

# SIP-basierte P2P-Vernetzung in einer Energie-Community

M. Steinheimer<sup>1</sup>, U. Trick<sup>1</sup>, P. Ruhrig<sup>1</sup>, P. Wacht<sup>1</sup>, R. Tönjes<sup>2</sup>, M. Fischer<sup>2</sup>, D. Hölker<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fachhochschule Frankfurt a. M., Kleiststraße 3, 60318 Frankfurt/M., steinheimer@e-technik.org

<sup>2</sup> Hochschule Osnabrück, Albrechtstraße 30, 49076 Osnabrück

## Kurzfassung

Den Problemen, die sich aus der zunehmend volatilen und immer mehr dezentralen Energieerzeugung sowie den heutigen Verteilnetzen als „Black Box“ ergeben, wird hier durch die Einführung eines neuen Konzepts der Peer-to-Peer-vernetzten Energie-Community begegnet. Ausgehend von den Erfahrungen mit Kommunikationsdiensten wird ein auf SIP und verteilter Datenhaltung basierendes P2P-Vernetzungskonzept für Haushalte und andere Marktteilnehmer vorgestellt und das Zusammenspiel mit einem Community Web Server beschrieben. Zum anderen wird ein Service Management Framework eingeführt. Es ermöglicht nicht nur die komfortable Vernetzung von Haushalten mit den Zielen Kostenersparnis, Vermeidung von Netzausbau, Energieeinsparung etc., sondern auch die Entwicklung und Bereitstellung personalisierter Dienste für das Smart Home und insbesondere das Energiemanagement inkl. der Einbindung von Multimediakommunikation. Darüber hinaus bietet es Funktionen für das Testen und für Simulationen.

## 1 Einführung

In den elektrischen Energieversorgungsnetzen der Zukunft geht die Tendenz hin zu stärker volatiler regenerativer Energieerzeugung mittels Windkraft- und Photovoltaikanlagen und weg von der zentralen hin zur dezentralen Erzeugung und Einspeisung, auch im bisher nicht überwachten Ortsnetz. Um trotzdem eine stabile und qualitativ gute Energieversorgung sicherstellen zu können, muss das Netz ausgebaut und vor allem durch Informations- und Kommunikationstechnik intelligent gemacht werden. Diese Entwicklung wird allgemein durch den Begriff „Smart Grid“ umschrieben. Ergänzende oder auch alternative Ansätze, die vor allem über variable Preissignale versuchen, das Verhalten der Energieverbraucher und -erzeuger zu beeinflussen und damit z.B. den Aufwand für Netzausbau zu minimieren, werden unter dem Oberbegriff „Smart Market“ betrachtet [1].

Eine neue Smart Market-Lösung, die Energie-Community auf Basis vernetzter Haushalte, wurde in [2] und [3] eingeführt. Hierbei treten Haushalte, aber auch Energielieferanten und der Verteilnetzbetreiber als Peers einem sozialen Netzwerk für das Energiemanagement bei und kommunizieren und interagieren in der Folge mittels vernetzter, z.B. in DSL-Routern integrierter sog. Service Management Frameworks (SMF). Die durch jeweils eine SMF repräsentierten Peers tauschen energierelevante Informationen wie den aktuellen Verbrauch, die Prognose, Kennwerte vorhandener Energieerzeuger und -speicher sowie Strompreise und Netzentgelte aus. Für das Energiemanagement der gesamten Community oder auch nur einer Subcommunity (z.B. Region, Bereich einer Ortsnetzstation, Kunden eines Energielieferanten, Nutzer von Elektrofahrzeugen in einem Stadtteil) ist ein auf den SMFs dezentral laufender Algorithmus (spezieller Energiemanagementdienst) zuständig, der anhand gegebener Kriterien

das energetische Verhalten der Community bzw. Subcommunity über die Steuerung von Energieverbrauchern (Demand Side Integration, DSI), -erzeugern und vor allem -speichern (optimale Zeiten für Laden, Speichern, Entladen ermitteln und Speicher entsprechend steuern) optimiert. Dabei wirken die Energielieferanten über die Strompreise, der Verteilnetzbetreiber über variable Netzentgelte oder sonstige Boni in ihrem Sinne mit. Der neu eingeführte Energie-Community-Betreiber könnte als neue Marktkrolle betrachtet werden, die z.B. von Städten oder Landkreisen im Rahmen von Maßnahmen für den Klimaschutz- oder die regionale Förderung der Energiewende vorteilhaft übernommen werden könnte.

Diese Publikation beschreibt zum einen für die Cluster von Haushalten die Kommunikation und P2P-basierte (Peer-to-Peer) Vernetzung mittels SIP (Session Initiation Protocol) inkl. des Einsatzes von DHT (Distributed Hash Table) und Chord-Algorithmus für die verteilte Datenhaltung in der Community. Dabei wird auf die Mechanismen, die konkreten Protokolle sowie die Vorteile der vorgeschlagenen Kommunikationslösung eingegangen (Kapitel 2).

