

Eine Smart Grid Architektur und Umsetzung zwecks Datenanalyse und Leistungsmanagement am Beispiel des Stromnetzes der OTH Regensburg

Susanne Kenner¹ und Raphael Thaler²

Abstract: Smart Grid, Smart Metering, Elektromobilität und Netzregulierung sind Schlagworte der Energiewende. Die Energieversorgung soll intelligenter werden. Vor diesem Hintergrund forscht die Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Regensburg in verschiedenen Projekten innerhalb eines campusweiten Smart Grids. In diesem Beitrag wird eine Software vorgestellt, die im Rahmen eines Forschungsprojekts zur Erfassung, Visualisierung und Analyse von Stromdaten des Smart Grids entwickelt wurde. Die Applikation und Systemarchitektur dienen u.a. als Grundlage für weitere Forschungen im Bereich des automatisierten Leistungsmanagements. Analysen der Energiedaten und Lastspitzen zeigen auf, dass der Energieverbrauch während des Vorlesungsbetriebs höher ist als zu vorlesungsfreien Zeiten. Bei der Untersuchung von regelmäßig auftretenden Lastspitzen wurden Bereiche für ein automatisiertes Leistungsmanagement identifiziert. Es wurde jedoch auch ersichtlich, dass die Infrastruktur der Messgeräte für weitere Analysen erweitert werden muss. Auf der Grundlage einer erweiterten Infrastruktur, können Forschungen in den Bereichen automatisiertes Leistungsmanagement, Anomalieerkennung technischer Geräte und Elektromobilität, insbesondere hinsichtlich der Nutzung erneuerbarer Energien in einem Smart Grid, erfolgen.

Keywords: Smart Grid, Energie- und Leistungsmanagement, Data Monitoring

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der Minimierung ökologischer und gesellschaftlicher Probleme im Zuge der Energiewende ist neben dem Übergang von fossilen Energieträgern und der Kernenergie hin zu erneuerbaren Energien insbesondere auch der Bedarf an intelligenten Stromnetzen, sogenannten Smart Grids, gestiegen [Le15]. In solchen Netzen muss die Optimierung und Überwachung der Energielandschaft durch die kommunikative Vernetzung und Steuerung von Netzbetriebsmitteln (Stromerzeugern/-verbrauchern) in Energieübertragungs- und verteilungsnetze ermöglicht werden [In13].

Durch die Aufstellung relevanter Konzepte und Komponenten, die dazu geeignet sind regulierend in den Energiehaushaltsplan einzugreifen, kann das Potential eines Smart Grids verbessert werden [CWS07]. Abweichend von der bisherigen nachfrageorientierten Versorgung sind in der heutigen Zeit eher Mechanismen gefragt, die den Bedarf an das Angebot der Einspeisung erneuerbarer Energien in diese Netze angleichen. Die Anforderung der Bildung eines effizienten, dezentralisierten Energiesystems durch Integration von In-

¹ OTH Regensburg, Fakultät IM, Universitätsstr. 31, 93053 Regensburg, susanne.kenner@st.oth-regensburg.de

² OTH Regensburg, Fakultät IM, Universitätsstr. 31, 93053 Regensburg, raphael.thaler@st.oth-regensburg.de

formations- und Kommunikationstechnologien muss durch die Verschiebung gerade nicht benötigter Energievorräte nachgekommen werden. Durch die Verschiebung elektrischer Lasten kann die Spitzenlast reduziert werden und somit ein wichtiger Beitrag zur Reduktion von CO_2 -Emissionen und der Erfüllung der Klimaschutzziele geleistet werden. Von zentraler Bedeutung ist daher die Erkennung solcher „verschiebbaren“ Lasten oder Lastspitzen in einer Energielandschaft. Durch Analysen der bestehenden Datenbasis lässt sich ihr Energiebedarf speziell ermitteln und diskreten Zeiträumen zuordnen. Auf Basis der gesammelten Ergebnisse können Regelalgorithmen für ein automatisiertes Leistungsmanagement entwickelt werden, um die identifizierten Lastspitzen auszugleichen [Pa13].

In diesem Beitrag beschreiben wir ein System zur Datenakquirierung und -speicherung und dessen Architektur am Beispiel des Smart Grids der OTH Regensburg. Ziel des Projektes ist es eine einfache Analysemöglichkeit bereit zu stellen, um zukünftig Lastspitzen zu identifizieren und diese durch ein Leistungsmanagement auszugleichen. In Abschnitt 2 wird auf die Hintergründe der Entstehung des Projektes eingegangen. Anschließend werden in Abschnitt 3 verwandte Projekte aufgeführt. Abschnitt 4 beschreibt die entstandene Softwarelösung, Architektur, Funktionalität und Analyseergebnisse. Abschnitt 5 evaluiert Ergebnisse und es folgt ein Ausblick auf zukünftige Forschungsschwerpunkte.

