



Technische  
Universität  
Braunschweig



# SEMINAR

## STUDIENSEMINAR FÜR ELEKTRISCHE ENERGIESYSTEME

Ergebnisberichte Teil 2

Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

**Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische  
Energieanlagen - elenia**

Wintersemester 2016/2017

**Braunschweig, 30.01.2017**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zeitplan</b>	<b>2</b>
Köster - Prognoseverfahren im Bereich von Energiemanagementsystemen . . . . .	4
Bericht . . . . .	4
Präsentation . . . . .	8
Günzel - Home Energy Management Systems . . . . .	24
Bericht . . . . .	24
Präsentation . . . . .	29
Otte - Analytischer Vergleich diverser thermischer Referenzlastprofile . . . . .	44
Bericht . . . . .	44
Präsentation . . . . .	50
Preißler - Energieversorgungsnetz außerhalb der ENTSO-E . . . . .	64
Bericht . . . . .	64
Präsentation . . . . .	69
Skroch - Intelligentes Laden von Elektrofahrzeuge . . . . .	81
Bericht . . . . .	81
Präsentation . . . . .	85
Broschinski - Stromdienstleistung mit PV-Heimspeichersystemen . . . . .	96
Bericht . . . . .	96
Präsentation . . . . .	100
Hartjen - Blockchain in der Energiewirtschaft . . . . .	108
Bericht . . . . .	108
Präsentation . . . . .	112
Untiedt - Clearingstelle-EEG . . . . .	125
Bericht . . . . .	125
Präsentation . . . . .	129

## Zeitplan am 26.01.2017 im Seminarraum (elenia)

Zeit	Typ	Referent	Thema
09:30 – 11:00	Vortrag	Simon Köster	Prognoseverfahren im Bereich von Energiemanagementsystemen
	Vortrag	Vincent Günzel	Home Energy Management Systems
	Vortrag	Lukas Otte	Analytischer Vergleich diverser thermischer Referenzlastprofile
11:00 – 11:15	Pause		
11:15 – 12:15	Vortrag	Anne Preißler	Energieversorgungsnetz außerhalb der ENTSO-E
	Vortrag	Mike Stefan Skroch	Intelligentes Laden von Elektrofahrzeuge
12:15-13:15	Mittag		
13:15-14:45	Vortrag	Paul Broschinski	Stromdienstleistung mit PV-Heimspeichersystemen
	Vortrag	Lukas Hartjen	Blockchain in der Energiewirtschaft
	Vortrag	Markus Untiedt	Clearingstelle-EEG



# Prognoseverfahren im Bereich von Energiemanagementsystemen

## Forecasting methods for energy management systems

Simon Köster, B. Sc.

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen – **elenia**, Braunschweig, s.koester@tu-bs.de

### Kurzfassung

Es werden immer mehr Photovoltaik-Anlagen und auch Speichersysteme von privaten Haushalten in das Netz integriert. Diese speisen über den Tag unterschiedlich viel Leistung ein, was zu einer Herausforderung, gerade in den Mittagsstunden führt. Es wird gezeigt, welche Prognoseverfahren es für die Stromerzeugung von PV-Anlagen und für die Last eines Haushalts gibt. Mit Hilfe der Prognosen und einer Batterie lassen sich die Einspeiseleistung in das Netz reduzieren und der Autarkiegrad des Haushaltes erhöhen.

### Abstract

More and more photovoltaic systems and also storage systems of private households being integrated into the grid. These give a changing amount of power into the grid throughout the day. This leads to a challenge especially in the noon hours. It is shown which forecasting methods there are for pv-systems and for the load of a household. With the help of the forecasts and a battery, the feed-in power into the grid can be reduced and the autonomy of the household can be increased.

## 1 Einleitung

Aufgrund der Zielsetzung der Bundesregierung erneuerbare Energien auszubauen, werden auch immer mehr Photovoltaik-Anlagen an das Netz angeschlossen [1]. Diese speisen über den Tag unterschiedlich viel Leistung ein, gerade in den Mittagsstunden wird aufgrund des Sonnenstandes am meisten Leistung erzeugt. Das führt zu einer Herausforderung, die Energie so in das Netz ein zu speisen, dass dieses nicht überlastet. Um die Einspeiseleistung zu reduzieren, werden im Wesentlichen drei Dinge benötigt: Ein Batteriespeicher, eine PV-Erzeugungsprognose und eine Lastprognose des Haushaltes. Ein weiterer Vorteil ist zudem die Erhöhung des Autarkiegrades, d.h. wie zu welchem Anteil sich der Haushalt mit selbst erzeugter Energie versorgen kann. Die Prognosen können helfen, die erzeugte Energie möglichst selbst zu verbrauchen und wenig in das Netz einzuspeisen oder Abregelverluste zu vermeiden, der Eigenverbrauch wird optimiert. So kann bei einer hohen Leistungserzeugung der PV-Anlage der Eigenverbrauch gedeckt werden, die Batterie mit einer bestimmten Leistung geladen werden und die übrige Energie in das Netz eingespeist werden. Nachts kann dann eine gewisse Zeit die Leistung aus der Batterie entnommen werden, bevor auf das Netz zurückgegriffen werden muss [2].

## 2 Theoretische Grundlagen

Um den Lastverlauf vorherzusagen, also eine Prognose zu erstellen, gibt es einige mathematische Ansätze. Benötigt werden dazu historische Daten der Lastgänge.

Eine Methode ist, den Tag in einzelne Zeitschritte zu teilen und diese dann über alle Tage des Jahres zu mitteln [2]. Das bringt eine Lastkurve des durchschnittlichen Verbrauchs über den Tag. Allerdings ist sie für jeden Tag

des Jahres gleich, auch Unterschiede zwischen den Wochentagen werden vernachlässigt.

Mit einem anderen Verfahren, dem k-means-Clusterverfahren, werden aus den Tageslastgängen eines Jahres automatisch  $k$  Prototypen-Tageslastgänge erstellt.

Über den Tag wird der aktuelle Tageslastgang mit den Prototypen verglichen und der am besten Passende als Prognose verwendet [3]. Dazu wird der Abstand eines Tageslastganges zu den Prototypen mit dem euklidischen Distanzmaß  $d$  bestimmt. Mit diesem Verfahren wird statt eines Tageslastganges der Beste aus  $k$  Verschieden als Prognose verwendet.

Weiterhin gibt es heuristische Methoden, also auf Basis von Erfahrungen, welche einen oder mehrere Vortage oder die gleichen Wochentage zur Prognose heran ziehen. Um die Prognose für die Leistung der PV-Anlage zu erhalten, gibt es zum einen die Möglichkeit Wetterdaten auszuwerten. So lassen sich anhand der Bewölkung die zu erwartenden Sonnenstunden bestimmen.

Ein weiterer Faktor zur Bestimmung der Prognose ist der Vorjahreswert und die Werte vorheriger Tage, falls beispielsweise eine Schneedecke auf den Solarmodulen liegt.

Liegen die Prognosen vor, kann ein Energiemanagementsystem den erzeugten Solarstrom zum prognosebasierten Speicherbetrieb verwenden. Abbildung 1 zeigt ein System aus Regelung, PV-Anlage, Batteriespeicher und Wärmepumpe, mit möglicher Reihenfolge zum Speichern der Energie.

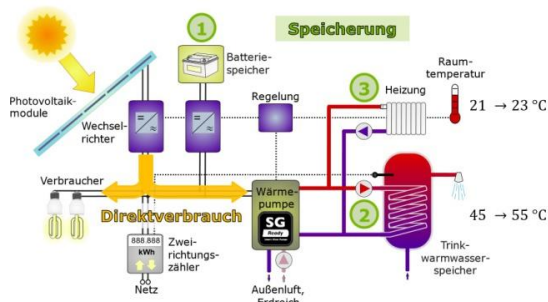


Abbildung 1, Schaubild Energiemanagement [5]

### 3 Hauptteil

Prognosen, welche die voraussichtliche Last eines Haushaltes und die zu erwartende Leistung einer Photovoltaik-Anlage vorhersagen, bieten einige Vorteile. Ein Energiemanagementsystem kann diese Prognosen verwenden und mithilfe eines Batteriespeichers und einer Wärmepumpe die Effizienz des Haushalts erhöhen. Ohne Prognose würde beispielsweise mit der nicht direkt durch den Haushalt verbrauchten Solarenergie der Batteriespeicher geladen werden. Im Laufe des Vormittags wäre dieser dann voll geladen und auf einen Schlag muss die Energie der PV-Anlage dann in das Netz eingespeist werden. Das belastet das Netz und es kann sein, dass wenn über die Mittagszeit eingespeist wird, nicht die volle Leistung der PV-Anlage, aufgrund von Vorgaben des Netzbetreibers, eingespeist werden kann. Liegen dem Energiemanagementsystem jedoch die Prognosen vor, kann es den Batteriespeicher langsam über den Tag laden, so dass er trotzdem am Abend vollgeladen ist [2]. In den Mittagsstunden wird so in das Netz eingespeist, ein Teil direkt verbraucht und ein Teil in den Batteriespeicher und in die Wärmepumpe gespeist.

#### 3.1 Prognoseverfahren

Prognoseverfahren dienen dazu, eine Vorhersage über den zu erwartenden Tagesgang zu machen. Zur Erzeugung der Prognosen gibt es verschiedene Methoden.

##### 3.1.1 Mittlerer Tageslastgang

Der Tageslastgang wird in  $N$  einzelne Zeitschritte geteilt, sodass viele Momentanwerte der Last vorliegen. Über  $M$  Tage wird dann gemittelt [2].

$$P_{Last}(t) = \sum_{k=1}^N \sum_{d=1}^M \frac{P_{Last,d}(t_k)}{M}$$

Das bringt eine Lastkurve des durchschnittlichen Verbrauchs über den Tag. Allerdings ist sie für jeden Tag des Jahres gleich, auch Unterschiede zwischen den Wochentagen werden vernachlässigt.

#### 3.1.2 k-means-Clusterverfahren

Es liegen Tageslastgänge von 365 Tagen eines Jahres vor. Mit diesen sollen  $k$  Prototypen-Tageslastgänge  $p_k$  erzeugt werden. Während eines Tages wird der Lastgang dann in regelmäßigen Zeitschritten mit den Prototypen verglichen und der passendste ausgewählt.

Zur Erzeugung der Prototypen werden zuerst die Tageslastgänge  $x_i$  in Minutenwerte zerlegt. So bekommt man 1440 Einzelwerte für einen Tag. Dann wird die Anzahl  $k$  der Prototypen festgelegt, z.B. 8. Jetzt werden  $k$  zufällig ausgewählte Tageslastgänge als Startwert ausgewählt. Es wird von allen 365 Tageslastgängen der Abstand zu den Prototypen mit dem Euklidische Distanzmaß  $d$  bestimmt:

$$d(x_i, p_k) = \sqrt{\frac{1}{1440} \sum_{j=1}^{1440} (x_i(j) - p_k(j))^2}, k = 1 \dots 8, i = 1 \dots 365$$

Jeder Tageslastgang wird nun dem Prototypen zugeordnet, welcher den geringsten Abstand hat. Sind alle Tageslastgänge zugeordnet, werden die Prototypen aus dem Mittelwert aller ihm zugeordneten Tageslastgängen neu berechnet. Das wird wiederholt, bis sich die Prototypen nur noch geringfügig ändern [3].

Zur Prognose wird laufend über den Tag die Ähnlichkeit des Tageslastgangs zu den  $k$  Prototypen mit

$$d(x, p_k) = \sqrt{\frac{60s}{T} \sum_{j=1}^{T/60s} (x(j) - p_k(j))^2}, k = 1 \dots 8$$

verglichen und der passendste ausgewählt. Die Prognosekurve ist also eine der  $k$  Prototypen [3].

Es kann vorkommen, dass im späteren Verlauf des Tages der Verlauf zu einem anderen Prototypen besser passt und die Prognose geändert wird

#### 3.1.3 Vergleichstag

Bei dieser Methode werden gleiche Wochentage in der Vergangenheit betrachtet. Dabei lässt sich die Anzahl der vorherigen Tage frei wählen. Jedem vorherigen Tag kann ein Faktor  $b$  beigelegt werden, um die Tage verschieden zu gewichten. Der zu prognostizierende Tag  $\hat{x}_t$  wird wie folgt berechnet:

$$\hat{x}_t = b_1 * x_{t-d_1} + b_2 * x_{t-d_2} + b_3 * x_{t-d_3} + \dots$$

Sind Feiertage eingespeichert, greift diese Methode an einem solchen auf bisherige Feiertage zurück. Liegen keine Daten vor, werden bisherige Sonntage verwendet. Bei Prognosen von Brückentagen werden zu Hälfte vergangene Freitage und Samstage verwendet [4].

### 3.1.4 Anwendungsfälle

Mit diesen Prognoseverfahren sollen beispielsweise Vorhersagen über die zu erwartende Last eines Haushaltes gemacht werden. Dazu werden Tageslastgänge prognostiziert, in diesen ist die aktuell verbrauchte Leistung über die Stunden des Tages aufgetragen. Analog dazu wird die erzeugte Leistung einer PV-Anlage über den Tag aufgetragen. Diese Prognosen werden dann von einem Energiemanagementsystem verwendet.

### 3.1.5 Prognose bei PV-Anlagen

Die Prognose der PV-Erzeugung basieren auf Satellitendaten. Zu diesen Daten werden Messwerte lokaler Wetterstationen hinzugezogen. Auch die Daten der PV-Anlage werden verwendet, um systematische Fehler auszugleichen, wie Lastgänge vergangener Tage, Ausrichtung und Nennleistung der PV-Anlage. Es können Fehler entstehen, wenn kleinere Wolken die Leistung der Anlage senken, welche vorher nicht von den Satelliten erfasst worden sind, da das abgetastete Raster eine gewisse Größe besitzt oder umgekehrt, wenn Wolkendecken kleine Lücken aufweisen. Daher ist diese Prognose für größere Gebiete gut geeignet, da sich die lokalen Ungenauigkeiten oft ausgleichen, je kleiner das betrachtete Gebiet, desto häufiger kommt es zu Fehlern [2] Auch kann es im Winter häufiger vorkommen, dass eine Schneedecke die PV-Anlage bedeckt und keine Leistung erzeugt wird. Mithilfe des Wetterberichtes könnte eine Wahrscheinlichkeit für diese Fälle bestimmt werden, welche in die Prognose miteinfließt.

### 3.2 Speicherbetrieb

Der Speicher erhöht den Autarkiegrad eines Wohnhauses und entlastet das Netz. Die nicht direkt verbrauchte Energie kann auf verschiedene Wege zwischengespeichert werden. Zum Beispiel in einer Batteriespeicher und mit Hilfe einer Wärmepumpe. Diese wird elektrisch betrieben, entzieht der Umwelt außerhalb des Hauses Wärme und gibt sie über einen Wärmetauscher an den Heizkreislauf des Hauses weiter. So kann elektrische Energie in Form von Wärme gespeichert werden.

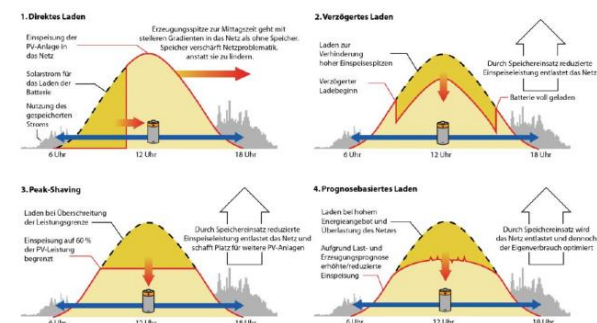


Abbildung 2, Speicherbetriebsarten [6]

Abbildung 2 zeigt am Beispiel eines Batteriespeichers verschiedene Ladestrategien. Beim direkten Laden wird

verfügbare Energie direkt in die Batterie gespeichert. Ist die Batterie bei viel Sonnenenergie vor dem Mittag vollgeladen, wird das Netz nicht entlastet. Außerdem ist es wahrscheinlich, dass die Einspeiseleistungsgrenze erreicht wird und somit Energie verloren geht. Wird gesteuert geladen, wie auch beim Peak-Shaving, entlastet das das Netz zur Mittagszeit. Richtet man sich konstant nur an einen Grenzwert, wie beim Peak-Shaving, bei dem geladen werden soll, kann es vorkommen, dass die Batterie über den Tag nicht komplett geladen wird. Das prognosebasierte Laden berücksichtigt die Prognosen für Erzeugung und Last. Damit lässt sich die Batterie optimal über den Tag laden, sodass der Eigenverbrauch gedeckt ist und die Einspeiseleistung nicht an den Grenzwert stößt.

