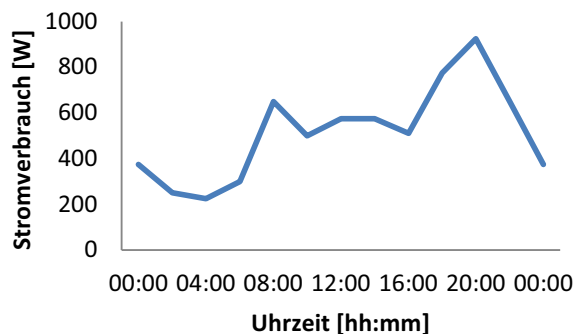
Smart Meter können die bisher genannten Arten des Stromsparens zwar nicht direkt beeinflussen, aber eine Studie des Intelliekon Projekts im Rahmen des E-Energy Programms hat gezeigt, dass allein durch das Konfrontieren der Nutzer mit dem Thema „Energiesparen“ und der Hilfe durch Verbrauchsanalyse und Energiespartipps, eine Einsparung von 3,7 % stattgefunden hat [15]. Untersucht wurden über 2000 Haushalte in Deutschland und Österreich. Die Verbrauchs-Anzeige durch einen Smart Meter gibt dabei den Anreiz sich mit dem Thema auseinander zu setzen und ermöglicht das selbstständige Evaluieren der getroffenen Maßnahmen. Dieses Feedback wurde im Intelliekon-Projekt über ein Web-Portal, sowie monatliche, schriftliche Verbrauchsinformationen gegeben. Die Testpersonen favorisierten dabei das Web-Portal. Inwieweit die Einsparung durch Abschalten oder durch Austauschen von Geräten zustande kam wurde jedoch nicht untersucht. Im Vergleich zu der Potenzialanalyse durch den Bund Naturschutz sind diese Ergebnisse aber ermutigend. Ältere Studien zwischen 2004 und 2010 kamen zu dem Ergebnis, dass durch das Anzeigen von Strom-Feedback Einsparungen zwischen 2 % und 10 % möglich sind [15]. Fasst man die Ergebnisse dieser Studien zusammen, so lassen sich drei Eigenschaften eines erfolgreichen Feedback-Systems feststellen, welche besonders gut durch Smart Metering unterstützt werden können. Dies sind [19]:

- Feedback basiert auf derzeitigem Verbrauch
- Feedback wird regelmäßig und häufig gegeben
- Interaktivität des Feedback-Systems

### 3.5 Einsparung durch Lastverteilung

Mit der steigenden Abhängigkeit von erneuerbaren Energien wird es notwendig werden Strom genau dann zu nutzen, wenn er verfügbar ist. Die Netzbetreiber erhoffen sich hier, auch in Privathaushalten Lastverschiebungen realisieren zu können. Das Verteilen des Stromes anhand der aktuellen Verfügbarkeit wird auch Demand Side Management (DSM) genannt.

Eine der wichtigsten Fragen hierbei ist inwiefern der Nutzer bereit ist seine elektrischen Verbraucher in einem Haushalt dem Stromangebot anzupassen. Ist bei dieser Verlagerung mit größerem Komfortverlust zu rechnen, so ist es unwahrscheinlich, dass sie angenommen wird. Es ist schließlich schwer vorstellbar, dass ein Mensch sein Abendessen um zwei Stunden verschiebt, oder das Licht zunächst auslässt, nur um Kosten zu sparen. Bei anderen Geräten, wie z.B. der Spülmaschine oder der Waschmaschine scheint variable Benutzung wahrscheinlicher. Wie groß das Potenzial der Lastverteilung ist soll im folgenden



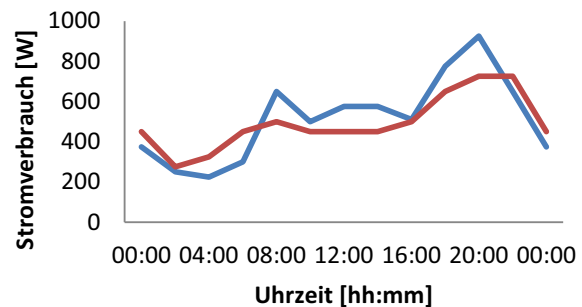
**Abbildung 3. Durchschnittlicher Lastverlauf in der Modellstadt Mannheim [6]**

Abschnitt anhand von bisher durchgeführten Pilotprojekten erläutert werden.