2 Motivation

Mit dem Ziel der kommunikativen Vernetzung und der Steuerung von Betriebsmitteln forscht die OTH Regensburg seit einigen Jahren im Bereich Smart Grid. In diesem Rahmen wurden u.a. Mobilfunktechnologien auf ihre Eignung zur Datenakquirierung im Hinblick auf Übertragungsrate, Latenz, Sicherheit und Verlässlichkeit getestet [Ze13], [Sc14]. Die OTH Regensburg bedient sich für ihre Forschung eines breiten Spektrums an Messgeräten, die campusweit in das Stromnetz integriert sind. Im Regensburger Center of Energy and Resources (RCER), Forschungscluster Robotik, Algorithmen, Kommunikationsnetze und Smart Grid (RAKS) und dem IT- Anwenderzentrum sind unter anderem die Elektromobilität, Energieeffizienz und Energie- und Kommunikationsnetze bezüglich Smart Grid von besonderem Interesse. Zusammen mit der Fakultät Elektro- und Informationstechnik (EI) wird ein Forschungsprojekt zum Leistungsmanagement des Stromnetzes der OTH Regensburg durchgeführt. In diesem Projekt umfasst unser Arbeitspaket die Kommunikation, Bereitstellung und Visualisierung der Daten des Smart Grids.

Um eine Übersicht der Energielandschaft der Hochschule Regensburg zu generieren, wurde der sogenannte „Smart Energy Campus“ ins Leben gerufen, der sich die bestehende Gebäudeinfrastruktur zu Nutze macht und so eine hochauflösende Transparenz bietet. Hierbei handelt es sich um eine von Studenten kontinuierlich weiterentwickelte Softwarelösung in Java, die Messdaten vieler Messgeräte (im Folgenden auch Smart Meter genannt) über eine Modbus-TCP Verbindung bis zu einer sekundlichen Auflösung erfasst und in einer Apache Cassandra Datenbank speichert. Auf dieser bereits vorhandenen Softwarelösung wurde das System in diesem Projekt um Funktionalitäten erweitert und um eine Analysesoftware ergänzt. Zudem wurde eine Geräte- und Benutzerverwaltung aufgesetzt, die die Administration der eingesetzten Geräte gestattet. Die Analyse der Daten wird durch

eine Weboberfläche realisiert, die zum einen eine Topologieansicht der Hochschule bietet und zum anderen aber auch ausgewählte Daten einzelner Messstationen in diversen Diagrammen darstellen kann. Somit wird es Studenten ermöglicht sich bei ihren Projekten und dem Übungsbetrieb auf tatsächliche Daten zu beziehen. Von besonderem Interesse für diese Parteien ist die sekundliche Skalierung der Messdaten, da gerade diese ausschlaggebend für ihre Forschung sind. Die Projektbeteiligten der Fakultät EI analysieren das Smart Grid und ermitteln Leistungsmanagementpotenziale. Durch die vorgestellte Software ist es möglich die Daten des Stromnetzes zu analysieren und Lastspitzen zu identifizieren.

3 Verwandte Projekte

Erste Schritte bezüglich leistungsorientierter Eingriffe in ein Smart Grid wurden bereits durch die Einführung regulierender Systeme in kleineren Testenergielandschaften durchgeführt [Ba08]. Ebenso wurden Systeme getestet, die unter Einbezug der erneuerbaren Energien versuchen, Energie genau dort im verteilten System zugänglich zu machen wo diese benötigt wird [CWS07]. Um eine vorübergehende Speicherung und Verteilung der Energie zu gewährleisten kommen Batterien und Akkumulatoren zum Einsatz [Pa13], [Zh11]. Ein Beispiel wie zukünftig mittels intelligenter Ladeinfrastruktur und innovativen Steuerungs- und Kommunikationskonzepten im Bereich Elektromobilität Energie gespart werden kann stellt das Projekt E-Wald dar [Sp15].

Mit der Netzvisualisierungssoftware GridVis wird aktuell von Seiten des Technischen Betriebs (TB) auf die Messgeräte zugegriffen. Frei definierbare Topologieansichten erlauben eine Übersicht der Verteilung des elektrischen Netzes, wobei die zeitliche Synchronisation aller Geräte über einen NTP-Server erfolgt. Die Benutzerverwaltung regelt mittels definierbarer Projekte und Rollen die erlaubten Zugriffe involvierter Parteien. Generell ist die Software für Janitza-Geräte optimiert, für die alle Geräte bereits vollständig parametrisiert adressiert werden können. Fremdgeräte können als virtuelle Geräte über das *generic Modbus Protokoll* eingebunden werden. Bei derartigen Geräten können lediglich aggregierte Minutenwerte gespeichert werden. Somit entfallen die für die Forschung interessanten Sekundenwerte. GridVis speichert die Werte abhängig von der erworbenen Lizenz in einer relationalen Datenbank. Zur Anzeige von Daten muss zwischen Online-Daten (Momentanwerte) und historischen Daten (aufgezeichnet) unterschieden werden. Erfasste Daten können über die REST-Schnittstelle (Representational state transfer) abgefragt werden [Br14].

4 Energy Campus OTH Regensburg

Das Smart Grid der OTH besteht derzeit aus ca. 35 Smart Metern, die Daten aus dem Stromnetz zur Verfügung stellen. Neben den Haupttransformatoren und markanten Punkten mit großen Verbrauchern wird auch die erzeugte Energie einer Photovoltaikanlage erfasst. Zu Forschungszwecken erfolgt das Auslesen der Messgeräte sowie die Darstellung der Daten mittels eigener Implementierungen. Die ursprüngliche Architektur zeigt Abb. 1 und wird in Abschnitt 4.1 detaillierter erläutert. In Abschnitt 4.2 wird der während des

Projekts durchgeführte Architekturumbau und die zukünftige Zielarchitektur beschrieben. Mittels einer Weboberfläche (Abschnitt 4.3) wurden Analysen des Smart Grids durchgeführt (Abschnitt 4.4).