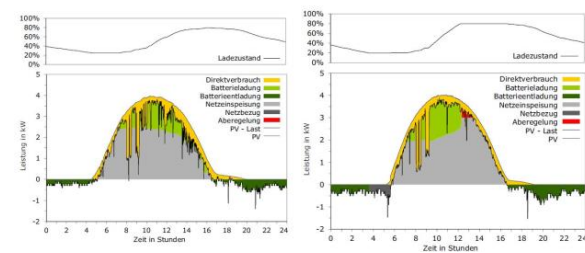


Abbildung 3, Tageslastgänge und PV-Erzeugung [2]

Abbildung 3 zeigt beispielhaft, wie ein Tagesverlauf mit Speicherung, Netzeinspeisung und Eigenverbrauch aussehen kann. Man sieht in gelb, der Eigenverbrauch hat immer Priorität. Durch die Prognose wird die Batterie möglichst zur Spitzenerzeugungszeit geladen aber mindestens so stark, dass die Netzeinspeisung unter dem Grenzwert für die Einspeiseleistung liegt. Im linken Bild funktioniert das sehr gut, im rechten Bild sieht man, dass die Batterie voll ist, der Eigenverbrauch aber nicht ausreicht, um die Netzeinspeisung unter dem Grenzwert zu halten. Deshalb wird hier Leistung abgeregelt. Das kann zum Beispiel passieren, wenn die prognostizierte Last zu hoch war oder die prognostizierte Erzeugungsleistung zu gering.

### 3.3 Wärmebedarfsprognose

Wenn man den Wärmebedarf eines Hauses prognostizieren kann, können diese Daten an das Energiemanagementsystem weitergeben werden und so bei elektrischen Heizungen oder Wärmepumpen die wahrscheinlich benötigte Leistung bestimmen.

Um den Wärmebedarf eines Hauses oder Haushaltes vorherzusagen, werden verschiedene Eingangsdaten verwendet. Das Wetter hat einen direkten Einfluss auf den Wärmebedarf und somit die Wettervorhersage auf die Wärmebedarfsprognose. Dabei sind Außentemperatur, Bodentemperatur, Windgeschwindigkeit, ob es regnet und die relative Luftfeuchtigkeit notwendig [7]. Diese Daten lassen sich entweder am eigenen Haus messen oder von einer nahe gelegenen Wetterstation beziehen. Hinzu kommen Parameter, ähnlich wie sie auch in der Lastprognose des Energieverbrauchs verwendet werden. Dazu zählen zum Beispiel, ob es sich um einen Arbeitstag

handelt oder nicht, der Wärmebedarf des Vortages und der des Tages vor einer Woche.

Die Wärmelastprognose ist ebenso interessant für private Haushalte mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW). Diese wollen entweder den erzeugten Strom selber (oder zum Teil) verbrauchen oder einspeisen, möglichst zum besten Preis. Deshalb wird hier eine weitere Prognose zum Strompreis benötigt. Verwendung findet hier z.B. die Vergleichstagemethode. Zusätzlich werden in die Berechnungen zum Wärmebedarf noch Daten wie Außentemperatur, welche gerade bei weniger gut gedämmten Häusern eine Rolle spielt, Bewölkung und Ist-Wärmeabnahme einbezogen [8].

Für Stadtteile lässt sich der Wärmebedarf mithilfe von 3D-Modellen prognostizieren. Dazu werden Daten zu den Grundrissen der Gebäude vom Katasteramt und die Höhe der Gebäude aus der Lärmkartierung bezogen. Damit lassen sich grobe Modelle der Gebäude errechnen. Hinzu kommen Daten wie das Alter, Dachfläche, Fensteranteil, Außenwandfläche und der Zustand des Gebäudes. Über eine Simulation werden aus diesen Daten dann Verbrauchswerte für die Wärmemenge berechnet [9]. Dieses Verfahren eignet sich bedingt auch für einzelne Häuser, beziehungsweise Einfamilienhäuser. Jedoch wirkt sich die variable Nutzung der Hausbewohner bei diesen deutlich stärker aus, als bei Häusern mit mehreren Parteien, da sich dort die Nutzung im Mittel nicht so stark ändert.

Ein Faktor, der bei den Prognosen mit einspielt ist, dass die Last der Temperatur hinterher eilt [4]. Das liegt zum einen an der Isolation und einer gewissen Wärmespeicherfähigkeit von Gebäuden und zum anderen an einer Zeit, bis Bewohner sich entscheiden, die Heizung an oder höher zu drehen.

## 4 Zusammenfassung/Fazit

Die verschiedenen Prognoseverfahren liefern zum Teil gute Ergebnisse, jedoch gibt es bei allen Verfahren Schwankungen, sodass sich die Vorhersagen nur mit einer gewissen Genauigkeit bestimmen lassen.

Mithilfe von Prognosen kann das Energiemanagement eines Haushaltes optimiert werden. Je genauer die Prognosen sind, desto besser kann ein Energiemanagementsystem die Energieverteilung zwischen Direktverbrauch, Netzeinspeisung und Speicherung verwalten. Mit optimalen Vorhersagen wäre es möglich, eine kleinere PV-Anlage zu benutzen und eine größere Batterie, sodass ein Netzanschluss nicht mehr nötig wäre. Prognosen über den Wärmebedarf lassen sich bei Haushalten mit Wärmepumpen oder elektrischen Heizungen ebenfalls in die Lastprognose einbinden.

## 5 Literatur

- [1] Umweltbundesamt, Erneuerbare Energien in Zahlen, [Artikel](#), aufgerufen Nov.2016
- [2] J. Bergner, Untersuchungen zu prognosebasierten Betriebsstrategien für PV-Speichersysteme: Bachelorarbeit, 2014.
- [3] T. Bocklisch, Optimierendes Energiemanagement von Brennstoffzelle-Direktspeicher-Hybridssystemen, Dissertation, 2009.
- [4] C. Höft, Bewertung von Verfahren zur Prognose der elektrischen Last – eine empirische Analyse, Diplomarbeit, 2004.
- [5] Pv magazin, PV-Systeme mit Wärmepumpen ideal betreiben, [Artikel](#), aufgerufen Jan. 2017
- [6] Sterner, M.; Eckert, F; Thema, M.; Bauer, F. (2015): Der positive Beitrag dezentraler Batteriespeicher für eine stabile Stromversorgung, Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES) OTH Regensburg, Kurzstudie im Auftrag von BEE e.V. und Hannover Messe, Regensburg / Berlin / Hannover. [Artikel](#), aufgerufen Jan. 2017
- [7] G. Friedrichs, N. Gerke, Wärmelastprognose, Masterprojekt, 2014
- [8] BINE, Prognosen zu Strompreis und Wärmenachfrage, [Artikel](#), aufgerufen Jan. 2017
- [9] U. Eicker, Wärmebedarfsprognose für Gebäude und Stadtquartiere, Entwicklungen an der HFT Stuttgart, Präsentation, 2013



## Prognoseverfahren im Bereich von Energiemanagementsystemen

Simon Köster, 13.02.2017

### Agenda

- Einleitung
- Prognoseverfahren
  - Mittlerer Tageslastgang
  - K-means-Clusterverfahren
  - Vergleichstag
  - Für PV-Anlagen
- Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen
- Wärmebedarfsprognose
- Zusammenfassung



# Agenda

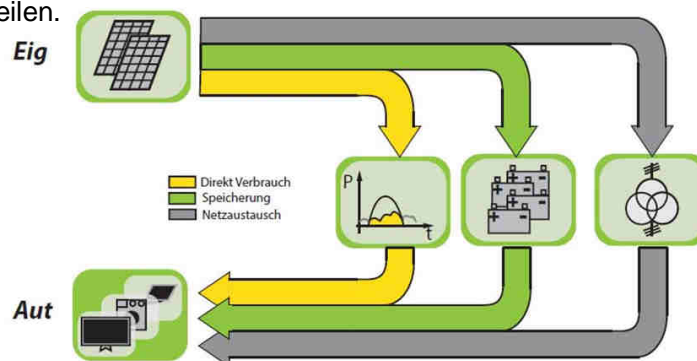
- Einleitung
- Prognoseverfahren
  - Mittlerer Tageslastgang
  - K-means-Clusterverfahren
  - Vergleichstag
  - Für PV-Anlagen
- Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen
- Wärmebedarfsprognose
- Zusammenfassung

## Einleitung

Prognosen über die Leistung der eigenen PV-Anlage und der Last des Haushaltes können

- die Effizienz des Haushaltes erhöhen
- das Netz entlasten
- den Autarkiegrad des Haushaltes erhöhen  
(Autarkiegrad [%] =  $\frac{\text{eigenverbraucher Solarstrom}}{\text{Gesamtstromverbrauch}}$ )

Mithilfe der Prognosen und Speichern kann ein Energiemanagementsystem die erzeugte Leistung der PV-Anlage optimal zwischen Direktverbrauch, Einspeisung in das Netz und Speicherung verteilen.



# Agenda

- Einleitung
- Prognoseverfahren
  - Mittlerer Tageslastgang
  - K-means-Clusterverfahren
  - Vergleichstag
  - Für PV-Anlagen
- Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen
- Wärmebedarfsprognose
- Zusammenfassung

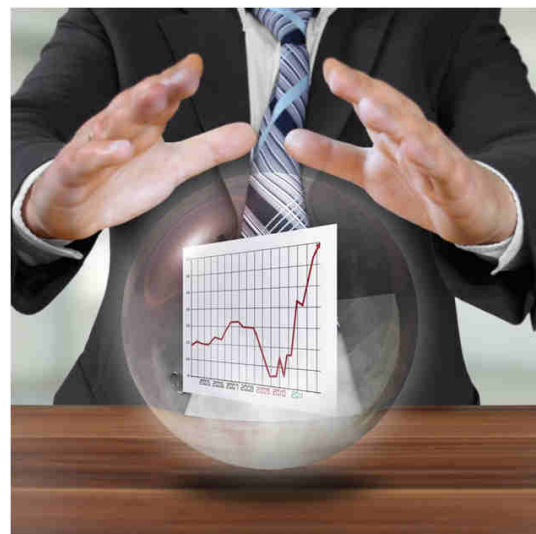
## Prognoseverfahren Haushaltslast

Prognoseverfahren dienen dazu, eine Vorhersage über die zu erwartende Last eines Haushaltes zu machen. Auswirkungen auf die Last haben unter anderem

- Arbeitszeiten
- Wann gekocht wird
- Wochentage
- Wetter

Dazu werden drei Verfahren vorgestellt:

- Mittlerer Tageslastgang
- K-means-Clusterverfahren
- Vergleichstag



Quelle: vogel.de

## Prognoseverfahren Last – Mittlerer Tageslastgang

- Tag wird in N Zeitschritte/Momentanwerte geteilt
- Über M Tage wird gemittelt

$$P_{Last}(t) = \sum_{k=1}^N \sum_{d=1}^M \frac{P_{Last,d}(t_k)}{M}$$

- Ergibt Lastkurve mit durchschnittlichem Verbrauch über den Tag
- Nachteil: Jeder Prognostizierte Tag ist gleich  
→ Zeitraum verkürzen, zum Beispiel Prognose für einen Monat

## Agenda

- Einleitung
- Prognoseverfahren
  - Mittlerer Tageslastgang
  - K-means-Clusterverfahren
    - Vergleichstag
    - Für PV-Anlagen
- Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen
- Wärmebedarfsprognose
- Zusammenfassung

## Prognose Last – k-means-Clusterverfahren

- Es liegen Tageslastgänge von 365 Tagen eines Jahres vor
- Mit diesen sollen  $k$  Prototypen-Tageslastgänge erzeugt werden
- Während eines Tages wird der Lastgang dann in regelmäßigen Zeitschritten mit den Prototypen verglichen und der passendste ausgewählt

## Prognose Last – k-means-Clusterverfahren

- Tageslastgänge werden in  $x_i$  Minutenwerte zerlegt  $\rightarrow$  1440 Einzelwerte pro Tag
- Anzahl  $k$  der Prototypen festlegen und  $k$  zufällig ausgewählte Tageslastgänge als Startwerte nehmen
- Es wird von allen 365 Tageslastgängen der Abstand zu den Prototypen mit dem Euklidische Distanzmaß  $d$  bestimmt

$$d(x_i, p_k) = \sqrt{\frac{1}{1440} \sum_{j=1}^{1440} (x_i(j) - p_k(j))^2}, k = 1 \dots 8, i = 1 \dots 365$$

- Jeder Tageslastgang wird nun dem Prototypen zugeordnet, welcher den geringsten Abstand hat.
- Sind alle Tageslastgänge zugeordnet, werden die Prototypen aus dem Mittelwert aller ihm zugeordneten Tageslastgängen neu berechnet.
- Das wird wiederholt, bis sich die Prototypen nur noch geringfügig ändern.

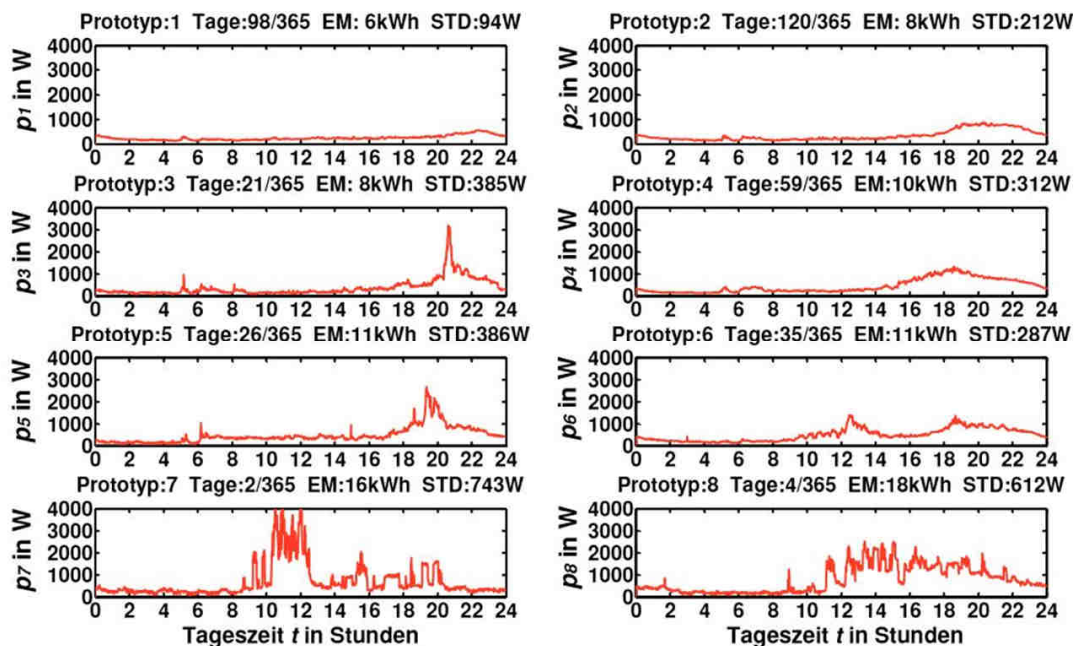
## Prognose Last – k-means-Clusterverfahren

- Zur Prognose wird laufend über den Tag die Ähnlichkeit (Distanz) des Tageslastgangs zu den  $k$  Prototypen bestimmt:

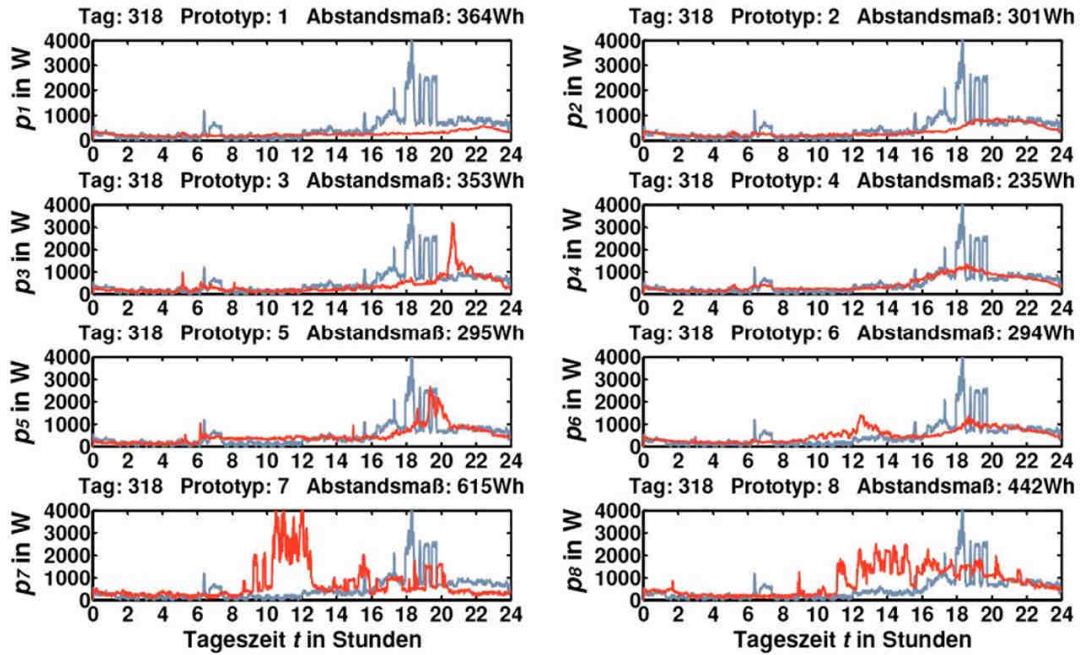
$$d(x, p_k) = \sqrt{\frac{60s}{T} \sum_{j=1}^{T/60s} (x(j) - p_k(j))^2}, k = 1 \dots 8$$

- Der passendste (dichteste) Prototyp wird daraufhin ausgewählt  
→ Die Prognosekurve ist also eine der  $k$  Prototypen

## Prognose Last – k-means-Clusterverfahren



# Prognose Last – k-means-Clusterverfahren



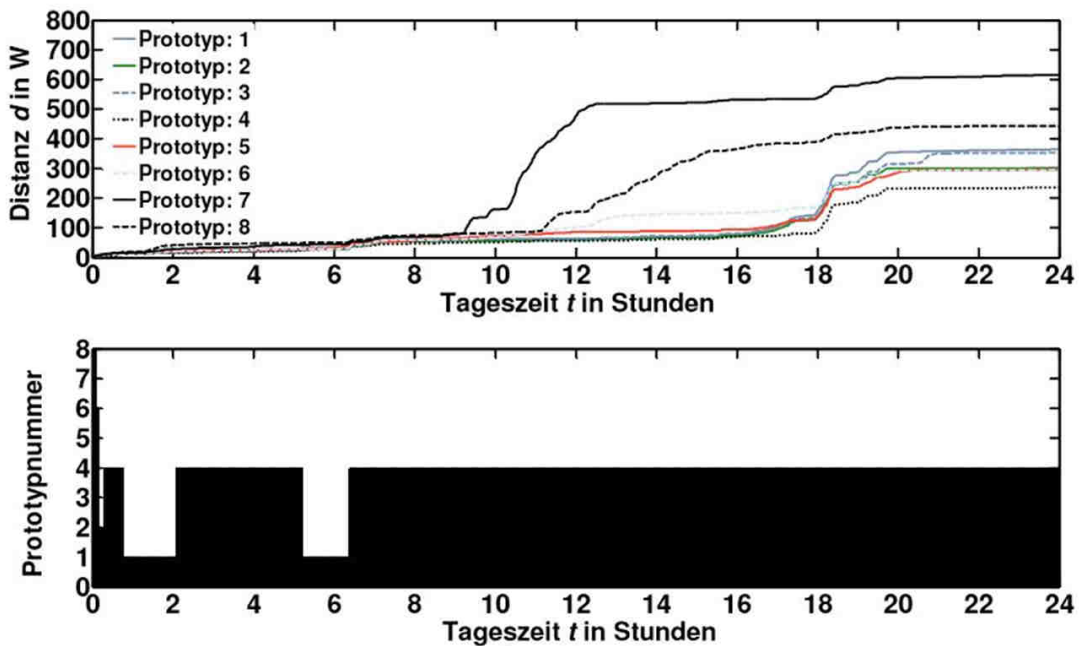
Quelle: Bocklich, Dissertation



26.01.17 | Simon Köster | Prognoseverfahren | Seite 13



# Prognose Last – k-means-Clusterverfahren



Quelle: Bocklich, Dissertation



26.01.17 | Simon Köster | Prognoseverfahren | Seite 14



## Prognose Last – k-means-Clusterverfahren

- Wählt man mehr Prototypen, wird im Schnitt die Distanz zwischen aktuellem Tageslastgang und einem Prototypen geringer
  - Jedoch kommt es dann häufiger vor, dass die Prognose im Verlauf des Tages wechselt, wenn ein anderer Prototyp plötzlich eine geringere Distanz als der bisherige aufweist
- Schwierigkeit, die richtige Anzahl an Prototypen zu wählen

## Agenda

- Einleitung
- Prognoseverfahren
  - Mittlerer Tageslastgang
  - K-means-Clusterverfahren
  - Vergleichstag
  - Für PV-Anlagen
- Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen
- Wärmebedarfsprognose
- Zusammenfassung

## Prognose Last – Vergleichstag

- Gleiche Wochentage in der Vergangenheit werden betrachtet, die Anzahl ist frei wählbar
- Jedem Tag kann ein Faktor zur unterschiedlichen Gewichtung beigefügt werden
- Der zu prognostizierende Tag wird wie folgt berechnet:

$$\hat{x}_t = b_1 * x_{t-d_1} + b_2 * x_{t-d_2} + b_3 * x_{t-d_3} + \dots$$

- Sind Feiertage eingespeichert, greift diese Methode an einem solchen auf bisherige Feiertage zurück, liegen keine Daten vor, werden bisherige Sonntage verwendet
- Bei Prognosen von Brückentagen werden zu Hälfte vergangene Freitage und Samstage verwendet

## Prognose Last

	Mittlerer Tageslastgang	K-means-Clusterverfahren	Vergleichstag
Genauigkeit	Gering	Mittel/Hoch	Mittel/Hoch
Rechenaufwand	gering	Hoch	Gering
Reagiert auf außergewöhnliche Lasten	Nein	Bedingt	Nein
Prognose nächster Tag	bedingt	nein	ja



# Agenda

- Einleitung
- Prognoseverfahren
  - Mittlerer Tageslastgang
  - K-means-Clusterverfahren
  - Vergleichstag
  - Für PV-Anlagen
- Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen
- Wärmebedarfsprognose
- Zusammenfassung

## Prognose PV-Anlage

- Prognosen basieren auf Satellitendaten und Daten lokaler Wetterstationen
- Daten der PV-Anlage werden gegen systematische Fehler herangezogen
- Fehler durch vom Satelliten nicht erfasste Wolken, aufgrund einer gewissen Rastergröße oder Löcher in Wolkendecken

Einen Einfluss auf die Prognose haben

- Das Wetter
- Die Nennleistung der PV-Anlage
- Ausrichtung der PV-Module
- Zustand der PV-Anlage



Quelle: rts.ch

# Agenda

- Einleitung
- Prognoseverfahren
  - Mittlerer Tageslastgang
  - K-means-Clusterverfahren
  - Vergleichstag
  - Für PV-Anlagen
- Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen
- Wärmebedarfsprognose
- Zusammenfassung

## Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen

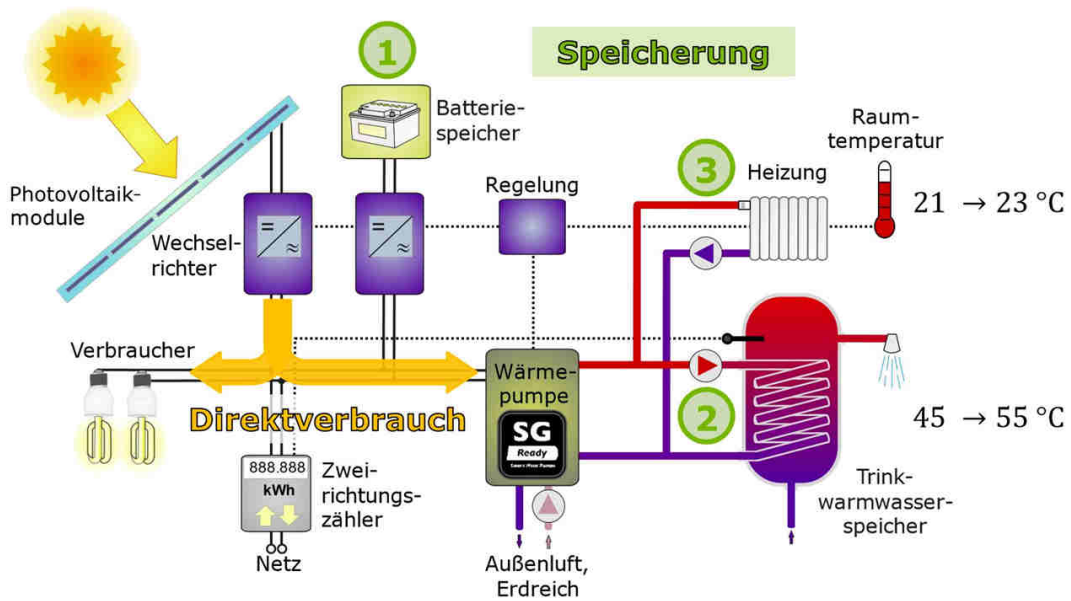
Vorteile von Prognosen für Energiemanagementsysteme:

- Speicherbetrieb mit Batteriespeicher und Wärmepumpe optimieren
- Speicher wird vorausschauend über den Tag geladen
- Mittagsspitzen können abgefangen werden, Abregelverluste können vermieden werden

Bedingungen: Zugriff auf

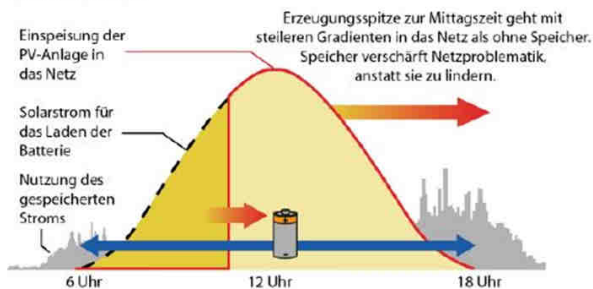
- Leistungserzeugung
- Leistungsverbrauch
- Raum- und Warmwassertemperaturen
- Steuerung von Geräten (Batterieladeregler, Heizung, Wärmepumpe)

# Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen

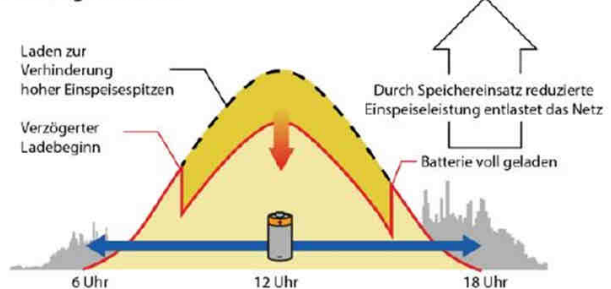


# Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen

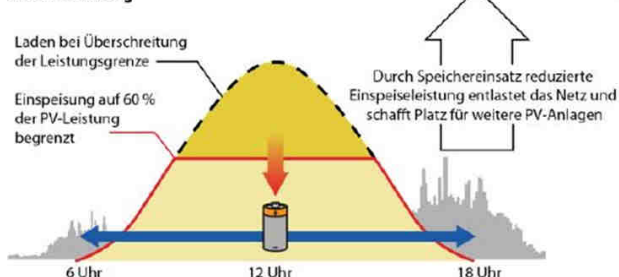
## 1. Direktes Laden



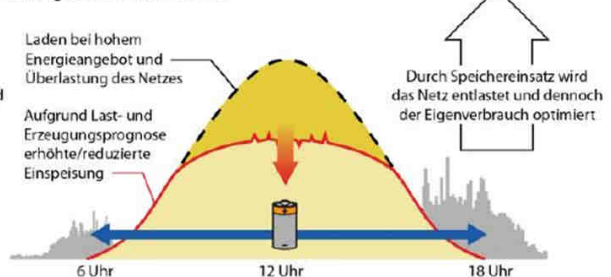
## 2. Verzögertes Laden



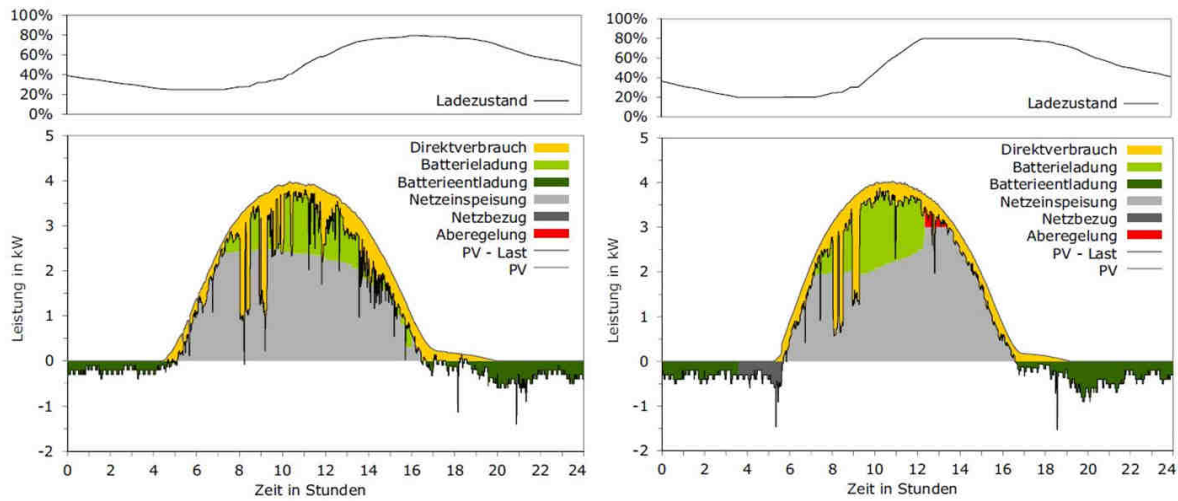
## 3. Peak-Shaving



## 4. Prognosebasiertes Laden



# Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen



## Agenda

- Einleitung
- Prognoseverfahren
  - Mittlerer Tageslastgang
  - K-means-Clusterverfahren
  - Vergleichstag
  - Für PV-Anlagen
- Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen
- Wärmebedarfsprognose
- Zusammenfassung

## Wärmebedarfsprognose

Interessant für

- Hausbewohner mit Wärmepumpe – Eingangsdaten für Lastprognose
- Größere Gebäude mit Blockheizkraftwerken – Eingangsdaten, Strom selbst verbrauchen

Verwendung findet z.B. die Vergleichstagemethode mit zusätzlichen Daten wie:

- Außentemperatur
- Bodentemperatur
- Windgeschwindigkeit
- Regen
- Relative Luftfeuchtigkeit

## Wärmebedarfsprognose

Wärmebedarf für Stadtteile über 3D- Modelle errechnen

- Grundrisse aus Kataster
- Höhe aus Lärmkartierung  
→ 3D-Modell errechnen
- Baualter
- Zustand der Gebäude erfassen
- Dachfläche, Fensteranteil,  
Außenwandfläche erfassen
- Variable Nutzung der Bewohner  
→ Abweichungen der Prognose  
daher bei Einzelgebäuden größer  
als bei Baublöcken