Allein, den Nutzer zu informieren, wann er mehr und wann weniger Strom nutzen sollte, reicht dafür nicht aus. Erste Ergebnisse in der Modellstadt Mannheim (moma) haben gezeigt, dass die Hauptmotivation der Haushalte, das Verhalten zu ändern, in finanziellen Vorteilen liegt [6]. Abbildung 3 zeigt die durchschnittliche Lastverteilung über einen Monat, wie sie im moma Projekt gemessen wurde. Lastspitzen sind morgens, mittags sowie abends zu erkennen. Um diese Spitzen zu vermeiden wurden in den Modellregionen des E-Energy Programms Anreize durch variable Tarife geschaffen. Teil des Intelliekon Projekts war ein sogenannter „Happy Hour“ Tarif, bei dem der Strompreis zwischen 10 und 18 Uhr von 16,8 ct / kWh auf 30,2 ct / kWh erhöht wurde. Über ein Webportal konnten die Nutzer ihren Stromverbrauch in den einzelnen Tarifzonen nachvollziehen. Die Auswertung des Tests ergab, dass durch diesen Tarif 2 % der Gesamtlast in einen Niedertarif-Bereich verschoben wurde. Ein Nebeneffekt war eine erhöhte Stromeinsparung im Vergleich zu den Nutzern ohne variablen Tarif. So wurde der Gesamtverbrauch um 6 % gesenkt, immerhin 2,3 % mehr als bei den Nutzern eines konstanten Tarifs. Eine genaue Erklärung hierfür konnte noch nicht gegeben werden. Es wird vermutet, dass das tägliche Auseinandersetzen mit dem Strompreis dieses verbesserte Sparverhalten bewirkt.

Auch das moma Projekt untersucht das Verhalten der Nutzer im Kontext variabler Stromtarife. In diesem Projekt werden die Stromtarife genau den bekannten Stromspitzen angepasst. Niedertarif-Zeiten sind zwischen 21 und 5 Uhr, 9 und 11 Uhr, sowie 14 und 16 Uhr angesetzt. Die genauen Zeiten können jeweils einen Tag im Voraus ebenfalls über ein Webportal abgerufen werden. Zwischenergebnisse konnten hier eine Lastverschiebung von 8 – 10 % feststellen. Der Gesamtverbrauch wurde allerdings nur um 2 % reduziert. Eine grafische Darstellung der Lasten mit und ohne variablen Stromtarif ist in Abbildung 4 dargestellt.

Vergleicht man die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Projekte miteinander, so muss beachtet werden, dass im moma Projekt eine feinere Abstufung der Tarife stattgefunden hat, was den Teilnehmern bessere „Ausweichmöglichkeiten“ gegeben hat. Besonders der abendliche Stromverbrauch lässt sich so weiter in Richtung Mitternacht verschieben, was wie gesehen, eine deutliche Abstumpfung der größten Lastspitze zwischen 19 und 21 Uhr zur Folge hat.



— Konstanter Tarif — Variabler Tarif

**Abbildung 4. Lastverlauf in der Modellstadt Mannheim in Abhängigkeit des Stromtarifs[6]**

In diesen beiden Pilotversuchen mussten die Teilnehmer ihre Haushaltsgeräte selbstständig an- und abschalten. Die nächste Stufe der Lastverschiebung, wie sie in Smart Grids vorgesehen wird, ist das Steuern von „Weißer Ware“ durch den Netzbetreiber. Pilotversuche hierzu sind noch im Gange, so wird dies beispielsweise in der letzten Phase des moma Projekts getestet. Eine Studie zur Akzeptanz solcher Geräte in der Bevölkerung ergab, dass in Abhängigkeit des Funktion (Waschmaschine, Trockner, etc.) etwa 70 – 80 % der Testpersonen sich vorstellen können ein Automatisierung zu benutzen [16]. Die Studie basiert allerdings allein auf Umfragen und die Teilnehmer waren gebildete Menschen, welche schon ein starkes Bewusstsein für Umweltschutz haben. Wie hoch die Akzeptanz in der breiten Bevölkerung ausfallen wird ist noch offen. Einen elektrischen Boiler je nach Stromangebot zu unterschiedlichen Zeiten aufzuheizen ist noch leicht vorstellbar, aber schon eine Waschmaschine nachts laufen zu lassen, ist nicht jedermanns Sache. Einerseits stellt die Waschmaschine eine Lärmbelästigung dar, andererseits würde die Wäsche nach einem nächtlichen Waschgang eventuell mehrere Stunden lang feucht in der Waschmaschine liegen bleiben. Hier sind die Hersteller von Haushaltsgeräten gefragt, um diesen Bereich mit neuen Innovationen abzudecken.

