



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Seminarausarbeitung AW2

Armin Steudte

Demonstrating Demand Side Management

*Fakultät Technik und Informatik
Studiendepartment Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Computer Science*

Armin Steudte

Demonstrating Demand Side Management

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Experimentierumgebung für Micro-Grids und DSM	1
1.2. Gliederung	2
2. Smart Grid Simulation	3
2.1. Smart grid simulation using small-scale pilot installations	3
2.1.1. Projektziele	3
2.1.2. Smart Integration Module	3
2.1.3. Special Control Unit	4
2.1.4. Testnetzaufbau	4
2.1.5. Ergebnisse	5
2.2. HOMER	5
2.2.1. Projektziele	5
2.2.2. Funktionsweise	5
2.2.3. Simulationsergebnisse	6
2.2.4. Bewertung	7
2.3. Greencity	8
2.3.1. Besonderheiten	8
2.3.2. Bewertung	9
3. Projektvergleich und Ausblick	10
3.1. Projektvergleich	10
3.2. Ausblick	11
Anhang	12
A. Abbildungen Pilot-Installations	13
A.1. SIM-Topologie	13
A.2. SCU-Topologie	14
B. Datenmodelle Experimentierumgebung	15

1. Einleitung

Der vermehrte Einsatz von regenerativen Energien führt zu neuen Anforderungen an das bestehende Stromnetz und macht dessen Umbau hin zu einem intelligenten Stromnetz erforderlich.

Durch wachsende Kapazitäten im Bereich der Sonnen- und Windenergie bedarf es einer immer schnelleren Anpassung der Regelleistung an die aktuelle Stromproduktion um Über- und Unterlast vermeiden zu können. **Demand Side Management** (DSM) bzw. **Demand Response** (DR) kann hierbei durch die automatisierte Anpassung des Verbrauchs an die aktuelle Stromproduktion einen wichtigen Beitrag zu einer weiterhin stabilen Stromversorgung leisten.

Zwingende Voraussetzung, um DSM realisieren zu können, ist ein intelligentes Stromnetz. In diesem kommunizieren die Netzteilnehmer miteinander und koordinieren sich auf diese Weise. Zur Entwicklung des bestehenden Netzes zu einem intelligenten Stromnetz, bieten sich **Micro-Grids** an (Farhangi, 2007, S. 23). Diese ermöglichen es, das Stromnetz sukzessiv um Intelligenz zu erweitern, ohne die Netzstabilität zu gefährden. Ausgehend von der Nieder- und Mittelspannungsebene, kann so das bestehende Netz hin zu einem Smart Grid aufgerüstet werden.

1.1. Experimentierumgebung für Micro-Grids und DSM

Zum Entstehungszeitpunkt dieses Berichts existiert weltweit, abgesehen von einzelnen kleinen Testinstallationen (vgl. Stimoniariis u. a. (2011)), kein einsatzbereites Smart- oder Micro-Grid.

Gründe hierfür sind u.a. die hohen Investitionskosten und der große technische Aufwand um schon kleine Bereiche des Stromnetzes aufzurüsten. Daneben fehlen auch Erfahrungswerte über Installationen mit sehr großen Teilnehmerzahlen, wie sie für reale Einsatzszenarien typisch sind. Daher werden die gerade angesprochenen Investitionen, auf Grund des damit verbundenen Risikos, oft gescheut. Simulationen werden hierbei als eine Möglichkeit angesehen dem Smart Grid zum Durchbruch zu verhelfen.

Ziel innerhalb der Seminar- und Projektveranstaltungen des Masterstudiengangs soll die Entwicklung einer Experimentierumgebung sein, um DSM in Micro-Grids untersuchen zu können.

Hierbei liegt der Fokus auf der Schaffung einer Basis, anhand derer Schülern und Studenten die Konzepte von Smart Grids und DSM näher gebracht werden können. Als Ergebnis soll eine Art Serious Game, angelehnt an Sim City, entstehen in dem dieses Wissen spielerisch vermittelt wird.

Folgende Ziele wurden auf vorgenannter Grundlage formuliert:

- P1. Micro-Grid inkl. DSM simulieren

1. Einleitung

P2. Einfluss von DSM erfahrbar machen

P3. Micro-Grids als Weg zum Smart Grid aufzeigen

P4. Funktionsweise von Micro-Grids verdeutlichen

P5. Complex Event Processing (CEP) und eine ereignisgesteuerte Architektur für die Umsetzung nutzen

Zusätzliche Sekundärziele sind hierbei:

S1. Simulation und reale Endgeräte zu verbinden

S2. CEP um Uncertain Events und Predictive Analytics erweitern

S3. Predictive CEP zur Realisierung von DSM evaluieren

1.2. Gliederung

Ausgehend von der Projektvision sollen im Kapitel 2 drei verwandte Arbeiten aus dem Bereich der Smart Grid Simulation vorgestellt werden.

