



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN



370.007 FACHVERTIEFUNG ENERGIESYSTEME

PV IM STROMSYSTEM – STROMMARKT

GRUPPE: D

DATUM: 26.05.2020

AUTOREN: TANJA MOSER 01526699

ANDREAS PATHA 01609934

TIM EDINGER 01525912

KONSTANTIN KOBEL 01525841

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
1.1	Aufgabe 4.1	3
1.2	Aufgabe 4.2	4
1.3	Aufgabe 4.3	4
2	Berechnungen	5
2.1	Last und Residuallast	5
2.2	Monetärer Ertrag einer 1kWp PV-Anlage	6
3	Ergebnisse	7
3.1	Aufgabe 4.1 - Last und Residuallast	7
3.1.1	Aufgabe 4.1.a - Dauerlinie der Last und der Residuallast	7
3.1.2	Aufgabe 4.1.b - Dauerlinie der Last und der Residuallast für das Jahr 2012	9
3.1.3	Aufgabe 4.1.c - Abhängigkeiten des Spotmarktpreises	10
3.1.4	Aufgabe 4.1.d - Interpretation der Scatter-Plots	12

1 Aufgabenstellung

In der vierten Übung sollen der Strommarkt und seine Entwicklung über die letzten Jahre, betrachtet werden. Besonders im Fokus stehen hierbei die Spotmarktpreise, die Stromerzeugung und die Netzlast, zu den unterschiedlichen Zeitpunkten.

1.1 Aufgabe 4.1

In Aufgabe 4.1 sollen die Last und die Residuallast für das Marktgebiet Österreich/Deutschland, über ein Jahr, analysiert werden. Zusätzlich soll der Zusammenhang zwischen dem Spotmarktpreis und der Einspeisung von erneuerbaren Energien beleuchtet werden.

Folgende **Parameter** werden uns hierzu zur Verfügung gestellt:

- Die Datei *Load_Production.mat* beinhaltet die stündlichen Werte für die Netzlast (in *MW*) sowie die normierte PV-Erzeugung (in MW/MW_{peak}), über ein Jahr.
- In der Datei *Daten_Preise_Last_2012.xlsx* befinden sich stündliche Jahresdaten, aus dem Jahr 2012, zu der Netzlast, der Erzeugung durch PV- und Wind-Anlagen, sowie zu den Spotpreisen.
- Die Datei *Spotpreis.mat* beinhaltet für die Jahre 2008 bis 2016 die mittleren stündlichen Spotmarktpreise, über das jeweilige Jahr, in €/MWh. Schaltjahre wurden bei 8760 abgeschnitten.

Folgende **Aufgabenstellungen** sollen behandelt werden:

- a) Stellen Sie eine Dauerlinie der Last und der Residuallast ($Last - PV_{Produktion}$) für eine installierte Leistung von PV-Anlagen in der Höhe von 0 bis 200 GW dar. (in 50GW-Intervallen).
Was beobachten Sie?
- b) Betrachten Sie im Folgenden die tatsächlichen Daten der Erneuerbaren (Wind und PV) aus dem Jahr 2012. Stellen Sie die Last sowie Residuallast ($Last - PV_{Produktion} - Wind_{Produktion}$) als Leistungsdauerlinie dar.
- c) Erstellen Sie 3 Scatterplots (siehe Matlab-Funktion *scatter*) des Spotmarktpreises in Abhängigkeit von:
 - Last
 - Residuallast
 - Einspeisung der Erneuerbaren
- d) Wie interpretieren Sie die Scatterplots? Decken sich die Ergebnisse mit ihren Erwartungen?

1.2 Aufgabe 4.2

Das Ziel von Aufgabe 4.2 ist es die historische Entwicklung der Großhandelsstrompreise vom Jahr 2008 bis zum Jahre 2016 zu beschreiben.

Die hierfür nötigen **Parameter** können dem Kapitel Aufgabe 4.1 entnommen werden.