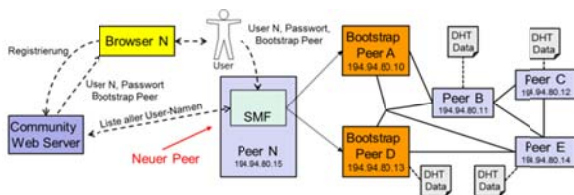
Zum anderen wird die zum Einsatz kommende Dienstplattform (SMF) im Hinblick auf die Anforderungen, die Funktionalität, die Software-Architektur und die Implementierung (auf Basis OSGi) vorgestellt (Kapitel 3). Das SMF besteht nicht nur aus einem Service Creation Environment (SCE), mit dessen Hilfe ein Nutzer mittels grafischer Oberfläche einfach personalisierte Dienste und/oder korrespondierende Tests für das Haus- und Energiemanagement designen kann, und einer Service Delivery Platform (SDP) zur Bereitstellung der Dienste inkl. ihrer Optimierung nach Vorgaben des Nutzers, sondern auch aus einem Simulation and Test Environment (STE) zur Simulation von Haushaltsszenarien und zum Test generierter Dienste

(Kapitel 4). Kapitel 5 fasst die Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick.

## 2 SIP-basierte Peer-to-Peer-Vernetzung

Wie in [2] beschrieben, führt die Optimierung eines einzelnen Haushaltes nicht zu einer Optimierung für eine Region, respektive zu einer Optimierung des Übertragungs- oder Verteilnetzes. Weitaus effektiver ist die gleichzeitige Optimierung mehrerer Haushalte. Der kritische Faktor ist demnach die statistische Aggregation von Haushalten zu einem Cluster von Haushalten, die gemeinsam optimiert werden. Um diese Aggregation zu erreichen, sind die Haushalte über die darin installierten Service Management Frameworks (SMF) miteinander verbunden und bilden ein SIP-basiertes Peer-to-Peer-Netzwerk [5].

Ein Haushalt kann dem P2P-Netzwerk, bzw. der Community beitreten, indem sich der Benutzer über seinen Webbrowser auf der Community Website einen Account anlegt. Nach erfolgter Authentifizierung registriert sich der Benutzer bei dem Community Webserver (siehe Bild 1).



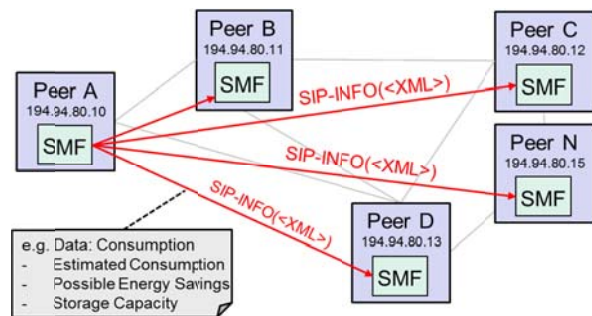
**Bild 1** Beitritt zur Energie-Community

Nach der Registrierung erhält der Benutzer von dem Webserver die Zugangsdaten und die IP-Adressen von mindestens zwei Bootstrap Peers (Knoten im P2P-Netzwerk zur ersten Kontaktaufnahme). Mit diesen Informationen konfiguriert der Benutzer seine SMF, welche wiederum einen verfügbaren Bootstrap Peer kontaktiert und somit den Beitritt zum P2P-Netzwerk erwirkt.

Um Informationen (betreffend des Energieverbrauchs, Einsparpotenzials und der Speichermöglichkeiten etc.) zwischen den Haushalten austauschen zu können, müssen die Haushalte miteinander vernetzt werden. Die Kommunikation zwischen den Haushalten und die Verbindung der Haushalte erfolgt mittels des Session Initiation Protokolls (SIP). SIP wurde als Protokoll für den Informationsaustausch gewählt, da es ein weit verbreitetes Protokoll zur Steuerung von Kommunikationssitzungen ist und die Anbindung von Telekommunikationsdiensten an die vorgestellte Plattform ohnehin die Verwendung von SIP erfordert. Das Nutzen von vorhandenen Synergien durch die Integration der Telekommunikationsdienste sowie die hierdurch bedingte Anbindung über ein IP-Netz (mit existierenden Mechanismen für Sicherheit, Verfügbarkeit, und Quality of Service) unterstreicht den Einsatz von SIP zur Vernetzung der Haushalte.