In Kapitel 3 werden die aus der Betrachtung der Arbeiten gewonnen Erkenntnisse zusammengefasst und es wird erläutert in welcher Form sie in die Umsetzung des Projektes einfließen. Abschließend erfolgt ein kurzer Ausblick, der das weitere Vorgehen schildert.

2. Smart Grid Simulation

In diesem Abschnitt werden drei verwandte Arbeiten aus dem Bereich der Simulation von Smart Grids vorgestellt. Hierbei werden kurz die jeweiligen Ziele, die bei der Entwicklung der Projekte im Vordergrund standen, vorgestellt und die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst. Abschließend erfolgt eine Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile der betrachteten Ansätze aus Sicht des im Masterstudium zu realisierenden Projektes.

2.1. Smart grid simulation using small-scale pilot installations

2.1.1. Projektziele

In diesem Projekt wurden zwei Architekturen zur zentralen Steuerung von Micro-Grids untersucht. Für die Durchführung wurde eine Architektur als Pilotnetz realisiert. Die andere sollte in einem Folgeprojekt betrachtet werden. Mit Hilfe dieser Pilotinstallation wurde das Lastverhalten der Architektur untersucht. Am Ende des Projekts wurde eine Architekturempfehlung, zur Realisierung von kleinen und großen Micro-Grid-Installationen -aus elektrotechnischer Sicht- abgeleitet.

2.1.2. Smart Integration Module

Die erste Architektur, welche innerhalb des Projekts beispielhaft implementiert wurde, setzt auf getrennte Stromkreise für Gleich- und Wechselstrom zur leichteren Integration erneuerbarer Energien (vgl. A.1). Die Verbindung zwischen den beiden Stromkreisen wird dabei über ein *Smart Integration Module* (SIM) realisiert, welches die Steuerung des Netzes übernimmt. Weitere Aufgaben des Moduls sind:

- Realisierung der Verbindung zum öffentlichen Stromnetz
- Steuerung von Energiequellen (Windkraftanlagen, Generatoren usw.) sowie -speichern im Gleichstromkreis
- Fungiert als Wechselrichter
- Kommunikation mit anderen Netzen/SIMs
- Steuerung des Lastausgleich zwischen den Stromkreisen
- Entscheidung, ob das Netz im Connected oder Island Mode betrieben wird

SIMs kommunizieren untereinander und teilen sich gegenseitig mit, wie viel elektrische Energie sie benötigen und zur Verfügung stellen können. Die Zusammenarbeit aller SIMs definiert das Verhalten des gesamten Smart Grids.

2.1.3. Special Control Unit

Diese Architektur unterscheidet sich von der vorherigen dadurch, dass sie nur einen Wechselstromkreis nutzt (vgl. A.2). Anstatt eines zentralen SIM, werden in dieser Topologie unterschiedliche Arten von *Special Control Units* (SCU), je nach angeschlossenen Gerät, z.B. Energiespeicher oder -erzeuger, eingesetzt.

Bei einer SCU arbeiten drei Funktionsmodule zusammen:

- Metering Module zur Messung der elektrischen Last des angeschlossenen Geräts
- Communication Module zur Kommunikation mit anderen SCUs
- Smart Module zur Entscheidungsfindung und gemeinschaftlichen Steuerung des Micro-Grids

Durch die ausschließliche Nutzung eines Wechselstromkreises sind Gleichspannungsverbraucher und -produzenten über einen Inverter an den Wechselstromkreis anzuschließen.

2.1.4. Testnetzaufbau

Als Testnetz wurden mehrere Verbraucher und Erzeuger zu einer SIM-Topologie zusammengeschaltet. Dabei wurden folgende Komponenten verwendet:

Verbraucher:

- Kühlschrank (90 Watt)
- 4 Leuchtstoffröhren (144 Watt)
- 12 Lampen (1400 Watt)
- Elektromotor (1000 Watt)

Erzeuger:

- Photovoltaikanlage (2150 Watt)
- 14 FLA Batterien (600 Wh)

Mit Hilfe dieses Netzes wurde das Lastverhalten der SIM-Topologie bezogen auf Spannungsregelung und Leistungsanpassung untersucht.

2.1.5. Ergebnisse

Bei der Beobachtung des Verhaltens des zuvor beschriebenen Testnetzes, kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass durch die Messung der Netzspannung und der -frequenz eine stabile Laststeuerung im *Connected Mode* des Micro-Grids erreicht werden könnte.

Im *Island Mode* führe dieses Verfahren allerdings zu einem ungünstigem Batterieladeverhalten. Übersteigt der Energieverbrauch für eine längere Dauer die Energieproduktion so führe dies letztendlich zur Abschaltung aller elektrischen Verbraucher im Netz.

Diese unerwünschten Effekte seien durch die Nutzung einer SCU-Topologie vermeidbar.

2.2. HOMER

Bei Homer handelt es sich um ein Simulationswerkzeug zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsanalysen. Das Akronym Homer steht hierbei für „Hybrid Optimization Model for Electric Renewables“. Es wird seit 1993 am *National Renewable Energy Laboratory* in Colorado entwickelt und befindet sich seit dem unter ständiger Weiterentwicklung. Verantwortlich für die Entwicklung zeichnen sich P. Lilienthal, T. Lambert und P. Gilman (Lambert u. a., 2006).