Eine weitere technische Herausforderung ist die Kommunikation zwischen Geräten und Smart Meter. Viele Hersteller und Stromanbieter verwenden ihre eigenen Protokolle. Hier muss ein einheitliches Interface geschaffen werden, um die Vernetzung zu ermöglichen.

Eine Entwicklung in diese Richtung ist der EEBus [20]. Er wurde ebenfalls im Rahmen des E-Energy Programms entwickelt und beschreibt eine Technologie um die verschiedenen Geräte im Haushalt miteinander zu verknüpfen und eine einheitliche Schnittstelle zum Netzbetreiber zur Verfügung zu stellen.

Ein ähnliches Projekt ist das, ehemals EU geförderte, Hydra-Projekt. Entwickelt wird, mittlerweile unter dem Namen „LinkSmart“, ebenfalls eine Middleware zur Verknüpfung netzwerkbasierter Systeme. Die verschiedenen Geräte lassen sich dabei über eine Web-Service Schnittstelle ansprechen. Eine erste Open-Source Referenz-Implementierung ist angekündigt worden.

### 3.6 Ausblick

Die bisherigen Projekte sind immer von dem aktuellen Stand der Technik ausgegangen. In Zukunft werden sich im Bereich der



Stromerzeugung und -speicherung jedoch weitere Möglichkeiten aufzutun.

Im Falle der Erzeugung wird zurzeit in viele Richtungen geforscht, um auch den privaten Haushalt einzubinden. Durch Photovoltaik-Anlagen wird auch heute schon von vielen Privatleuten eingespeist, aber auch hauseigene Generatoren können hier eine Rolle spielen. Ein Beispiel hierfür ist das „LichtBlick-ZuhauseKraftwerk“ [17]. LichtBlick verwendet hier einen, beim Kunden installierten, VW Gas-Verbrennungsmotor. Dieser kann, von außen gesteuert, bei Bedarf Strom erzeugen und in das Netz einspeisen. Die dabei entstehende Wärme wird zum Aufheizen des häuslichen Wassers genutzt.

Größere Bedeutung wird allerdings die Speicherung von Energie haben. Um die Schwankungen von Wind- und Sonnenenergie ausgleichen zu können muss jede Möglichkeit, den im Überschuss produzierten Strom zu speichern genutzt werden.

Eine bedeutende Rolle kommt dabei dem Elektroauto zu. Die erzeugte Energie wird so nicht nur CO<sub>2</sub>-effizient genutzt, im Hinblick auf Smart Grids ergibt sich dadurch auch eine neue Art von Energiespeicher. So können die Autos bei Stromüberfluss geladen werden und bei Strommangel auch wieder in das Netz einspeisen. Entsprechende „Parkplätze“ hierfür sind in der Test- und Entwicklungsphase, aber auch die Batterie-Technik muss für diesen Zweck noch weiter entwickelt werden.

Beispiele für weitere Ideen sind hauseigene Pumpspeicherkraftwerke oder Akkumulatoren. Auch Nachtspeicherheizungen werden im Rahmen der Energiespeicherung an Bedeutung gewinnen.

#### 4. ZUSAMMENFASSUNG

Der beschlossene Weg der Energiewende bringt einige neue Herausforderungen mit sich. Auch die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) wird dabei eine große Rolle spielen. Smart Grids bringen verschiedene Teilnehmer mit unterschiedlichen Interessen zusammen. Internationale und nationale Gremien sind hier gerade dabei geeignete Standards und Normen zu entwerfen. Viele der geplanten Konzepte sind gerade erst in der Test- und Entwicklungsphase, so dass hier noch ein gemeinsamer Nenner gefunden werden muss.

Mit dem verpflichtenden Einbau von Smart Metern in Neubauten und bei größeren Renovierungen hat die Bundesregierung Deutschland schon einen ersten Schritt zur Anbindung der privaten Haushalte an das Smart Grid gemacht, allerdings sind die aktuellen Mindestanforderungen an ein Smart Meter noch zu gering um auch für die Zukunft gerüstet zu sein.

Diskutiert wird auch noch der Schutz der Privatsphäre der Nutzer, da über ein Smart Meter Daten gesendet werden, welche sich zum Anlegen eines genauen Nutzerprofils eignen. So lässt sich im extremsten Fall über die Stromnutzung sagen, welches Fernsehprogramm der Nutzer gerade ansieht.