Die **Aufgaben** lauten:

- a) Erstellen Sie die Preisdauerlinie für die Jahre 2008 bis 2016.
Was beobachten Sie?
- b) Erstellen Sie eine Grafik der mittleren stündlichen Großhandelsstrompreise für alle 24h für die Jahre 2016 und 2008. Sprich für jede Stunde soll der Mittelwert aus 365 Tagen gebildet werden.
 - Alternativ können Sie dies auch mit einem Boxplot darstellen.
 - Was erkennen Sie daraus?

1.3 Aufgabe 4.3

Aufgabe 4.3 befasst sich mit der Entwicklung des monetären Ertrags einer PV-Anlage, über die Jahre 2008 bis 2016.

Die dazu gegebenen **Parameter** sind folgende:

- Es wird von einer $1kWp$ PV-Anlage ausgegangen.
- Das Erzeugungsprofil der PV-Anlage ist in der Datei *Load_PVProduction.mat* enthalten.

Für den konkreten Fall aus Aufgabe 4.3 soll die Annahme getroffen werden, dass die komplette Erzeugung am Spotmarkt verkauft wird.

Speziell sollen folgende **Aufgaben** behandelt werden:

- a) Berechnen Sie den monetären Ertrag am Spotmarkt (Marktwert) einer $1kWp$ -PV-Anlage für die Jahre 2008 bis 2016 (das PV-Erzeugungsprofil (in MW/MW_{peak}) finden Sie im File *Load_PVProduction.mat*)
- b) Geben Sie die monetären Erträge (der $1kWp$ -Anlage) der Tage 4 bis 34 und 180 bis 220 im Jahr 2008 und 2016 an.
- c) Wie interpretieren Sie die jährliche Entwicklung der Erträge? Was schließen Sie aus den Ergebnissen?

2 Berechnungen

2.1 Last und Residuallast

Die **Last** bezeichnet in der elektrischen Energietechnik die gesamte, in einem Stromnetz nachgefragte, elektrische Leistung.

Die **Residuallast** bezeichnet in der elektrischen Energietechnik die in einem Stromnetz nachgefragte elektrische Leistung, abzüglich des Anteils fluktuierender Einspeisung von dargebotsabhängigen Erzeugern, wie Windkraft- oder PV-Anlagen. Die Residuallast ist demnach die Leistung, die von Regelkraftwerken gedeckt werden muss.

Die Berechnung der Residuallast erfolgt für den Fall aus Aufgabe 4.1.a wie folgt:

$$Residuallast = Last - PV_{Profil} * PV_{Leistung} \quad (1)$$

- **Last** ist die in der Datei *Load_Production.mat* zur Verfügung gestellte Netzlast.
- **PV-Profil** entspricht dem in der Datei *Load_Production.mat* enthaltenen Erzeugungsprofil einer PV-Anlage.
- **PV-Leistung** entspricht der installierten Leistung. Für den Fall aus Aufgabe 4.1.a soll die installierte Leistung von 0GW bis 200GW, in 50GW-Schritten variiert werden.

Im Falle von Aufgabe 4.1.b erfolgt die Berechnung der Residuallast über folgende Formel:

$$Residuallast = Last - PV_{Produktion} - Wind_{Produktion} \quad (2)$$

- **Last** ist die in der Datei *Daten_Preise_Last_2012.xlsx* zur Verfügung gestellte Netzlast, für das Jahr 2012.
- **PV-Produktion** entspricht der in der Datei *Daten_Preise_Last_2012.xlsx* enthaltenen PV-Einspeisung, für das Jahr 2012.
- **Wind-Produktion** entspricht der in der Datei *Daten_Preise_Last_2012.xlsx* enthaltenen Einspeisung aus Windkraft-Anlagen, für das Jahr 2012.