2.2.1. Projektziele

Homer unterstützt bei der Durchführung folgender Aufgaben in hybriden *Micropower Systemen* (Givler und Lilienthal, 2005):

- Modellierung
- Simulation
- Evaluierung
- Optimierung

Der Schwerpunkt des Projektes liegt hierbei in der Wirtschaftlichkeitsanalyse und der Optimierung von Netzentwürfen. Als Ergebnis liefert Homer eine Hochrechnung der Kosten über den Lebenszyklus eines Szenarios und macht verschiedene Vorschläge zur Optimierung unter Berücksichtigung von gegebenen Randbedingungen.

2.2.2. Funktionsweise

Im Detail bietet Homer Modelle für die wichtigsten Komponenten eines Stromnetzes an. Das reicht von verschiedenen Kraftwerksarten, sowohl konventionell als auch erneuerbar, bis hin zu Verbrauchern wie z.B. Lampen und anderen Haushaltsgeräten.

Mit Hilfe der Modelle können Entwürfe für zu planende Stromnetze erstellt werden. Im Anschluss können diese Szenarien dann simuliert werden. Hierbei ermöglicht es Homer für die Simulation

verschiedene Randbedingungen, wie z.B. Wind-/Sonnenverhältnisse, die Entwicklung von Kraftstoffpreisen u.v.m. vorzugeben.

Auf Basis der Randbedingungen und unter kostentechnischen Gesichtspunkten werden dann verschiedene Abwandlungen des vorher erstellten Szenarios simuliert. Dabei wird in stündlichen Schritten vorgegangen und jede Abwandlung über eine feste Simulationsdauer von einem Jahr durchgerechnet. Auf Basis dieser Daten erfolgt zum Schluss eine Hochrechnung der Kosten über die gesamte Lebensdauer des Netzes.

2.2.3. Simulationsergebnisse

Zum Beginn einer Simulation wird zunächst über die Benutzeroberfläche ein Szenario konfiguriert. Eine Beispielkonfiguration ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

Das Beispielszenario beinhaltet zwei Energieerzeuger (ein Dieselgenerator und eine Windkraftanlage), einen Batteriepuffer sowie einen Verbraucher mit 85 kWh/d. Zusätzlich werden noch die Randbedingungen, wie z.B. in diesem Fall die geschätzte Preisentwicklung des Kraftstoffpreises, eingestellt.

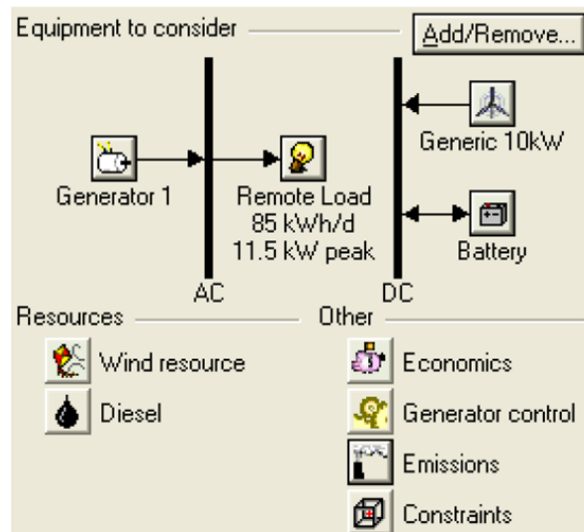


Abbildung 2.1.: Modell eines Beispielszenarios in Homer (Lilienthal u. a., 2005)

Nachdem die Konfiguration abgeschlossen wurde, wird das Szenario simuliert und man erhält einen ähnlichen Optimierungsgraphen wie er in Abbildung 2.2.3 dargestellt ist.

In dem Optimierungsgraphen wird dargestellt, für welche Randbedingung welche Konfiguration des Szenarios am kostengünstigsten ist.

In diesem Beispiel hat die Simulation ergeben, dass z.B. bei einem durchschnittlichen täglichen Verbrauch von 80 kWh/d und einer durchschnittlichen jährlichen Windgeschwindigkeit von 6

