

DOKUMENTATION

Primärregelleistungserbringung
durch ein dezentrales virtuelles Kraftwerk

Berlin, 11.01.2020



**Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin**

University of Applied Sciences

Studiengang:

Regenerative Energien (M)

Fachbereich:

Ingenieurwissenschaften – Energie
und Information

Autoren:

Kilian Helfenbein

Michaela Zoll

Prüfer:

Johannes Weniger

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Abbildungsverzeichnis | II |
| Tabellenverzeichnis | III |
| 1 Motivation und Problemstellung | 1 |
| 2 Theoretische Grundlagen und Datengrundlage | 2 |
| 2.1 Primärregelleistung | 2 |
| 2.2 sonnenBatterie eco 8.0 | 2 |
| 2.3 Das virtuelle Kraftwerk | 3 |
| 2.4 Verwendete Python und Matlab Befehle | 4 |
| 2.5 Datengrundlage | 4 |
| 2.5.1 Erzeugungsprofil der Photovoltaikanlage | 5 |
| 2.5.2 Haushaltslastprofil | 5 |
| 2.5.3 Profil der Netzfrequenz | 6 |
| Literatur | 9 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|---|
| 1 Zulässiger Arbeitsbereich bei der Erbringung von Primärregelleistung [s. S. 61 ÜNB19] | 4 |
|--|---|

Tabellenverzeichnis

1 Motivation und Problemstellung

Die wirtschaftliche Nutzung von Heimspeichern, über die Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils hinaus, gewinnt mehr und mehr an Bedeutung. So wurde 2018 das virtuelle Kraftwerk der sonnen GmbH für die Teilnahme am Primärregelleistungsmarkt durch die TenneT TSO GmbH präqualifiziert [Gmb18b]. Hierdurch kann sich die sonnen GmbH weiterer Geschäftsfelder erschließen und seine Erlöse erhöhen.

Grundlage des virtuellen Kraftwerks bilden die einzelnen Heimspeicher der Kunden der sonnen GmbH. Diese werden softwareseitig intelligent miteinander verknüpft, um die Anforderungen der Primärregelleistungserbringung zu erfüllen. Diese Arbeit soll die rein wirtschaftliche Betrachtung der hierzu gehörigen Cloud-Stromverträge aus Sicht des Kunden ermöglichen.

Der Abschluss des Cloud-Vertrages bringt Vor- und Nachteile mit sich, die nur schwer gegeneinander abgewogen werden können. So zahlt der Kunde bis zu einer bestimmten Gesamtstromverbrauchsmenge keine Stromkosten, aber einen monatlichen Grundpreis. Zusätzlich willigt der Kunde der Nutzung der Batterie für die Erbringung von Primärregelleistung ein. Hierdurch wird das eigenverbrauchsoptimierende Verhalten der Batterie eingeschränkt.

Ziel dieser Arbeit ist es mit Hilfe einer Simulation diesen Einfluss zu ermitteln und monetär quantifizierbar zu machen. Dafür wurde eine Berechnungsmethodik entwickelt, die den Einsatzplan des virtuellen Kraftwerks simulieren soll. Grundlage hierfür bildeten verschiedene Annahmen und Datensätze die im Folgenden vorgestellt werden sollen

2 Theoretische Grundlagen und Datengrundlage

In diesem Kapitel sollen die wichtigsten Grundlagen erläutert werden, um eine Bewertung des Einflusses der Nutzung des Speichersystems für die Erbringung von Primärregelleistung vornehmen zu können. Hierzu zählen die theoretischen Grundlagen der Erbringung von Primärregelleistung und des virtuellen Kraftwerks inklusive der verwendeten Hardware. Weiterhin wird auf die wichtigsten verwendeten Python und Matlab Befehle, sowie die verwendeten Datensätze und deren Aufarbeitung eingegangen.

2.1 Primärregelleistung

Um zukünftig die Versorgungssicherheit gewährleisten zu können, müssen nicht nur erhebliche Mengen an Kraftwerksleistungen regenerativer Energieanlagen zugebaut werden, sondern auch die Erbringung von Systemdienstleistungen garantiert werden, welche bisher zum großen Teil durch konventionelle Großkraftwerke gedeckt werden. Ein wichtiger Baustein ist die Aufrechterhaltung der Netzfrequenz, welches durch die Erbringung von Regelleistung ermöglicht wird. Diese Simulation soll sich mit der Erbringung von Primärregelleistung befassen, welches die schnellste Art der Regelleistung im europäischen Verbundsystem darstellt.