2.2 Monetärer Ertrag einer 1kWp PV-Anlage

Der monetäre Ertrag einer PV-Anlage ergibt sich aus der Multiplikation der Kraftwerkleistung, den Profilwerten und dem jeweiligen Spotpreis. Durch Aufsummieren der einzelnen Werte eines Jahres, erhält man den gesamten monetären Ertrag des jeweiligen Jahres (in Euro).

$$Ertrag(a) = \sum_{i=1}^n PV_{Leistung} * PV_{Profil,k} * Spotpreis_k(a) \quad (3)$$

- **Ertrag** entspricht dem gesamten monetären Ertrag eines Jahres, in Euro.
- **a** ist das entsprechende Jahr, für das der monetäre Ertrag errechnet werden soll. (in unserem Fall von 2008 bis 2016)
- **k** entspricht dem Intervall, in dem Daten vorhanden sind (in unserem Fall handelt es sich um stündliche Daten. Daraus folgt, dass **n** einem Wert von 8760 Stunden entspricht.).
- **PV-Leistung** ist die installierten Leistung der PV-Anlage. Für den Fall aus Aufgabe 4.3 entspricht das 1kWp.
- **PV-Profil** ist das Erzeugungsprofil der PV-Anlage.
- **Spotpreis** entspricht dem jeweiligen Spotpreis im Jahr *a*, zum Zeitpunkt *k*.

3 Ergebnisse

3.1 Aufgabe 4.1 - Last und Residuallast

3.1.1 Aufgabe 4.1.a - Dauerlinie der Last und der Residuallast

Das Ziel von Aufgabe 4.1.a war es die Dauerlinie der Last darzustellen.

Die Daten für die Darstellung sind in der Datei *Load_PVProduction.mat* enthalten. Um eine korrekte Darstellung der Dauerlinie zu erhalten, müssen die Werte absteigend sortiert werden.

Folgender MATLAB Code sortiert die Daten, der in der Datei *Load_PVProduction.mat* enthaltenen Variable *Last* und plottet sie.

```
plot(sort>Last , "descend")) ;
```

Der deraus resultierende Graph ist in Abbildung 1 dargestellt.

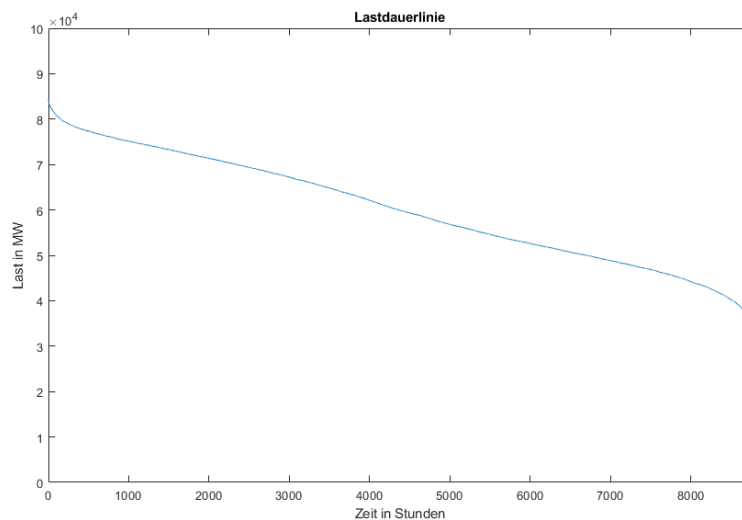


Abbildung 1: Dauerlinie der Last.

Zusätzlich sollte in Aufgabe 4.1.a die Residuallast, in Abhängigkeit von der installierten Leistung von PV-Anlagen, ermittelt werden.

Hierzu soll von einer installierten Leistung von 0 bis 200GW ausgegangen werden. Die installierte Leistung soll in Intervallen von 50GW erhöht werden.