Der Ansatz der Peer-to-Peer-Vernetzung der Haushalte und weiterer Instanzen (z.B. Verteilnetzbetreiber, Energielieferanten) wurde gewählt, da eine zentrale Vernetzung mit großem Aufwand und ggf. mit rechtlichen Einschränkungen verbunden ist und die Struktur eines P2P-Netzwerkes weitgehend selbstorganisiert ist. Schwierigkeiten bei einer zentralen Organisation würden bez. der Bereitstellung der Infrastruktur bestehen, der Übernahme der Betriebskosten, des Datenschutzes etc. Durch den P2P-Ansatz besteht die Möglichkeit, eine Vernetzung von Haushalten aufzubauen, für die keine zentrale Instanz erforderlich ist und welche eine hohe Verfügbarkeit und Skalierbarkeit bietet. [5] beschreibt die Bereitstellung von Mehrwertdiensten, welche in diesem Ansatz eine zentrale Rolle spielen, über ein P2P-Netzwerk. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, Dienste, die nach dem in [5] beschriebenen Ansatz über SIP in einem P2P-Netzwerk bereitgestellt werden, in der entwickelten Plattform verfügbar bzw. anbindbar zu machen.

Jeder Haushalt wird als ein Peer innerhalb dieses Netzwerkes betrachtet, ebenso die Energielieferanten, Netzbetreiber und weitere Marktteilnehmer. Die Kommunikation zwischen den Peers erfolgt anonymisiert und verschlüsselt über das Internet, wobei jeder Peer nur die Informationen bereitstellt, welche der Benutzer autorisiert hat. Bild 2 zeigt den auf dieser Kommunikationslösung basierenden Austausch von Nachrichten zwischen den Peers, welche die für eine Optimierung relevanten Parameter beinhalten (z.B. aktueller oder geplanter Energiebedarf, Angaben zu vorhandenen energieerzeugenden oder energiespeichernden Anlagen (stationäre Energiespeicher, Elektroautos), Energiepreise und/oder Netzentgelte).



**Bild 2** Versenden von Peer-Informationen

Die Informationen werden zwischen den Peers mittels SIP-INFO-Nachrichten ausgetauscht, welche eine Beschreibung der Energiedaten im XML-Format beinhalten. Die Versendung der Nachrichten erfolgt von jedem Peer an alle weiteren im P2P-Netzwerk angemeldeten Haushalte. Die Information über die Adressierung der Peers erhält die SMF des versendenden

Peers durch Abrufen einer Liste mit allen Teilnehmern über den Community-Webserver. Hierüber ist die SMF in der Lage, die ständigen SIP URIs zur Kontaktaufnahme zu bilden. Die orts- bzw. subnetzabhängigen Kontaktadressen der Peers ermittelt die SMF über einen ebenfalls in dem P2P-Netzwerk implementierten Location Service (siehe unten).

Basierend auf den ausgetauschten Informationen stellt das SMF einen Algorithmus zur Verfügung, welcher automatisiert den aggregierten Energieverbrauch des gesamten P2P-Netzwerks optimiert (bis hin zum gesamten Verteilnetz), unter Berücksichtigung der Informationen von den anderen Peers. Die hierzu notwendige Datenhaltung ist realisiert, basierend auf Distributed Hash Tables (DHT) und dem Chord-Algorithmus [8].

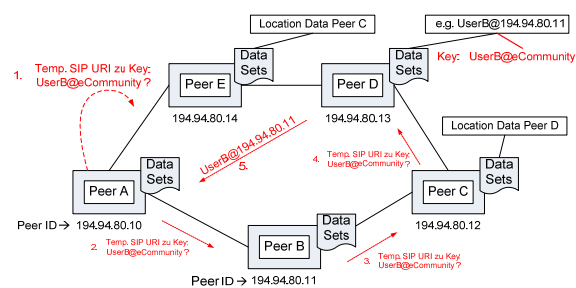
In dem vorgestellten Ansatz wird eine verteilte Datenhaltung für die Speicherung der für den Betrieb der Community und die energetische Optimierung erforderlichen Daten vorgesehen. Verteilte Datenhaltung bedeutet, dass Daten nicht an einer zentralen Stelle, sondern verteilt auf mehrere Instanzen (Peers) in einem Netzwerk gespeichert werden. Das Bestreben des vorgestellten Ansatzes ist es, gänzlich auf zentrale Instanzen zu verzichten, was demnach auch eine zentrale Datenhaltung ausschließt.

Eine Hash Table ist eine Struktur, um Daten abzulegen. Die Daten werden innerhalb dieser Struktur durch Key-Value-Wertepaare abgelegt. Ein konkretes Datenobjekt (z.B. die temporäre SIP URI eines Peers) wird unter einem definierten Schlüssel gespeichert. Mittels dieses Schlüssels kann auf das zugeordnete Datenobjekt zugegriffen werden. Eine Distributed Hash Table (DHT) ist eine Variante einer Hash Table, die es ermöglicht, die Datensätze verteilt auf verschiedene Knoten in einem Netzwerk abzulegen, und stellt somit eine Möglichkeit dar, verteilte Datenhaltung zu realisieren.

