

Konzept einer smarten Verknüpfung eines urbanen Strom- & Fernwärmenetzes zu einem funktionalen Stromspeicher

M. Puchegger

(Forschung Burgenland GmbH)

Thomas Nacht

(4ward Energy Research GmbH)

R. Weißenbacher

(Venios GmbH)

ABSTRACT: Due to the rising share of fluctuating renewable energy sources, the future electricity production will not be able to adjust to the demand anymore. Therefore, flexibilities on the demand side have to be facilitated. The purpose of the project "Hybrid Grids DEMO" is the development and the "Living Lab" test operation of a passive energysource- and network-wide distribution network management over a particularly multipliable approach. Thus, both short-term surplus electricity and thermal energy deficits, as well as variations over months in sources of renewable energy shall be compensated.

The main question to answer is: How can the energy supply and energy utilization system of a city be made more flexible so that the city can be used as big energy storage within the city and surrounding areas and how is this goal compatible with the regulatory and economic environment? Due to the initial situation there is a complex system with many degrees of freedom that needs to be optimized holistically and interdisciplinary. It causes legal, technical, economic and social challenges.

The paper shows different approaches for assessing the potential of a higher degree of flexibility of the system via shifting heating demand provided by electrical applications in decentralized objects and by central applications in heating networks. It also gives an idea, how the hardware-environment could look like for the communication between centralized and decentralized optimization actors.

Optimization of electrical driven heat generation in decentralized objects has to be done in accordance of two often contrary perspectives. When using distributed energy production in the objects (mainly PV), due to savings of network charges and taxes it is economic reasonable to use the energy directly in the object when produced, thus increasing the own consumption should be the goal. Otherwise the flexibility left for the energy suppliers to facilitate Demand Side Management for making use of low energy prices in electric wholesale after optimization of own consumption is lower than the overall flexibility of an object. Nevertheless, it is assumed that costumers will only accept interventions in their systems when their requirements are dealt with first. The paper presents an approach which shows how the operation of decentralized electrical heat applications can be done, satisfying the needs of all relevant parties.

1 Einleitung

Da sich elektrische Energie nicht ohne Umwandlung (in z.B. chemische oder potentielle Energie) speichern lässt, muss im Elektrizitätssystem stets ein Gleichgewicht zwischen der ins Netz eingespeisten und der aus dem Netz entnommenen Leistung vorhanden sein. Derzeit wird dies hauptsächlich durch die Anpassung der Erzeugungsleistung an den momentanen Verbrauch gewährleistet. Dabei gilt es stets, temporär unterschiedliche Lasten abzudecken. Über das Fahrplanmanagement und geeignete Mechanismen bei Abweichungen wird dieses Gleichgewicht dabei zu jedem Zeitpunkt gewährleistet. Die Kosten für diese Mechanismen – welche durch Ausgleichsenergie- und in weiterer Folge Regelenergiebedarf entstehen - unterliegen weitestgehend den Strommarktmechanismen und werden meist verursachergetreu zugewiesen. Da aber auch die Preise für die fahrplanmäßige Energiebeschaffung zeitlichen Schwankungen unterliegen (vgl. z.B. [1]), ist ein günstiger Lastgang (hoher Bezugsanteil zu Zeiten niedriger Preise, niedriger Bezugsanteil zu Zeiten hoher Preise) auch bei Einhaltung der Fahrpläne ein wirtschaftlicher Vorteil für Energieversorger, der auch an KundInnen weitergegeben werden kann. Zu beachten ist zudem die Tatsache, dass Erneuerbare Energien immer mehr den Strompreisverlauf im Stromhandel beeinflussen [2].