Quelle: Eicker, Präsentation

# Agenda

- Einleitung
- Prognoseverfahren
  - Mittlerer Tageslastgang
  - K-means-Clusterverfahren
  - Vergleichstag
  - Für PV-Anlagen
- Einsatz der Prognosen in Energiemanagementsystemen
- Wärmebedarfsprognose
- Zusammenfassung

## Zusammenfassung

- Prognosen sind sinnvoll
- Anpassung und Optimierung des Speicherbetriebs
  - Netz entlasten
  - Abregelverluste vermeiden
  - Autarkie erhöhen
- Gewisse Schwankungen bei den Verfahren

## Fragen?



Quelle: clipartpanda.com

## Quellen

- [1] <http://www.sma-sunny.com/wp-content/uploads/2012/06/Energiemanagement1.jpg>
- [2] J. Bergner, Untersuchungen zu prognosebasierten Betriebsstrategien für PV-Speichersysteme: Bachelorarbeit, 2014
- [3] <http://images.vogel.de/vogelonline/bdb/674200/674246/sourceimage.jpg>
- [4] T. Bocklisch, Optimierendes Energiemanagement von Brennstoffzelle-Direktspeicher-Hybridssystemen, Dissertation, 2009.
- [5] <http://www.rts.ch/2011/11/04/14/28/3564607.image>
- [6] Pv magazin, PV-Systeme mit Wärmepumpen ideal betreiben, [Artikel](#), aufgerufen Jan. 2017
- [7] Sterner, M.; Eckert, F; Thema, M.; Bauer, F. (2015): Der positive Beitrag dezentraler Batteriespeicher für eine stabile Stromversorgung, Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES) OTH Regensburg, Kurzstudie im Auftrag von BEE e.V. und Hannover Messe, Regensburg / Berlin / Hannover. [Artikel](#), aufgerufen Jan. 2017
- [8] U. Eicker, Wärmebedarfsprognose für Gebäude und Stadtquartiere, Entwicklungen an der HFT Stuttgart, Präsentation, 2013
- [9] clipartpanda.com

# Home Energy Management Systeme

## Home Energy Management Systems

Vincent Günzel,

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen – **elenia**, Braunschweig,

guenzel.vincent@googlemail.com

### Kurzfassung

Während die Möglichkeiten des Demand Side Managements (DSM) in Haushalten in den letzten Jahren viel diskutiert wurden und über Optionen der Netzbetreiber zur Anreizschaffung beraten wurde, bieten moderne Home Energy Management Systeme (HEMS) gepaart mit einer eigenen PV-Dachanlage schon heute die Möglichkeit, die selbst erzeugte Solarenergie optimiert zu nutzen und so neben der eigenen Haushaltskasse auch das Netz zu entlasten. Neben großen Haushaltsgeräten können vor allem Heizungssysteme wie Wärmepumpen, E-Kfz-Ladesäulen und Batteriespeicher intelligent mit der Dachanlage vernetzt werden.

Diese Arbeit versucht einen Überblick über die verschiedenen, am Markt erhältlichen HEMS zu geben, ihre Funktionen und ihren Aufbau kurz zu beschreiben und eine begriffliche Abgrenzung zu Smart Home Systemen zu schaffen. Es wird aufgezeigt, dass sich die Systeme in ihrer Funktionalität teils stark unterscheiden. In diesem Zusammenhang wird auf die Systemarchitektur, Schnittstellen und Verfahren zur Last- und Erzeugungsprognose eingegangen. Diese sind der Grundstein für einen vorausschauenden Betrieb der Energieverbraucher im Haus und daher für Optimierungsverfahren unerlässlich. Es wird gezeigt, welche Verfahren bereits für die Haushaltssteuerung eingesetzt werden und mit Blick auf die Industrie und Forschung zukünftige Möglichkeiten aufgezeigt.

Abschließend wird am Beispiel der Stadtwerke Wolfhagen ein Forschungsprojekt zu Demand Side Management in Haushalten vorgestellt, das versucht durch eine zentralisierte Prognose das DSM zu erleichtern.

### Abstract

Over the last years the possibilities of demand side management (DSM) in domestic houses have been discussed a lot and grid operators thought through various approaches to introduce domestic DSM. Modern Home Energy Management Systems (HEMS) combined with a rooftop PV-generator aim to achieve a decentralized optimization for cutting energy costs in homes while reducing voltage stress in the grid at the same time. Besides appliances especially heating systems such as heat pumps, charging stations for electric vehicles and battery storages provide the possibilities to a smart connection to the PV-generator.

This work is aimed to provide an overview of some different HEMS available to this time. After a brief description of their system architecture and their functions, it will be shown those functions differ notably. This diversity will be explained when taking a closer look into the system's interfaces. Another reason lies within the forecast algorithms which are indispensable for an optimized load shift. Therefore some commonly used will be described while some others that may be of importance in the future will be named.

At last the Stadtwerke Wolfhagen will be presented, a power supply company which, as part of a research project, perform an attempt towards centralized load and generation forecast to be used in domestic DSM.

## 1 Einleitung

Die Bundesregierung Deutschland hat im Rahmen der Klimaschutzziele der Europäischen Union einige Meilensteine formuliert, um die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 um 80 % - 95 % zu senken (gegenüber 1990). Für die Energieversorgung bedeutet dies, dass der Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch von 13,5 % im Jahr 2014 auf mindestens 18 % im Jahr 2020 und 30 % bis 2030 gesteigert werden soll. Spätestens bis 2030 wird daher eine zunehmende Elektrifizierung des Wärme / Kälte- und des Mobilitätssektors nötig. Eine positive Entwicklung bezüglich dieser Sektorenkopplung ist im Bereich der Eigentums Haushalte (Nur-Strom-Haushalte) zu beobachten, wo durch den vermehrten Einsatz von elektrischen Wärmepumpen und Elektro-

fahrzeugen das Potential von steuerbaren Lasten zunimmt. [1]

Solche Lasten bieten im Rahmen des Demand Side Management die Möglichkeit, die Betriebskosten für den Eigentümer zu senken und gleichzeitig Spannungsbandverletzungen in der Niederspannungsebene zu verhindern.

Während einige Betreiber virtueller Kraftwerke (z.B. Next Kraftwerke) die Steuerung immer kleinerer, teils gebündelter Anlagen vermarkten und an den Netzbetrieb verkaufen, bleibt diese Möglichkeit des Demand Side Management gewöhnlichen Haushalten vorenthalten. Eine Einbindung in virtuelle Kraftwerke ist aufgrund des geringen Verbrauchs üblicher Haushaltsgeräte meist nicht möglich und für die Teilnahme an spannungsstabilisierenden Maßnahmen existiert für sie kein Vergütungssystem.



tem. Hauseigentümer mit PV-Anlage erhalten durch moderne Home Energy Management Systeme dennoch die Möglichkeit direkt von einer gesteuerten Einsatzplanung ihrer Verbraucher zu profitieren, indem sie ihren Eigenverbrauchsanteil steigern.

## 2 DSM-Motivation für Eigenheimbesitzer

Die Entwicklungen des Photovoltaik- und Strommarktes in Deutschland führen zu einer stetig wachsenden Kluft zwischen Strombezugskosten und Einspeisevergütung für Eigentümer von PV-Anlagen. Während die Kosten für eine Kilowattstunde elektrischer Energie in den letzten zehn Jahren um ca. 50 % gestiegen sind, fiel die Einspeisevergütung im selben Zeitraum um ca. 80 %. Seit Erreichen der Netzparität im Jahr 2012 ist bis zum Dezember 2016 die Differenz zwischen eingespeister Kilowattstunde (12,31 ct) und eingekaufter Kilowattstunde (ca. 28ct) auf knapp 16 ct/kWh gestiegen ( **Abbildung 1**). Die Kosten pro Kilowatt installierter PV-Leistung stagnieren dagegen seit 2012 bei etwas weniger als 1300 € [2].

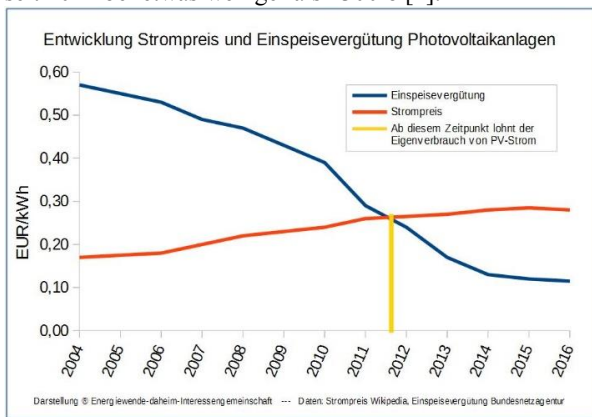


Abbildung 1: Entwicklung Strompreis und Einspeisevergütung Photovoltaik [3]

Eine Steigerung des PV-Eigenverbrauchsanteils wird daher immer attraktiver und um dies zu erreichen, werden immer höhere Kosten in Kauf genommen. Durch Einsatz eines wenige Kilowattstunden großen Hausbatteriespeichers lässt sich der Eigenverbrauchsanteil von 20-30 % auf bis zu 70 % steigern [4]. Ein solcher Speicher kostet etwa 1500€ pro Kilowattstunde Speicherkapazität. Für einige hundert Euro sind bereits sogenannte Home Energy Management Systeme (HEMS) erhältlich. Je nach Ausführung ist mit Hilfe eines solchen Geräts ein Eigenverbrauchsanteil von bis zu 40 % ohne Speicher realisierbar [5].

## 3 Home Energy Management Systems

Im einfachsten Fall geben Home Energy Management Systeme, auf Basis der Auswertung einiger Sensoren, Empfehlungen einen großen Verbraucher nun zuzuschalten oder die Heizung herunterzudrehen, über eine App lassen sich angeschlossene Geräte über Funksteckdosen

dann fernsteuern. Andere Geräte sind in der Lage das Raumklima eigenständig zu regulieren und durch Nutzung der Pufferspeicher für Warmwasser und Heizung hierbei den Eigenverbrauchsanteil zu steigern. Einige der Home Energy Management Systeme greifen bereits auf Prognosedaten zurück und können so eine optimierte Einsatzplanung der einzelnen Haushaltgeräte (überwiegend weißer Ware) unter Berücksichtigung von Nutzerpräferenzen erstellen (beispielsweise Wäsche waschen bis spätestens 17:00). Eine Verschiebung der Lasten in Zeiten hoher Erzeugung und geringen Verbrauchs führt dann zur Steigerung des Eigenverbrauchsanteils. [4] [6]

### 3.1 Beispielhafte HEMS

Zur Veranschaulichung des Funktionenspektrums der HEMS werden drei exemplarische Produkte vorgestellt:

1. **PV-Heiz, Rennergy [6]:**
  - Misst die aktuelle Überschussleistung der PV-Anlage
  - Misst aktuelle Temperatur in Wärme- und Brauchwasserspeicher
  - Unter Einhaltung der Temperaturgrenzwerte werden kaskadierte Elektroheizstäbe zugeschaltet
  - Kommunikation erfolgt geräteintern
2. **Innogy Smart Home Power Control Solar, Innogy [7]:**
  - Misst und visualisiert Energieverbrauch/-erzeugung
  - Schaltet vorher definierte Geräte sobald PV-Anlage ausreichend Energie erzeugt
  - Ermöglicht das Fernschalten von angeschlossenen Geräten per App (darunter auch Fenster, Türschlösser, Rollläden, Heizung)
  - Nachrüstbar
3. **SMA Sunny Home Manager, SMA [4]:**
  - Misst und Visualisiert Energieverbrauch/-erzeugung
  - Schaltet in das Energiemanagement eingebundene Geräte auf Grundlage prognosebasierter Erzeugungs- und Verbrauchsprofile
  - Hält Speicherkapazität auf Prognosebasis vor, um Erzeugungsspitzen aufnehmen zu können
  - Ermöglicht das Fernschalten von angeschlossenen Geräten per App
  - Ermöglicht Kommunikation und Einbindung vieler großer Verbraucher, darunter einige Wärmepumpen (Stiebel Eltron) und E-Kfz-Ladestationen (Mennekes)

### 3.2 Systemarchitektur der HEMS

Häufig finden sich Home Energy Management Systeme als modulare Erweiterung zu Smart Home Systemen (Innogy), sie stellen also einen Funktionszweig dieser Anwendungen dar. Es gibt sie aber auch alleinstehend (SMA). Ein wesentlicher Unterschied zwischen HEMS und Smart Home Systemen ist, dass Home Energy

Management Systeme automatisch und ohne zusätzliche Nutzereingabe arbeiten, mit ihrer Hilfe soll eine Effizienzsteigerung oder Kostensenkung im Haushalt stattfinden, ohne einen Komfortverlust für den Nutzer zu verursachen. Smart Home Systeme hingegen entwickeln sich mehr und mehr in Richtung alltagsbegleitender Helfer mit Sprachsteuerung (beispielsweise Amazon Alexa), sie sind auf Interaktion mit dem Nutzer angewiesen und haben häufig einen negativen Einfluss auf den Energieverbrauch im Haus (beispielsweise Innogys Abwesenheitsmodus, der durch regelmäßiges Lampen und Rollläden schalten Anwesenheit vortäuscht oder die Gruppierung vieler Lampen auf eine Taste).

Die Kommunikation mit den angeschlossenen Geräten funktioniert bei Home Energy Management Systemen über dieselben Schnittstellen wie bei Smart Home Systemen. Innogy und SMA greifen hierbei auf unternehmenseigene Protokolle zurück, während andere Hersteller, wie Kiwigrad auf offenliegende wie etwa Z-Wave, ZigBee und KNX setzen. Herzstück der HEMS ist die Online-Plattform. Über das Internet werden Wetter- und Prognosedaten an den Energy Manager übermittelt, der dann die Einsatzplanung der Geräte übernimmt. Findet eine Kommunikation außerhalb des Hauses – etwa mit dem Energieversorger oder der Nutzer-App – statt, erfolgt dies ebenfalls online. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt eine einfache Darstellung der Kommunikationsstruktur der HEMS.

Um eine hohe Geräte-Kompatibilität zu gewährleisten

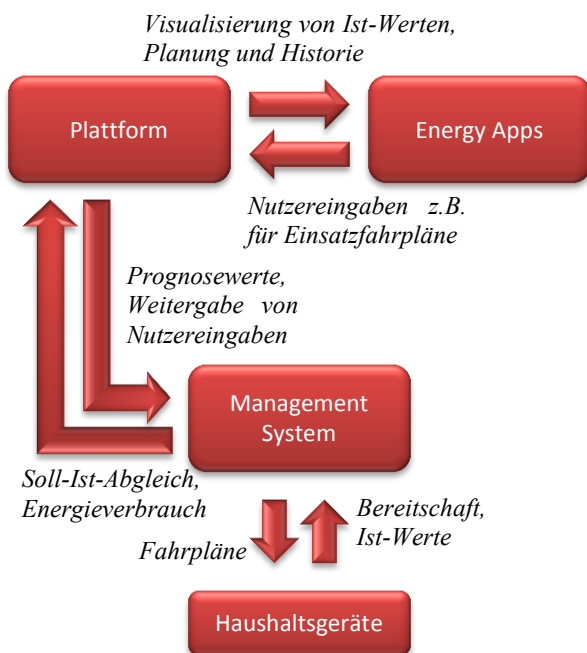


Abbildung 2: Kommunikationsstruktur eines Home Energy Management Systems

öffnen sich Hersteller der einzelnen Systemkomponenten immer mehr, im Hintergrund ist der Markt dennoch von wenigen Produkten dominiert. Der HEMS-Photovoltaik Speicher von Würth Solar setzt beispielsweise einen Energiemanager von SMA ein [8], während der Smart

Chap von SHARP auf die Plattform von Kiwigrad zurückgreift [9].