Ein Mechanismus, der die verteilte Datenhaltung mittels DHT beschreibt, ist der Chord-Algorithmus, entwickelt am MIT (Massachusetts Institute of Technology). „Chord ist ein einfaches, verteiltes Suchprotokoll für Peer-to-Peer Systeme, das Schlüssel auf Knoten abbildet.“ [9] Chord ermöglicht den Aufbau eines strukturierten P2P-Systems. Durch diesen Algorithmus lässt sich eine Topologie erzeugen, die aktiv auf Strukturänderungen (z.B. Wegfallen oder Hinzufügen von Knoten) reagiert. Die zu speichernden Daten werden redundant in den Knoten gespeichert, wodurch die Verfügbarkeit im Vergleich zu einer zentralen Datenhaltung drastisch erhöht wird. Die Identifikation eines Knotens erfolgt durch eine diesem zugeordneten Knotenschlüssel (Node ID). Die Identifikation eines Datensatzes erfolgt analog über einen Datensatzschlüssel (Key). Eindeutige Knoten- und

Datensatzschlüssel werden gebildet, indem z.B. die Hash-Funktion SHA1 auf die Node ID und den Key angewendet wird. „Ein Schlüssel  $k$  wird dem Knoten  $n$  zugewiesen, dessen ID grösser oder gleich der ID des Schlüssels  $k$  ist“ [9]. Jeder Knoten kennt seinen Vorgänger (in der Chord-Topologie) und seinen Nachfolger. Durch Chord ist demnach eine Möglichkeit gegeben, zu einem gegebenen Schlüssel  $k$  die ID des Knotens zu ermitteln, welcher den Datensatz speichert. [9]

Bild 3 zeigt eine Chord-Topologie in ihrer einfachsten Struktur (Ring) und die Implementierung eines Location Service über eine mit dem Chord-Mechanismus realisierte DHT. Über den Location Service ist es möglich, die Zuordnung von den ständigen SIP URIs der Peers zu den temporären SIP URIs zu ermitteln. Diese Information wird benötigt, um die Informationen, wie oben beschrieben, an alle Teilnehmer in dem P2P-Netzwerk zu senden.



**Bild 3** Chord-basierter Location Service

Die Ermittlung von einer temporären SIP URI erfolgt, indem ein Peer, bzw. dessen SMF, eine Anfrage (unter Angabe der ständigen SIP URI) an den Chord-Ring stellt. Hierbei erfolgt die Anfrage immer an den Knoten (Peer), welcher in der Topologie neben dem anfragenden Knoten angeordnet ist. Falls dem angefragten Knoten der zugehörige Datensatz vorliegt, liefert er diesen direkt an den anfragenden Knoten zurück. Liegt der Datensatz nicht vor, richtet dieser Knoten die Anfrage an den in der Topologie neben ihm angeordneten Knoten. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis der gesuchte Datensatz gefunden wurde.

Sobald Informationen zwischen den Peers ausgetauscht werden, muss sichergestellt werden, dass kein Teilnehmer in dem Netzwerk (z.B. der Nachbar) diese Informationen nutzen kann, um Rückschlüsse auf den Energieverbrauch eines spezifischen Haushaltes zu ziehen. Um die Anonymität zu gewährleisten, ist die Kommunikation zwischen den SMFs der Peers für die Nutzer nicht transparent.

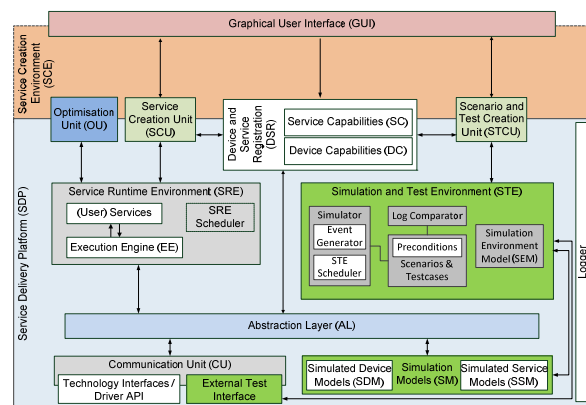
### 3 Service Management Framework (SMF)

Im ersten Schritt dieser ganzheitlichen Lösung für das individuelle Energiemanagement im Smart Home/Grid erhält der Benutzer die Möglichkeit, eigenständig personalisierte Dienste für sein Smart Home und für das Energiemanagement in diesem zu erstellen. Dies wird durch die Bereitstellung eines Service Management Frameworks (SMF), bestehend aus Service Creation Environment (SCE) und Service Delivery Platform (SDP), ermöglicht, welches z.B. im DSL Router des Benutzers untergebracht sein kann. Durch die Erstellung personalisierter Dienste ist es möglich, die persönlichen Bedürfnisse und Ansprüche des Benutzers zu berücksichtigen [4, 5].