Folgender MATLAB Code erzeugt mit Hilfe der Variablen *Last* und *PVprofil* aus der Datei *Load_PVProduction.mat* sowie der Variable *iLeistung*, welche für die installierte Leistung steht, das in Abbildung 2 dargestellte Diagramm.

```

iLeistung = 0:50:200;

for l=1:length(iLeistung)
    Residuallast = Last - (PV_profil .* (iLeistung(l)
        ) * 1000));
    plot(sort(Residuallast , "descend"))
    hold on
end

```

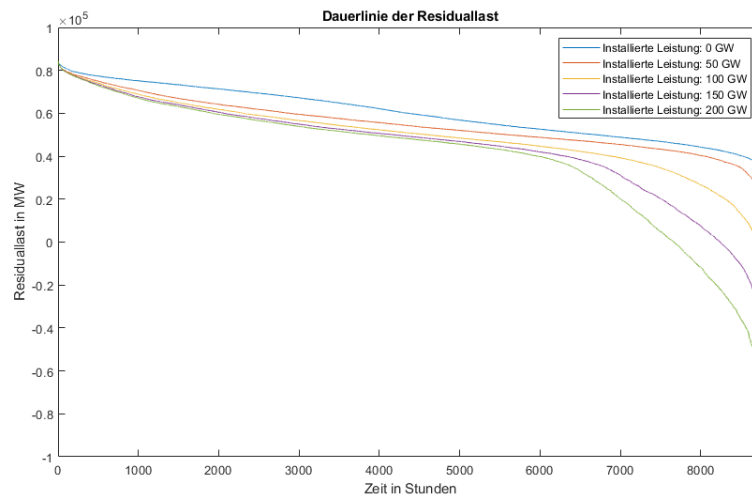


Abbildung 2: Dauerlinie der Residuallast, in Abhängigkeit der installierten Leistung von PV-Anlagen.

Wie man an dem Graphen erkennen kann, sinkt mit zunehmender installierter Leistung die Residuallast. Das bedeutet, dass ein geringerer Anteil der Last auf Regelkraftwerke abfällt und demnach eine höhere gesamte Last abgedeckt werden kann.

Jedoch ist auch ersichtlich, dass selbst die Einspeisung von PV-Anlagen mit einer installierten Leistung von 200GW in den ersten 1000 Stunden (circa ein Achtel des Jahres) kaum einen Einfluss auf die Residuallast haben.

In den letzten 1000 Stunden des Jahres sorgt die geringere Last jedoch dafür, dass die Residuallast teilweise in den negativen Bereich fällt. Der Grund hierfür ist der geringere Stromverbrauch im Sommer, da Verbraucher wie die Beleuchtung oder Heizung nicht aktiv sind. Gleichzeitig ist die Erzeugung bei PV-Anlagen am höchsten.

Gegenteiliges Verhalten (wenig Erzeugung, hohe Last) kann im Winter beobachtet werden.

Diesem Problem kann mit ausreichendem Speichern von Energie, im Sommer (zum Beispiel in Pumpspeicherkraftwerken), entgegengewirkt werden.

3.1.2 Aufgabe 4.1.b - Dauerlinie der Last und der Residuallast für das Jahr 2012

In Aufgabe 4.1.b sollten die tatsächlichen Dauerlinien für die Last und die Residuallast, für das Jahr 2012, dargestellt werden. In dieser Aufgabe sollte ebenfalls die Erzeugung durch Windkraft-Anlagen berücksichtigt werden.

Mit Hilfe der in der Datei *Daten_Preise_Last_2012.xlsx* enthaltenen Daten zur Netzlast, der PV- und der Wind-Erzeugung, kann die Dauerlinie analog zu Aufgabe 4.1.a erstellt werden:

```
plot(sort(Netzlast2012 , "descend"))
```

Die Variable *Netzlast2012* entspricht den in der Datei *Daten_Preise_Last_2012.xlsx* enthaltenen Daten für die Last.

Abbildung 3 zeigt die resultierende Dauerlinie der Last, für das Jahr 2012.