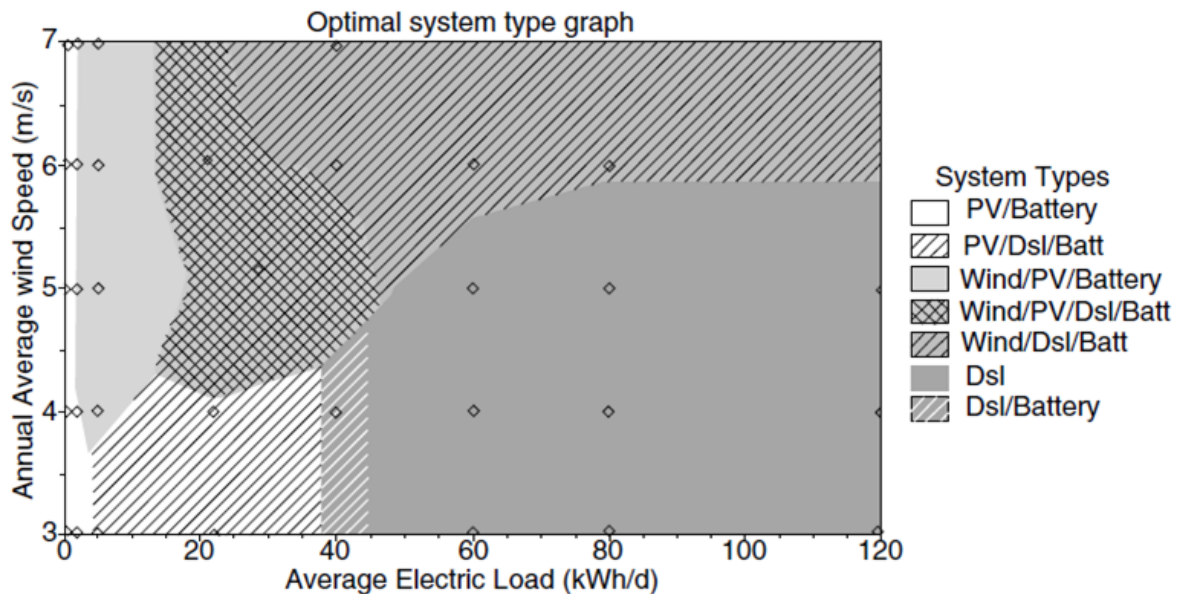


Abbildung 2.2.: Beispiel für das Ergebnis einer Simulation in Homer (Lambert u. a., 2006)

m/s, die Kombination aus einem Dieselgenerator und einem Batteriepuffer bei den eingestellten Randbedingungen (z.B. auch hier Kraftstoffpreise) am kostengünstigsten ist.

Nach der Simulation geht man grundsätzlich wie folgt vor:

Zunächst stellt man sich die Frage, in welche Dimensionen die Parameter des zu planenden Systems fallen. Anhand des Optimierungsgraphen können dann die Simulationsergebnisse ausgewertet werden. Welche als Handlungsempfehlungen für das zu entwickelnde System verstanden werden sollten.

2.2.4. Bewertung

Im Folgenden findet sich zusammengefasst die wesentlichen Vor- und Nachteile des von Homer gewählten Ansatzes im Vergleich zu der in der Ausarbeitung vorgestellten Vision:

- + Unterstützung von Hybrid Systems (erneuerbare und konventionelle Energieträger)
- + Simulation von Micro-Grids möglich
- + Lastkurven zur Beschreibung des elektr. Verhaltens von Komponenten
- Kontrollstrategien und Szenarien fest vorgegeben
- feste Simulationsdauer
- Technische Darstellung bei der Szenariogestaltung

Besonders im Hinblick auf eine interaktive Simulation und das Experimentieren mit Szenarien, weist Homer einige Einschränkungen auf.

Die festen Vorgaben bezogen auf Simulationsdauer, Simulationsschritte sowie Kontrollstrategien sind für den Zweck der Kostenschätzung und -optimierung sinnvoll, machen aber die Integration neuer Strategien und Ansätze unmöglich und schränken die Möglichkeit zu experimentieren stark ein.

Diese Punkte führten dazu, dass man sich gegen die weitere Evaluation und den Einsatz von Homer entschied.

2.3. Greencity

Bei Greencity handelt es sich um einen interaktiven Lernkurs zum Thema erneuerbare Energien aus dem Jahr 2008. In 10 Unterrichtseinheiten soll Schülern der Klassenstufen 8-12 spielerisch Wissen über die Zukunft der Energiegewinnung und Stadtentwicklung vermittelt werden. Der Kurs wurde von der Webseite AlternativeEnergy.com (2008) konzipiert.

2.3.1. Besonderheiten

Greencity wählt einen Serious Game Ansatz zur Wissensvermittlung. Hierzu setzt es auf das Spiel „Sim City Societies“ auf, in welchem für jede Unterrichtseinheit ein Szenario untersucht werden soll. Abbildung 2.3 zeigt dabei beispielhaft die graphische Darstellung der Lerneinheiten.

Die Unterrichtseinheiten bestehen hierzu aus einer Einleitung, der zu untersuchenden Fragestellung und einem im Spiel modellierten Ausgangsszenario. Mit Hilfe des Szenarios können die in der Fragestellung beschriebenen Aufgaben durch die Schüler selbständig und spielerisch gelöst werden. Ein Beispiel für eine Fragestellung könnte sein: „Wieviele Windkraftanlagen benötigt man um alle Kohlekraftwerke ersetzen zu können? Wieviele Tonnen CO_2 ließen sich dadurch jährlich einsparen.“



Abbildung 2.3.: Screenshot einer Lerneinheit aus Greencity (AlternativeEnergy.com, 2008)

2.3.2. Bewertung

Die Gemeinsamkeiten von Greencity und dem in diesem Bericht vorgestellten Projekt liegen vor allem in der Art der Wissensvermittlung. Beide Projekte funktionieren als Serious Game und vermitteln Lerninhalte in Form eines Spiels. Benutzer können sich interaktiv mit den Fragestellungen der Lerneinheiten auseinandersetzen und erhalten, durch die Integration in ein Spiel, hierzu einen zusätzlichen Anreiz.