Mittels des SCE erhält der Benutzer die Möglichkeit, Mehrwertdienste durch grafische Kombination von Bausteinen (Device/Service Blocks), welche durch den Geräte-/Diensthersteller geliefert werden, zu entwerfen. Die genutzten Device/Service Blocks beschreiben die Steuerungsmöglichkeiten der Geräte sowie die Funktionalität der Basisdienste und machen diese in der SCE verfügbar. Im einfachsten Fall konfiguriert der Benutzer die zeitliche Steuerung seiner Geräte abhängig von Preissignalen für den Strompreis für unterschiedliche Zeitabschnitte eines Tages. Der personalisierte Energiemanagementservice wird von der SDP ausgeführt. Die erforderlichen Messwerte werden von einem mit dem SMF verbundenen Smart Meter bereitgestellt. Hiervon ausgehend ist das SMF in der Lage, Informationen über den Energieverbrauch in der Vergangenheit sowie den geplanten zukünftigen Energieverbrauch zu ermitteln. Der Vorteil dieser Lösung zur Optimierung des Energieverbrauchs ist, dass die persönlichen Bedürfnisse des Benutzers in jedem Moment berücksichtigt werden. Nachteil ist, dass die Optimierung nur aus Sicht eines speziellen Kunden stattfindet.

In einem zweiten Schritt stellt das SMF einen speziellen Mechanismus bereit, welcher automatisiert Mehrwertdienste generiert, in Abhängigkeit von den durch den Benutzer definierten Randbedingungen (z.B. keine zeitliche Einschränkung für das Kochen, Minimierung der Energiekosten oder die Beschränkung des maximalen Energieverbrauchs). Das Ziel des generierten Dienstes ist es z.B., die Lastkurve für einen Haushalt zu glätten, in Abhängigkeit von den durch den Benutzer definierten Randbedingungen, um kostenintensive Lastspitzen zu reduzieren/vermeiden. Die Energieoptimierung erfolgt nicht nur aus der Sicht eines einzelnen Benutzers, sondern unter Berücksichtigung des gesamten Haushalts. Dies ist besonders effektiv, wenn in dem Haushalt nicht nur Energieverbraucher, sondern auch energieerzeugende Anlagen oder Energiespeicher installiert sind.

In beiden Fällen geht die Leistung des SMF über die existierender Lösungen für Smart Home-Steuerungen hinaus, da das SMF nicht nur das oben beschriebene Energiemanagement und IT-Dienste (z.B. Zugriff auf den Kalender vor dem Laden eines Elektroautos) beinhaltet, sondern auch Kommunikationsanwendungen (z.B. Instant Message oder Anruf, wenn die Waschmaschine fertig ist). Da das SMF über das Internet-Protokoll (IP) mit externen Netzwerken, wie z.B. Internet, Fest- oder Mobilfunknetz, verbunden ist, bietet sich als Anwendungsprotokoll das standardisierte Session Initiation Protocol für die Signalisierung (vgl. Kapitel 2) an und z.B. das Realtime Transport Protocol (RTP) für die Übertragung von Nutzdaten [6]. Daher ist das SMF eine Kombination einer Lösung zur Smart Home-Steuerung und eines SIP Application Servers, dessen Realisierung auf dem OSGi Framework basiert [7]. Bild 4 zeigt eine Übersicht über die Komponenten des SMF.



**Bild 4** Übersicht über die Komponenten des SMF

Über das Graphical User Interface (GUI) erstellt und konfiguriert der Benutzer Dienste zur Steuerung seines Smart Home. Um diese Dienste zu erzeugen, verwendet der Benutzer Device/Service Blocks. Diese Device/Service Blocks beinhalten eine Beschreibung der Geräte und deren Funktionalitäten (Device/Service Capabilities). Diese Informationen werden genutzt, um die Geräte in der GUI zu repräsentieren und dem Benutzer als Teil des Dienstes verfügbar zu machen. Als einfaches Beispiel kann der Nutzer einen Dienst definieren, welcher die Aufladung eines Elektroautos (repräsentiert in der GUI über die Geräte- und Eigenschaftenbeschreibung des Elektroautos) startet, sobald der Strompreis unter einer bestimmten Obergrenze liegt. Der Benutzer definiert über diese GUI auch Randbedingungen und Ziele, welche bei der Optimierung berücksichtigt werden (z.B. kann der Benutzer Optimierungsziele definieren wie „Preisoptimierung“, „Lastreduktion“ etc.). Die Aufgabe der Service Creation Unit (SCU) ist es, dem Benutzer die GUI in Form einer Webseite zur Verfügung zu stellen. Weiterhin ist die Aufgabe der SCU, den definierten/konfigurierten Dienst mittels einer formalen Nota-

tion zu beschreiben und an das Service Runtime Environment (SRE) zu übergeben.

