

Smart Grids - Intelligente Stromnetze für Erneuerbare Energien

Alexander Winkler

Betreuer: Dipl.-Inf. Andreas Müller

Autonomous Communication Networks (ACN) 2013

Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste und Lehrstuhl für Betriebssysteme

Fakultät für Informatik, Technische Universität München

alexander.winkler@mytum.de

KURZFASSUNG

Die Deutsche Bundesregierung beschloss 2011 den stufenweisen Atomausstieg Deutschlands bis zum Jahr 2022[1]. Bis 2050 soll der Anteil der regenerativen Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland gar bei 80% liegen. Auf Grund der unzuverlässigen und nicht steuerbaren Erzeugung mittels erneuerbarer Energiequellen und den damit einhergehenden Fluktuationen in der Strommenge und Stromqualität können diese ambitionierten Ziele nur mittels intelligenter Stromnetze realisiert werden.[2] Diese können Spitzenlasten im Netz selbstständig vermeiden, indem zeitunkritische Verbraucher gedrosselt werden. Hierdurch kann gleichbleibende Energiequalität gewährleistet werden. Trotzdem müssen Strompreise weiterhin bezahlbar bleiben. Gleichzeitig eröffnen intelligente Stromnetze neue Chancen bei Vergütung der Stromerzeugung und machen Komfortgewinne mittels sogenannten Smart Homes möglich.

Jedoch ist der tiefe Eingriff in eine der für Gewerbe und Bevölkerung wichtigsten Infrastrukturen mit einer Reihe von Gefahren verbunden. Werden Fehlentscheidungen getroffen, können diese den Erfolg der Umstrukturierung stark einschränken, weshalb ein planmäßiges Vorgehen und ein stetes im Auge halten der aktuellen Entwicklung im Mittelpunkt stehen muss.

Diese Arbeit gibt eine Übersicht über die momentane Stromlandschaft mit Fokus auf Europa, speziell Deutschland, beschreibt Veränderungen dieser, die für die Etablierung eines Smart Grids nötig sind und nennt verschiedene Szenarien, in die sich die jetzige Entwicklung hinbewegen kann.

Schlüsselworte

Smart Grid, Intelligentes Stromnetz, Erneuerbare Energien, Kommunikationsnetz, Hausautomation, Strommix, dezentrale Stromerzeugung, Smart Meter

1. EINLEITUNG

Elektrischer Strom stellt den Dreh- und Angelpunkt der Wirtschaft aller Industrienationen dar. Seine Produktion, die in der Vergangenheit zu großen Teilen mittels fossiler Energieträger vorstatten ging, war allerdings meist mit langfristigen negativen Auswirkungen für die Umwelt verbunden. Die Energiewende, also die Abkehr von fossilen Energieträgern wie Öl, Kohle und Erdgas sowie Kernbrennstoffen wie Uran hin zu erneuerbaren Energien bedeutet somit einen zentralen Wendepunkt für die Wirtschaft in einem ihrer Kerngebiete. Die Bundesregierung will bis zum Jahr 2022 den Ausstieg aus der Kernenergie vollzogen haben[1]. Im Gegenzug soll der Anteil an erneuerbaren Energien von aktuell rund 17 Prozent auf 35% bis 2020, 50% bis 2030, 65% bis 2040 und schließlich 80% bis 2050 steigen[2].

Der Anteil fossiler Energieträger am Energiemix wird somit in einigen Jahrzehnten nur noch gering sein, was auch mit sich bringt, dass nicht länger zentrale Großeinheiten zuverlässig Strom erzeugen, sondern eine steigende Anzahl an kleinen bis mittelständischen Unternehmen und sogar Privathaushalten für einen Großteil der Stromerzeugung verantwortlich ist. Die Koordination von all diesen heterogenen Stromerzeugern stellt eine wesentliche Problemstellung dar: Solar-, Wasser- oder Windenergien unterliegen saisonalen oder sogar tageszeitlichen Schwankungen. Um diese ausgleichen zu können und keine Engpässe in der Stromversorgung zu riskieren, bedarf es eines Kommunikationssystems, welches Produzenten auf der einen Seite, andererseits aber auch Verbraucher im Interesse aller involvierten Parteien regeln kann[2].

Kapitel 2 gibt zunächst einen geschichtlichen Abriss über die Entwicklung der Stromnetze und beschreibt, wie und aus welchen Gründen die Stromlandschaft bis heute entstehen konnte. Kapitel 3 führt Gründe an, weshalb sich diese momentane Situation als ungeeignet für die Nutzung erneuerbarer Energien erweist, warum das Stromnetz also um zusätzliche Datenverarbeitungsmöglichkeiten erweitert werden muss. Direkt im Anschluss werden eben diese Anpassungen beschrieben (Kapitel 4). In Kapitel 5 sollen kurz die möglichen Risiken vor Augen geführt werden, die durch intelligente Stromnetze verursacht werden können, bevor in Kapitel 6 mögliche Szenarien beschrieben werden, die als Ausgang der Energiewende vorstellbar sind.

2. GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG DES STROMNETZES

Die Elektrifizierung, die zum heutigen ausgebauten Stromnetz führte, startete in den Industrienationen Ende des 19. Jahrhunderts hauptsächlich durch das Aufkommen der elektrischen Beleuchtung, begann allerdings zu Beginn des 20. Jahrhunderts an Fahrt zu gewinnen:[3] Zunächst entstanden isolierte lokale Stromnetze mit geringer Reichweite: Ein einzelnes Kraftwerk versorgt ein nahe gelegenes Verbrauchergebiet mit Strom. Die Stromversorgung dieses Gebiets war somit vollständig von der Zuverlässigkeit dieses einzigen Erzeugers abhängig, Versorgungssicherheit war damit nicht gegeben. Um diesen Missetand abzustellen, wurden einerseits zur Verbesserung der Stabilität, andererseits aus ökonomischen Beweggründen erste Kraftwerkverbunde gegründet, die mit der Zeit immer weiter wuchsen[4].