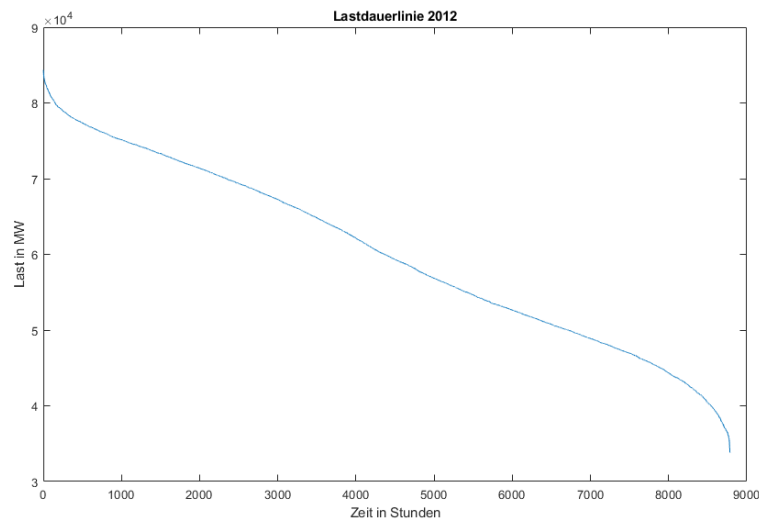


Abbildung 3: Die Dauerlinie der Last, für das Jahr 2012.

Mithilfe der in der Datei *Daten_Preise_Last_2012.xlsx* zur Verfügung gestellten Variablen *PV2012*, welche die PV-Erzeugung über das Jahr 2012 abbildet und *Wind2012*, welche die Erzeugung aus der Windkraft darstellt, kann die Dauerlinie der Residuallast, für das Jahr 2012, ermittelt werden.

Das Resultat ist in Abbildung 4 dargestellt.

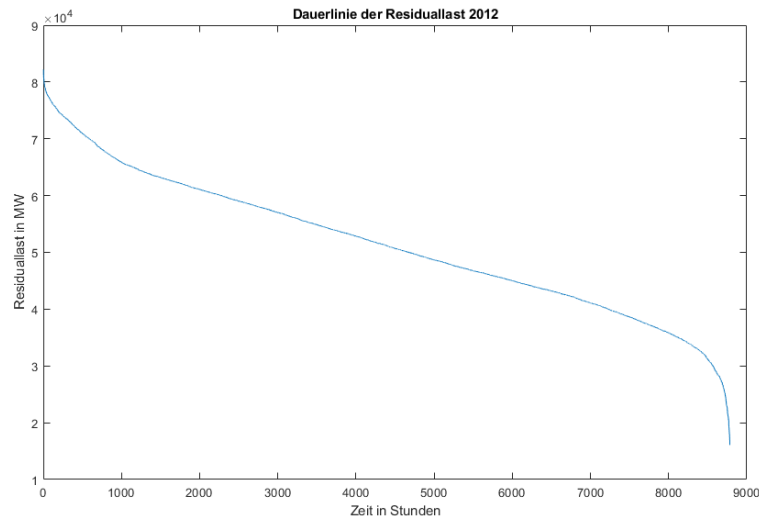


Abbildung 4: Die Dauerlinie der Residuallast für das Jahr 2012.

Der Vergleich der beiden Diagramme zeigt, dass die Dauerlinie der Residuallast, im Vergleich zur Dauerlinie der Last, in den ersten 1000 Stunden des Jahres stärker abfällt. Zwischen 1000 Stunden und 8000 Stunden ist die Kurve der Residuallast flacher, als die Kurve der Last. In den letzten 760 Stunden fällt die Kurve der Residuallast noch einmal sehr steil ab.

Der Vergleich zeigt, dass mit Hilfe der Erzeugung durch erneuerbare Energien die Stunden, in denen eine hohe Leistung von Regelkraftwerken abgedeckt werden muss (über 70.000 MW), reduziert werden kann (auf ungefähr 1000 Stunden). Zeitweise sinkt die Residuallast sogar auf nur circa 15.000 MW.

3.1.3 Aufgabe 4.1.c - Abhängigkeiten des Spotmarktpreises

In Aufgabe 4.1.c sollte die Abhängigkeit der Spotmarktpreise, des Jahres 2012, von der Netzlast, der Residuallast und der Einspeisung erneuerbarer Energien dargestellt werden. Die Interpretation der Ergebnisse findet sich in Kapitel Aufgabe 4.1.d - Interpretation der Scatter-Plots.