Greencity betrachtet in seinen Lerneinheiten nur den Bereich der erneuerbaren Energien. Die Themen Demand Side Management und Micro-Grids werden dabei nicht berücksichtigt. Zusammen mit der eingeschränkten Experimentierfreiheit, bedingt durch die für jede Lerneinheit fest vorgegebenen Szenarien, ergeben sich so zwei wesentliche Merkmale zur Abgrenzung.

Abschließend eine Auflistung der Vor- und Nachteile aus Sicht des Masterprojekts:

- + Einsatz von Computerspielen zur Wissensvermittlung
- + Interaktive Lernumgebung
- Keine Betrachtung von Smart / Micro-Grids und Demand Side Management
- Durch vorgegebene Ausgangsszenarien kein freies Experimentieren möglich
- Keine Interaktion mit der realen Welt

	Wirtschaftliche Betrachtung	Demand Side Management	Nutzung von Agenten	Interaktivität	Erweiterbarkeit	Verbindung zur realen Welt
Small-scale Pilot Installations	-	-	-	✓	✓	✓
HOMER	✓	-	-	-	✓	-
Greencity	-	-	-	✓	-	-
Eigene Lösung	-	✓	-	✓	✓	✓

Abbildung 2.4.: Feature Matrix der betrachteten Projekte

3. Projektvergleich und Ausblick

3.1. Projektvergleich

Wie aus der Tabelle in Abbildung 2.4 hervorgeht, stellt die Berücksichtigung von Demand Side Management (DSM) das zentrale Abgrenzungskriterium der im Masterstudium angestrebten Lösung zu den hier betrachteten Projekten dar. Aktuell wird DSM von keinem anderen Projekt unterstützt. Große Unterschiede existieren auch in der technischen Realisierung der Simulationen. Der Großteil der Projekte setzt auf eine rein softwarebasierte Simulation. Beispielfhaft wurde hier das Werk von Lambert u. a. (2006) betrachtet, andere Projekte die in diesem Bericht nicht explizit berücksichtigt wurden sind z.B. diejenigen von Chassin u. a. (2008), Karnouskos und de Holanda (2009) und Bindner u. a. (2004). Als Gegenpol wurde die Simulation mit Hilfe von Pilotinstallationen durch Stimoniariis u. a. (2011) gewählt.

Softwareunterstützte Simulationen haben den Vorteil, dass sie gut skalieren. Sie ermöglichen es mit geringem Ressourceneinsatz realitätsnahe Systeme zu simulieren. Man ist hierbei allerdings auf die Korrektheit und Praxisnähe des zugrundeliegenden Modells angewiesen. Beim Einsatz von Pilotinstallationen erhält man realistische Ergebnisse, ist aber in der Skalierbarkeit sehr eingeschränkt, da man mit real existierenden Ressourcen arbeitet.

Im Masterprojekt sollen beide Ansätze kombiniert werden. Reale Haushalts-/Endgeräte sollen an eine in Software simulierte Welt angebunden werden, um so das Simulationsmodell realistischer zu gestalten. Gleichzeitig erlaubt der Ansatz reale Interaktion mit Endgeräten und es können Phänomene, die sich durch das DSM ergeben, in der realen Welt beobachtet werden.

Aus der Arbeit von Lambert u. a. (2006) wird zusätzlich die Idee übernommen, das elektrische Verhalten von Komponenten mittels Lastkurven zu beschreiben, um so die Komponentenmodelle vereinfachen zu können.

Architektonisch orientiert sich der aktuelle Entwurf des Micro-Grid an der bei Stimoniariis u. a. (2011) vorgestellten SIM-Architektur. Die Architektur des Masterprojektes konzentriert sich jedoch nicht auf die physikalische Struktur des Netzes und die elektrische Anbindung der Teilnehmer, wie es die SIM-Architektur vorsieht. Viel mehr steht hier die Kommunikationsinfrastruktur aus Sicht der Informatik im Vordergrund und die elektrotechnische Sicht wird fürs Erste nicht weiter berücksichtigt. Auf der Netzebene des Micro-Grids realisiert die sogenannte **Central Grid Management Unit** (CGMU) die Steuerung von Angebot und Nachfrage, also das eigentliche DSM. Im Wesentlichen entsprechen die Aufgaben der CGMU denen der in Abschnitt 2.1.2 genannten Aufgaben der SIM

(abgesehen von der Funktion des Wechselrichters).