Das Netz, welches sich bis zum Ende des Jahrtausends etabliert hatte, ist das Resultat der Tatsache, dass die bis dahin vorherrschenden Kohle-, Gas- und Ölkraftwerke erst im Bereich von mindestens 1 GW bis 3 GW kosteneffizient arbeiten, was zu einer zentralisierten Netzarchitektur führte. Die großen Kraftwerke waren strategisch häufig in der Nähe der Rohstoffe angesiedelt, die für die

entsprechende Kraftwerkart benötigt wurde: Etwa eine Kohlemine, eine Bahnverbindung zum Rohstoffantransport, aber auch an Staudämmen für Wasserkraftwerke oder im Falle von Kernkraftwerken an Flüssen, um die benötigte Kühlwasserversorgung zu gewährleisten. Gleichzeitig versuchte man aber auch sich so weit entfernt von bewohnten Gebieten wie ökonomisch möglich zu entfernen, da die Kraftwerke dieser Generation meist mit hoher Umweltverschmutzung einhergingen[5].

Bis etwa in der Mitte des 20. Jahrhunderts war das Stromnetz in den Industrienationen so weit ausgebaut, dass nahezu jeder Haushalt ans Netz angeschlossen war[5].

In den 70er bis 90er Jahren stieg der Stromverbrauch und die Anzahl der Kraftwerke rapide an. In manchen Regionen konnte allerdings der Infrastrukturausbau nicht mit der Nachfrage mithalten, was teilweise zu sinkender Netzqualität führte: Dies kann sich in Schwankungen in der Netzfrequenz oder Spannung äußern. Teilweise kommt es bei Überlastung des Netzes zur geregelten Spannungsreduktion (Brownout) um einen kompletten Ausfall der Stromversorgung zu verhindern. In schwerwiegenderen Fällen versuchen die Stromgesellschaften noch mit geregelten temporären Abschaltungen von Gebieten (Rolling Blackout) der Situation Herr zu werden, bevor es gar zu vollständigen, unkontrollierten Stromausfällen (Blackout) kommt[5][6].

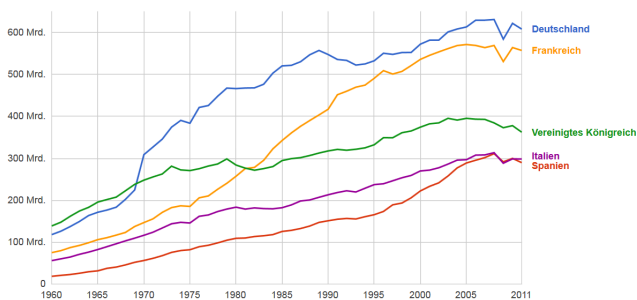


Abbildung 1: Entwicklung der Stromproduktion der fünf bevölkerungsreichsten Nationen Europas in kWh von 1960 bis 2011 [6]

Die Entwicklung der Stromproduktion der fünf bevölkerungsreichsten Nationen Europas seit 1960 zeigt Abbildung 1.

Bis zum Ende des 20. Jahrhunderts hatte sich eine zentralisierte, bedarfsgesteuerte Struktur ausgebildet. Da allerdings die Nachfrage an Strom im zeitlichen Verlauf keineswegs konstant ist, werden eine große Anzahl an Mittellast- und Spitzenlastgeneratoren benötigt, die nur kurze Zeit am Tag laufen. Prinzipiell ist die Leistungsnachfrage im Tagesverlauf bekannt: Sie erreicht ganzjährig die höchsten Werte zur Mittagszeit, im Winter außerdem oft noch einmal am späten Nachmittag. Aus diesen Informationen können „Fahrpläne“ für die Mittellastgeneratoren erstellt werden, für unerwartete oder nur sehr kurze Lastspitzen können die Spitzenlastgeneratoren innerhalb von Sekunden zugeschaltet werden. Gleichzeitig muss auch das gesamte Netz, also die Leitungen, Transformatoren et cetera auf diese kurzen Spitzen ausgelegt sein: Die notwendige Redundanz verursacht hohe Kosten für die Energieproduzenten, die in Form von hohen Strompreisen an die Verbraucher weitergegeben werden[7].

Auf Seiten der Stromlieferanten wäre es also wünschenswert wenn die Lastspitzen möglichst klein gehalten werden können, da dann weniger Hilfsgeneratoren bereit gehalten werden müssen und

das gesamte Netz mit weniger Sicherheiten auskommen kann: So könnten beispielsweise Transformatoren und Leitungen auf geringeren maximalen Stromfluss ausgelegt werden, wodurch Material und Geld eingespart werden kann.

In Abbildung 2 ist der Stromverbrauch im täglichen Verlauf be-

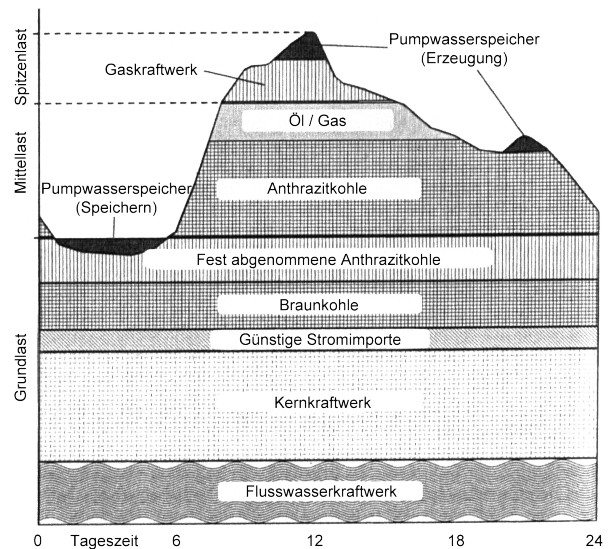


Abbildung 2: Stromverbrauch im täglichen Verlauf [12]

schrieben, wie er momentan auftritt, zusätzlich mit Aufschlüsselung nach der jeweiligen Energiequelle. Besonders auffällig sind die ausgeprägten Spitzen zur Mittagszeit und abends, bei denen die Stromproduzenten auf Energie aus Pumpwasserkraftwerken angewiesen sind.

3. MOTIVATION FÜR EIN INTELLIGENTES STROMNETZ

Mit dem Begriff Smart Grid beschreibt man im Allgemeinen den Einsatz von digitaler Datenverarbeitung und Kommunikation um den Stromfluss überwachen und steuern zu können. Dieses bisweilen als „Internet der Energie“ bezeichnete Konzept stellt einen wichtigen Schritt in Richtung einer nachhaltigen Energieversorgung dar[8].