Demgegenüber steht aufgrund der Preisdifferenz zwischen Überschussenergieeinspeisung und Bezug der Trend, dass Betreiber von Eigenstromanlagen (derzeit vor allem Photovoltaik) Maßnahmen setzen, den in den Objekten erzeugten Strom möglichst selbst zu verbrauchen. Neben den positiven Effekten wie der möglichen Vermeidung von Einspeisespitzen sehen einige Marktakteure darin aber auch negative Auswirkungen auf die Netze und den Energiemarkt. So werden dem Markt dadurch wesentliche Erzeugungs- und Verbrauchsmengen entzogen, der Betreiber der Anlage profitiert davon, dass andere die Systemkosten des Netzes tragen [3]. Im Projekt „Demonstration einer smarten Verknüpfung der urbanen Strom-, Erdgas- & Fernwärmenetze zu funktionalen Stromspeichern“ oder kurz „Hybrid Grids DEMO“ wird daher versucht, mithilfe eines zentralen Optimierers durch eine passive, energie-träger- und netzübergreifende Verteilnetzbetriebsführung unter Einbindung verschiedener Strommarktakteure ein an diese Rahmenbedingungen angepasstes Marktmodell für die Einbindung von kundenseitigen Flexibilitäten für Energieversorger zu schaffen, das auch die möglichst umfangreiche Integration von erneuerbarer Energie am Markt begünstigen soll. Die kundenseitigen Flexibilitäten werden dabei energieträgerübergreifend betrachtet. Neben dem Stromnetz und den darin nutzbaren Flexibilitäten wird auch eine Integration des Fernwärmenetzes als zusätzliche Flexibilität (Senke für Power to Heat) untersucht.

Es wird dabei davon ausgegangen, dass dem Trend zur Eigenverbrauchserhöhung unter derzeitigen Rahmenbedingungen nicht gegengesteuert wird, ohne eine Wertung der Vor- und Nachteile dieser Optimierungsmaßnahme zu treffen. Ein Marktmodell, das auch für Kundenanlagen mit Erzeugungseinheiten nutzbar ist, muss daher die Nutzung von Eigenverbrauchspotential als integralen Bestandteil des Marktmodells beinhalten und prioritär behandeln.

Dieses Paper stellt die Vorgehensweise bei der Untersuchung der Flexibilitäten im Wärmebereich (Raumwärme und Warmwasser) für Gebäude dar. Mit unterschiedlichen Regelstrategien soll die gemeinsame Optimierung des Eigenverbrauchs von Kundenanlagen und die Optimierung des Verbrauchs im Sinne der Ausnutzung günstiger Großhandelspreise erfolgen.

Die IKT-technische Umsetzung der Regelung soll über ein geeignetes Zusammenspiel aus dezentraler und zentraler Intelligenz erfolgen. Während der zentrale Optimierer die generellen Vorgaben an das System erarbeitet und über diverse Schnittstellen an die dezentralen Objekte weitergibt, entscheiden diese anhand ihrer Regelgrenzen, ob diese übernommen werden können oder abgelehnt werden müssen.

Das Projekt Hybrid Grids DEMO wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „Smart Cities Demo“ durchgeführt.

2 Geschäftsmodell

Die Nutzung von Flexibilitäten zur Optimierung des Lastverhaltens des Kunden und zur Optimierung des Einkaufs der Stadtwerke stellt eine komplexe Aufgabenstellung dar. Ein Einsatz der Flexibilitäten erfordert, dass sowohl der Kunde als auch die Stadtwerke einen Vorteil daraus ziehen können. Dabei ist es für den Endkunden wichtig, dass er gegenüber einer Eigenbedarfsoptimierung, wie sie im Falle einer PV-Einspeisung möglich wäre, keinen Nachteil durch den Einsatz der Flexibilität seitens der Stadtwerke erfährt.

Um dies sicherzustellen, ist es notwendig, den Betrieb der Flexibilität so zu gestalten, dass sie primär zur Eigenbedarfsoptimierung herangezogen wird, und nur in jenen Stunden, in denen eine Eigenbedarfsoptimierung nicht sinnvoll ist, für die Stadtwerke zur Verfügung steht. Um das Verhalten der Flexibilität unter Berücksichtigung der gebäudeinternen Steuerung und der externen Signale beschreiben und erfassen sowie im Vorfeld bewerten zu können, wird ein Simulationsmodell erstellt. Anhand der Simulationsergebnisse soll sich die Wirtschaftlichkeit des Systems unter Berücksichtigung der wärmetechnischen Zusammenhänge ermitteln lassen. Nachfolgend wird die Funktionsweise des Modells beschrieben.