In der Systemhierarchie steht die Plattform an oberster Stelle, sie versorgt das System mit externen Daten (beispielsweise Prognosewerte) und ist Verteilknoten. Das Home Energy Management System steht an zweiter Stelle, hier findet die Geräteoptimierung und Steuerung statt. Es folgt das Nutzerinterface in Form von Apps. Die Haushaltsgeräte stehen in der Systemhierarchie an unterster Stelle. Je höher die Hierarchieebene, desto stärker verdichtet sich das Angebot, nicht zuletzt ist dies auf die steigende Komplexität der Anforderungen zurückzuführen. Plattformen, die prognosebasierte Last- und Erzeugungsprofile erstellen, bieten aktuell SMA und Kiwigrad.

### 3.3 Prognoseverfahren im Home Energy Management

Um einen Einblick in die Besonderheiten der Last- / Erzeugungsprognose auf Haushaltsebene zu bekommen, wurde nach vorheriger Anfrage ein Fragenkatalog an SMA und Kiwigrad geschickt. Zu Auskünften über die verwendeten Prognoseverfahren waren die Unternehmen dann allerdings doch nicht bereit, aufgrund der angespannten Marktsituation möchte sich hier niemand in die Karten gucken lassen.

Um dennoch eine Ahnung zu bekommen, wie eine prognosefähige Plattform im Hintergrund arbeiten könnte, werden im Folgenden einige in der Energiewirtschaft bereits verbreitete Prognoseverfahren vorgestellt.

### 3.4 Prognoseverfahren in der Energiewirtschaft [10]

Mit dem Vergleichstagsverfahren lassen sich die Verbräuche stark prozessabhängiger Kunden vorhersagen. Für gute Ergebnisse sind lediglich Kenntnisse der kalendrischen Daten erforderlich. Wird beispielsweise immer montags die Maische in einer Brauerei angesetzt, so kann auf Basis vorhergegangener Montage der erforderliche Lastgang abgeschätzt werden.

Ist mit regelmäßigen Schwankungen unbekannter Art zu rechnen, etwa durch fehlende Schichtpläne, empfiehlt es sich das Clustering-Verfahren einzusetzen. Durch Erstellung und Analyse von Ähnlichkeitsstrukturen werden Einfluss- und Zielgrößen verschiedenen Objektgruppen zugeordnet und so automatisch entsprechende Vergleichsprofile erkannt. Ein Werktag könnte so automatisch von einem Feiertag unterschieden werden, ein Tag mit Warenlieferung von einem ohne. Das Clustering-Verfahren ist damit den Verfahren der Mustererkennung sehr ähnlich.

Handelt es sich bei der Prognose um ein Objekt, das vielen volatilen Einflussgrößen ausgesetzt ist oder extreme Werte, als die bereits erlernten annehmen kann, dann kann der Einsatz einer Multivariaten Regression sinnvoll sein. Voraussetzung ist, dass sich das System gut modellieren lässt und dass die meisten relevanten Einflussgrößen auch bekannt sind. Bei Zugabe der Wetterdaten könnte beispielsweise das Heizlastprofil einer Schule bei kälterem Wetter angehoben werden,

während bei stärkerem Wind weniger gelüftet wird und so die Räume weniger auskühlen.

Bei Systemen und Objekten, deren Einfluss- und Zielgrößen komplexeren Zusammenhängen unterliegen (beispielsweise Stromverbrauchsprognosen), stoßen statistische Verfahren – hierzu zählen alle bisher vorgestellten – häufig an ihre Grenzen. Ein wesentlicher Varianzanteil der Verbrauchsmenge ist dann durch verfügbare Einflussgrößen nicht abbildbar. In solchen Fällen sind Verfahren der künstlichen Intelligenz, etwa Künstliche Neuronale Netze vorzuziehen. Durch ausreichendes „Training“ an bekannten Datensätzen erhalten die Knoten und Verknüpfungen des Neuronalen Netzes ihre Gewichtung. So lernt das Verfahren, auch ohne genaue Kenntnis des Systems, das Ausgangsverhalten nachzubilden und erstellt somit ein dynamisches, selbstveränderliches Modell.

Um die Zuverlässigkeit der Prognosen zu erhöhen, werden zu Beginn gern mehrere Szenarien erstellt, von denen dann im Verlauf des Soll-Istwert-Abgleichs das genaueste herausgesucht wird.

Auch die Kombination oder Kaskadierung verschiedener Verfahren kann helfen – die Gesamtpformance lässt sich verbessern, indem die Verfahren nur in solchen Wertebereichen eingesetzt werden, in denen sie stabil vorher-sagen können.

Die Anforderungen, die an Prognosen auf Haushaltsebene gestellt werden, sind vielseitig. Eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung wird erforderlich sein, um die Komplexität und Diversität des Nutzerverhaltens zu berücksichtigen. Ebenso kann eine schnelle Adaption von kurzfristigen Änderungen des Lastgangs, etwa bei Krankheit oder Urlaub verlangt werden. Auch lokale Wetteränderungen können enormen Einfluss auf die Energieerzeugung aus PV-Anlagen haben, daher wird die Prognose mit Unsicherheiten umgehen können müssen.

Auf den ersten Blick scheint etwa eine Kaskadierung aus Clustering und neuronalem Netz am passendsten, da ersteres eine schnelle Adaption der Lastgangänderungen erlaubt und die neuronalen Netze wohl am ehesten mit Unsicherheiten der Eingangsgrößen umgehen können. Belegen lässt sich dies allein anhand der wenigen Beispiele jedoch nicht.

### 3.5 Stadtwerke Wolfhagen

Einen Ansatz, um das Demand Side Management in Haushalten durch zentralisierte Prognosen voranzutreiben, verfolgen die Stadtwerke Wolfhagen seit zwei Jahren. In einem vom BMWi geförderten Programm wurden 35 der insgesamt ca. 8000 Haushalte im Versorgungsgebiet mit „Weißer Ware“ der Firma Miele ausgestattet. Produkte der Gruppe Miele@Home kommunizieren über ZigBee mit dem Energy Manager. Sofern möglich wurden bereits vorhandene Komponenten ebenfalls mit einbezogen, es befinden sich in den 35 Haushalten auch ein Elektrofahrzeug, zwei Wärmepumpen und einige PV-Anlagen. [11]

Zu den Erzeugungseinheiten im Versorgungsgebiet der Stadtwerke Wolfhagen zählen Windkraftanlagen mit 12 MW und Photovoltaikdach- und Freiflächenanlagen mit insgesamt ca. 20 MWp. Die Erzeugungsprognosen dieser Anlagen, mit 15-minütiger Auflösung, werden am Vortag

von Meteogroup zugekauft. Die Verbrauchsprognose für einen Tag stellen die Stadtwerke für das gesamte Versorgungsgebiet auf Basis historischer Daten auf. Nach Abgleich der Prognosen wird ein 5-stufiger Tariffahrplan für den Folgetag erstellt. Die Preisstufen reichen von 10 ct bis 46 ct pro kWh und gelten je für eine Stunde, wobei zu Zeiten mit hoher Erzeugung und geringem Verbrauch die Niedertarife gelten und bei geringer Erzeugung und hohem Verbrauch die Hochtarife. [11] [12]

Über das Smart Meter Gateway erreicht der Tariffahrplan die Home Energy Management Systeme. In Abhängigkeit der vom Kunden freigegebenen Geräte erstellt der Energiemanager einen kostenoptimierten Betriebsplan. Wie üblich lassen sich die Geräte auch jederzeit vom Nutzer zwangsstarten (**Abbildung 3**). Die kundenspezifischen Daten werden von den Stadtwerken aufgezeichnet, eine umfassende Auswertung steht noch bevor.

Durch zentralisierte Verbrauchs- und Erzeugungsprognosen umgehen die Stadtwerke Wolfhagen Probleme, die bei Vorhersagen auf Haushaltsebene auftreten können. Dazu gehören spontane Änderungen im Verhaltensmuster der Kunden, aber auch die abnehmende Güte der Wettervorhersage, die bei einzelnen Anlagen und hoher lokaler Auflösung starke Schwankungen nicht vermeiden kann. Haushalten ohne eigene Energieerzeugungseinheit wird zudem eine Teilnahme am DSM und damit auch eine Teilhabe am Direktverbrauch aus günstigen erneuerbaren Quellen ermöglicht.

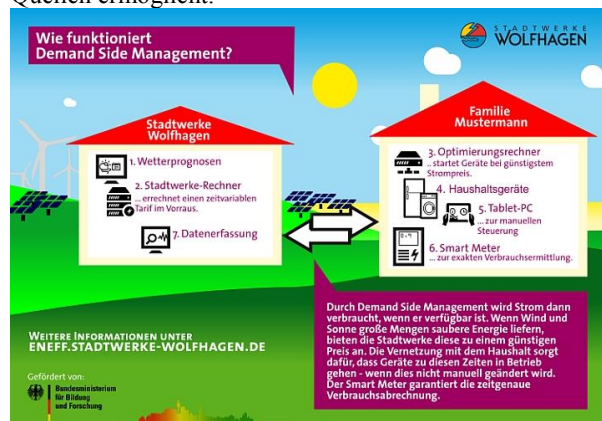


Abbildung 3: Wie funktioniert Demand Side Management, Stadtwerke Wolfhagen [12]

## 4 Zusammenfassung/Fazit

Der Einsatz von Home Energy Management Systemen wird aufgrund steigender Strompreise und sinkender Einspeisevergütungen immer attraktiver. Eine Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils durch Geräteautomatisierung, Heizungssteuerung und Prognosedaten kann helfen Last- und Erzeugungsspitzen zu reduzieren und gleichzeitig, bei geringem Einfluss auf das Nutzungsverhalten, Geld sparen.

Eine Offenlegung und Vereinheitlichung der Schnittstellen aller Systemkomponenten ist wünschenswert, da der Endkunde so seine Auswahlfreiheit bei der Anschaffung neuer Haushaltsgeräte zurückerlangt und die Entwicklung

des Energiemanagements im Eigenheim beschleunigt werden könnte.

Ein Einblick in die Besonderheiten der Prognoseverfahren auf Haushaltsebene war aufgrund fehlender Daten nicht möglich. Bei der Entwicklung entsprechender Verfahren ist wegen der hohen Komplexität und Diversität des Nutzerverhaltens sowie der notwendigen hohen Auflösung dennoch mit erheblichen Schwierigkeiten zu rechnen.

Die Stadtwerke Wolfhagen zeigen, dass man seitens des Bundes gewillt ist, das Demand Side Management mit Haushalten zu unterstützen und voran zu treiben. Ob eine zentralisierte Prognose dies erleichtern kann und in wie weit einstündige Tarifänderungen in der Lage sind, das Verbraucherverhalten zu beeinflussen, muss eine Auswertung der erhobenen Daten der Stadtwerke Wolfhagen noch zeigen.

## 5 Literatur

- [1] BMWi, „Erneuerbare Energien in Zahlen, Nationale und Internationale Entwicklung im Jahr 2014,“ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, 2015.
- [2] D. H. Wirth, „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland,“ Fraunhofer ISE, Freiburg, 2016.
- [3] 03 01 2017. [Online]. Available: <http://energiewende-daheim.de/wp-content/uploads/2016/08/EEG-Verg-vs-Strompreis.jpg>.
- [4] M. Volkmar, *Energieeffizienz im Smart Home*, 2016.
- [5] 03 01 2017. [Online]. Available: <http://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-technik/energiespeicher-photovoltaikanlagen/solarstromspeicher-und-intelligentes-energiemanagement>.
- [6] „PV-Heiz-System Premium,“ 03 2014. [Online]. Available: [www.pv-heiz.com](http://www.pv-heiz.com).
- [7] „www.Innogy.com,“ Innogy, [Online]. Available: <https://www.innogy.com/smartstore/SmarthomeCatalog/Einzelgeraete/SmartHome-Power-Control-Solar-zid10188932>. [Zugriff am 17 01 2017].
- [8] C. Märtel, 05 01 2017. [Online]. Available: <http://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/stromspeicher/wuerth-solar-hems>.
- [9] S. Weidlich, 05 01 2017. [Online]. Available: <https://www.kiwigrid.com/de/news/85-smartchap-vde.html>.
- [10] D.-I. A. Prokvorova und S. Heimel, „Prognoseverfahren für die Energiewirtschaft: Klassifizierung und Anwendungsbereiche verschiedener Modelle,“ *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, pp. 140-142, 1/2 2013.
- [11] U. Rudolph, Interviewee, *Befragung zu Harmonisierung von Stromangebot und Stromnachfrage*. [Interview]. 25 11 2016.
- [12] Stadtwerke-Wolfhagen, „stadtwerke-wolfhagen.de,“ [Online]. Available: <http://www.stadtwerke-wolfhagen.de/index.php/energiewende/ee-stadt/demand-side-management>. [Zugriff am 10 01 2017].



## Home Energy Management Systeme

Vincent Günzel, 13.02.2017

### Agenda

- Einleitung
- Demand Side Management fürs Eigenheim
- Home Energy Management Systeme (HEMS)
- Stadtwerke Wolfhagen
- Zusammenfassung / Fazit



# Agenda

- Einleitung
- Demand Side Management fürs Eigenheim
- Home Energy Management Systeme (HEMS)
- Stadtwerke Wolfhagen
- Zusammenfassung / Fazit

## Einleitung

### Erneuerbare Energien: Ziele der Bundesregierung

- Installierte Leistung Wind + PV:  
ca. 85 GW (2014) → ca. 120 GW (2020)
- Ausgleich von Leistungsspitzen erforderlich
- Demand Side Management:  
Etwa 10 mal günstiger als speichern [1] [2]
- Kein Vergütungssystem für DSM mit Haushalten,  
dabei Anteil DSM-gereigneter Haushaltsgeräte  
ca. 15% der ges. elektrischen Last [4]

Abbildung 1: Erneuerbare Energien:  
Ziele der Bundesregierung

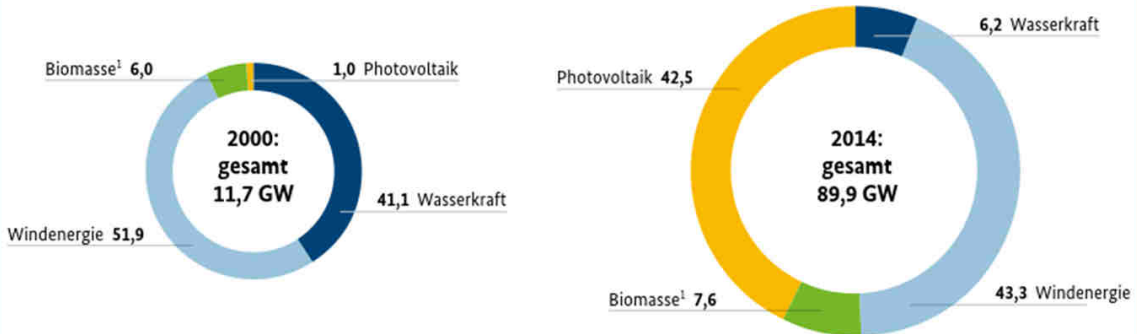
EE-Anteil am Bruttostromverbrauch	
2025	40 – 45 %
2035	55 – 60 %
2050	mindestens 80 %
EE-Anteil am Bruttoendenergieverbrauch	
2020	mindestens 18 %
2030	30 %
2040	45 %
2050	60 %

Abbildung 3: Erneuerbare Energien in Deutschland: Status quo

Kategorien	2014	2013
<b>Anteil erneuerbarer Energien</b>		
am Bruttoendenergieverbrauch	13,5 %	13,2 %
am Bruttostromverbrauch	27,4 %	25,2 %
am Endenergieverbrauch Wärme und Kälte	12,2 %	12,3 %
am Endenergieverbrauch Verkehr	5,6 %	5,5 %