Eine besondere Bedeutung kommt dem Smart Grid beim Einsatz von erneuerbaren Energien zu: Naturgemäß steht die Stromerzeugung beispielsweise mittels Photovoltaikanlagen, Windrädern et cetera nicht gleichförmig zur Verfügung, sondern unterliegt zeitlichen Fluktuationen. Eine Stromproduktion, die sich hauptsächlich auf erneuerbare Energien stützt, kann somit nicht mehr vollständig lastgeführt sein, ein Verbraucher kann also möglicherweise nicht mehr so viel Strom entnehmen, wie er gerne möchte, wenn der Strom schlicht momentan nicht zur Verfügung steht. Genau in einem derartigen Szenario kann ein intelligentes Stromnetz helfen, indem es die Verbraucher so regelt, dass nur so viel Strom entnommen wird, wie gerade zu Verfügung steht: Mittels der Kommunikation, die ein Smart Grid ermöglicht, kann in Zeiten eines Energieüberschusses die Stromentnahme begünstigt werden, wenn weniger Energie zur Verfügung steht kann sie dementsprechend gedrosselt werden[2].

Es steuert somit nicht mehr die Gesamtheit der Verbraucher die Produktion, sondern die Produzenten steuern den Verbrauch. Dabei soll es natürlich nicht zu unkontrollierten Stromausfällen kommen,

die Energieversorger stellen die Stromverbraucher nur koordiniert ab. Damit es zu keinem Komfortverlust in der Bevölkerung, oder zu Problemen mit technischen Gerätschaften kommt, können vorrangig zeitunkritischere Anwendungen heruntergefahren oder beschränkt werden. Zu diesen gehören beispielsweise Geräte, die größere thermale Massen steuern - Warmwasserboiler, Kühlschränke oder Klimaanlage - Vorstellbar wäre es beispielsweise in den kurzen Momenten einer Lastspitze ein Signal an alle Klimaanlage in einer Region zu senden, dass sie kurzzeitig nur mit einem Teil ihrer Soll-Leistung laufen dürfen: Die betroffenen Verbraucher werden diese kurze Veränderung wohl kaum bemerken, das Netz wird in dieser Zeit allerdings sinnvoll entlastet[9].

Stellenweise praktizieren die Stromanbieter diese Vorgehensweise schon seit einigen Jahren: Zum Beispiel Chemiewerke, Schwerindustrie und Zementwerke erhalten Strom zu verbilligten Preisen, wenn sie dafür in Kauf nehmen, teilweise bis zu mehreren Stunden ohne Strom auszukommen: Wenn diese ihre Energie nicht zur Zeit mit der höchsten Nachfrage aber knappen Angebots ziehen müssen, werden sie dementsprechend heruntergeregelt, womit Lastspitzen im Netz abgetragen und Lasttäler aufgefüllt werden[9].

Eine weitere Schwierigkeit, die wohl nur durch ein auf die Verteilung von Energie ausgelegtes Kommunikationsnetz gelöst werden kann, ist der Übergang zur dezentralen Stromerzeugung: Die momentane Entwicklung mit einer immer weiter steigenden Anzahl an kleinen Stromerzeugern basierend auf erneuerbaren Energiequellen legt nahe, dass die zukünftige Infrastruktur mit einem hohen Anteil an regenerativer Energie abrücken wird von einer zentralisierten Architektur hin zu einem System vieler unabhängiger Einspeiser.

Der momentane Netzaufbau hat in den Industrienationen weltweit prinzipiell eine gleichförmige Struktur: Elektrische Energie wird auf der einen Seite erzeugt und als Wechselstrom auf Hoch- oder gar Höchstspannungsebene von einigen hundert Kilovolt ins Übertragungsnetz eingespeist. Sie durchläuft eine Hierarchie von Spannungsebenen bis hinunter in die Niederspannungsnetze, die für die Feinverteilung zuständig sind, beispielsweise bei den in Europa üblichen 230 Volt[2].

Die hohen Spannungen sind notwendig, um die Leitungsverluste auf langen Strecken zu minimieren, da die Verlustleistung proportional zum Quadrat der Stromstärke verläuft. Denn es gilt die Definition der elektrischen Leistung $P = U \cdot I$, die Definition des Leitungswiderstands $R = \frac{U}{I}$ und das Ohm'sche Gesetz $R = const.$, somit folgt auch $P_{Verlust} = R \cdot I^2$ [10].

Beim Transformieren auf eine höhere Spannung nimmt die Stromstärke in gleichem Maße ab, somit sinkt die Verlustleistung bei gegebenem Leitungswiderstand erheblich. Andererseits sind höhere Spannungen gefährlicher für Menschen, Höchstspannungs-Freileitungen müssen also in entsprechender Höhe gebaut werden und die Sicherheitsvorkehrungen sind teurer.

Die dezentrale Einspeisung durch Privathaushalte und kleinere Unternehmen findet auf Niederspannungsebene statt. Diese Spannungsebene bedient in Europa den Bereich von 230 bis 400 Volt und ist auf Grund der Verlustrate bei dieser Spannung auf eine Ausdehnung von einigen 100 Metern bis wenigen Kilometern beschränkt: Sie ist somit auf die Feinverteilung spezialisiert. Jedoch kann der Strom, der hier eingespeist wird häufig lokal nicht genutzt werden. Es muss also eine immer stärkere Rückspeisung in höhere Spannungsebenen stattfinden, was auch an den Energiewerten ersichtlich wird: 2010 wurden knapp unter 69 TWh aus Wind und Photovoltaik dezentral auf niederer Spannungsebene eingespeist, für das Jahr 2030 sind dagegen 150 TWh zu erwarten: Aus diesem Grund ist für die Energiewende auch ein Netzausbau in den Verteilnetzen unumgänglich und diese müssen ähnlich zu heutigen Über-

tragungsnetzen betrieben werden: Dies impliziert den verstärkten Einsatz von Messeinrichtungen, Automatisierung und intelligenter Leistungselektronischer Baugruppen[2][11].

Mittelfristig ist mit einer stark steigenden Anzahl von privaten und industriellen Verbrauchern zu rechnen, die in zunehmenden Maße auch selbst Strom erzeugen werden, also abwechselnd Strom aus dem Netz beziehen oder einspeisen. Um diese Einspeiser zu koordinieren und den eingespeisten Strom fair zu vergüten ist ein Kommunikationsnetz unumgänglich[2].