Das SRE (bestehend aus Repository mit den erstellten Diensten, Execution Engine und SRE Scheduler) interpretiert diese Service Description (abgelegt im Service Repository) und führt die darin beschriebenen Aktionen aus. Hierfür kommuniziert das SRE mit dem Abstraction Layer (AL) (siehe nächsten Abschnitt) und steuert hierüber die Aktionen in den verbundenen Geräten. Solche Aktionen sind z.B. die Deaktivierung von Geräten um Energie zu sparen, oder die Entladung eines Energiespeichers in einem Haushalt. Als weitere Funktionalität wurde die Multimediakommunikation integriert. Dies gestattet es, unter bestimmten Voraussetzungen, z.B. wenn ein Elektroauto vollständig aufgeladen ist oder eine Bewegung durch einen Bewegungssensor erkannt wurde (zur Anwendung als Einbruchserkennung), z.B. eine IM (Instant Message) zu versenden oder einen Videoanruf zu initiieren.

Für die Abstraktion der Kommunikation und der Anbindung von unterschiedlichen Bussystemen zur Smart Home-Steuerung (z.B. KNX, EnOcean, MBus, ZigBee, digitalSTROM) bzw. zur Anbindung von Multimediasystemen (z.B. SIP, RTP, HTTP) wurde ein AL konzipiert. Dieser ermöglicht es, verschiedene Smart Home- und Multimediakommunikationstechniken zu verknüpfen, da der AL die Kommunikation zwischen den Geräten, Teildiensten, Smart Home-Bussystemen und der Multimediakommunikation vereinheitlicht. Der AL abstrahiert die Steuerung von verschiedenartigem Equipment und bietet daher die Möglichkeit, Dienste für eine Smart Home-Steuerung ohne Berücksichtigung der verwendeten Technologien zu definieren.

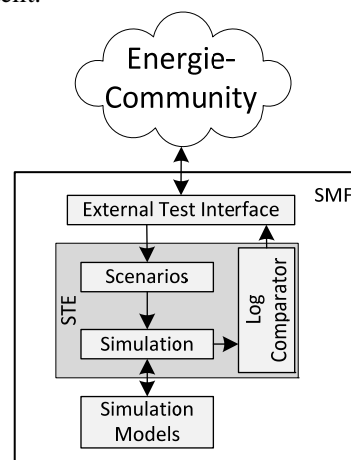
Um die Anbindung der verschiedenen Technologien zur Kommunikation und Steuerung in einem Smart Home umzusetzen, beinhaltet die SMF-Architektur eine Communication Unit (CU), welche direkt mit dem AL verbunden ist und die Kommunikation mit den spezifischen Bussystemen und Multimediatechnologien realisiert. Geräte-APIs (Application Programming Interface), bereitgestellt durch die CU, werden von dem AL angesprochen und bilden die Schnittstelle zu den verschiedenen Smart Home-Technologien. Alle verbundenen Geräte sind bei der DSR (Device and Service Registration) unter einer allgemeinen, in der Plattform eindeutigen ID registriert und werden durch die Dienste in einer abstrahierten Weise gesteuert. Die Umsetzung von abstrahierter in eine gerätespezifische ID erfolgt durch den AL.

Die Optimisation Unit (OU) implementiert die oben beschriebenen Optimierungen von Diensten durch Rekonfiguration der definierten Benutzerdienste. Die

Optimierung erfolgt unter Berücksichtigung der durch den Benutzer definierten Randbedingungen und Optimierungsziele. Die Optimierung kann u.a. durch die zeitliche Verschiebung der Gerätenutzung, z.B. Verschieben des Aufladens eines Elektroautos in einen kostengünstigeren Zeitraum (sofern der Benutzer als Ziel eine Kostenoptimierung ausgewählt hat) erfolgen. Eine weitere Aufgabe der OU ist es, die Koordination von mehreren Haushalten bez. Steuerung und Optimierung durchzuführen. Dies kann z.B. durch die koordinierte Disposition großer Energieverbraucher in verschiedenen Haushalten oder durch Entladen von Batteriespeichern, sobald die Last in einer Region eine definierte Grenze überschreitet, erfolgen.

## 4 Simulation and Test Environment (STE)

Nutzerdienste, die neu erstellt wurden und ungetestet mit realen Geräten genutzt werden, können an diesen Geräten irreparable Schäden hinterlassen oder sogar die Gesundheit der im Haushalt lebenden Personen gefährden. Das Simulation and Test Environment (STE) hat die Aufgabe, die neu erstellten Nutzerdienste zu testen, bevor sie mit realen Geräten genutzt werden. In Bild 5 ist eine Übersicht des STE mit den Simulationsmodellen und einer externen Testschnittstelle dargestellt.