Die Grundlage für das Modell bilden die folgenden wesentlichen Eingangsgrößen:

- Elektrischer Lastverlauf des Gebäudes in ¼-Stunden Auflösung
- Verlauf der thermischen Last des Gebäudes in ¼-Stunden-Auflösung
- Thermische Parameter für den Pufferspeicher des Gebäudes
- Technische Parameter der Wärmepumpe
- Erzeugung der PV-Anlage in ¼-Stunden-Auflösung
- Preise am Strommarkt in ¼-Stunden-Auflösung

Anhand der Eingangsgrößen soll das Modell eine Optimierung des Eigenbedarfs durchführen. Dabei soll anhand der Residuallast P_R [W], die sich aus der aktuellen Last P_L [W] und der PV-Erzeugung P_{PV} [W] ergibt, der Überschuss bei vorhandenem Wärmebedarf unter Ausnutzung der thermischen Speicherkapazität durch die Wärmepumpe in Wärme umgewandelt werden.

$$P_R = P_L - P_{PV} \quad (2.1)$$

Damit nicht bei Vorhandensein eines beliebigen Überschusses ($P_R < 0$) bereits die Wärmepumpe aktiviert wird, wird eine Einschaltsschwelle f_{EIN} eingeführt, deren Wert zwischen 0 und 1 definiert werden kann. Das Einschaltverhalten der Wärmepumpe hängt von einem Betriebsfaktor f_{BET} der sich aus der Mindestlaufzeit der Wärmepumpe ergibt, der elektrischen Leistung P_{EL} [W] und der Überschussleistung $P_{\dot{U}}$ [W] ab.

$$P_{WP} = \begin{cases} 0, & f_{BET} \cdot P_{EL} > P_{\dot{U}} \cdot f_{EIN} \\ P_{THERM} \cdot f_{BET}, & P_{EL} \cdot f_{BET} \leq P_{\dot{U}} \cdot f_{EIN} \end{cases} \quad (2.2)$$

Der Einsatz der Wärmepumpe zur Optimierung des Einkaufs der Stadtwerke richtet sich nach dem aktuellen Marktpreis $p(t)$ [€/Wh], dem Durchschnittspreis im Preisprognosehorizont t_{PROG} und einem Korrekturfaktor f_{KORR} .

$$P_{WP} = \begin{cases} 0, & p(t) > \frac{\sum_{x=t}^{t+t_{PROG}} p(x)}{t_{PROG}} \cdot f_{KO} \\ P_{THERM}, & p(t) \leq \frac{\sum_{x=t}^{t+t_{PROG}} p(x)}{t_{PROG}} \cdot f_{KO} \end{cases} \quad (2.3)$$

Der Zusammenhang zwischen thermischer P_{THERM} und elektrischer Leistung P_{EL} ist über den aktuellen Systemwirkungsgrad $\varepsilon_{SYS}(t, T, p_{WP})$, der von der Quelltemperatur T und den technischen Parametern der Wärmepumpe p_{WP} abhängt, gegeben.

$$P_{EL}(t) = \frac{P_{THERM}(t)}{\varepsilon_{SYS}(t, T, p_{WP})} \quad (2.4)$$

Diese Gleichungen beschreiben das mathematische Grundverhältnis für den Einsatz der Wärmepumpe und müssen noch um die Grenzen der Speicherfähigkeit des Puffers erweitert werden. Der aktuelle Füllstand des Speichers $E_{SP}(t)$ [Wh] muss zwischen dem minimalen und maximalen Speicherfüllständen liegen und ergibt sich aus dem Speicherfüllstand des vorherigen Zeitpunktes $E_{SP}(t - 1)$ [Wh], der zugeführten Energie $E_{ZU}(t)$ [Wh] sowie der für Heizung benötigten Energie $E_{AB}(t)$ [Wh] sowie den Speicherverlusten $E_{VERL}(t)$ [Wh].