4. TEILE DES SMART GRIDS

Um das Stromnetz um all die von ihm geforderten Aufgaben zu erweitern, müssen einige Anpassungen vorgenommen werden beziehungsweise neue Systeme hinzugefügt oder entwickelt werden. Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über Veränderungen an bekannten Geräten und was neue Systeme leisten sollen:

4.1 Definitionen bzw. Anpassungen an bekannten Systemen

4.1.1 Kraftwerk

Schon immer waren und sind die Kraftwerke von zentraler Wichtigkeit für ein Stromnetz, da schließlich hier die elektrische Energie erzeugt wird. Zu unterscheiden sind beim momentanen lastgeführten Stromnetz sogenannte Grundlastkraftwerke, Mittellastkraftwerke und Spitzenlastkraftwerke.

Grundlastkraftwerke nutzen in der Regel die kostengünstigsten Energieträger, lassen sich aber auch vergleichsweise schlecht regeln. Klassische Beispiele sind Kohlekraftwerke, Kernkraftwerke oder auch Laufwasserkraftwerke[7].

Mittellastkraftwerke lassen sich relativ gut hoch und wieder herunterfahren, die Regelung geht allerdings mit einer gewissen Trägheit einher. Auf kurzzeitige Änderungen in der Nachfrage können sie nur bedingt reagieren. Sie bedienen also den Bedarf der im zeitlichen Verlauf vorhersehbar ist, wie beispielsweise die Spitze um die Mittagszeit herum[7].

Spitzenlastkraftwerke fangen unvorhergesehene Laständerungen im Netz ab, produzieren Strom dabei allerdings am teuersten[7].

In Abbildung 2 wird auch dieser Aspekt deutlich: Die Spitzenlastkraftwerke laufen teilweise nur einige Minuten am Stück, ohne sie wären allerdings plötzliche Lastspitzen nicht abzufangen.

Beim Übergang der Stromerzeugung zu regenerativen Energien ist mit einer stark steigenden Anzahl an deutlich kleineren Kraftwerken zu rechnen, welche außerdem noch schwierig oder gar nicht zu regeln sein werden. Sie bedienen somit wohl eher die Grundlast und Mittellast, wobei immer noch eine große Anzahl an Spitzenlastkraftwerken benötigt wird, wenn Stromnetze zumindest mittelfristig noch hauptsächlich lastgeführt bleiben[2].

4.1.2 Informationsnetz

Eine Alternative zum massiven Zubau von Stromspeicherkapazitäten und teuren Spitzenlastkraftwerken stellt die intelligente Steuerung des Stromverbrauchs dar. Eine vergleichsweise billige Telekommunikationsinfrastruktur im Gegensatz zum wertvollen Strom machen dieses Konzept attraktiv. Die Frage, ob ein Kommunikationsnetz aufgebaut wird, stellt sich inzwischen nicht mehr, nur noch das genaue Wie: Es bietet sich an, die Kommunikation direkt über die selben Vorrichtungen wie der Strom selbst zu übertragen. Die Information wird hier in Trägerfrequenzanlagen zusätzlich auf die Leitung moduliert. Unter dem Begriff Rundsteuerertechnik wird dieses Verfahren schon seit Jahrzehnten zur schmalbandigen Steuerung von Geräten genutzt, die keine Rückmeldung

erfordern, wie beispielsweise Straßenbeleuchtung. Ebenfalls nutzen schon seit Jahrzehnten die Stromgesellschaften diese Übertragungsart zur Tarifschaltung auf billigeren „Nachtstrom“ und wieder zurück. Da die genutzten Trägerfrequenzen unterhalb von 1 kHz recht niedrig sind, ist die Dämpfung und Störungen des Rundfunkempfangs zwar gering, aber ebenso die maximale Datenrate[13].

Alternativ können auch Breitbandverbindungen über Stromleitungen bereitgestellt werden, allerdings ist bei den hierfür benötigten höheren Frequenzen die Dämpfung deutlich höher.

Natürlich können auch bereits bestehende Internetanschlüsse der Verbraucher genutzt werden, um Steuerungsinformationen zu senden. In Deutschland wird beispielsweise der *intelligente Stromzähler* von Yello Strom mittels eines ganz normalen Routers am heimischen DSL-Anschluss angeschlossen[14].

Besonders in den USA werden Stromzähler häufig über drahtlose Mesh-Netze angebunden: Die intelligenten Stromzähler sind untereinander drahtlos vernetzt, um Energiedaten zwecks Ablesung zur Netzwerzentrale zu übertragen. Als weiteren Service bieten die Stromgesellschaften teilweise gleichzeitig auch kostenloses WLAN für alle Personen im Umkreis, da in den USA die Stromzähler meist im Freien angebracht sind. Diese bieten allerdings nur geringe Datenraten und zudem keine Verschlüsselung für Internetnutzer[14].

4.1.3 Intelligente Stromzähler

Smart Meter oder auch intelligente Stromzähler stellen eine Weiterentwicklung der altbekanntesten Stromzähler dar, stehen damit also beim Konsumenten.

Die neuen Stromzähler dienen dazu, einen Anreiz für Verbraucher zu erzeugen, denn durch sie kann er bares Geld sparen: In Zeiten von Stromüberangebot können die Betreiber die Stromentnahme zu günstigeren Preisen anbieten, bei Stromknappheit wieder verteuern. Schon seit einigen Jahrzehnten ist es üblich, dass beispielsweise „Nachtstrom“ billiger zur Verfügung steht als der Strom tagsüber: Im Mai 2013 berechnen beispielsweise die Stadtwerke München Montag bis Freitag von 6 Uhr bis 21 Uhr 22,25 Cent pro Kilowattstunde, in den anderen Zeiten nur 18,36 Cent für gewerbliche Kunden[15]. Derartige Zweitarifmodelle lassen sich noch mit einer Zeitschaltuhr realisieren, wobei dann etwa auf ein anderes Tarifzählwerk umgeschaltet wird. Teilweise gab es auch Zähler mit noch weiteren Zählwerken für feingranularere Abrechnung.

Eine echte nachfrageabhängige Steuerung ist mit derartigen einfachen Systemen natürlich noch nicht möglich.