Zum Erstellen eines Scatter-Plots ist folgender MATLAB Code notwendig:

```
scatter(Netzlast2012, Spotpreis2012)
```

Die Variablen *Netzlast2012* und *Spotpreis2012* wurden in der Datei *Daten_Preise_Last_2012.xlsx* zur Verfügung gestellt. Die Variable *Netzlast2012* wird für die beiden weiteren Diagramme durch die Variablen *Residuallast2012* und *EinspeisungErneuerbareEnergie2012*

ersetzt.

Die resultierenden Scatter-Plots sind in den Abbildungen 5-7 dargestellt.

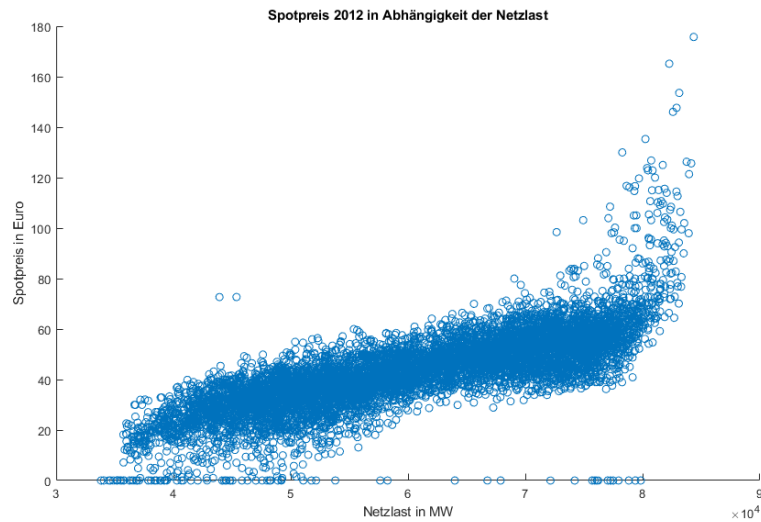


Abbildung 5: Die Abhängigkeit des Spotmarktpreises von der Netzlast, für das Jahr 2012.

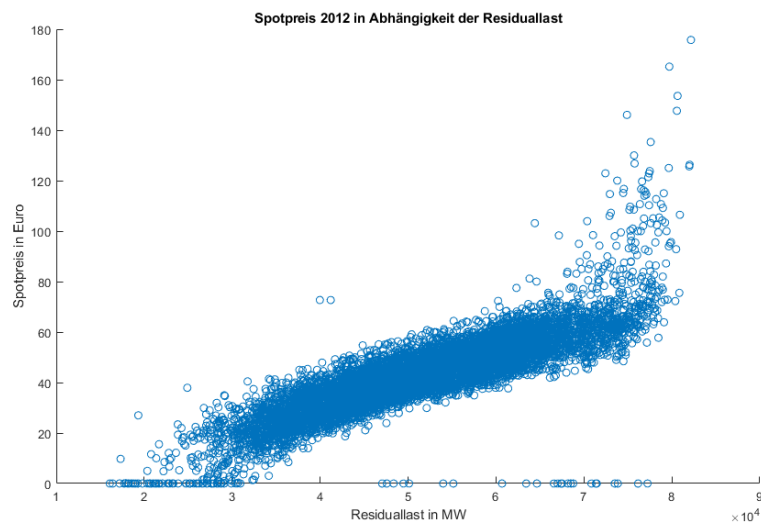


Abbildung 6: Die Abhängigkeit des Spotmarktpreises von der Residuallast, für das Jahr 2012.