# Einleitung

**Abbildung 10: Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2014 in Prozent**

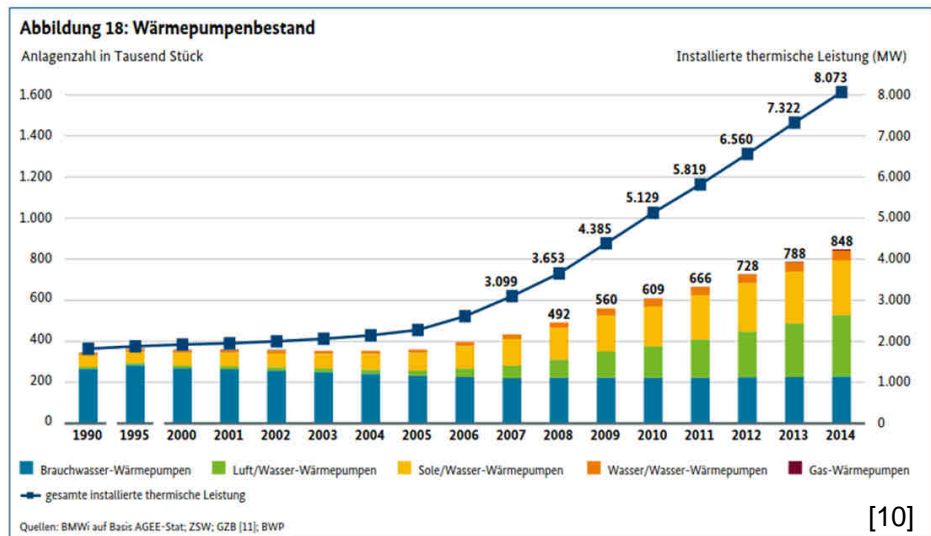


Wegen des geringen Anteils geothermischer Stromerzeugungsanlagen werden diese nicht dargestellt. Die Größenverhältnisse der Grafiken entsprechen nicht dem exakten Leistungszubau.  
 1 inkl. feste und flüssige Biomasse, Biogas, Deponie- und Klärgas, ohne biogenen Anteil des Abfalls  
 Quellen: BMWi auf Basis AGEE-Stat sowie weiterer Quellen, siehe Abbildung 12

# Einleitung

## Zunehmendes Potential für DSM durch Wärmepumpen

- Anteil am Endenergieverbrauch Wärme 0,8% bzw. 9600 GWh (2014) [3]



[10]

# Einleitung

Abbildung 13: Wärmeverbrauch aus erneuerbaren Energien

	Erneuerbare Energien 2014		Erneuerbare Energien 2013	
	Endenergieverbrauch Wärme (GWh) <sup>9</sup>	Anteil (%) am EEV Wärme <sup>10</sup>	Endenergieverbrauch Wärme (GWh) <sup>9</sup>	Anteil (%) am EEV Wärme <sup>10</sup>
biogene Festbrennstoffe (Haushalte) <sup>1</sup>	56.900	5,0	69.720	5,5
biogene Festbrennstoffe (GHD) <sup>2</sup>	3.200	0,3	10.937	0,9
biogene Festbrennstoffe (Industrie) <sup>3</sup>	25.400	2,2	25.600	2,0
biogene Festbrennstoffe (HW/HKW) <sup>4</sup>	5.340	0,5	5.532	0,4
biogene flüssige Brennstoffe <sup>5</sup>	2.140	0,2	2.047	0,2
Biogas <sup>6</sup>	15.070	1,3	14.011	1,1
Klärgas	1.840	0,2	1.807	0,1
Deponiegas	100	0,01	101	0,01
biogener Anteil des Abfalls <sup>7</sup>	11.650	1,0	11.645	0,9
Solarthermie	7.290	0,6	6.770	0,5
tiefe Geothermie	960	0,08	865	0,07
oberflächennahe Geothermie, Umweltwärme <sup>8</sup>	9.600	0,8	8.674	0,7
<b>Summe erneuerbare Energien</b>	<b>139.490</b>	<b>12,2</b>	<b>157.709</b>	<b>12,3</b>

1 überwiegend Holz einschl. Holzpellets  
 2 Angaben seit 2015 verfügbar; GHD – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen  
 3 nach § 8 EnStatG, ab 2013 inkl. Klärschlamm; HW – Heizwerke, HKW – Heizkraftwerke  
 4 nach §§ 3 und 5 EnStatG, ab 2013 inkl. Klärschlamm  
 5 inkl. Biodieselverbrauch in der Landwirtschaft  
 6 inkl. Biomethan  
 7 biogener Anteil des Abfalls in Abfallverbrennungsanlagen mit 50 Prozent angesetzt  
 8 durch Wärmepumpen nutzbar gemachte erneuerbare Wärme (Luft/Wasser-, Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen sowie Brauchwasser- und Gaswärmepumpen)  
 9 1 GWh = 1 Mio. kWh  
 10 Bezogen auf den EEV für Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme, Klimakälte und Prozesskälte, 2014: 1.140,0 Mrd. kWh nach ZSW [1] sowie 2013: 1.277,7 Mrd. kWh ZSW nach AGE B [2]. Nähere Informationen zur Berechnungsmethodik des Anteils bietet der Anhang Absatz 2.  
 Quellen: BMWi auf Basis AGEE-Stat sowie weiterer Quellen, siehe Abbildung 16; teilweise vorläufige Angaben

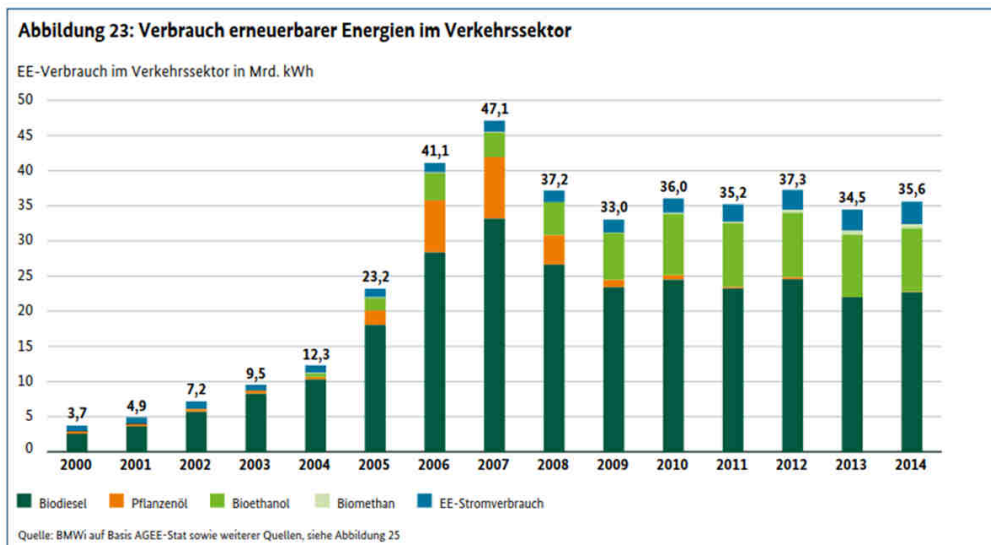
26.01.2017 | Vincent Günzel | HEMS | Seite 7



# Einleitung

## Zunehmendes Potential für DSM durch E-Kfz

- Anteil am Endenergieverbrauch Verkehr 0,5% bzw. 3210 GWh (2014) [3]



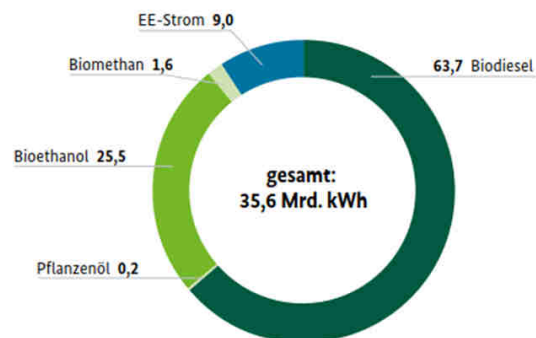
26.01.2017 | Vincent Günzel | HEMS | Seite 8





# Einleitung

**Abbildung 22: Verbrauch erneuerbarer Energien im Verkehrssektor im Jahr 2014**  
in Prozent



Quellen: BMWi auf Basis AGEE-Stat sowie weiterer Quellen, siehe Abbildung 25

# Einleitung

**Abbildung 21: Verbrauch erneuerbarer Energien im Sektor Verkehr**

	Erneuerbare Energien 2014		Erneuerbare Energien 2013	
	Endenergieverbrauch Verkehr (GWh) <sup>3</sup>	Anteil (%) am EEV Verkehr <sup>4</sup>	Endenergieverbrauch Verkehr (GWh) <sup>3</sup>	Anteil (%) am EEV Verkehr <sup>4</sup>
Biodiesel <sup>1</sup>	22.675	3,6	21.988	3,5
Pflanzenöl	63	0,01	10	0,002
Bioethanol	9.061	1,4	8.891	1,4
Biomethan	580	0,1	557	0,1
EE-Stromverbrauch im Verkehr <sup>2</sup>	3.210	0,5	3.020	0,5
<b>Summe erneuerbare Energien</b>	<b>35.589</b>	<b>5,6</b>	<b>34.466</b>	<b>5,5</b>

<sup>1</sup> Verbrauch von Biodiesel im Verkehrssektor

<sup>2</sup> EE-Stromanteil 2014 siehe Tabelle Seite 19, ZSW nach AGEB [1], [2], [4], BDEW

<sup>3</sup> 1 GWh = 1 Mio. kWh

<sup>4</sup> bezogen auf den Endenergieverbrauch Verkehr 2014: 636,9 Mrd. kWh sowie 2013: 629,1 Mrd. kWh, ZSW nach BAFA und AGEB [1], [2]

Quellen: BMWi auf Basis AGEE-Stat sowie weiterer Quellen, siehe Abbildung 25; teilweise vorläufige Angaben

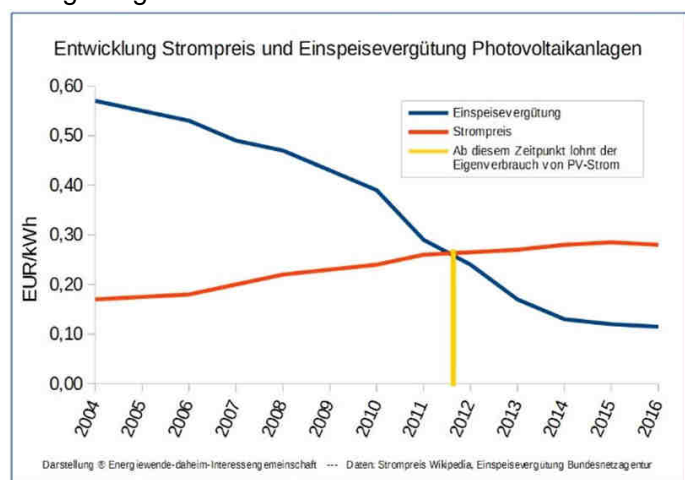
# Agenda

- Einleitung
- **Demand Side Management fürs Eigenheim**
- Home Energy Management Systeme (HEMS)
- Stadtwerke Wolfhagen
- Zusammenfassung / Fazit

## Demand Side Management fürs Eigenheim

### PV-Strom: Eigenverbrauch statt Netzeinspeisung

- In den letzten 10 Jahren:
  - Ca. 50% Steigerung des Strompreises für Endkunden
  - Ca. 80% Reduzierung der Einspeisevergütung
- Netzparität seit 2012
- Seither wächst Differenz zwischen Einspeisevergütung und Bezugskosten



# Demand Side Management fürs Eigenheim

Hoher Eigenverbrauchsanteil vor hohem Autarkiegrad

- Endkundenpreis für Dachanlage stagniert seit 2012 bei etwa 1300€ / kWp  
→ besser Eigenverbrauchsanteil (EVA) steigern statt mehr Leistung zuzubauen

- Üblicher EVA: 20 – 30 %
- Mit HEMS: bis 40 %
- Mit Speicher bis 70 %
  
- Hohe Investitionskosten für Speicher (ca. 1500€ / kWh)
- HEMS ab wenige hundert Euro

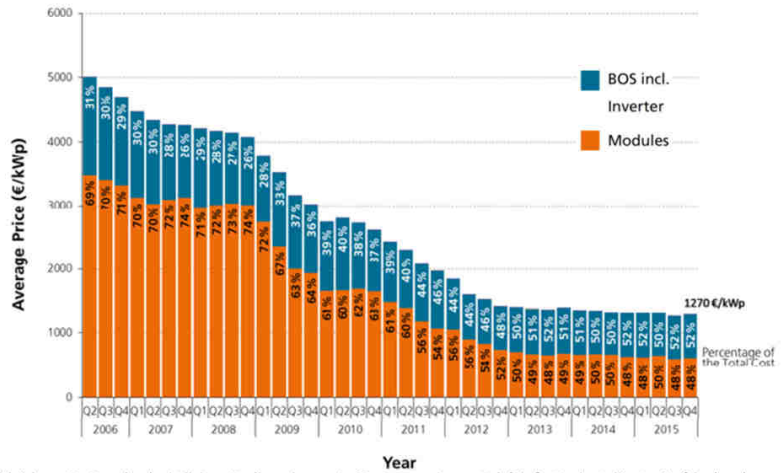


Abbildung 3: Durchschnittlicher Endkundenpreis (Systempreis, netto) für fertig installierte Aufdachanlagen von 10-100 kW<sub>p</sub>, Daten von BSW, Darstellung PSE AG

## Agenda

- Einleitung
- Demand Side Management fürs Eigenheim
- **Home Energy Management Systeme (HEMS)**
- Stadtwerke Wolfhagen
- Zusammenfassung

## Home Energy Management Systeme (HEMS)

HEMS arbeiten im Smart Home

Innogy Smart Home Power Control Solar, Innogy [6]:

- Misst und visualisiert Energieverbrauch/-erzeugung
- Schaltet vorher definierte Geräte, sobald PV-Anlage ausreichend Energie erzeugt
- Ermöglicht das Fernschalten von angeschlossenen Geräten per App (darunter auch Fenster, Türschlösser, Rollläden, Heizung)
- Nachrüstbar



## Home Energy Management Systeme (HEMS)

HEMS arbeiten unbemerkt

PV-Heiz, Rennergy [5]:

- Misst die aktuelle Überschussleistung der PV-Anlage
- Misst aktuelle Temperatur in Wärme- und Brauchwasserspeicher
- Unter Einhaltung der Temperaturgrenzwerte werden kaskadierte Elektroheizstäbe zugeschaltet
- Kommunikation erfolgt geräteintern



## Home Energy Management Systeme (HEMS)

HEMS arbeiten prognosebasiert

SMA Sunny Home Manager, SMA [7]:

- Ermöglicht Kommunikation und Einbindung vieler großer Verbraucher
- Ermöglicht das Fernschalten von angeschlossenen Geräten per App
- Misst und visualisiert Energieflüsse
- Schaltet in das Energiemanagement eingebundene Geräte auf Grundlage prognosebasierter Erzeugungs- und Verbrauchsprofile
- Hält Speicherkapazität auf Prognosebasis vor



## Home Energy Management Systeme (HEMS)

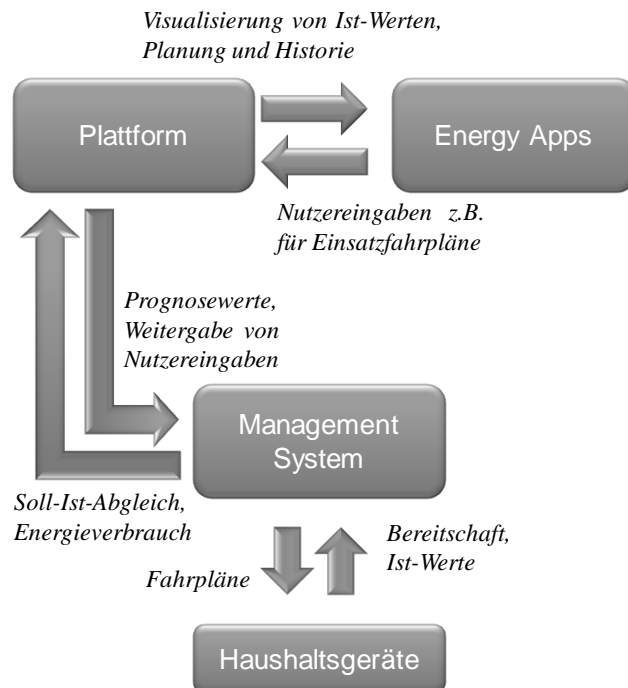
HEMS im Überblick

- Auswertung von Sensoren
- Empfehlungen, Verbraucher oder Heizungsanlage zu steuern
- Fernsteuerung über Funksteckdosen
- Automatische Steuerung von Verbrauchern
- Prognosebasierte Speicherladung
- Visualisierung von Erzeugung, Verbrauch und Ersparnis
- Steigerung des Eigenverbrauchsanteils

## Home Energy Management Systeme (HEMS)

Wie wird kommuniziert?