Insbesondere benötigt ein Stromzähler weitere logische Fähigkeiten, sobald die Konsumenten zeitweise auch zu Produzenten werden: Während es früher noch möglich war in Zeiten der Einspeisung das Zählwerk rückwärts laufen zu lassen, ist eine solche Vorgehensweise inzwischen nicht mehr zulässig[16][17]. Also wird ein Smart Meter benötigt, der genau festhält, wann und wie viel Strom aus dem Netz entnommen wurde und ebenso wann und wie viel Strom ins Netz zurückgespeist wurde. So ergibt sich die Möglichkeit den Kunden fair abrechnen zu können. Ein weiterer komfortabler Aspekt von Smart Metern ist die Tatsache, dass sie ihre Nutzungsstatistik dem Verbraucher zugänglich machen können, damit er selber besser einschätzen kann, wann und wie viel Strom er verbraucht, um seinen eigenen Stromverbrauch und somit Kosten senken zu können. Außerdem muss zur Abrechnung kein Mitarbeiter der Stromgesellschaft zum Zählerablesen beim Kunden vorbeikommen, der Zähler schickt seine Daten selbständig zum Betreiber[18].

4.1.4 Intelligente Steckdosen und Intelligente Haushaltsgeräte

Ein Smart Meter alleine ermöglicht es noch nicht Haushaltsgeräte dem Stromangebot entsprechend zu steuern. In erster Linie dient er der Abrechnung aber auch als Knotenpunkt um Steuerdaten aus dem Netz in den Haushalt und wieder zurück zu schicken. Es ist also Aufgabe der angeschlossenen Geräte, auf das Signal aus dem Netz zu reagieren und möglichst nur dann zu laufen, wenn es ökonomisch am sinnvollsten ist. Bisher sind das hauptsächlich die Haushaltsgeräte, die am meisten Strom im Haushalt verbrauchen, wie Heizung, Klimaanlage, Kühlschrank, Tiefkühltruhe oder Waschmaschine[19].

Da höchstwahrscheinlich nicht jeder Verbraucher alle seine Geräte auf einmal durch *Smart Appliances* ersetzen möchte oder kann, kann er sie auch mittels intelligenter Steckdosen (Smart Socket) steuern. Diese sind beispielsweise via drahtloser Datenverbindung verbunden und können angeschlossene Geräte an- und ausschalten, je nachdem wie viel Strom zur Verfügung steht, aber auch anhand von Umgebungsparametern. So könnte eine intelligente Steckdose die Heizung ausschalten, wenn eine bestimmte Temperatur erreicht ist, oder trotz momentaner hohen Stromnachfrage anschalten, wenn sonst eine Mindesttemperatur unterschritten würde[20]. Teilweise bieten diese Steckdosen noch mehr Funktionen, wie beispielsweise die Fernsteuerung via Smartphone oder ermöglichen dem Benutzer einen komfortablen Überblick über den Stromverbrauch des angeschlossenen Geräts[21].

4.1.5 Smart Home und Hausautomation

Mittels intelligenter Steckdosen und Haushaltsgeräte sind nun also die wichtigsten Verbraucher in einem Haushalt an ein Kommunikationsnetz angeschlossen und können je nach Stromverfügbarkeit gesteuert werden. Aber wieso sollte man die Kommunikationsmöglichkeiten nur zur Einsparung von Energie nutzen?

Bei der Hausautomation steht die Erhöhung des Wohnkomforts und der Sicherheit im Vordergrund. In einem Smart Home kann der Bewohner alle angeschlossenen Haushaltsgeräte mittels einer zentralen Steuerung kontrollieren. Häufig umfasst ein Smart Home Einrichtungen zur Steuerung von Heizung, Klimaanlage, Türen und Verriegelung, erstreckt sich aber auch in Bereiche der Multimediaetechnik und Beleuchtung. Ein erfolgreich integriertes Hausautomationssystem kann so wirken als würde sich der Haushalt von selbst führen[22].

Hausautomation dient dazu dem Bewohner Zeit und Geld zu sparen, indem es mittels Sensoren Umgebungsparameter, wie etwa die Raumtemperatur, aber auch beispielsweise den Wassergehalt des Gartens, überwacht und gegebenenfalls reguliert: Fällt die Temperatur unter einen Schwellenwert kann die Heizung eingeschaltet werden, ist der Garten aufgrund von Niederschlagsmangel zu trocken, kann der Rasensprenger aktiviert werden et cetera. Auch das Kontrollieren der Rollläden mit einer Fernbedienung oder das automatische Bestellen von Lebensmitteln kann mittels Hausautomation realisiert werden. Während dies für die meisten Personen puren Luxus darstellt, kann es für Personen mit Behinderungen eine echte Steigerung der Lebensqualität bedeuten[22].

Es ist auch möglich durch Hausautomation Energie zu sparen: Mittels Sensoren kann das System die Lichtintensität dem momentanen Umgebungslichtpegel anpassen, falls tagsüber nicht die volle Lichtleistung benötigt wird, oder gar komplett ausschalten, wenn sich niemand im Raum befindet. Es ist sogar vorstellbar, dass das Smart Home am Nachmittag vollautomatisch die Waschmaschine in Gang setzt, wenn es erkennt, dass die Stromnachfrage gerade gering ist (natürlich nur wenn es der Anwender möchte, und

die Waschmaschine auch gefüllt ist). Derartige Vernetzung zwischen den Last- und Kosteninformationen aus dem Smart Grid und Aspekten der Hausautomation wird auch *Green Automation* genannt, da hier ökologische Gesichtspunkte mit Automatisierung verbunden werden.

Der Sicherheitsaspekt stellt den zweiten Hauptpfeiler für Hausautomation dar: Ein komplett vernetztes Smart Home kann die Behörden alarmieren, wenn es etwa einen Einbruch oder Feuer erkennt. Alternativ kann es bestimmte Unfälle auch schon im Vorfeld vermeiden: Sollte etwa jemand vergessen den Herd bei Verlassen des Hauses abzustellen, kann dies das Hausautomationssystem übernehmen[22].

5. RISIKEN AUSGEHEND VON SMART GRIDS

Die Vorteile durch Smart Grids scheinen überwältigend: Die Kunden können Energie sparen, günstigeren Strom nutzen oder sogar Geld durch bedarfsgerechtes Einspeisen von Strom verdienen. Außerdem kann durch den Einsatz von intelligenten Haushaltsgeräten Hausautomation endlich sinnvoll genutzt werden.