4.1 Ausgangsarchitektur

Hardware: Abb. 1 zeigt die in drei Hauptbereiche aufgeteilte Gesamtarchitektur des Smart Energy Campus. Jeder Bereich wird durch einen virtuellen Server mit Windows Server Betriebssystem repräsentiert. In das Stromnetz der OTH Regensburg wurden bereits in früheren Projekten, in Zusammenarbeit mit dem TB, Smart Meter der Firmen Siemens (Siemens PAC4200) [Si10] und Janitza (UMG96RM) [Ja15] eingebaut und über Ethernet mit dem IT-Netzwerk der Hochschule verbunden. Beide Gerätetypen bieten Modbus over TCP/IP als Kommunikationsprotokoll an, über welches verschiedene Messdaten erfasst und gespeichert werden. Das kleinste Ausleseintervall beträgt dabei 200 ms.

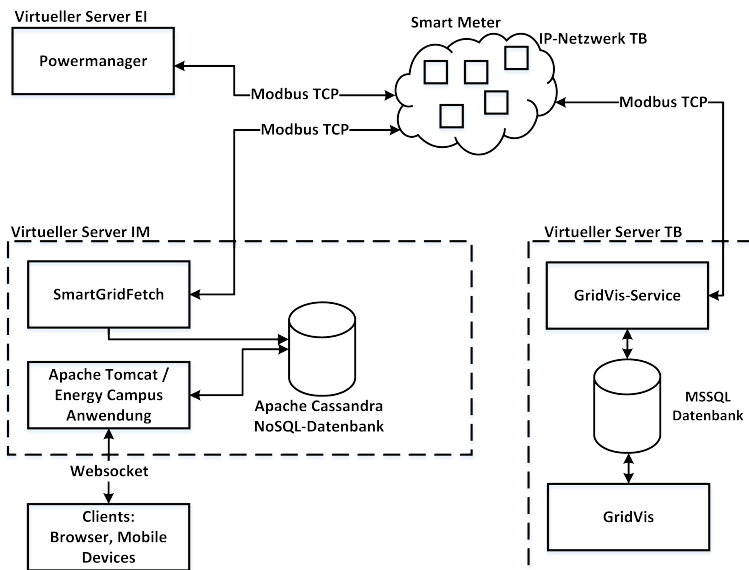


Abb. 1: Ausgangsarchitektur

Software: Wie in Abb. 1 ersichtlich, arbeiten die Fakultät EI und der TB mit kommerziellen Produkten. Die Applikation Siemens-Powermanager wird in der Fakultät EI im Vorlesungsbetrieb genutzt, während der TB auf die Software GridVis der Firma Janitza setzt. Beide Applikationen greifen über Modbus TCP/IP auf die Smart Meter zu und speichern die erfassten Daten in relationalen Datenbanken. Der Siemens-Powermanager bietet viele Möglichkeiten zur Visualisierung der Daten, jedoch zeigen sich Schwächen bei dem Auslesen von Messgeräten anderer Hersteller und bezüglich des Exports von Daten. Für den TB ist insbesondere die Möglichkeit der Generierung von Kostenreports von Bedeutung. Durch die bereitgestellte Topologieansicht bietet GridVis einen guten Überblick über die Messgeräteslandschaft und dient der Kostenkontrolle. Beide Systeme können sekundliche

Messwerte auslesen, diese aber nicht in den Datenbanken speichern, was jedoch gerade zu Forschungszwecken interessant ist.

Um größtmögliche Unabhängigkeit von kommerziellen Softwarelösungen zu garantieren und Schwächen dieser auszugleichen wurden eigene Lösungen implementiert, die auf einen Forschungsbetrieb in einem Smart Grid ausgerichtet sind. Auf einem Server der Fakultät Informatik und Mathematik (IM) kommt die Eigenimplementierung zum Einsatz. Diese besteht im Wesentlichen aus der Java-Applikation SmartGridFetch, welche Messdaten über das Modbus Protokoll ausliest und in einer Apache Cassandra Datenbank speichert. Dieses Erfassungssystem wurde bereits in einem früheren Projekt umgesetzt. Bei der Cassandra Datenbank handelt es sich um eine nicht relationale NoSQL (not only SQL) Datenbank. Cassandra bietet ein flexibles Datenbankschema, welches sich bei der Änderung der Infrastruktur beliebig anpassen lässt. Cassandra bietet darüber hinaus einfache Mechanismen zur horizontalen Skalierbarkeit. Im Gegensatz zu den meisten relationalen Datenbanken, welche vertikal skalieren, kann bei ansteigender Datenmenge die NoSQL Datenbank beliebig durch hinzufügen weiterer Serverknoten erweitert werden. Dies ist in einem Smart Grid aufgrund des hohen Datenaufkommens von Vorteil [Ar10], [NPP13]. Zur Visualisierung und Analyse der Messdaten dient die Webapplikation Energy Campus, welche in 4.3 näher erläutert wird.