Der Zweck der Primärregelleistung liegt darin, die Netzfrequenz durch gezielte Leistungserbringung zu stabilisieren. Nötig wird dies, wenn eine Differenz zwischen dem Angebot und der Nachfrage an Leistung im Stromnetz besteht. Die Leistungserbringung wird automatisch durch eine Frequenzabweichung von der Soll-Netzfrequenz von 50 Hz aktiviert. Dabei wird durch die Übertragungsnetzbetreiber ein Totband von ± 10 mHz definiert, in welchem keine Erbringung von Primärregelleistung erfolgen muss. Bei einer Abweichung von ± 200 mHz muss hingegen die volle ausgeschriebene Regelleistung des Kraftwerks erbracht werden und dazwischen proportional zu der Frequenzabweichung [Gmb20].

2.2 sonnenBatterie eco 8.0

Ein Schwarm aus Heimspeichern der sonnenBatterie eco 8.0 Serie bildet die physische Grundlage des virtuellen Kraftwerks. Bei der eco 8.0 handelt es sich um einen Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator, dessen wesentlichen technischen Eigenschaften die Möglichkeiten des gesamten virtuellen Kraftwerks begrenzen.

Die einzelnen Batterien besitzen je nach Ausstattung eine nutzbare Batteriekapazität von 4 kWh bis 16 kWh. Vereinfachend wird angenommen, dass nur sonnenBatterien mit einer Kapazität von mindestens 8 kWh eingesetzt werden. Ab einer Kapazität von 8 kWh ist jede

Batterie mit einem Wechselrichter ausgestattet, der eine Nennleistung von 3,3 kW besitzt [Gmb18a].

Der mittlere Wirkungsgrad des Wechselrichters beträgt im Entladefall 94,5 % und im Ladezustand 94,4 %. Weiterhin weist die Batterie einen Wirkungsgrad von 93,8 % auf [Wen+19].

2.3 Das virtuelle Kraftwerk

Das virtuelle Kraftwerk der Simulation wurde mit einer Gesamtleistung von 1 MW präqualifiziert. Als Annahme wurden hierzu insgesamt 600 Heimspeicher der sonnenBatterie eco 8.0 Serie vernetzt, mit einer Gesamtleistung von 1,98 MW. Der theoretische Leistungsspielraum des Kraftwerks liegt somit deutlich über der präqualifizierten Leistung.

Nötig ist dies aus verschiedenen Gründen. So kann beispielsweise nicht die Verfügbarkeit jeder Batterie zu jedem Zeitpunkt garantiert werden. Die einzelnen Batterien befinden sich in Privathand und unterliegen somit nur begrenzt der Kontrolle durch den Betreiber. Es kann zu Störungen der Hard- oder Software der einzelnen Batterien kommen, aber auch zu Störungen der Internetverbindung.

Die größten beschränkenden Faktoren des virtuellen Kraftwerks sind jedoch der Ladezustand und der aktuelle Arbeitspunkt. Der Arbeitspunkt bestimmt, wie viel Regelleistung in positiver bzw. negativer Regelrichtung zur Verfügung steht. Als Regelleistung wird die Abweichung vom Arbeitspunkt verstanden. Der Arbeitspunkt der Batterien entspricht der eigenverbrauchs-optimierten Leistungsvorgabe.

Wenn der Ladezustand zu gering bzw. zu hoch ist, kann die Erbringung der Regelleistung nicht in der gewünschten Dauer erfolgen. Bei einem zu hohen bzw. zu niedrigen Arbeitspunkt des Batteriepools kann das Kraftwerk bei einem Leistungsabruf nicht die geforderte Regelleistung erbringen. Durch aktives Lademanagement und das Einhalten von Grenzen für den Ladezustand muss im Realbetrieb die Erbringung der präqualifizierten Regelleistung garantiert werden.

Das grundlegende Funktionsprinzip des virtuellen Kraftwerks wird durch einen übergeordneten Regler bestimmt. Dieser wird in der Simulation stark vereinfacht. So wird von einem homogenen Verhalten der Batterien ausgegangen. Dies bedeutet, dass jede Batterie die gleichen technischen Parameter besitzt und dass sich die zugehörigen Photovoltaikanlagen ebenfalls identisch verhalten. Das führt dazu, dass den einzelnen Batterien feste Ladezustandsgrenzen zugeordnet werden können, damit die Erbringung von Regelleistung im Bedarfsfall gewährleistet werden kann.