Um die Verwaltung intelligenter Haushaltsgeräte und Industrieanlagen zu vereinfachen und die dabei entstehende Rechenlast zu verteilen, soll die SIM-Architektur um eine weitere Ebene ergänzt werden. Auf Ebene des Hausnetzes übernimmt eine **Home Grid Management Unit** (HGMU) die Verwaltung der Energieverbraucher und -erzeuger innerhalb eines Haushalts oder Betriebes. Sie regelt das Lastmanagement und kommuniziert mit der CGMU und meldet ihr ggf. zusätzlichen Bedarf an elektrischer Energie oder wie viel Energie der Haushalt dem Netz zur Verfügung stellen kann.

Da auch eine andere Aufgabenverteilung zwischen CGMU und HGMU denkbar wäre, wird die Verteilung Gegenstand weiterer Untersuchungen im Projektverlauf sein.

Ein vorläufiger Architekturentwurf ist im Anhang unter B dem Bericht angefügt.

Die in AlternativeEnergy.com (2008) vorgestellte Idee der Kombination von Computerspiel und Unterrichtskurs zu einem Serious Game wird aufgegriffen, indem im Projektverlauf eine Experimentierumgebung im Stile eines Sim City entwickelt wird. Mit ihrer Hilfe kann das Netz visuell gestaltet und verändert werden. Es ließen sich so, zu AlternativeEnergy.com (2008) vergleichbare, Szenarien für die spätere Verwendung in Lernkursen gestalten.

Geplant ist die Entwicklung der Experimentierumgebung auf Basis des .NET-Frameworks und Microsoft XNA um eine spätere Portierung auf den Microsoft Surface zu ermöglichen. Hierdurch soll der Ansatz aus AlternativeEnergy.com (2008) um das kooperative Experimentieren und Lernen durch mehrere Teilnehmer erweitert werden.

3.2. Ausblick

Innerhalb der Veranstaltung „Projekt 1“ im Sommersemester 2012 wurde eine Simulationsumgebung zur Simulation eines Haushalts mit intelligenten Haushaltsgeräten entwickelt. Diese läuft auf einem Android Tablet und fungiert als ein weiteres kooperatives Lernelement. Zusätzlich wurden die benötigten T-Komponenten zur Kommunikation mit der **Message Oriented Middleware** (MOM) MQTT und ein erster Entwurf des fachlichen Datenmodells erstellt.

Im kommenden Semester soll in der Veranstaltung „Projekt 2“ die Entwicklung des Simulationsumgebung auf Seite von .NET weitergeführt werden. Das Ziel ist es am Ende der Veranstaltung eine grafische Umgebung zu besitzen, die es erlaubt Netzteilnehmer (Haushalte, Kraftwerke, Unternehmen usw.) per Drag and Drop dem Micro-Grid hinzuzufügen und abzumelden. Außerdem sollen sich über die grafische Oberfläche die Attribute der Teilnehme, wie z.B. aktuelle Stromproduktion und -verbrauch, einstellen lassen.

Letztendlich soll so zum Ende von „Projekt 2“ die Grundlage vorhanden sein um mit Hilfe von MQTT und **Complex Event Processing** (CEP) DSM implementieren zu können.