$$E_{SP}(t) = E_{SP}(t - 1) + E_{ZU}(t) - E_{AB}(t) - E_{VERL} \quad (2.5)$$

Mit der Beschreibung der physikalischen Zusammenhänge zwischen Betrieb der Wärmepumpe und den Gegebenheiten im thermischen Speicher muss das Modell noch mit der nötigen Intelligenz ausgestattet werden, um zwischen einem Betrieb zur Eigenbedarfsoptimierung und einem Betrieb zur Optimierung des Einkaufs für die Stadtwerke unterscheiden können.

Hierfür werden im Rahmen des Projektes *Hybrid Grids Demo* unterschiedliche Logiken entwickelt, die sich hinsichtlich ihrer Priorisierung und dem Einsatz der Wärmepumpe (und anderer Wärmeerzeuger) maßgeblich unterscheiden. In weiterer Folge solle die in Abbildung 1 dargestellte Methode beschrieben werden.

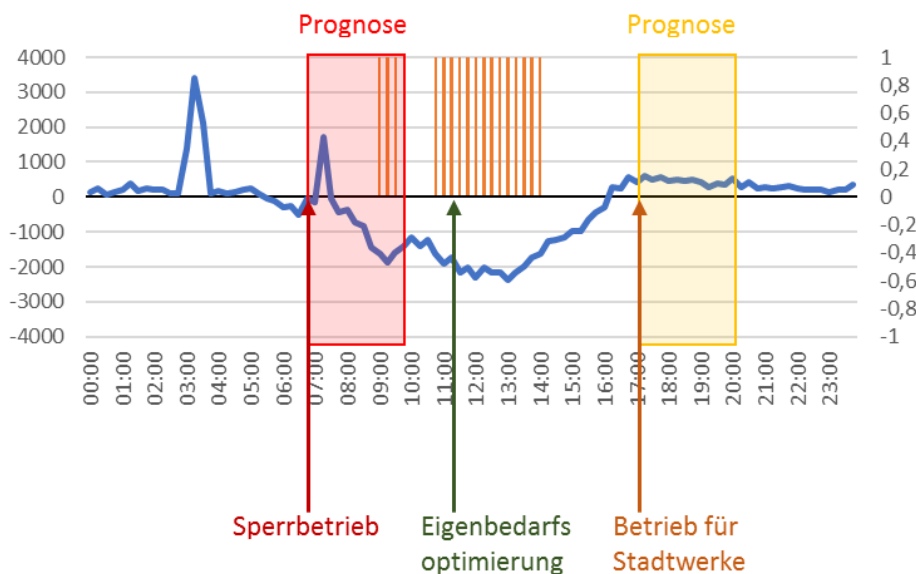


Abbildung 1: Darstellung der unterschiedlichen Betriebsmodi für den Einsatz der Wärmepumpe

Die blaue Linie beschreibt den Verlauf des Strompreises an der Börse, die orangenen Linien die Betriebszustände der Wärmepumpe (1 = Wärmepumpe auf voller Leistung). Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, wird für den Einsatz der Wärmepumpe ein Prognosehorizont für den Überschuss $t_{PROG_ÜS}$ [h] angenommen. Da bei der Simulation bereits alle Daten im Vorfeld vorhanden sind, wird für diesen Zeitraum die Kenntnis über Last und Erzeugung als Gegeben angenommen. Aus diesen Werten lässt sich der aktuelle Überschuss (dieser regelt den Einsatz der Wärmepumpe für die Eigenbedarfsoptimierung) sowie der erwartete Überschuss innerhalb des Prognosezeitraumes ermitteln. Anhand der Informationen über den Überschuss können jene Überschüsse die für eine Abnahme durch die Wärmepumpe groß genug sind, (vgl. 2.2), definiert werden $f_{ÜS}(t)$, dessen Werte entweder 0 (kein genügend großer Überschuss) und 1 (genügend großer Überschuss) betragen können. Für die Wahl des Betriebsmodus $mod_{WP}(t)$ ergibt sich der folgende Zusammenhang:

$$mod_{WP}(t) = \begin{cases} \text{"Eigenbedarf"}, & f_{ÜS}(t) = 1 \\ \text{"Stadtwerke"}, & \sum_{x=t}^{t+t_{PROG_ÜS}} f_{ÜS}(x) = 0 \\ \text{"Sperrbetrieb"}, & \sum_{x=t}^{t+t_{PROG_ÜS}} f_{ÜS}(x) \geq 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

Erkennt die Intelligenz des Systems also, dass innerhalb des Prognosefensters ein genügend großer Überschuss vorhanden ist, wird die Wärmepumpe in den Sperrbetrieb versetzt, darf also keine Wärme mehr erzeugen. Dadurch soll gewährleistet werden, dass der Pufferspeicher des Gebäudes einen möglichst geringen Stand hat, um möglichst viel selbst erzeugten erneuerbaren Überschuss aufnehmen zu können. Diese Methode stellt die Ziele und Vorteile des Kunden deutlich vor jene der Stadtwerke. Die restliche Zeit können jedoch seitens des Energieversorgers niedrige Börsenpreise ausgenutzt werden. Dadurch ist ein optimierter Betrieb sowohl für den Kunden als auch für die Stadtwerke gewährleistet.

3 Technische Umsetzung

3.1 Kommunikation

3.1.1 REST API

Zur Kommunikation mit den dezentralen Systemen steht unter anderem eine REST API [4] zur Verfügung. Seitens des Optimierers wurde ein Framework geschaffen, dass mittels eines Datenkonzentrators, der auf einem zentralen Server im EDV-Netz des Testgebietes installiert

wird, den Kommunikationsaufbau mit der jeweiligen Steuerhardware herstellt und über das Datenformat JSON [5] einen Datenaustausch vornimmt (vgl. Abbildung 2).

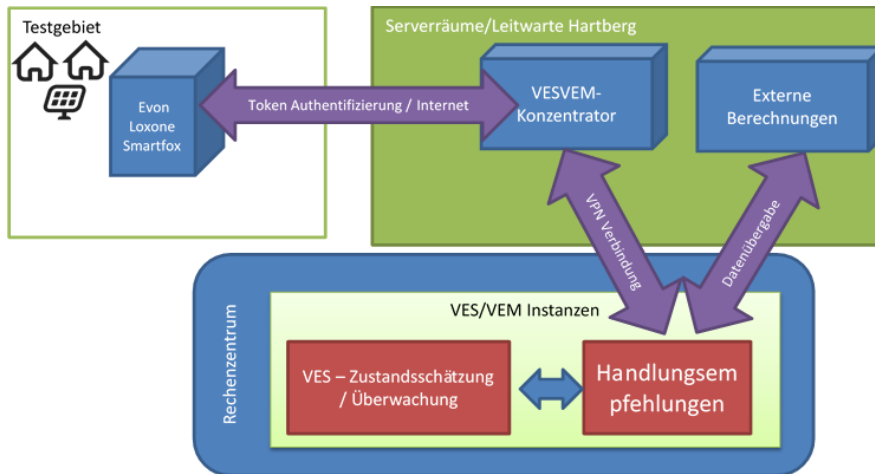


Abbildung 2 Aufbau Kommunikation VES/VEM - Datenkonzentrator

Um eine sichere Verbindung mit der jeweiligen Steuerhardware aufbauen zu können, wird eine sichere „Virtual Private Network“ (VPN) [6] - Verbindung mittels eines VPN – Routers hergestellt. Hierbei verbindet sich der Router automatisch mit dem Optimierer. Weiters wird im Projekt eine Token Authentifizierung angewandt. Mittels Zugangsdaten und eines generierten Hash Keys [7] kann somit garantiert werden, dass der Zugriff nur von autorisierten Benutzern erfolgt.