4.2 Zielarchitektur

Aufgrund der wachsenden Anzahl an Projekten und Applikationen im Smart Grid der OTH Regensburg kommt es u.a. zu Zugriffskonflikten auf die Smart Meter. Tests zeigten, dass die Siemens PAC4200 maximal zwei gleichzeitige TCP/IP-Verbindungen eingehen können. Die zu Beginn des Projekts geplanten Gerätezugriffe waren schnell ausgelastet, wodurch sich Datenverluste in allen Systemen zeigten. Dieser Umstand und IT-Sicherheitsrelevante Überlegungen führten zu einem Architekturumbau. Abb. 2 zeigt die geplante Zielarchitektur, die größtenteils bereits umgesetzt wurde. Die Zugriffe auf die Smart Meter werden zukünftig durch eine zentrale Ausleseinstanz entkoppelt. Aus Sicherheitsgründen befinden sich alle Geräte in einem abgeschotteten IP-Netz des TB. Nur die Software GridVis des TB hat Zugriff auf die Smart Meter. Somit dient GridVis als zentrale Datensammelstelle, über deren REST-Schnittstelle die abgerufenen Daten weiteren Projektbeteiligten und Applikationen zur Verfügung gestellt werden. Die Applikation GridVisFetch ruft die Daten sekundlich und in einem Intervall von 15 Minuten ab und speichert diese in der bestehenden Apache Cassandra Datenbank. Von dort aus werden weitere Systeme bedient. Im Hinblick auf ein Leistungsmanagement und Echtzeitmonitoring sind sekundliche Abfragen von Bedeutung. Hier ist noch zu prüfen, ob dies bei einer größeren Messgerätelandschaft effizient über die REST-Schnittstelle erfolgen kann. Um Mehrfachzugriffen auf die Smart Meter vorzubeugen soll der Powermanager in Zukunft über virtuelle Geräte versorgt werden. Dies wurde jedoch noch nicht im Rahmen dieses Projektes umgesetzt. Aufgrund der Netzabschottung der Smart Meter, wurde eine Testumgebung aufgesetzt, in der ebenfalls ins Stromnetz integrierte Geräte verschiedener Hersteller zu Forschungszwecken zur Verfügung stehen. Während die Hoheit und Administration der Geräte beim TB liegt, können dennoch weitere Beteiligte das Smart Grid der

OTH Regensburg erforschen und analysieren. Ein zusätzlicher Vorteil der Zielarchitektur ergibt sich aus den bereits in der Software GridVis eingebundenen Wasser- und Heizungsmessgeräten, deren Werte ebenfalls über die REST-Schnittstelle zur Verfügung gestellt werden können.

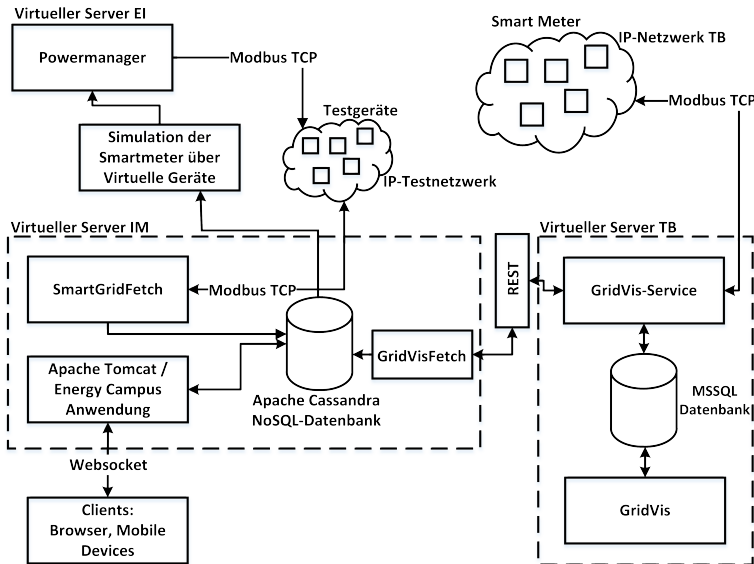


Abb. 2: Zielarchitektur

4.3 Weboberfläche

Die Weboberfläche dient der Darstellung und Analyse der erfassten Messdaten und wurde in HTML5 und JavaScript realisiert. Somit ist ein plattformunabhängiger Zugang verschiedener Clients möglich. Der Client kommuniziert über Websockets mit einer Serverapplikation, die auf einem Apache Tomcat 8 Applikationsserver als Middleware zum Einsatz kommt. Die Serverapplikation bildet die Persistenzschicht auf die Datenbank ab und führt notwendige Berechnungen durch. Mittels Websockets ist eine sessionbehaftete bidirektionale Kommunikation zwischen Client und Server möglich [PN12], [We11]. In unserem Projekt wird dies zur Darstellung von Echtzeitdaten und Senden von Push-Notifications (Warnmeldungen) genutzt. Im Hinblick auf ein automatisiertes Eingreifen in das Stromnetz bietet diese Technologie aufgrund der geringen Latenzzeiten zusätzlich Vorteile.