Das Einsparpotenzial durch Smart Grids bezüglich Stromverbrauch und -kosten lässt sich in mehrere Teilbereiche aufteilen. Austausch von „Stromfressern“ durch neuere stromsparende Geräte, sowie einfaches Abschalten nicht genutzter Verbraucher kann zwar nach dem Bund Naturschutz sehr große Einsparungen bringen, Feldtests im Rahmen des E-Energy Projekts beobachteten allerdings nur Stromeinsparungen zwischen 2 und 4 %. Auch eine Einsparung von nur 3,7 % pro Haushalt würde allerdings für den deutschen Stromverbrauch eine

Reduzierung um 5 TWh pro Jahr bedeuten. Dies entspricht etwa 1 Mrd. Euro.

Im Hinblick auf volatile Energiequellen, wie Wind und Sonne, wird auch der private Haushalt seinen Verbrauch an das aktuelle Angebot anpassen müssen. Anreize für die Lastverschiebung müssen durch flexible Tarife gegeben werden. Aktuelle Pilottests, bei denen über ein Webportal die Stromkosten des kommenden Tages angezeigt wurden, konnten dadurch Lastverschiebungen zwischen 2 – 10 % feststellen. Eine weitere Möglichkeit diese Verschiebung zu unterstützen, ist die Steuerung von „Weißer Ware“ (z.B. Geschirrspüler, Waschmaschine, etc.) durch den Netzbetreiber. Pilotprojekte hierzu sind noch im Gange, so dass sich noch keine bestätigten Aussagen dazu machen lassen.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass durch Smart Grids im Bereich privater Haushalte keine Wunder zu erwarten sind, die bisher getesteten Methoden aber schon einen guten Beitrag zu der Energiewende beisteuern können.

Dennoch wird, um den Umschwung auf regenerative Energien schaffen zu können noch viel Forschung, vor allem im Bereich der Stromspeicherung notwendig sein.

#### 5. REFERENZEN

- [1] „Energiekonzept für umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“, BMWi, BMU, September 2010
- [2] R. Höfer-Zygan, E. Oswald, M. Heidrich, „Smart Grid Communications 2020“, 2011
- [3] „Deutsche Normungsroadmap E-Energy / Smart Grid“, VDE, DKE, Mai 2010
- [4] „Erneuerbare Energien in Deutschland, Das Wichtigste im Jahr 2011 auf einen Blick“, BMU, März 2012
- [5] M. Popp, „Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien“, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010
- [6] „Ergebnisse der Abschlussbefragung im Praxistest 2“, Modellstadt-Mannheim, März 2012
- [7] „§21c EnWG“, Juris, 2005
- [8] „§21d EnWG“, Juris, 2005
- [9] „Intelligente Zähler“, dena, Dezember 2011
- [10] M. Bauer, M. Sigle, K. Dostert, „Evaluation von PLC-Übertragungssystemen für Smart Metering“, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, Oktober 2010
- [11] U. Greveler, B. Justus, D. Löhr, „Hintergrund und experimentelle Ergebnisse zum Thema Smart Meter und Datenschutz“, Technischer Report, September 2011
- [12] D. Seebach, C. Timpe, D. Bauknecht, „Costs and Benefits of Smart Appliances in Europe“, Öko-Institut e.V, September 2009
- [13] E. Ahlers, „Schalt mal ab“, Zeitschriftenartikel, c't Magazin, Heft 11 / 2011, Heise Zeitschriften Verlag
- [14] „Stromsparen in Bayern: minus 40 Prozent, minus 30 Milliarden Kilowattstunden, minus 7 Milliarden Euro Kosten“, Pressemitteilung, Bund Naturschutz Bayern, März 2012
- [15] „Nachhaltiger Energiekonsum von Haushalten durch intelligente Zähler-, Kommunikations- und Tarifsysteme,

- Ergebnisbericht – November 2011”, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, November 2011
- [16] W. Mert, J. Suschek-Berger, W. Tritthart, „Consumer acceptance of smart appliances“, Report, Dezember 2008
- [17] LichtBlickAG, „LichtBlick-ZuhauseKraftwerk“, [http://www.lichtblick.de/h/ZuhauseKraftwerk\\_310.php](http://www.lichtblick.de/h/ZuhauseKraftwerk_310.php), Abgerufen am 20. Juli 2012
- [18] Georgios Kalogridis, „Smart Grid Privacy Protection by Design“, April 2011
- [19] Corinna Fischer, „Influencing Electricity Consumption via Consumer Feedback. A Review of Experience“, June 2007
- [20] Wolfgang Dorst, Til Landwehrmann, „EEBus: Whitepaper“, Mai 2011