**Bild 5** Komponenten für eine Simulation innerhalb einer Energie-Community

Szenarien beschreiben den Ablauf einer Simulation. Ein Szenario beschreibt dabei sämtliche Ereignisse innerhalb eines Haushaltes, z.B. den Verlauf des Strompreises oder das Nutzerverhalten durch Aktivierung und Deaktivierung von Geräten. Ein Szenario setzt sich dabei aus zwei Teilen zusammen:

1. Vorbedingungen: in den Vorbedingungen wird der Startzustand der Simulation definiert. Mögliche Einstellungen sind beispielsweise, ob das Elektroauto vorhanden ist oder der Füllstand des Batteriespeichers.

2. Ablaufplan: Der Ablaufplan beinhaltet alle Ereignisse, die während der Simulation auftreten sollen. Diese umfassen neben dem Benutzerverhalten auch externe Einflüsse wie die Dargebotssituation für eine eigene PV-Anlage oder die Netzsituation, abgebildet durch den Strompreis. Hierdurch sollen die vom Benutzer erstellten Dienste stimuliert und somit aktiviert werden.

Neben den Simulationsszenarien gibt es noch Test-szenarien, hier kommt ein dritter Punkt hinzu:

3. Erwartete Simulationsergebnisse: In diesem Teil eines Szenarios können Ereignisse definiert werden, die bei einer nach der Simulation folgenden Analyse zutreffen sollen. Dabei sind nicht die Ereignisse aus Teil 2 anzugeben, sondern die Reaktionen auf diese durch vom Benutzer erstellte Dienste. Weiterhin können hier Verläufe virtueller Messgrößen, beispielsweise der Gesamtenergieverbrauch, überprüft werden.

Ein solches Simulations- oder Testszenario kann von einem Hersteller zusammen mit den Gerätebeschreibungen ausgeliefert werden. Da ein Szenario für einen zukünftigen Zeitraum häufig nicht perfekt ermittelt werden kann, ist es möglich, nicht nur exakte Werte, sondern auch mehrere Werte, Wertebereiche oder Varianzen einzelner Werte zu definieren.

Die Simulation ist, genau wie die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten in der Plattform, eventbasiert (Diskrete Event-Simulation, DES [10]). Die Simulationsmodelle sind dafür verantwortlich, ihre zu sendenden Events in einen Scheduler einzutragen, welcher diese in passender Reihenfolge aus-sendet. Ein Simulationsfortschritt erfolgt bei der DES nicht zeitgesteuert, sondern durch abgearbeitete Events. Die Zeit schreitet demnach nicht kontinuierlich voran, sondern bleibt abhängig vom Aufkommen der Events länger an einem Zeitpunkt stehen oder überspringt größere Zeiträume. Dies hat den Vorteil, dass die Simulation, besonders bei wenigen Events, deutlich schneller ablaufen kann.

Simulation Models spiegeln das Gegenstück zu realen Geräten und den in Benutzerdiensten verwendeten Basisdiensten wieder. Dies ist notwendig, da reale Geräte bei einem Test beschädigt werden oder Schaden verursachen könnten. Basisdienste hingegen sollen nachgebildet werden, um keine realen Kosten durch die Nutzung innerhalb einer Simulation zu verursachen. Für das Testen sind die Simulationsmodelle von Bedeutung, da so Extremsituationen wie der Ausfall eines Gerätes oder die Überlastung des Stromnetzes nachgebildet werden können. Die realen Geräte werden durch sog. Simulated Device Models (SDM) und die Basisdienste durch Simulated Service Models (SSM) abgebildet. Diese verhalten sich der Plattform gegenüber annähernd identisch wie die realen Geräte bzw. Dienste. Dabei ist besonders der Energiever-

brauch der Geräte von Interesse. Dieser wird der Plattform von jedem SDM bei einer Änderung per Event mitgeteilt. Im Logger können dann die genauen Verbrauchsdaten der einzelnen Geräte oder des gesamten Haushaltes abgefragt werden.

Durch das External Test Interface können Simulations-szenarien nicht nur von Benutzern erstellt oder von Herstellern mit den Geräten ausgeliefert werden, sondern auch von einem Mitglied der Energie-Community über eine von extern erreichbare Schnittstelle geladen werden. Dies ist insbesondere für einen Energieversorger interessant. Dieser kann verschiedene Szenarien in die Plattformen einspielen und mit den zurückgesendeten Simulationsergebnissen eine genauere Prognose über den zeitlichen Energieverlauf errechnen. Der Nutzer kann dabei einstellen, welche Daten er preisgeben möchte. Im Normalfall sollte eine diskrete Zeitreihe des hauseigenen Energieverbrauchs für den Energieversorger ausreichend sein. Auch ist es vorgesehen, dass nur einzelne Parameter für ein Szenario von extern bereitgestellt werden müssen (z.B. ausschließlich der Strompreis) und diese auf bestehende Szenarien des Haushaltes angewandt werden können. Dies hat den großen Vorteil, dass das Verhalten des Nutzers oder sonstige Besonderheiten berücksichtigt werden können.