Die Weboberfläche besteht aus den vier Bereichen Dashboard (Abb.3), Analyse, Map und Geräte- und Nutzerverwaltung. Auf dem Dashboard werden Echtzeitdaten zum Stromverbrauch sowie zur Stromerzeugung angezeigt. Im Analysebereich ermöglichen auf die Forschung ausgerichtete Diagramme die Identifizierung von Lastspitzen sowie deren zeitliche Lage. Es können sowohl die Verbrauchsdaten einzelner als auch der direkte Vergleich der Daten mehrerer Messgeräte dargestellt werden. Diagramme bezüglich der Datendichte

einzelner Messgeräte können generiert werden. Die Datendichte beschreibt den Prozentsatz der Menge der tatsächlich vorhandenen gegenüber der erwarteten Daten innerhalb eines Zeitraums. Aufgrund der oben erwähnten Zugriffskonflikte und gelegentlichen Wartungsarbeiten an den Servern, kommt es dazu, dass Daten nicht kontinuierlich abgerufen werden können. Durch die Datendichte, kann der Prozentsatz an vorhandenen Daten Aufschluss über die Aussagekraft der Analysen geben. Die Daten aller Diagramme können ins CSV-Format (Comma-separated values) exportiert und in entsprechenden Anwendungen weiterverarbeitet werden. Hierdurch kann der Nutzer noch fehlende Analysefunktionalitäten ausgleichen und die Daten frei bearbeiten. Dies bietet dem Nutzer einen Vorteil, da er im Gegensatz zu kommerziellen Produkten nicht von der Software abhängig und auf deren Funktionalität beschränkt ist. Während der Analysebereich eine Sicht auf die Smart

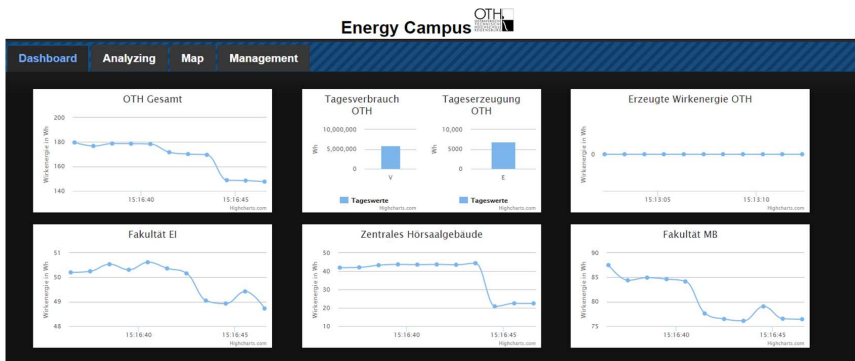


Abb. 3: Dashboard

Meter laut Netzplan gewährt, zeigt der Map-Bereich eine weitere Topologieansicht, in der alle Smart Meter bezüglich ihres Messstandorts in einer Kartenansicht dargestellt werden. Hier können unterschiedliche Messwerte in einem Diagramm verglichen werden, um z.B. Abhängigkeiten der Messwerte untereinander zu erkennen. Der letzte Bereich stellt eine einfache Geräte- und Nutzerverwaltung dar.

4.4 Analyseergebnisse

Bereits Mitte 2013 begann die Datenerfassung des Smart Grids prototypisch. Durch Softwarefehler und Zugriffskonflikte der unterschiedlichen Forschungsbeteiligten schwankte die Datendichte der erfassten Daten erheblich. Erst durch den kontinuierlichen Ausbau der Software und dem Beseitigen der Zugriffskonflikte kann durchgängig eine Datendichte von 98-100% erreicht werden. Die geringen Datenverluste entstehen durch Wartungsarbeiten an den Servern, die meist zu Nachtzeiten erfolgen. Um Aussagen über Einsparpotentiale hinsichtlich eines Leistungsmanagements zu treffen sind umfangreiche Analysen der derzeitigen Situation im Stromnetz der OTH Regensburg nötig. Folgende Punkte beschreiben Analysen und geben eine Übersicht über die Funktionalität der implementierten Software. Aus datenschutzrechtlichen Gründen wurden die Absolutwerte der Analysedaten verändert bzw. anonymisiert, das Verhältnis bei Vergleichen wurde jedoch beibehalten.

Verbrauchsanalyse: Für einen allgemeinen Überblick wurde zunächst der Energieverbrauch der OTH Regensburg evaluiert. Ausgehend von den Haupttransformatoren der verschiedenen Gebäude haben wir die Analyse auf einzelne Messgeräte ausgeweitet. Es zeigt sich, dass der Bereich EI mit 46% den prozentual größten Verbraucher darstellt. Gefolgt von Maschinenbau (MB) mit 33% und dem Zentralen Hörsaalgebäude (ZG) mit 21%, in dem die Mensa und Bibliothek erfasst werden. In den Bereichen EI und MB befinden sich verhältnismäßig viele technische Labore sowie ein Reinraumlabor in dem die Temperatur und Luftfeuchtigkeit konstant gehalten werden muss, wodurch der Stromverbrauch sehr hoch ist. Bei den Analysen ist wie erwartet zu beobachten, dass der Gesamtverbrauch der

Bereich	Vorlesungsfreie Zeit	Vorlesungsbetrieb
EI	69,4%	100%
MB	69,9%	100%
ZG	56,8%	100%

Tab. 1: Vergleich des Stromverbrauchs zwischen vorlesungsfreier Zeit und Vorlesungsbetrieb in %

OTH Regensburg in den vorlesungsfreien Monaten (August-September 2014) deutlich geringer ist als während des Vorlesungsbetriebs (Oktober-November 2014). Tabelle 1 zeigt den prozentualen Unterschied der drei Bereiche EI, MB und ZG. Im Bereich ZG ist der stärkste Anstieg zu beobachten. Hier ist ersichtlich, dass mit Semesterbeginn die vermehrte Nutzung von Bibliothek und Mensa eine große Auswirkung auf den Verbrauch hat. In den Bereichen EI und MB steigt der Verbrauch ebenfalls, jedoch im Vergleich zum Bereich ZG etwas geringer, an. Dies lässt darauf schließen, dass die große Anzahl an technischen Einrichtungen sowie das Reinraumlabor eine hohe Grundlast erzeugen.