Eine zentrale Aufgabe des Optimierers ist die Abfrage des jeweiligen Status der im Testgebiet vorhandenen Steuerhardware und deren Komponenten. Erst wenn diese bekannt sind, können Steuerbefehle an die nutzbare Steuerhardware gesendet werden. Die Statusabfrage kann Event-basiert durch die Steuerhardware oder durch Abfragen des Optimierers erfolgen.

3.2 Angesteuerte Systeme

Um Lastverschiebungen im Testgebiet zu ermöglichen, ist eine Beeinflussung des Speicherinhalts von Wärmespeichern (Warmwasserboiler, Nachtspeicheröfen) bzw. anderer thermischer Speichermassen und die gezielte Nutzung der gewonnenen Energie einer Photovoltaik nötig. Im Folgenden wird dargestellt, wie diese Systeme an die zentrale Leittechnik angebunden werden.

3.2.1 Temperatursensor

Eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung der vorhandenen Verbraucher ist die Rückmeldung über Temperaturwerte im Haushalt. Gängige Temperaturfühler wie Typ PT1000, KTY81-110 und KTY81-210 werden je nach System unterstützt. Diese Temperaturfühler werden für das Projekt vor allem in der Warmwasseraufbereitung gegebenenfalls auch für die Raumtemperatur nachgerüstet, um Informationen über den Speicherinhalt bzw. die Raumtemperatur zu erhalten.

3.2.2 Raumtemperatur

Die Raumtemperatur kann mittels verschiedener Betriebsmodi der Steuerhardware festgelegt werden. Hierzu werden Sollwerte definiert, welche die Raumtemperatur regeln. Diese Sollwerte können auf verschiedene Weise (direkte Änderung, Änderung der Temperaturgrenzen, Präsenzhebung...) getriggert und auf gewünschte Werte, die durch den zentralen Optimierer vorgegeben und von den NutzerInnen bestätigt werden, geändert werden.

3.2.3 Elektrische Warmwasserboiler

Die Warmwasseraufbereitung (WWA) wird zurzeit im Testgebiet bereits durch unterbrechbare Tarife umgesetzt. Die WWA soll nun flexibler gestaltet und durch den zentralen Optimierer gezielter eingesetzt werden. Dazu ist wie im vorigen Punkt beschrieben eine Temperaturmessung der WWA nötig. Ist die Temperatur bekannt, dann kann durch Berechnungen des Optimierers die Ladung zeitlich flexibel durchgeführt werden. Die Freigabe der Aufladung wird an die Steuerhardware und über dessen Ausgänge an die gewünschten Schaltrelais **weitergegeben**. Durch den Temperatursensor wird die WWA bis zur gewünschten Temperatur durchgeführt.

3.2.4 Wärmepumpe

Wird die installierte Wärmepumpe (WP) von der Steuerhardware unterstützt, können umfangreichere Regelungen vorgenommen werden. Hierzu kann die Steuerhardware die gesamte Steuerung (Regelung der Betriebszeiten, Sollwerttemperatur, Heizkurvenänderung, Heizungsmischerregelung, Ventilsteuerung, externe Aktivierung) der WP übernehmen. Diese Parameter können dann vom Optimierer geändert werden. Durch Wetterprognosen für den nächsten Tag können auch wetterbedingte Entscheidungen für das Heizverhalten getroffen werden. Ist eine WP installiert, die von der Steuerhardware nicht unterstützt wird, soll die Regelung über einen potentialfreien Kontakt oder ein Relais erfolgen.