Durch den Log Comparator kann, zusammen mit den erwarteten Simulationsergebnissen, nach der Ausführung die durch den Logger aufgezeichnete Simulation analysiert werden. Dabei kann untersucht werden, ob ein Event, passend zu einem erwarteten Simulationsergebnis aus dem Szenario, in der Simulation vorgekommen ist (z.B. „Laden des Elektroautos um 3:00 Uhr“). Eine solche Erwartung kann negiert werden, wodurch angegeben wird, dass ein entsprechendes Event innerhalb der Simulation nicht vorkommen soll. Weiterhin können zeitliche Einschränkungen spezifiziert werden, um so Ruhezeiten oder ähnlichem Rechnung zu tragen (z.B. „Waschmaschine nicht zwischen 20:00 und 6:00 starten“). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, nach virtuellen Messgrößen wie Energiekosten zu suchen und Vergleiche mit vorhergehenden Simulationen oder dem Realbetrieb aufzustellen. Somit kann beispielsweise bestimmt werden, ob ein Benutzerdienst negative Auswirkungen auf den Energieverbrauch oder die Energiekosten hat. Dabei ist zu beachten, dass der Vergleich nicht zu einem festen Zeitpunkt, sondern über eine Zeitspanne aufzustellen ist. Bedingt durch die DSI sollte diese Zeitspanne mindestens eine Nacht umspannen.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem vorgestellten Konzept der P2P-Vernetzung von Haushalten innerhalb einer Energie-Community

unter Nutzung eines OSGi-basierten Service Management Frameworks wird eine ganzheitliche und sehr leistungsfähige Lösung vorgestellt, um sowohl für einen einzelnen Haushalt als auch ein Cluster von Haushalten Energieoptimierung mit maximalem Nutzen für die Beteiligten zu erreichen (Lastsenkung, Kostenoptimierung etc.). Gleichzeitig werden die Komfort-, Kommunikations-, Test- und Simulationsbedürfnisse der Nutzer berücksichtigt. Dies erfolgt mittels P2P-Vernetzung auf Basis SIP und verteilter Datenhaltung mit DHTs und Chord-Algorithmus. Das beschriebene SMF bietet vorteilhafterweise nicht nur SCE- und SDP-, sondern auch STE-Funktionen. Erste prototypische Realisierungen wurden vorgenommen. Weitere Arbeiten zur Detaillierung der angesprochenen Netz- und Systemkomponenten, zu den Optimierungsalgorithmen, zu den Bereichen Test und Simulation sowie zu Sicherheit und Datenschutz sind noch notwendig.

Das dieser Publikation zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 17018A/B11 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

## 6 Literatur

- [1] Bundesnetzagentur; “Smart Grid” und “Smart Market” – Eckpunktepapier der Bundesnetzagentur zu den Aspekten des sich verändernden Energieversorgungssystems, Bonn, Dezember 2011.
- [2] M. Steinheimer, U. Trick, P. Ruhrig: Energy communities in Smart Markets for optimisation of peer-to-peer interconnected Smart Homes. Proc. CSNDSP 2012, Poznan, July 2012.
- [3] U. Trick, M. Steinheimer, P. Ruhrig, R. Tönjes, D. Hölker: Smart Grid - Integration von Haushalten mittels Vernetzung und Energie-Community. VDE-Kongress 2012 - Smart Grid, Stuttgart, November 2012.
- [4] T. Eichelmann et al., “Discussion on a framework and its service structures for generating JSLEE based value-added services”, Proc. of ITA 2011, pp. 169-176, 2011.
- [5] A. Lehmann et al., “New possibilities for the provision of value-added services in SIP-based peer-to-peer networks”, Proc. of SEIN 2008, pp. 167-176, 2008.
- [6] U. Trick et al., “Herausforderungen an die Kommunikationstechnik im Smart Home/Grid“, VDE/ITG Fachtagung Mobilkommunikation 2012, 2012.
- [7] A. Alves, “OSGi in Depth”, Manning, 2011.
- [8] I. Stoica et al., “Chord: A Scalable Peer-to-peer Lookup Service for Internet Applications”, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 11, Issue 1, pp. 17-32, 2003.
- [9] Humboldt Universität Berlin, FB Informatik: <http://sarwiki.informatik.hu-berlin.de/Chord>
- [10] J. Banks et al., “Discrete-event system simulation.” Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2008.