- Kommunikation außer Haus per Internet
- Kommunikation Hausintern per Zig-Bee, Z-Wave, KNX (offene Protokolle, eher Komfortbereich) oder proprietäre Protokolle (z.B. SEMP, für Energiemanagement angepasst)



## Home Energy Management Systeme (HEMS)

Wie wird (in der Energiewirtschaft) prognostiziert?

- **Vergleichstagsverfahren**
  - Simpel, günstig
  - Für stark prozessabhängige Verbraucher
- **Clustering-Verfahren**
  - Analyse von Ähnlichkeitsstrukturen / Mustererkennung
  - Für regelmäßige, aber unbekannte Schwankungen
- **Multivariate Regression**
  - Kombination historischer Daten und Modelle
  - Für gut bekannte Einflussgrößen und Modelle
- **Künstliche Neuronale Netze**
  - Dynamisches, selbstveränderliches Modell das lernt
  - Für komplexe Systeme mit unsicheren Einflussgrößen

# Home Energy Management Systeme (HEMS)

Was für prognosebasierte HEMS zu erwarten ist

Schwierigkeiten durch Komplexität und Diversität des Nutzerverhaltens

→ Kaskadierte Modelle (Clusteranalyse + X denkbar)

Hohe Auflösung der Wetterdaten erforderlich

→ Vorteile der neuronalen Netze, die eventuell ohne Arbeiten können



26.01.2017 | Vincent Günzel | HEMS | Seite 21



## Agenda

- Einleitung
- Demand Side Management fürs Eigenheim
- Home Energy Management Systeme (HEMS)
- **Stadtwerke Wolfhagen**
- Zusammenfassung / Fazit



26.01.2017 | Vincent Günzel | HEMS | Seite 22



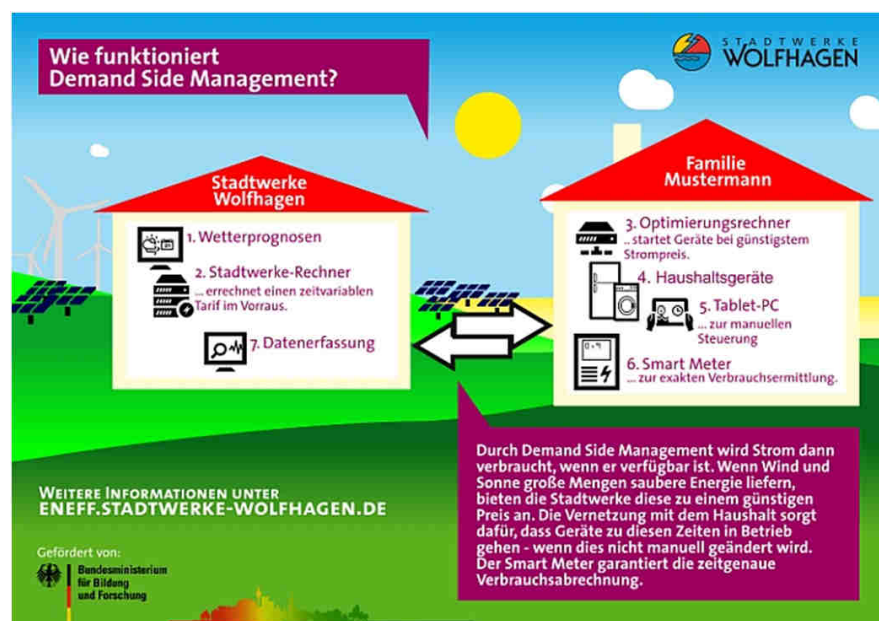
## Stadtwerke Wolfhagen

Wie DSM in Haushalten zentralisiert betrieben werden kann (Gefördert vom BMWi)

- 8000 Haushalte davon 35 im DSM
- Haushalte ausgestattet mit Miele@Home (Zig-Bee)
- Zusätzlich einige PV-Anlagen, 2 Wärmepumpen, 1 E-Kfz
- 12 MW Windkraftanlagen
- 20 MW<sub>p</sub> PV
- Erzeugungsprognosen von Meteogroup, Auflösung 15-min
- Lastprognose aus historischen Daten
  - 5-stufiger Tariffahrplan, 10 ct – 46 ct pro kWh, Auflösung stündlich
  - HEMS erstellt kostenoptimierten Fahrplan

## Stadtwerke Wolfhagen

DSM der Stadtwerke Wolfhagen [8]





# Agenda

- Einleitung
- Demand Side Management fürs Eigenheim
- Home Energy Management Systeme (HEMS)
- Stadtwerke Wolfhagen
- **Zusammenfassung / Fazit**



Technische  
Universität  
Braunschweig

26.01.2017 | Vincent Günzel | HEMS | Seite 25



## Zusammenfassung / Fazit

- HEMS werden immer attraktiver
- Offenlegung und Vereinheitlichung der Schnittstellen wünschenswert
- Prognoseverfahren bieten sicherlich viele Hürden
- DSM in Haushalten wird kommen, ob zentral oder dezentral wird sich zeigen



Technische  
Universität  
Braunschweig

26.01.2017 | Vincent Günzel | HEMS | Seite 26



## Quellen

- [1] Bundesverband Erneuerbare Energien
- [2] ffe; Demand Side Management in Haushalten
- [3] BMWi, Erneuerbare Energien in Zahlen 2014
- [4] dena, Netzstudie II
- [5] „PV-Heiz-System Premium,“ 03 2014. [Online]. Available: [www.pv-heiz.com](http://www.pv-heiz.com)
- [6] „www.Innogy.com,“ Innogy, [Online]. Available: <https://www.innogy.com/smartstore/SmartHomeCatalog/Einzelgeraete/SmartHome-Power-Control-Solar-zid10188932>
- [7] M. Volkmar, *Energieeffizienz im Smart Home*, 2016
- [8] Stadtwerke-Wolfhagen, „stadtwerke-wolfhagen.de,“ [Online]. Available: <http://www.stadtwerke-wolfhagen.de/index.php/energiewende/ee-stadt/demand-side-management>
- [9] <http://www.lohnbuero-fuer-deutschland.de/wp-content/uploads/2012/12/Fragen-Lohnbuchhaltung-300x300.png>
- [10] K. Appelhans; S. Exner; R. Bracke, Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes – Bestandsaufnahme und Trends, 2014



26.01.2017 | Vincent Günzel | HEMS | Seite 27



## Quellen

**Bundesministerium der Finanzen (BMF):** *Statistische Angaben über die Erfüllung der Biokraftstoffquote der Jahre 2007–2012*, Berlin, Oktober 2013, [www.bundesfinanzministerium.de](http://www.bundesfinanzministerium.de)

**Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW):** *Verkehr in Zahlen 2008/2009*. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (Hrsg.)

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) / Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV):** „Nationale Berichte zur Umsetzung der Richtlinie 2003/30/EG vom 08.05.2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor“

**Statistisches Bundesamt (StBA):** *Energiesteuer – Fachserie 14 Reihe 9.3, Jahre 2008 bis 2011*, Stand: 18. September 2012, [www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/FinanzenSteuern/Steuern/Verbrauchssteuer/Energiesteuer.html](http://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/FinanzenSteuern/Steuern/Verbrauchssteuer/Energiesteuer.html)

**Bundesregierung (BReg):** *Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Treibhausgasminde rung von Biokraftstoffen, über das Biomassepotenzial sowie über die auf dem Kraftstoffmarkt befindlichen Biomethan-Mengen*, Stand: 10. Mai 2012, <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/096/1709621.pdf>

**Bundesregierung (BReg):** *Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen (Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung – Biokraft-NachV)* vom 30. September 2009 (BGBl. I S. 3182)

**Bundesregierung (BReg):** *Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung (Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung – BioSt-NachV)* vom 23. Juli 2009 (BGBl. I S. 2174)



26.01.2017 | Vincent Günzel | HEMS | Seite 28





[9]

# Analytischer Vergleich diverser thermischer Referenzlastprofile

## Analytic comparison of various thermal reference load profiles

B.Sc., Lukas Otte,

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen – **elenia**, Braunschweig, lukas.otte@tu-braunschweig.de

### Kurzfassung

Zur Einhaltung der immer strikter werdenden Energieeinsparmaßnahmen und einer optimalen Auslegung und Fahrweise von Heizanlagen kann der thermische Energiebedarf eines Haushaltes mithilfe von Referenzlastprofilen möglichst genau prognostiziert werden. Zunächst ist definiert, was unter dem Begriff ‚Referenzlastprofil‘ zu verstehen und in welchen Bereichen diese Anwendung zu finden ist. Danach sind verschiedene Methoden zur Generierung dieser Profile dargestellt. Diese werden auf deren Einbindung diverser Parameter untersucht.

### Abstract

To accomplish energy reduction targets and for dimensioning a heating system, the thermal energy demand of a household has to be prognosticated in the most precise way there is. At first the concept of reference load profiles as well as its technical use is defined. At least different methods of generating those profiles are presented and their implementation of various parameters is examined.

## 1 Einleitung

Im Zusammenhang mit der Energiewende in Deutschland und den damit einhergehenden, strenger einzuhaltenden Energieeinsparmaßnahmen, welche durch neue Verordnungen, wie die Energieeinsparverordnung EnEV, vorgegeben werden, spielen auch neue Technologien zur Wärmeerzeugung in Haushalten eine Rolle. Allein 2015 entfallen in Deutschland ca. 25 % des Endenergieverbrauchs auf den Wohnsektor. Davon sind 16,4 % dem Warmwasserbedarf und 66,8 % der Heizwärme zuzuschreiben. Dies zeigt die Wichtigkeit des thermischen Energiebedarfs. Zugleich birgt dies ein großes Einsparpotential, da Wärmeerzeuger häufig noch veraltet und ineffizient sind. [1][2]

Die neueren Technologien, wie z.B. Wärmepumpen, können durch eine intelligente und vorausschauende Betriebsführung unter Berücksichtigung der Wärmeversorgungsaufgabe zusätzlich für das Demand Side Management genutzt werden und so eine Entlastung des Netzes schaffen. Für die effiziente Nutzung muss der zeitliche Wärmebedarf der zu versorgenden Einheiten möglichst genau prognostiziert werden. [3]

## 2 Thermisches Referenzlastprofil

Heizanlagen sollten möglichst genau dimensioniert werden. Andernfalls könnte bei zu kleinen Anlagen die Leistung für die gewünschte Wärme nicht ausreichen oder im anderen Extrem bei einer zu großen Anlage aufgrund der Ineffizienz ein wirtschaftliches Defizit auftreten. Für die Auslegung sind Referenzlastprofile von Vorteil. Sie zeigen den wahrscheinlichen Lastgang über ein Jahr, sodass die maximale Heizlast ermittelt werden kann. Des Weiteren verändern sich der Heizbedarf und dessen Zeitpunkt, sowie die Vor- und Rücklauftemperaturen des Heizungssystems aufgrund der verbesserten energetischen Qualität

der Gebäudedämmung, sodass für eine optimale Betriebsweise das thermische Lastprofil bekannt sein sollte. [11]

Für die Erstellung von Referenzlastprofilen werden in der Regel Messdaten verwendet. Aus den Daten werden, wie z.B. bei der VDI 4655, repräsentative Tage ermittelt und diese in unterschiedliche klimatische Zonen eingeteilt. Aus diesem Pool an Daten werden in den einzelnen Zonen Mittelwerte gebildet. Mithilfe der Typtage in Verbindung mit geographischen und klimatischen Parametern kann ein repräsentatives Lastprofil erstellt werden. [10] Andere Verfahren, wie das synPRO-Modell verwenden die gemessenen Wetterdaten direkt ohne Mittelwertbildung. [1]

## 3 Methoden zur Referenzlastprofilbildung

Im Folgenden werden verschiedene Methoden zur Erstellung von Referenzlastprofilen dargestellt. Dabei soll untersucht werden, inwiefern sich die Methoden in ihrem Einbezug von diversen Parametern unterscheiden. Im Folgenden werden die einzelnen Verfahren nach ihrer Genauigkeit, beginnend mit dem unpräzisesten, aufgelistet.

### 3.1 Standardlastprofil Gas

Das Standardlastprofil Gas (SLP Gas) ist ein geglättetes Wärmebedarfsprofil, welches auf empirischen Berechnungen basiert. Es findet vor allem in der Gasversorgungswirtschaft Anwendung und dient somit hauptsächlich der Wiedergabe einer größeren Ansammlung gleichartiger Wärmeverbraucher. Es wird nicht auf den einzelnen Kunden geschaut, sondern z.B. eine Siedlung oder ein Wohnviertel betrachtet, sodass sich große und kleine Verbraucher zumeist ausgleichen. Bei der Berechnung der

SLP fließt der Jahreswärmebedarf des Vorjahres mit ein, sowie die entsprechenden mittleren Tagesaußentemperaturen. Auf Basis dieser Daten kann der so genannte Kundenwert in Abhängigkeit der Außentemperatur ermittelt werden. [6] Die Außentemperatur kann hierbei ebenfalls durch eine Temperaturzeitreihe, wie in **Gleichung 1** als eine bewertete Temperatur  $T$  prognostiziert werden. Dabei fließt für den zu berechnenden Tag  $D$  und dessen Vortag  $D-1$  die vorhergesagte mittlere Tagestemperatur ein und für die weiteren Vortage die bekannte mittlere Tagestemperatur. Andernfalls kann auch direkt auf die Eintagesmitteltemperatur zurückgegriffen werden. [7]

$$T = \frac{T_D + 0,5 * T_{D-1} + 0,25 * T_{D-2} + 0,125 * T_{D-3}}{1 + 0,5 + 0,25 + 0,125} \quad (1)$$

Auf eine Heizgrenztemperatur oder einer individuellen Gebäudesolltemperatur wird keine Rücksicht genommen [6]. Der tagesbezogene normierte Profilwert bzw. der so genannte  $h$ -Wert wird anschließend mit der **Gleichung 2** berechnet. [7]

$$h(\vartheta) = \left[ \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta - \vartheta_0} \right)^C} + D \right] \quad (2)$$

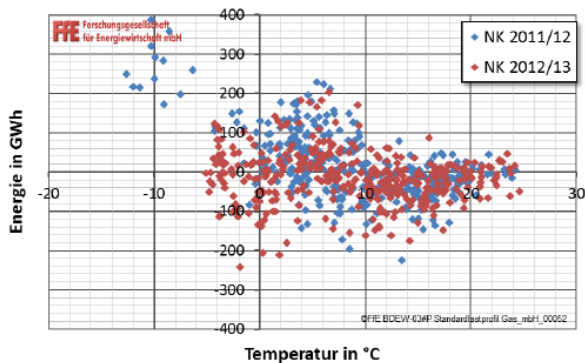
Die Koeffizienten  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  sind dabei gebäudespezifische Koeffizienten und  $\vartheta_0$  die Referenztemperatur von  $40^\circ\text{C}$ . Nun kann mithilfe von **Gleichung 3** die synthetische Tagesmenge  $Q_{\text{Tag}}$  bestimmt werden. [7]

$$Q_{\text{Tag}}(\vartheta_D) = KW * h(\vartheta_D) * F_{WT}(D) \quad (3)$$

Der Kundenwert  $KW$  ist der durchschnittliche Tagesverbrauch bei einer festgelegten Temperatur, welche in Deutschland  $8^\circ\text{C}$  beträgt. Für einen Haushalt werden in der Regel  $50.000 \text{ kWh}$  veranschlagt. Außerdem fließt durch den Faktor  $F_{WT}$  eine differenzierte Betrachtung des Wochentags mit ein. [6][7]

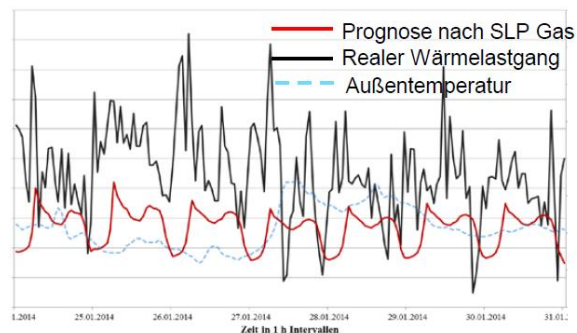
Eine stündliche Auflösung des Wärmebedarfs wird durch die Hinzunahme von anteiligen Stundenfaktoren, bezogen auf die Außentemperatur, ermittelt. [6][8]

Die bestehende Abhängigkeit der Prognosegenauigkeit von der Außentemperatur wird durch **Bild 1** verdeutlicht. Besonders bei niedrigen Temperaturen liegt eine größere Abweichung zwischen dem prognostizierten und dem tatsächlichen Gasbezug vor.