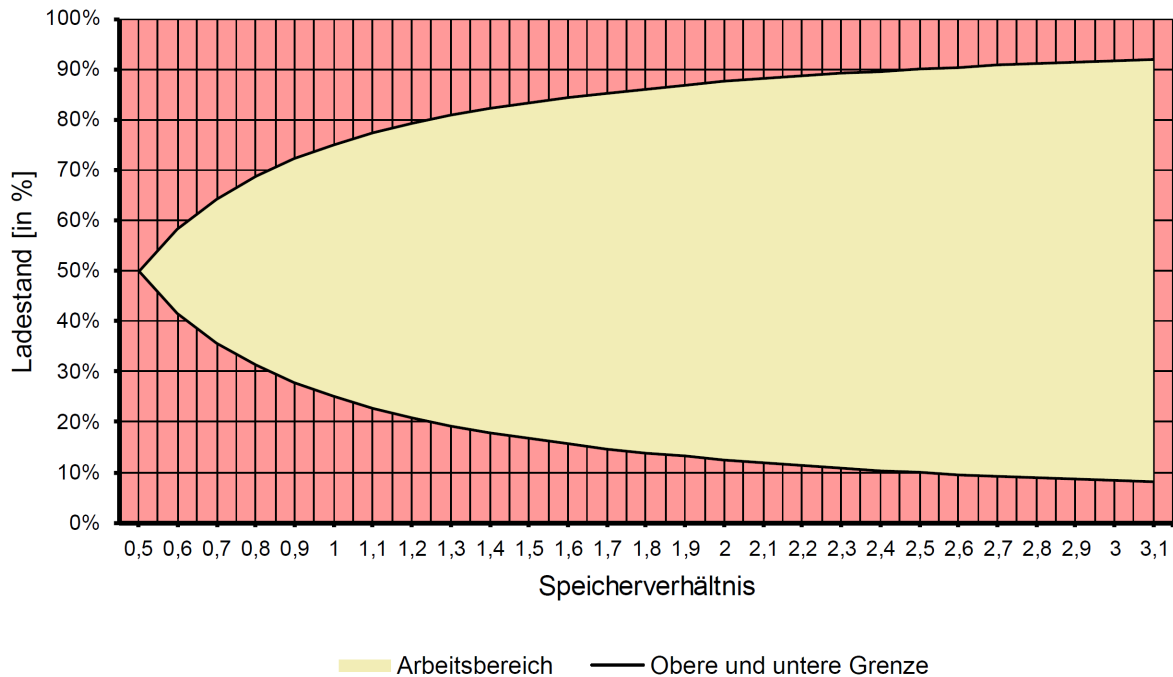


Abbildung 1 Zulässiger Arbeitsbereich bei der Erbringung von Primärregelleistung [s. S. 61 ÜNB19]

Im Falle begrenzter Energiespeicher kommen die in Abbildung 1 dargestellten zulässigen Arbeitsbereiche zur Anwendung. Durch dies wird sichergestellt, dass der Energiespeicher jederzeit seine vollständige angebotene Regelleistung für 15 min zur Verfügung zu stellen.

In dem Fall des simulierten virtuellen Kraftwerks besteht ein Speicherverhältnis von 4,8 bis 9,6, je nach Größe der einzelnen Speichereinheiten. Da jedoch das Lademanagement innerhalb dieser Simulation nicht abgebildet werden kann, wurde sich für Ladestandsgrenzen von 80 % im oberen und 20 % im unteren Energiebereich entschieden.

2.4 Verwendete Python und Matlab Befehle

2.5 Datengrundlage

Für die Simulation des Einflusses des virtuellen Kraftwerks kamen drei Datensätze zum Einsatz. Hierzu zählt ein Haushaltslastprofil, das Erzeugungsprofil einer Photovoltaikanlage und das Profil der Netzfrequenz im europäischen Verbundsystem. Jeder Datensatz hat eine 1-minütige Auflösung und bildet ein ganzes Jahr ab. Die Aufarbeitung der einzelnen Datensätze erfolgt mit Hilfe von Python.

2.5.1 Erzeugungsprofil der Photovoltaikanlage

Das Erzeugungsprofil der Photovoltaikanlage wurde innerhalb der Vorlesung zur Verfügung gestellt. Dieses findet auch hier Anwendung und ist in der Datei A04_Daten.mat hinterlegt. In der Variable ppvs ist die spezifische AC-Leistungsabgabe des Photovoltaik-Systems, normiert auf die nominale Photovoltaik-Generatorleistung hinterlegt.

2.5.2 Haushaltslastprofil

Das Haushaltslastprofil entspricht einem repräsentativen elektrischen Lastprofil für Wohngebäude in Deutschland auf 1-minütiger Datenbasis. Dieses wird durch die Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin zur Verfügung gestellt [Tec18].

Verwendet wurde das dritte Lastprofil der Datei CSV_74_Loadprofiles_1min_W_var(1).zip. Auch dieses wurde normiert. Dafür wurde zuvor die maximale Leistungsaufnahme des Systems bestimmt und mit dieser die spezifische Leistungsaufnahme des Systems zu jeder Minute ermittelt.