Lastspitzenanalyse: Automatisierte Lastspitzensenkung ist ein zentrales Thema dieses Projekts. Um dies zu realisieren müssen zunächst die Lastspitzen und mögliche Regelmäßigkeiten im Smart Grid der OTH identifiziert werden. Ausgehend von den größten Posten der Verbrauchsanalyse wurden hierarchisch weitere Geräte untersucht. Dabei wurden der Betrag der Wirkenergie sowie das zeitliche Auftreten der Lastspitzen analysiert.

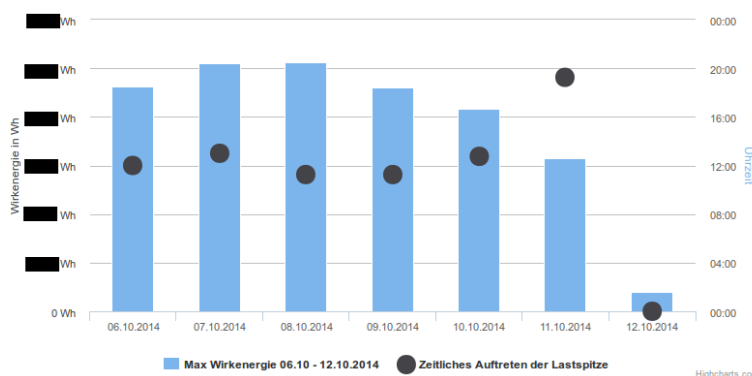


Abb. 4: Zeitliche Lage der Lastspitzen der Mensa

Abb. 4 zeigt einen Ausschnitt aus der Analyse der Mensadaten. Das Diagramm veranschaulicht die zeitliche Lage der täglich aufgetretenen maximalen Lastspitzen einer Woche

im Oktober 2014. Der Betrag der Lastspitzen ist als Balkendiagramm auf der Primärachse und deren zeitliche Lage auf der Sekundärachse dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Lastspitzen meist zur Mittagszeit vorkommen. Deutliche Abweichungen zeichnen sich an Wochenendtagen ab, an denen wenig bis gar kein Betrieb herrscht und somit die Lastspitze von der Grundlast der kontinuierlichen Verbraucher abhängt. Bei Lastspitzenanalysen von weiteren Bereichen bzw. Messgeräten waren keine derart eindeutigen Regelmäßigkeiten im Bezug auf deren zeitliches Auftreten erkennbar. Die Infrastruktur der Smart Meter muss weiter ausgebaut werden, um detailliertere Analysen durchzuführen und nachfolgende Projekte voranzutreiben. Die folgenden Analysen zeigen Beispiele, welche Möglichkeiten die Software bietet. Nach einer Erweiterung der Messinfrastruktur können solche Analysen Aufschluss für ein Leistungsmanagement geben.

Analysen am Beispiel der Stromdaten von Aufzügen: Im Folgenden werden Analysen am Beispiel der Stromdaten von Aufzügen dargestellt. Abb. 5 zeigt eine typische Woche zur vorlesungsfreien Zeit und Abb. 6 während des Vorlesungsbetriebs. Die Diagramme stellen die zu 15-Minutenwerten gemittelten Energiedaten in kWh dar. Im Vergleich beider Diagramme ist ersichtlich, dass zur vorlesungsfreien Zeit der Datenverlauf sowie die Lastspitzen unregelmäßiger auftreten. Während des Vorlesungsbetriebs treten die Lastspitzen zu Beginn des Tages auf. Vergleicht man die Daten mit den Stundenplänen des untersuchten Gebäudes, so steigt der Energieverbrauch der Aufzüge bis auf wenige Ausnahmen proportional zu den gehaltenen Vorlesungen. Lastspitzensenkung könnte hier durch die zeitliche Verlegung von Vorlesungen (Stichpunkt: „energieeffiziente Stundenpläne“) oder durch die Verlegung der Vorlesungen in das Erdgeschoss erreicht werden.

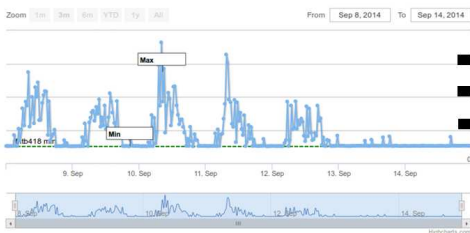


Abb. 5: Lastspitzen Aufzüge vorlesungsfreie Zeit



Abb. 6: Lastspitzen Aufzüge Vorlesungszeit

Analyse der erzeugten Solarenergie: Aussagen über die Solaranlage des Smart Grids der OTH Regensburg können ebenfalls getroffen werden. Abb. 7 zeigt für die Monate August 2014 bis Oktober 2014 den Betrag der erzeugten Solarenergie in kWh und vergleicht diese mit den erfassten Sonnenstunden des Deutschen Wetterdienstes, die auf der rechten Sekundärachse eingetragen sind. Aus dem Diagramm geht hervor, dass sich die erzeugte Energie in etwa proportional zu den Sonnenstunden verhält.