Vorteile für die Stromgesellschaften sind ebenfalls zahlreich vorhanden: Die Stromerzeugung ist nicht mehr in erster Linie nachfrageorientiert. Dies resultiert in einer Reduktion der Lastspitzen, was es möglich macht das Netz mit geringeren Sicherheitsreserven auszustatten. Insgesamt können erneuerbare Energien effektiver genutzt werden, was dann auch der CO₂-Bilanz zuträglich ist.

Allerdings ist auch mit einer Reihe von Nachteilen, insbesondere Sicherheitsrisiken zu rechnen: In unserer hochtechnologischen Lebensumgebung ist die Nutzung von elektronischen Geräten immer auch von einer sicherheitskritischen Perspektive zu betrachten: Kann ein Hacker beispielsweise den Netzwerkverkehr, den intelligente Geräte in der Wohnung eines Nutzers ins Netz senden, mitlesen kann er Nutzungsprofile erstellen und sich so ein genaues Bild vom Tagesverlauf seines Opfers machen, etwa wann die Person zu Hause ist, oder beispielsweise anhand der Nutzungszeit der Kaffeemaschine, wann die Person in der früh aufsteht. Dies stellt nicht nur eine empfindliche Verletzung der Privatsphäre der betreffenden Person dar, sondern kann auch für kriminelle Aktivitäten ausgenutzt werden.

Des Weiteren ist es auch eine Funktionalität des Smart Grids einen Verbraucher komplett vom Netz zu trennen, beispielsweise wenn er die Zahlung der Rechnung versäumt. Nun stellt allein dies schon ein Ünding für Verbraucherschützer dar. Fällt diese Möglichkeit jedoch Kriminellen in die Hände, sind die Ausmaße kaum abzusehen: Für feindliche Regierungen, terroristische Organisationen oder gar militante Umweltschützer stellt die Stromversorgung einer Region immer eines der Hauptziele dar: Wenn der Strom ausfällt, läuft in unserer technisierten Gesellschaft fast nichts mehr[23].

Als treibende Kraft der Wirtschaft und Gesellschaft einer jeden Industrienation muss die Sicherheit der Steuerung des Stromflusses höchste Priorität haben. Sicherheit muss von Anfang an bei der Planung berücksichtigt werden. Leider ist es in der Geschichte der Informatik schon viel zu häufig vorgekommen, dass man zunächst die Funktionalität implementiert und anschließend versucht Sicherheit *oben drauf zu setzen*, allerdings ist das gerade der falsche Weg[24].

Insbesondere wenn sich die Bevölkerung überwacht fühlt, oder sie mit dem Umgang der Daten unzufrieden sind, kann es schnell zum Scheitern der gesamten Struktur führen. Es muss stets transparent bleiben, wer Zugang zu den Daten bekommt und warum. Um Gefahren und Risiken bei den Bürgern bekannt zu machen und sie zu sensibilisieren gehört ein ehrlicher Dialog zu den höheren Prioritäten, da sich Smart Grids nur mit echtem Rückhalt in der Bevölkerung weit verbreiten können[2].

6. ÜBERGANG ZUM SMART GRID

Man darf von einem Hochindustrieland wie Deutschland eine Vorreiterrolle beim Etablieren von intelligenten Stromnetzen und dem Anteil an erneuerbaren Energien erwarten, gleichzeitig müssen die Strompreise aber bezahlbar bleiben. Da Stromnetze nicht an Landesgrenzen halt machen, muss der Weg Deutschlands international orientiert sein, insbesondere weil es in der nahen Zukunft noch mehr als bisher möglich sein wird, Strom europaweit zu handeln[2].

Der Aufbau eines erfolgreichen Smart Grids ist ein schwieriges und langwieriges Unterfangen. Wenn bis 2030 eine erfolgreiche Infrastruktur aufgebaut sein soll ist planmäßiges Vorgehen von äußerster Wichtigkeit. Der Übergang von der momentanen Stromlandschaft in ein wirtschaftliches System regenerativer Energiequellen erfolgt in drei Phasen: Konzeption, Integration und schließlich Fusion[2]:

In der Konzeptionsphase müssen bis 2015 die notwendigen Technologieentwicklungen identifiziert und die gesetzlichen Rahmenbedingungen geklärt werden. Insbesondere sollten auch Alternativsysteme erarbeitet und gegenübergestellt werden. Auch müssen hier am Anfang der Entwicklung offene Fragen zu Standardisierung und Sicherheit geklärt werden. Diese Phase stellt schließlich die Grundlage für die weitere Entwicklung dar.

Die Integrationsphase bis 2020 markiert den Beginn der Umstrukturierung und des Einbindens der notwendigen Steuerungssysteme ins Netz: Eine immer größer werdende Anzahl von steuerbaren Geräten wird auf Verbraucherseite verbaut, ebenso steigt der Anteil der Energie, den kleine dezentrale Stromproduzenten erzeugen.

Die Fusionsphase beschreibt den Verlauf der Entwicklung bis 2030: Die einzelnen Systemebenen sind grundsätzlich vollständig, die Abhängigkeiten und die Vernetzung zwischen den Systemebenen müssen nun noch so intensiv vermittelt werden, dass ein fusioniertes System aus den Systemebenen entsteht.

Die Unterteilung in einzelne Phasen soll hierbei allerdings nicht den Eindruck erwecken lassen, dass die Entwicklungen voneinander getrennt sind, oder zeitlich ohne Überschneidungen stattzufinden haben: Im Gegenteil, es ist von absoluter Wichtigkeit weiterhin Wissenschaft und Forschung in den Prozess der Lösungsansätze mit neuartigen Technologien mit einzubeziehen. Genauso müssen Erkenntnisse aus der Praxis und Neuentwicklungen stets mit in den Ablauf einbezogen werden und Handlungsalternativen auf Grundlage des aktuellen Forschungsstands bewertet werden[2].