Anhang

A. Abbildungen Pilot-Installations

A.1. SIM-Topologie

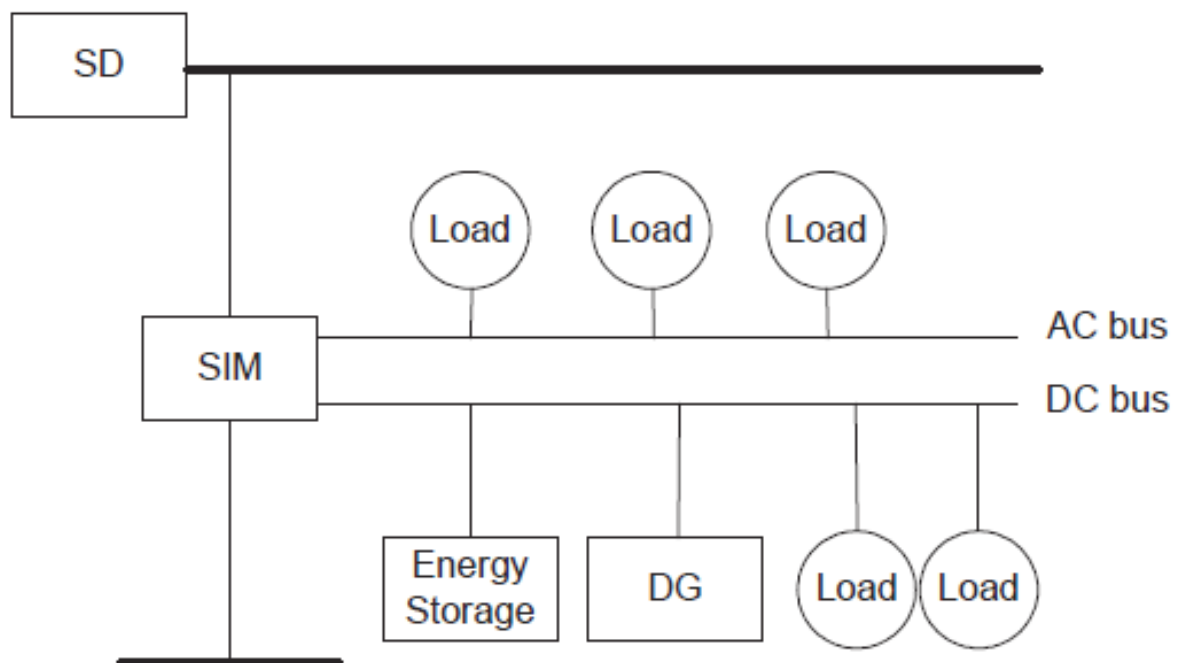


Abbildung A.1.: Erste Netztopologie aus Stimoniaris u. a. (2011)

A.2. SCU-Topologie

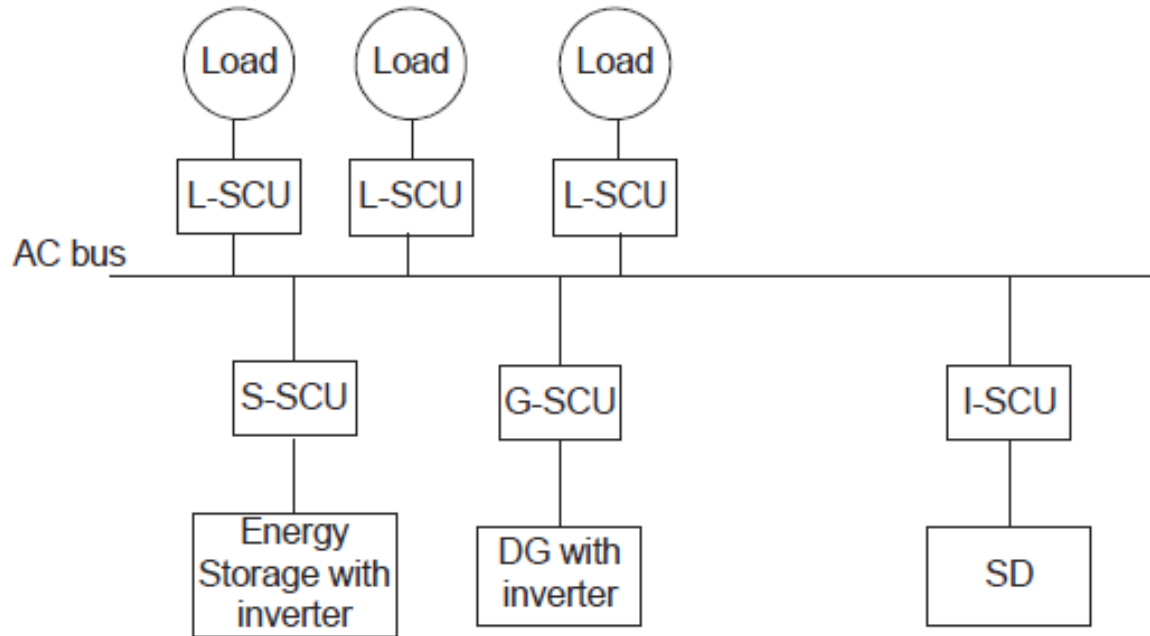


Abbildung A.2.: Zweite Netztopologie aus Stimoniariis u. a. (2011)