An der OTH Regensburg gibt es Forschungen im Bereich der Elektromobilität. Zu diesem Zweck wurde eine Ladestation für Elektrofahrzeuge in die Energielandschaft des Smart Grids integriert. Mit Hilfe der erfassten Stromdaten können Analysen zu den Projekten in diesem Bereich erfolgen. Abb. 8 zeigt ein Beispiel, wie die Analysesoftware zu diesem Zweck genutzt werden kann. Diese zeigt eine Gegenüberstellung des Verbrauchs der

Ladestation und der erzeugten Energie der Solaranlage in kWh. Integriert man die erzeugte Solarenergie in ein Leistungsmanagement so können in Zukunft anhand solcher Diagramme die entwickelten Algorithmen zur effizienten Nutzung der Solarenergie überprüft werden.

Vergleich erzeugter Solarenergie mit monatlich aufgetretenen Sonnenstunden

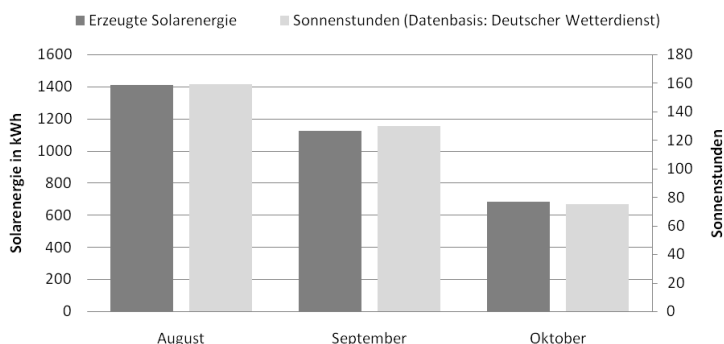


Abb. 7: Vergleich der erzeugten Solarenergie mit den monatlich aufgetretenen Sonnenstunden

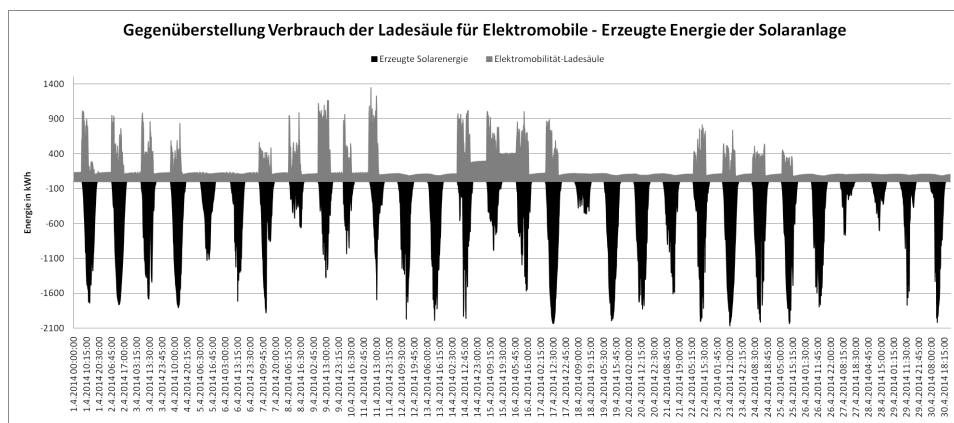


Abb. 8: Analyse der erzeugten Solarenergie und des Verbrauchs einer Ladesäule für Elektromobile

5 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde die Smart Grid Basisarchitektur der OTH Regensburg sowie die Zielarchitektur vorgestellt. Zur Erfassung, Visualisierung und Analyse der Netzdaten wurde eine Software implementiert und in die Systemarchitektur integriert. Die vorgestellte Applikation bildet die Grundlage zur Analyse der Energielandschaft der OTH Regensburg. Die Analysen in Abschnitt 4.4 zeigen einen Ausschnitt aus dem Smart Grid der

OTH Regensburg und verschaffen einen Überblick über den Energieverbrauch. Aus den Analysen der Lastspitzen geht hervor, dass in wenigen Bereichen Regelmäßigkeiten zu erkennen sind. Auf der Grundlage dieser regelmäßig auftretenden Lastspitzen müssen Algorithmen zur automatisierten Lastspitzensenkung erarbeitet werden, um den Energiebedarf zu senken. Abb. 8 stellt ein Beispiel dar, wie erneuerbare Energien zum Laden von Elektrofahrzeugen genutzt werden können. Weitere Forschungen im Bereich Elektromobilität und das Einbinden von volatilen Energieerzeugern in ein bestehendes Stromnetz werden durch die Analysesoftware erleichtert. Ein weiterer Forschungsansatz ergibt sich exemplarisch aus den Analysen der Energieverbrauchswerte von Aufzügen. Aus den Daten kann die Benutzungshäufigkeit bestimmt werden. Somit lässt sich unter der Betrachtung viertelstündlicher Werte beispielsweise der Zeitpunkt von Vorlesungen erkennen. Durch die Senkung des Intervalls auf Minuten- oder sogar Sekundenwerte wären genauere Analysen zur aktuellen Traglast möglich. Die Betrachtung der Spannungswerte einzelner Verbraucher könnte Aufschluss über das Verhalten bei auftretenden Anomalien geben. Hierdurch ist ein Eingreifen vor Eintreten von technischen Defekten möglich.