6.1 Zukünftige Szenarien

Die komplette Umstrukturierung des Stromnetzes ist ein hochkomplexer Prozess, bei dem eine Reihe an Fehlentscheidungen getroffen werden können. Im Folgenden sollen drei stark unterschiedliche Szenarien vorgestellt werden, die alle bis etwa zum Jahr 2030 umsetzbar sind, aber nur eines setzt Smart Grids vollständig effektiv ein:

6.1.1 Szenario 20. Jahrhundert[2]

Das Szenario „20. Jahrhundert“ zeigt im Bezug auf den Einsatz von Kommunikationskanälen im Stromnetz Ähnlichkeiten zur heutigen Struktur: Die Kommunikation läuft weitgehend nur auf den hohen Spannungsebenen, also wie heutzutage zum Großteil nur zwischen den Kraftwerksbetreibern, und Elektrizität wird weiterhin hauptsächlich in großen zentralen Einheiten mittels konventioneller Brennstoffe erzeugt. An den Bestandteilen des Netzes sind somit keine größeren Anpassungen nötig. Der Trend der letzten Jahrzehnte, dass sich die nationalen Übertragungsnetze noch weiter zusammenschließen um den Stromhandel im Verbundnetz zu erleichtern wird ausgebaut.

Der Auslöser für dieses Szenario wäre ein Umschwung in der Politik, weg von regenerativen Energiequellen zurück zur zentralisierten Versorgung. Im Sinne der Energiewende ist dieses Szenario natürlich nicht erstrebenswert, aber realistisch, wenn der Aufwand der Etablierung des Kommunikationssystems von Politik und Wirtschaft als zu hoch eingeschätzt wird und der Stellenwert des Umweltaspekts nicht genug Anklang findet.

6.1.2 Szenario Komplexitätsfalle[2]

Das zweite Szenario „Komplexitätsfalle“ besitzt seine Schwäche nicht auf politischer sondern auf technischer Ebene: Der Wille der Politik und Wirtschaft ist zwar vorhanden, die Energiewende voranzutreiben, aber es gelingt nicht, die technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen zu schaffen. Es etabliert sich zwar eine Kommunikationsinfrastruktur zur Steuerung des Stromverbrauchs, die Einbindung in das Gesamtsystem ist jedoch nicht ausreichend vorhanden. Die Folgen hiervon sind ein Ungleichgewicht aus regenerativ erzeugter Energie und Nachfrage. Das Szenario ist von einer geringen Effizienz bei gleichzeitig hohen Kosten gekennzeichnet.

Das Abrutschen der Entwicklung in dieses nicht erstrebenswerte Szenario ist dann wahrscheinlich, wenn es nicht gelingt die technischen und politischen Rahmenbedingungen zu synchronisieren und die Entwicklung nicht regelmäßig auf die Zufriedenstellung aller beteiligten Interessenvertreter wird.

6.1.3 Szenario Nachhaltig Wirtschaftlich[2]

Im Szenario „Nachhaltig Wirtschaftlich“ gelingt es im Einklang mit den energiepolitischen Zielen ein intelligentes Stromnetz in vollem Umfang zu etablieren: Es glückt die erneuerbaren Energien wirtschaftlich in die Stromversorgung zu integrieren, wobei das Smart Grid Erzeugung und Verbrauch sowie Speicherung und Verteilung in Echtzeit steuert. Auch in der Bevölkerung genießen die neuen Technologien breite Akzeptanz, da stets Transparenz und Datensicherheit von Anfang an die Planung maßgeblich mitbestimmt haben.

6.1.4 Weitere Szenarien

Die beschriebenen Szenarien sind nicht die einzig denkbaren, es sind jedoch die wahrscheinlichsten, die aus dem Spannungsfeld zwischen Politik, Technik und Bevölkerung entstehen. Um einen Überblick über weitere mögliche Szenarien zu erhalten, die aus jeweils anderen Gegensätzen entworfen seien noch einige weitere Gegensätze genannt:

Aus Sicht der Telekommunikationsanbieter bietet sich das Spannungsfeld aus Sicherheit, Standardisierung und Marktstruktur [25]. Für die Perspektive der Informationstechnologie stehen die Faktoren Sicherheit, Standardisierung und *Business Intelligence* gegenüber [26].

Weitere Szenarien berücksichtigen jeweils andere treibende Kräfte, wie etwa den Stellenwert von Politik, Energiespeicherung und Echtzeitmanagement [27] oder die Verbreitung und Einbindung von Elektrofahrzeugen in die Infrastruktur, bei dem auch die Fahrzeuge als Energiespeicher in großem Stil mitbenutzt werden [28]. Im Bereich der Hausautomation stellt sich die Frage, inwiefern sich die Lebensweise zwischen Akzeptanz der Technik und Gesetzgebung wandeln werden [29].

7. FAZIT

Das Ziel, in einigen Jahrzehnten einen Großteil des Stromverbrauchs mit erneuerbaren Energien zu decken, kann nur mit dem Ausbau

des Stromnetzes und der Einbindung einer Kommunikationsinfrastruktur gelingen. Dies macht es möglich die kleinen und mittelständischen Stromproduzenten, die charakteristisch für regenerative Energien sind, zu synchronisieren und abzustimmen. Viele Akteure sind von der Energieinfrastruktur abhängig. Erfolg kann sich nur einstellen, wenn sie alle zufriedengestellt werden. Da die Stromversorgung eine sicherheitskritische Infrastruktur darstellt, müssen Sicherheitsaspekte von Anfang an die Entwicklung maßgeblich beeinflussen. Die Energiewende, wie sie momentan von Politik und Forschung vorangetrieben wird, ist möglich. Sie stellt ein gesellschaftliches Wagnis dar aber auch eine Chance auf eine komplett neue Energiewelt, deren wahres Potenzial wohl erst im Verlauf ihrer Entwicklung dahin klar wird.