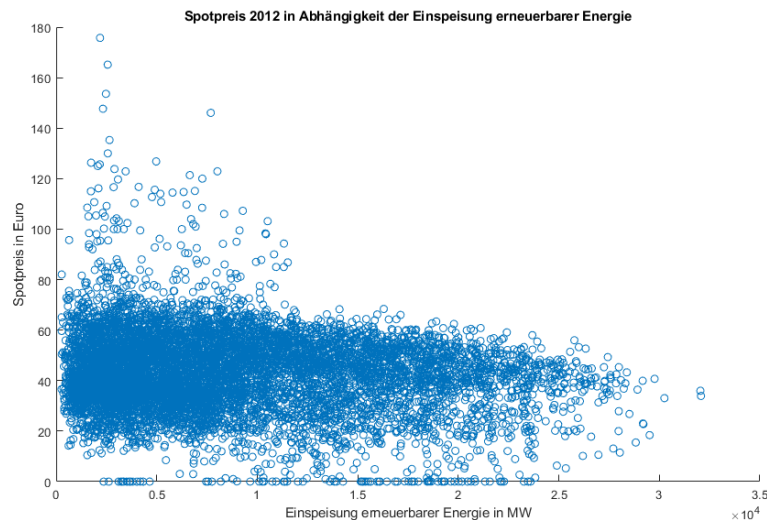


Abbildung 7: Die Abhängigkeit des Spotmarktpreises von der Einspeisung erneuerbarer Energien, für das Jahr 2012.

3.1.4 Aufgabe 4.1.d - Interpretation der Scatter-Plots

1. Der Scatter-Plot in Abbildung 5 stellt den Spotmarktpreis, in Abhängigkeit der Netzlast dar.

Umso weiter man auf der x-Achse nach rechts geht, umso höher ist die Nachfrage nach Energie. In der Abbildung ist schön ersichtlich, wie der Spotmarktpreis bei einer hohen Nachfrage steigt, während er bei einer geringen Nachfrage (auf der linken Seite der x-Achse) sinkt.

2. In Abbildung 6 ist der Spotmarktpreis, in Abhängigkeit der Residuallast dargestellt. Analog zur Interpretation von Abbildung 5 ist auch in Abbildung 6 ein Zusammenhang zwischen der Nachfrage nach Energie und dem Spotmarktpreis ersichtlich. In Abbildung 6 ist dieser Zusammenhang sogar noch deutlicher sichtbar, da der unberechenbarere Faktor „erneuerbare Energien“ nicht in die Berechnung miteinfließt und nur die Preissetzung der Anbieter dargestellt wird.

3. Abbildung 7 stellt den Spotmarktpreis in Abhängigkeit der Einspeisung erneuerbarer Energie dar.

In diesem Diagramm ist ersichtlich, dass der Spotmarktpreis bei einem großen Angebot an Energie sinkt. Bei einem begrenzten Angebot, wie es links in der Abbildung der Fall ist, ist der Spotmarktpreis hoch. Bei einem großen Angebot sinkt der Preis dementsprechend.

Zusammenfassen kann man sagen, dass sich die Ergebnisse mit unseren Erwartungen decken. Es ist ein allgemeiner Zusammenhang zwischen der Nachfrage nach Energie und dem Spotmarktpreis ersichtlich.

Sobald eine hohe Nachfrage besteht, die fluktuierende Einspeisung von dargebotsabhängigen Erzeugern jedoch gering ist, steigt der Spotmarktpreis.

Besteht eine geringe Nachfrage während die Einspeisung durch erneuerbare Energien hoch ist (z.B. zur Mittagszeit im Sommer), sinkt der Spotmarktpreis.

Abbildungsverzeichnis

1	Dauerlinie der Last.	7
2	Dauerlinie der Residuallast, in Abhängigkeit der installierten Leistung von PV-Anlagen.	8
3	Die Dauerlinie der Last, für das Jahr 2012.	9
4	Die Dauerlinie der Residuallast für das Jahr 2012.	10
5	Die Abhängigkeit des Spotmarktpreises von der Netzlast. (Jahr 2012) . . .	11
6	Die Abhängigkeit des Spotmarktpreises von der Residuallast. (Jahr 2012) .	11
7	Die Abhängigkeit des Spotmarktpreises von der Einspeisung erneuerbarer Energien. (Jahr 2012)	12