Zwar erlaubt die Softwarelösung die Erkennung und Einordnung von Lastspitzen zu den jeweiligen Messstellen, um jedoch automatisiert regulierend in das System einzugreifen, muss die Infrastruktur der Messgeräte erweitert werden. Derzeit ist die Granularität der vorhandenen Smart Meter für dieses Szenario zu gering. Unter der Voraussetzung eines detaillierten Netzplans und der zusätzlich eingesetzten Messgeräte könnte man beispielsweise über WLAN-Switches oder Raspberry Pis nicht benötigte Verbraucher automatisch zu identifizierten Zeiten vom Stromnetz trennen und somit Energie sparen. Die Software könnte demnach um Regelalgorithmen zur Fernsteuerung von Verbrauchern erweitert werden. Im weiteren Projektverlauf muss noch geprüft werden, ob die Architektur aus Abschnitt 2 für Echtzeitmonitoring und ein Leistungsmanagement im Hinblick auf die Performanz der REST-Schnittstelle in einer größeren Messgerätelandschaft geeignet ist.

Danksagung

Die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse sind im Rahmen von Projekten an der OTH Regensburg entstanden und wurden durch das Regensburg Center of Energy and Resources (RCER) und dem Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO) unterstützt. Wir bedanken uns an dieser Stelle auch bei den Projektleitern und Betreuern unserer Arbeiten, Markus Kucera, Klaus Volbert und Thomas Waas.

Literaturverzeichnis

- [Ar10] Arenas-Martinez, M.; Herrero-Lopez, S.; Sanchez, A.; Williams, J. R.; Roth, P.; Hofmann, P.; Zeier, A.: A comparative study of data storage and processing architectures for the smart grid. In: Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference on. IEEE, S. 285–290, 2010.
- [Ba08] Barklund, E.; Pogaku, N.; Prodanovic, M.; Hernandez-Aramburo, C.; Green, T. C.: Energy management in autonomous microgrid using stability-constrained droop control of inverters. Power Electronics, IEEE Transactions on, 23(5):2346–2352, 2008.

- [Br14] GridVis-Dokumentation+5.0, <https://wiki.janitza.de/display/GRIDVIS50EN/GridVis-Dokumentation+5.0>, Zuletzt aufgerufen am: 12.04.2015.
- [CWS07] Chakraborty, Sudipta; Weiss, Manoja D; Simoes, Marcelo Godoy: Distributed intelligent energy management system for a single-phase high-frequency AC microgrid. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 54(1):97–109, 2007.
- [In13] DKE Roadmap, https://www.dke.de/de/std/aal/documents/nr_e-energy%20smart%20grid.de-version%202.0.pdf, Zuletzt aufgerufen am: 12.04.2015.
- [Ja15] Manual: UMG96RM, <http://www.janitza.de/umg-96rm-e-downloads.html>, Zuletzt aufgerufen am: 12.04.2015.
- [Le15] Lee, S.; Lim, H.; Go, W.; Park, H.; Shon, T.: Logical Architecture of HAN-Centric Smart-grid Model. In: *Platform Technology and Service (PlatCon)*, 2015 International Conference on. IEEE, S. 41–42, 2015.
- [NPP13] Nayak, A.; Poriya, A.; Poojary, D.: Type of NOSQL Databases and its Comparison with Relational Databases. *International Journal of Applied Information Systems*, 5(4), 2013.
- [Pa13] Palma-Behnke, R.; Benavides, C.; Lanas, F.; Severino, B.; Reyes, L.; Llanos, J.; Sáez, D.: A Microgrid Energy Management System Based on the Rolling Horizon Strategy. *IEEE Trans. Smart Grid*, 4(2):996–1006, 2013.
- [PN12] Pimentel, V.; Nickerson, B. G.: Communicating and displaying real-time data with Web-Socket. *Internet Computing, IEEE*, S. 45–53, 2012.
- [Sc14] Schlegl, P.; Robatzek, P.; Kucera, M.; Volbert, K.; Waas, T.: Performance Analysis of Mobile Radio for Automatic Control in Smart Grids. In: *Proc. of the Second Intl. Conf. on Advances In Computing, Communication and Information Technology-CCIT 2014*. Institute of Research Engineers and Doctors, S. 135–141, 2014.
- [Si10] Systemhandbuch: SENTRON PAC4200, https://cache.industry.siemens.com/dl/files/595/34261595/att_90266/v1/manual_sentrone_pac4200_03_de-DE.pdf, Zuletzt aufgerufen am: 12.04.2015.
- [Sp15] E-Wald, <https://www.th-deg-de.de/forschung/projekte/e-wald>, Zuletzt aufgerufen am: 12.04.2015.
- [We11] Wessels, A.; Purvis, M.; Jackson, J.; Rahman, S.: Remote data visualization through web-sockets. In: *Information Technology: New Generations (ITNG)*, 2011 Eighth International Conference on. IEEE, S. 1050–1051, 2011.
- [Ze13] Zenger, G.; Kenner, S.; Volbert, K.; Waas, T.; Kucera, M.: Acquiring energy data from a medium-voltage grid for future smart grid solutions: A practical Smart Grid Application Example realized by use of Cellular Communication Networks of the 2nd and 3rd Generation. In: *Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES)*, 2013 Proceedings of the 11th Workshop on. IEEE, S. 1–8, 2013.
- [Zh11] Zhou, H.; Bhattacharya, T.; Tran, D.; Siew, T.; Khambadkone, A. M.: Composite energy storage system involving battery and ultracapacitor with dynamic energy management in microgrid applications. *Power Electronics, IEEE Transactions on*, 26(3):923–930, 2011.