8. LITERATUR

- [1] Süddeutsche.de GmbH: Gesetzespaket zur Energiewende - Kabinett beschließt Atomausstieg bis 2022. 2011. URL: <http://www.sueddeutsche.de/politik/gesetzespaket-zur-energie-wende-kabinett-beschliesst-atomausstieg-bis-1.1105474>. Stand: 20.05.2013.
- [2] acatech (Hrsg.): Future Energy Grid. Informations- und Kommunikationstechnologien für den Weg in ein nachhaltiges und wirtschaftliches Energiesystem (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.
- [3] LEIFIphysik - Physikportal: Elektrifizierung - Geschichte. URL: <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/transformator-fernuebertragung/geschichte> Stand: 21.05.2013.
- [4] Die Geschichte des Stromnetzes. 2010. URL: http://www.strom-online.ch/geschstromnetz_infos.html. Stand: 20.05.2013.
- [5] Wikipedia: Smart grid: Historical development of the electricity grid. 2013. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid#Historical_development_of_the_electricity_grid. Stand: 26.05.2013.
- [6] Google Public Data: Elektrizitätsgewinnung. 2013. URL: https://www.google.de/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&ctype=l&strail=false&bcs=d&nselm=h&met_y=electricity_production_kwh&scale_y=lin&ind_y=false&rdim=region&idim=country:DEU:FRA:GBR:ESP:ITA&ifdim=region&tstart=-303012000000&tend=1337983200000&hl=de&dl=de&ind=false&icfg. Stand 26.05.2013.
- [7] El Sayyad, Mariam / Neyer, Christoph / Nolle, Pascal u.a.: Technologies along the Electricity Value Chain. In: Römer, Benedikt / Sußmann, Julian / Menkens Christian u.a.: Smart Grid Infrastructures. Trend Report 2010/2011. München. 2011, S.54 - 65.
- [8] Römer, Benedikt / Sußmann, Julian / Menkens Christian u.a.: Smart Grid Infrastructures. Trend Report 2010/2011. München. 2011. Umschlagtext.
- [9] Janzig, Bernward: Kraft von Himmel und Erde. In: Der Spiegel Ausgabe 10/2007, S.86 - 92.
- [10] Hammer, Anton / Hammer, Hildegard / Hammer, Karl: Physikalische Formeln und Tabellen. 8. Auflage. München. 2002.
- [11] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Leistungselektronik: Energie effizienter nutzen. 2012. URL: <http://www.bmbf.de/de/14708.php>. Stand: 20.05.2013.

- [12] Grafik nach: El Sayyad, Mariam / Neyer, Christop / Nolle, Pascal u.a.: Technologies along the Electricity Value Chain. In: Römer, Benedikt / Sußmann, Julian / Menkens Christian u.a.: Smart Grid Infrastructures. Trend Report 2010/2011. München. 2011, S.56.
- [13] Wikipedia: Trägerfrequenzanlage. 2013. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Trägerfrequenzanlage>. Stand: 26.05.2013.
- [14] Schwan, Ben: Smart-Meter mit WLAN. 2013. URL: <http://www.heise.de/tr/artikel/Smart-Meter-mit-WLAN-1836679.html>. Stand: 26.05.2013.
- [15] Stadtwerke München GmbH: M-Strom business Komfort. 2013. URL: <http://www.swm.de/geschaeftskunden/m-strom/gewerbekunden/m-strom-business-komfort.html>. Stand: 24.05.2013.
- [16] Paschotta, Rüdiger: Stromzähler. 2013. URL: <http://www.energie-lexikon.info/stromzaehler.html>. Stand: 26.05.2013.
- [17] Metzl, Andreas: Photovoltaik - Informationen zur Planung und Installation von Photovoltaikanlagen: PV-Stromzähler - Zähler bei Eigenverbrauch. 2013. URL: <http://www.photovoltaik-web.de/eigenverbrauch-pv/pv-stromzaehler-fuer-eigenverbrauch.html>. Stand: 26.05.2013.
- [18] wiseGEEK: What Is a Smart Meter? 2013. URL: <http://www.wisegeek.com/what-is-a-smart-meter.htm>. Stand 26.05.2013.
- [19] Dodge, John: What is a smart appliance, anyway? 2009. URL: <http://www.smartplanet.com/blog/thinking-tech/what-is-a-smart-appliance-anyway/2212>. Stand 25.05.2013.
- [20] ProudGreenHome: New smart socket boosts home energy efficiency and security. 2013. URL: <http://www.proudgreenhome.com/article/211465/New-smart-socket-boosts-home-energy-efficiency-and-security>. Stand: 26.05.2013.
- [21] AVM Computersysteme Vertriebs GmbH: FRITZ!DECT 200 - die erste intelligente Steckdose von AVM. 2012. URL: http://www.avm.de/de/News/artikel/2012/newsletter/ifa_dect_200E.html. Stand: 22.05.2013.
- [22] wiseGEEK: Brief and Straightforward Guide: What Is a Smart Home? 2013. URL: <http://www.wisegeek.com/what-is-a-smart-home.htm>. Stand: 24.05.2013.
- [23] Green, Spencer: Smart grid security. 2010. <http://www.americainfra.com/article/Smart-grid-security/>. Stand: 24.05.2013.
- [24] Kurth, Helmut: Eine kleine Geschichte der IT-Sicherheit. Von den Dinosauriern bis zur zur Cloud. Vortrag vom 19.10.2012.
- [25] Baaken, Felix / Moser, Kilian / Petcu, Victor u.a.: Telecommunications Service Provider Perspective. In: Römer, Benedikt / Sußmann, Julian / Menkens Christian u.a.: Smart Grid Infrastructures. Trend Report 2010/2011. München. 2011, S.163 - 172.
- [26] Kiechle, Martin / Kornberger, Tanja / Stanzel, Jan u.a.: Information Technology Service Provider Perspective. In: Römer, Benedikt / Sußmann, Julian / Menkens Christian u.a.: Smart Grid Infrastructures. Trend Report 2010/2011. München. 2011, S.195 - 203.
- [27] Andreyeva, Veranika / El Sayyad, Salma / Hoeck Lena u.a.: Utility Perspective. In: Römer, Benedikt / Sußmann, Julian / Menkens Christian u.a.: Smart Grid Infrastructures. Trend Report 2010/2011. München. 2011, S.229 - 240.
- [28] Cappel, Maximilian / El Sayyad, Mariam / Lechner, Johannes u.a.: Automotive Perspective. In: Römer, Benedikt / Sußmann, Julian / Menkens Christian u.a.: Smart Grid Infrastructures. Trend Report 2010/2011. München. 2011, S.265 - 273.
- [29] Feller, Albert / Nolle, Pascal / Schneider, Diana u.a.: Private Home Perspective. In: Römer, Benedikt / Sußmann, Julian / Menkens Christian u.a.: Smart Grid Infrastructures. Trend Report 2010/2011. München. 2011, S.303 - 313.