3.2.5 PV Anlage

Einige Anlagen können bereits automatisch von der Steuerhardware erkannt werden. Die Eigenverbrauchsoptimierung durch eine Nutzung der vorhandenen Elemente steht im Projekt im Vordergrund. Ist keine Eigenverbrauchsoptimierung mit einer PV Anlage und einer Wärmepumpe vorhanden, wird diese über das Projekt vorgenommen. Weiters können einfache Lasten wie die WWA zugeschaltet werden, um den erzeugten Strom im Haushalt zu behalten.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen, Ausblick

Das Elektrizitätssystem befindet sich im Umbruch. Einerseits bedingt der vermehrte Einsatz von nachhaltigen, in der Erzeugung nicht exakt voraussagbaren und schwer regelbaren erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen einen erhöhten Aufwand bei der Einhaltung des Gleichgewichts zwischen Erzeugung und Nachfrage. Andererseits bieten vor allem elektrische Wärmeanwendungen enormes Potential, auch in Städten Flexibilitäten zur Verfügung zu stellen. Dieses Potential kann sowohl in dezentralen Kundenanlagen, als auch in zentralen Anlagen mit angelagertem Wärmenetz genutzt werden. Im Projekt Hybrid Grids DEMO soll in einem Demobetrieb gezeigt werden, wie ein solches Zusammenspiel funktionieren kann. Dieses Paper stellt einen Teil der dafür entwickelten Lösung hinsichtlich der Regelstrategie und der technischen Anbindung dar. Im Zuge der weiteren Untersuchungen werden anhand verschiedener Szenarien und einer Parametervariation geeignete Umsetzungsmodelle (technisch, ökonomisch und ökologisch) entwickelt, welche dann im Demobetrieb getestet und deren Betrieb optimiert werden soll. Aufgrund der ständigen Adaptierungen des Strommarktmodells und der Notwendigkeit, dieses auch weiterhin den Erfordernissen hinsichtlich Versorgungssicherheit und Nachhaltigkeit anzupassen, wird davon ausgegangen, dass das zu Grunde gelegte Geschäftsmodell ebenfalls innerhalb der Lebensdauer der eingesetzten Komponenten einer Evolution unterworfen ist. Durch die vermehrte Einspeisung fluktuierend erzeugender erneuerbarer Energieversorgungsanlagen kann allerdings davon ausgegangen werden, dass Flexibilitäten auf der Verbraucherseite auch in Zukunft ökonomische Bedeutung haben werden bzw. sogar an Bedeutung dazu gewinnen werden.

5 Literatur

- [1] EEX (2016) Marktdaten Strompreisbörse EEX, <https://www.eex.com/de/marktdaten/strom/spotmarkt/auktion#!/2016/09/28>, Abgerufen am 27.09.2016.
- [2] F. Sensfuß: „Analysen zum Merit-Order Effekt erneuerbarer Energien“; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, 2013.

- [3] S. Behrens: „Förderung der erneuerbaren Energien in Deutschland“, Vortrag bei der OVE-Tagung am 15.10.2015 in Eisenstadt, Bonn, 2015.
- [4] R. Fielding: “Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures”, University of California, Irvine, 2000.
- [5] ecma international: “The JSON Data Interchange Format”, ECMA 404, 1st Edition, Genf, 2013.
- [6] G. Lienemann: „Virtuelle Private Netzwerke. Aufbau und Nutzen“, VDE-Verlag, Deutschland, 2002
- [7] Federal Information Processing Standards Publication: “Secure Hash Standard (SHS)”, National Institute of Standards and Technology, 2015.

Kontakt Autoren:

Titel DI
Vor- und Nachname Markus Puchegger
Institution Forschung Burgenland GmbH
E-Mail-Adresse markus.puchegger@forschung-burgenland.at
Telefonnummer +43 664 1616656

Titel DI Dr.
Vor- und Nachname Thomas Nacht
Institution 4ward Energy Research GmbH
E-Mail-Adresse thomas.nacht@4wardenergy.at
Telefonnummer +43 664 88500336

Titel DI
Vor- und Nachname Rudolf Weißenbacher
Institution Venios GmbH
E-Mail-Adresse rudolf.weissenbacher@venios.de
Telefonnummer +43 677 61812761