B. Datenmodelle Experimentierumgebung

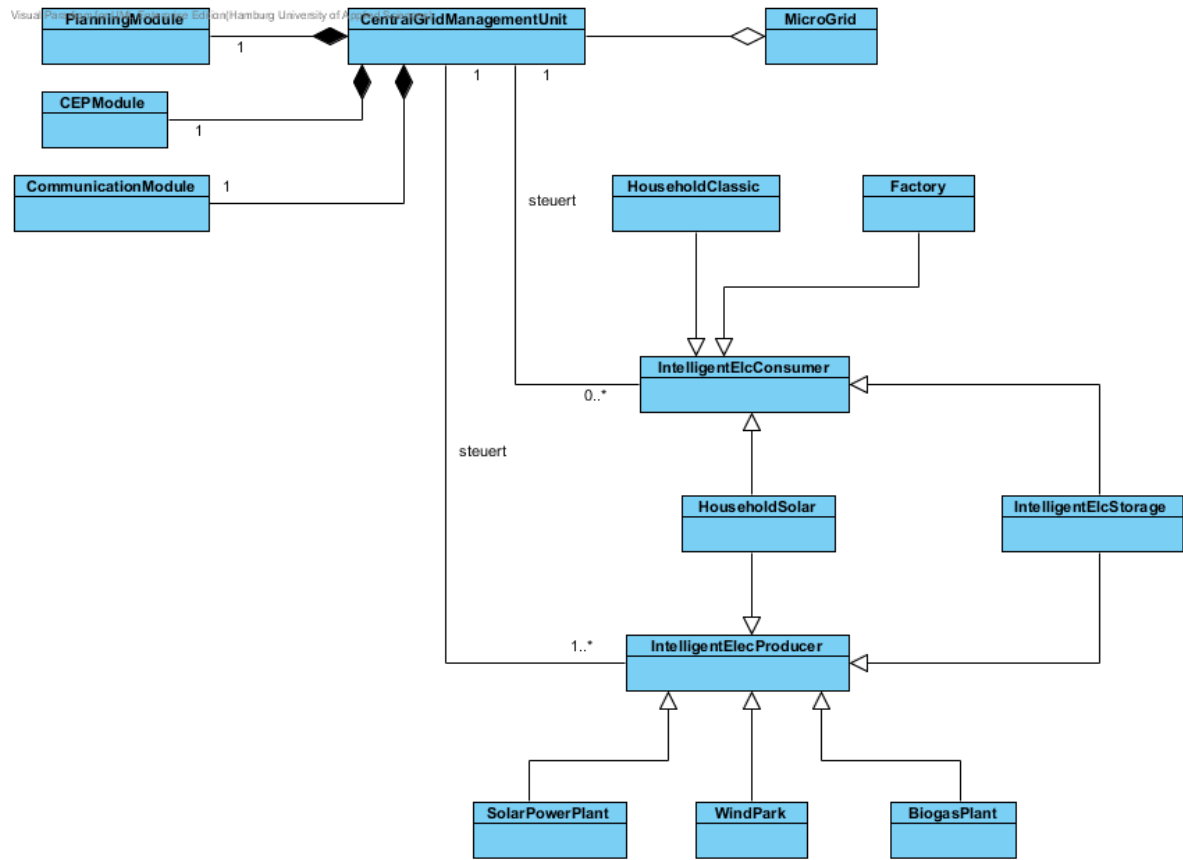


Abbildung B.2.: Datenmodell des Micro-Grids

Literaturverzeichnis

- [AlternativeEnergy.com 2008] ALTERNATIVEENERGY.COM: *Green City*. 2008. – URL <http://alternativeenergycom.ning.com/notes/greencity>. – Datum des letzten Zugriffs: 21.03.2012
- [Bindner u. a. 2004] BINDNER, H. W. ; GEHRKE, O. ; LUNDSAGER, P ; HANSEN, J. C. ; CRONIN, T.: IPSYS – A tool for performance assessment and supervisory controller development of integrated power systems with distributed renewable energy / Risø National Laboratory. URL http://www.risoe.dtu.dk/sitecore/content/Risoe_dk/Home/Research/sustainable_energy/wind_energy/projects/~media/Risoe_dk/Research/IPSYS/Documents/IPSYS_Solar2004Perth_paper.ashx, 2004. – Forschungsbericht
- [Chassin u. a. 2008] CHASSIN, D P. ; SCHNEIDER, K ; GERKENSMEYER, C: GridLAB-D: An open-source power systems modeling and simulation environment. In: *2008 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (2008)*, S. 1–5. – URL <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4517260>
- [Farhangi 2007] FARHANGI, H.: The path of the smart grid. In: *Power and Energy Magazine, IEEE* 8 (2007), Januar, Nr. 1, S. 18–28. – URL <http://dx.doi.org/10.1109/MPE.2009.934876>. – ISSN 1540-7977
- [Givler und Lilienthal 2005] GIVLER, T. ; LILIENTHAL, P.: Using HOMER Software, NREL's Micro-power Optimization Model, to Explore the Role of Gen-sets in Small Solar Power Systems / National Renewable Energy Laboratory. URL <http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/36774.pdf>, 2005. – Forschungsbericht
- [Karnouskos und de Holanda 2009] KARNOUSKOS, Stamatis ; HOLANDA, Thiago N. de: Simulation of a Smart Grid City with Software Agents. In: *European Modelling Symposium (EMS 2009), Athens, Greece, 25-27 November 2009*
- [Lambert u. a. 2006] LAMBERT, T. ; GILMAN, P. ; LILIENTHAL, P.: *Micropower system modeling with HOMER*. Kap. 15, S. 379 – 418, John Wiley & Sons, 2006. – URL <http://www.pspb.org/e21/media/HOMERModelingInformation.pdf>
- [Lilienthal u. a. 2005] LILIENTHAL, P. ; LAMBERT, T. ; GILMAN, P.: *Getting started guide for homer version 2.1*. National Renewable Energy Laboratory (Veranst.), 2005. – URL <https://analysis.nrel.gov/homer/includes/downloads/HOMERGettingStarted210.pdf>

- [Stimoniaris u. a. 2011] STIMONIARIS, D. ; TSIAMITROS, D. ; KOTTAS, T. ; ASIMOPOULOS, N. ; DIALYNAS, E.: Smart grid simulation using small-scale pilot installations. - experimental investigation of a centrally-controlled microgrid. In: *PowerTech, 2011 IEEE Trondheim*, IEEE, 2011, S. 1–6