Realisiert wurde dies mit folgendem Code:

Programmcode 1 Aufbereitung des Datensatzes des repräsentativen elektrischen Lastprofils für Wohngebäude

```
import pandas as pd

# Namen für die Spalten des Datensatzes bestimmen
names = list()
for i in range(74):
    names.append('H{}'.format(i+1))

# Einlesen der Daten
df_Load1 = pd.read_csv('DataRaw\\PL1.csv', names=names, sep=',')

# Ziel Datensatz isolieren und normieren
df_Household = pd.DataFrame()
df_Household['P_H'] = df_Load1.H3.multiply(1/max(df_Load1.H3))

# Speichern als .csv und runden
df_Household.round(5).to_csv('P_H.csv')
```

2.5.3 Profil der Netzfrequenz

Das Profil der Netzfrequenz im europäische Verbundsystem liegt in 1-sekündiger Auflösung monatsweise für das Jahr 2018 vor. Zur Verfügung gestellt wurden die entsprechenden Datensätze durch Herrn Dipl.-Ing. (FH) Markus Jaschinsky [Jas18].

Ziel der Aufarbeitung war es die einzelnen Profile zusammenzuführen und in eine 1-minütige Auflösung umzuwandeln. Anschließend sollte aus diesem Profil der Lastgang des virtuellen Kraftwerks, normiert auf die ausgeschriebene Primärregelleistung, ermittelt werden. Dieses erfolgte auf Grundlage des folgenden Codes:

Programmcode 2 Aufbereitung der Datensätze des Profils der Netzfrequenz im europäische Verbundsystem

```
import glob
import pandas as pd

# Namen der einzelnen Dateien ermitteln
lst_csv = glob.glob("2018\*.csv", recursive=True)
# Spaltennamen festlegen
names = ['fq', 'delete']

# Ergebnisliste vorinitialisieren
lst_df = [0]*len(lst_csv)
i = 0

# Einlesen der einzelnen Datensätze
for name in lst_csv:
    lst_df[i] = pd.read_csv(name, names=names, sep=';')
    lst_df[i].index.name = 'ts'
    lst_df[i] = lst_df[i].drop(['delete'], axis=1)
    i += 1

# Zusammenführen der Monatsdatensätze
df_fq18 = pd.DataFrame()

for n in range(len(lst_df)):
    df_fq18 = pd.concat([df_fq18, lst_df[n]], sort=False)
```

```
# Umwandeln in 1-minütige Auflösung
df_fq18_minutes = df_fq18.copy().iloc[::60, :]

# Umrechnen der Netzfrequenz
# in die Sollvorgabe der Leistungserbringung des VPP
df_fq18_minutes['p_VPP'] =
[0 if 49.99 < fq < 50.01 else (50 - fq)*10/2 for fq in df_fq18_minutes.fq]

# Speichern als .xlsx
df_fq18_minutes.round(3).to_excel('P_VPP.xlsx')
```

Unterschriften

.....

Kilian Helfenbein

.....

Michaela Zoll

Literatur

- [Gmb18a] sonnen GmbH. *Technische Daten sonnenBatterie eco 8.0*. (Zugriff am 10.01.2020). 2018. URL: https://sonnenbatterie.de/sites/default/files/datenblatt_sonnenbatterie_eco_8.0_dach_1.pdf.
- [Gmb18b] TenneT TSO GmbH. *Haushalte ersetzen Kraftwerke - sonnen nimmt größte, virtuelle Batterie für das Stromnetz der Zukunft in Betrieb*. (Zugriff am 07.01.2020). 2018. URL: https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/News/German/Hoerchens/2018/pressemitteilung_sonnen_Haushalte_ersetzen_Kraftwerke_-_sonnen_nimmt_gr%C3%B6%C3%9Fte__virtuelle_Batterie_f%C3%BCr_das_Stromnetz_der_Zukunft_in_Betrieb_Header_01.pdf.
- [Gmb20] Next Kraftwerke GmbH. *Was ist Primärregelleistung (PRL)?* (Zugriff am 10.01.2020). 2020. URL: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/primaerreserve-primarregelleistung>.
- [Jas18] Dipl.-Ing. (FH) Markus Jaschinsky. *Informationswebseite von Herrn Dipl.-Ing. (FH) Markus Jaschinsky*. (Zugriff am 30.11.2019). 2018. URL: <https://www.netzfrequenz.info/>.
- [Tec18] Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin. *Lastprofile für Wohngebäude*. (Zugriff am 10.01.2020). 2018. URL: <https://fs-cloud.f1.htw-berlin.de/s/wZZQKdupnJd8wmH>.
- [ÜNB19] Deutsche ÜNB. *Präqualifikationsverfahren für Regelreserveanbieter (Stand 23. Mai 2019)*. https://www.regelleistung.net/ext/download/PQ_Bedingungen_FCR_aFRR_mFRR. (Zugriff am 10.01.2020). Mai 2019.
- [Wen+19] Johannes Weniger u. a. *Stromspeicher-Inspektion 2019*. (Zugriff am 10.01.2020). Juni 2019. URL: <https://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/Stromspeicher-Inspektion-2019.pdf>.