**Bild 1** Prognosegenauigkeit in Abhängigkeit von der Außentemperatur [9]

**Bild 2** zeigt einen beispielhaften, prognostizierten Verlauf einer Woche im Januar im Vergleich zum realen Lastgang. Es wird noch einmal die signifikante Abweichung bei niedrigen Temperaturen hervorgehoben. Außerdem zeigt sich, dass der Wochentagsfaktor  $F_{WT}$  einen äußerst geringen Einfluss auf den Prognoseverlauf besitzt.



**Bild 2** Prognoseprofil nach SLP Gas [5]

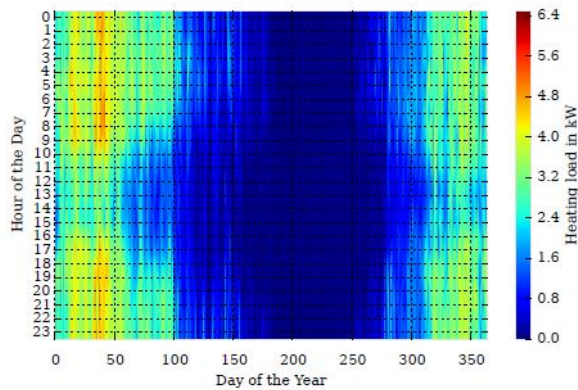
Hier gilt es die Prognosefehler durch bessere Prognoseverfahren oder einen Wechsel des Wetterdienstleisters zu verringern. Des Weiteren fehlt beim SLP Gas eine Betrachtung des Kundenverhaltens. Hierbei können wesentliche Verbesserungen erfolgen. [9]

### 3.2 VDI 4655

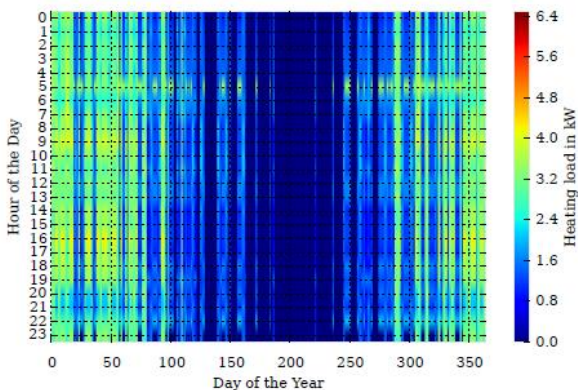
In der VDI 4655 ist ein Verfahren zur Erstellung von Referenzlastprofilen (RLP) für den Einsatz von Mikro-KWK-Anlagen definiert. Es kann jedoch ebenfalls für die grundsätzliche Generierung von Wärmelastprofilen eingesetzt werden [6]. Hierbei darf jedoch nicht von einem Lastgang mit statistisch abgesicherten Daten ausgegangen werden, sondern es handelt sich um typische Lastgänge, welche die entscheidenden charakteristischen Eigenschaften für einzelne spezifische Gebäudetypen und die einbezogenen Kategorien aufführen. [10]

Für die Bildung von RLP wird zunächst der Energiebedarf verschiedener Gebäude gemessen. Die Gebäude an sich werden nach Bauart, Wohnfläche, Baujahr, Standort und Bewohneranzahl differenziert. Danach wird der Datensatz auf Fehler überprüft und anschließend in Typtagkategorien unterteilt. Hierbei wird nach Jahreszeit, Wochentag, Tagesmitteltemperatur und Bewölkungsgrad unterschieden. Die Jahreszeiten werden mithilfe des 7-Tage-Mittels der Außentemperatur  $T_{M7}$  in Sommer,  $T_{M7} < 15^\circ\text{C}$ , Winter,  $T_{M7} > 5^\circ\text{C}$  und der dazwischenliegenden Übergangszeit unterteilt betrachtet. Bei den Wochentagen wird zwischen Werktagen und Sonntagen, in Verbindung mit Feiertagen unterschieden. Für die Einteilung der Bewölkung werden die oben genannten Messdaten mit den Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes kombiniert. Dazu wird das Tagesmittel des Bedeckungsgrades in der vorliegenden Klimazone analysiert und in heiter und bewölkt unterteilt. Anschließend werden die Messdaten normiert und kumuliert, sodass die Lastgangdaten unterschiedlicher Gebäude und Tage qualitativ vergleichbar sind. Weiterführend werden alle Tageslastgänge einer Typtagkategorie eines Gebäudes verglichen und zwei repräsentative Lastgänge extrahiert, welche die geringste quadratische Abweichung vom Mittelwert auf-

weisen. Abschließend erfolgt die gleiche Auswertung mit allen repräsentativen Tageslastgängen einer Typtagkategorie aller Gebäude des gleichen Typs. [10]



**Bild 3** Gemessener Raumwärmebedarf für jede Stunde in einem Jahr [1]



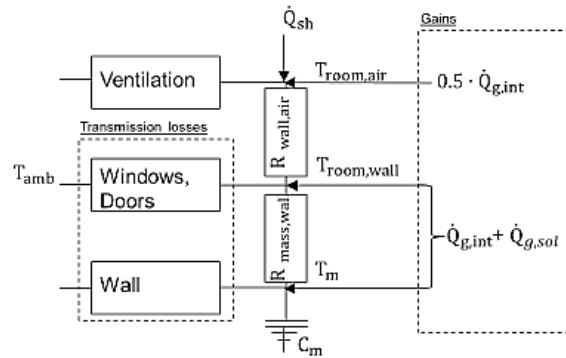
**Bild 4** Raumwärme für jede Stunde in einem Jahr nach VDI 4655 [1]

Bei diesem Verfahren fließen viele Mittelwerte und mittelwertähnliche Faktoren in die Berechnungen ein, sodass eine größere Diskrepanz zwischen dem gemessenen Wärmebedarf in **Bild 3** und dem berechneten Wärmebedarf nach VDI 4655 in **Bild 4** auftritt. Des Weiteren wird eine Heizgrenztemperatur und eine individuelle Solltemperatur der Hausbewohner nicht berücksichtigt [6]. Außerdem fehlt die Einbindung von potentiellen Urlaubstagen, an denen die Hausbewohner über einen längeren Zeitraum nicht anwesend sind [10].

### 3.3 Das synPRO-Modell

Das synPRO-Modell des Fraunhofer ISE kann nicht nur zur Generierung elektrischer Lastprofile genutzt werden, sondern auch den Heizungs- und Warmwasserenergiebedarf als Lastgang darstellen. Dabei werden zwei Faktoren als wichtige Grundlage genommen. Zum einen wird das Verhalten der Bewohner beachtet. Denn das hat Einfluss auf die Soll-Innenraumtemperatur, die Belüftung und die innere gespeicherte Wärme. Zum anderen spielt das Gebäude an sich eine große Rolle. Je nach Alter, Größe, Dämmung verändern sich der Wärmeverlust, die solaren Energiegewinne und dynamische Verteilung der Wärme, wie in **Bild 5** verdeutlicht wird. Des Weiteren besteht eine Abhängigkeit von der Außentemperatur. Hierbei können

entweder Wetterdaten aus einem Referenzjahr, gemessen in Potsdam; oder eigene Wetterdaten implementiert werden. [1]



**Bild 5** 5R1C Modell [1]

Der energetische Gewinn durch das Bewohnerverhalten kann durch **Gleichung 4** wiedergegeben werden. [1]

$$\dot{Q}_{g,int}(t) = P_{el}(t) + n_{pers} * 65 W \quad (4)$$

Es wird pro im Raum befindlicher Person 65 W an thermischer Leistung gewonnen. Dazu kommt die Benutzung von elektrischen Geräten  $P_{el}$ . Des Weiteren ist die Anzahl der anwesenden, nicht schlafende Personen zu beachten, da diese Einfluss auf den Wärmebedarf und die Belüftungszyklen hat. Deshalb ist die Soll-Raumtemperatur abhängig von der Tageszeit und der Personenzahl im Raum und wird durch **Gleichung 5** berechnet. [1]

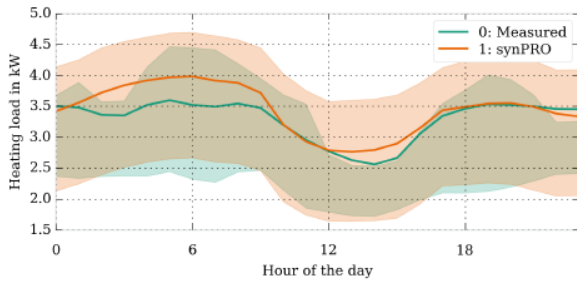
$$T_{room,set}(t) = T_{setpoint}(t) + \Delta T_{user}(t) * n_{pers,active}(t) \quad (5)$$

Die Soll-Raumtemperatur  $T_{setpoint}$  steigt somit im Laufe des Tages und pro Person, welche sich im Raum befindet. Im Gebäude herrscht ein stetiges Gleichgewicht zwischen der durch Heizkörper gelieferten Wärme und der Summe aus Transmissionsverlusten  $\dot{Q}_{l,trans}$ , Verluste durch Lüften  $\dot{Q}_{l,vent}$  minus solaren Gewinnen  $\dot{Q}_{g,sol}$  und internen Gewinnen  $\dot{Q}_{g,int}$ , sowie der Aufheizung der Gebäudemasse  $C_m$ . [1]

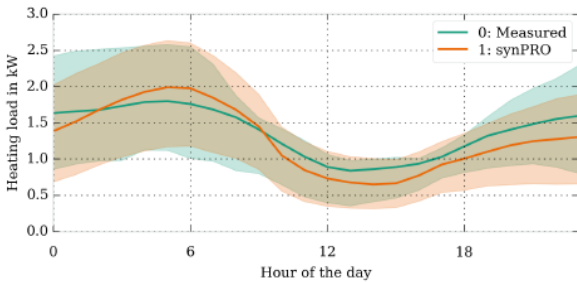
$$\dot{Q}_{sh} = \dot{Q}_{l,vent} + \dot{Q}_{l,trans} - \dot{Q}_{g,sol} - \dot{Q}_{g,int} - C_m \frac{\Delta T_m}{\Delta t} \quad (6)$$

Mithilfe der genannten Gleichungen und dem Modell in Bild 5, sowie den oben aufgeführten Gebäudemerkmalen, welche aus 36 repräsentativen Bauten extrahiert wurden, wird dann die benötigte Energiemenge für die gewünschte Soll-Raumtemperatur berechnet. [1]

Der Vergleich zwischen Lastprofilen aus gemessenen Daten und mit dem synPRO-Modell generierten Daten ist in **Bild 6** für Wintertage und in **Bild 7** für die Übergangszeit dargestellt.

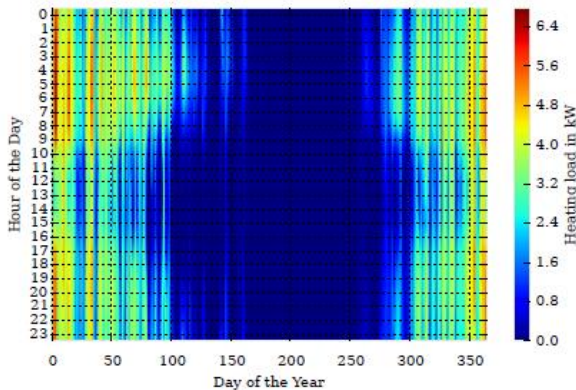


**Bild 6** Prognoseprofil für Wintertagenach synPRO [1]



**Bild 7** Prognoseprofil für die Übergangszeit nach synPRO [1]

Die Darstellungen zeigen eine enge Korrelation zwischen dem realen Profil und dem synthetischen. Vor allem in der Übergangszeit gleichen sich die Verläufe sehr. Lediglich in der Winterzeit, dort besonders in den Morgenstunden, weicht das synPRO-Modell von dem realen auffallend stark ab. Zudem ist hier bei dem synthetischen Modell eine größere Streuung zu erkennen. [1]



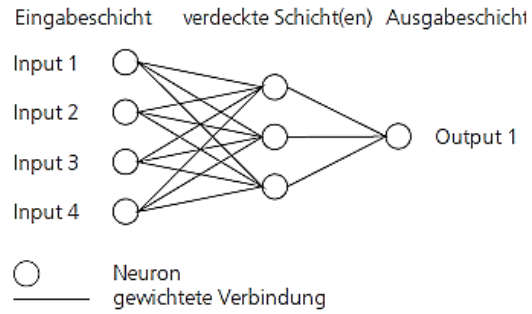
**Bild 8** Raumwärme für jede Stunde in einem Jahr nach synPRO [1]

**Bild 8** zeigt, äquivalent zum Unterkapitel 3.2, den prognostizierten Raumwärmebedarf nach dem synPRO-Modell. Verglichen mit dem Verlauf in Bild 4 prognostiziert das synPRO-Modell den gemessenen Raumwärmebedarf in Bild 3 wesentlich präziser.

### 3.4 Künstlich Neuronale Netze

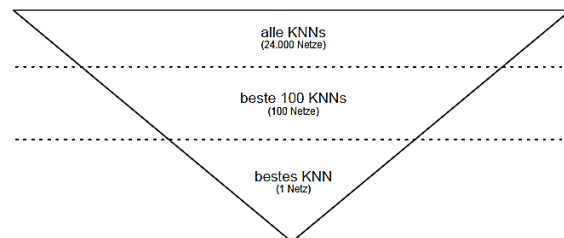
Künstliche Neuronale Netze (KNN) stammen aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz. Ein Vorteil der KNN ist die große Lernfähigkeit. Bei dem Verfahren fungieren die einzelnen Neuronen als Komponenten zur Informationsverarbeitung. Durch hinterlegte mathematische Funktionen werden die eingegebenen Daten verarbeitet und Ergebnisse ausgegeben. Für die Lösung komplexer Auf-

gaben können, wie in **Bild 9** dargestellt, die Neuronen als Netz verbunden werden. Die Relation zwischen einzelnen Parametern zu registrieren, ist ein grundlegendes Attribut des Verfahrens. [3]



**Bild 9** Struktur eines KNN [3]

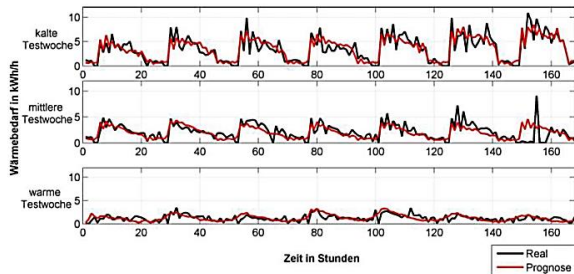
Im Folgenden wird das Verfahren der Fraunhofer UMSICHT zur Erstellung von Wärmebedarfsprognosen verwendet. Das Ziel ist dabei die Erstellung von prognostizierten Profilen in stündlicher Auflösung für die darauffolgenden 24 Stunden für ein Einfamilienhaus. Als Eingangsparameter werden unter anderem Wetterdaten (Außentemperatur, Windgeschwindigkeit, Solarstrahlung), kalendarisches Wissen (Stunde des Tages, Wochentag, Monat) und der Wärmebedarf der vorherigen Stunden in das System eingepflegt. Daraus resultiert ein großer Pool unterschiedlicher Parameterkombinationen, welche jeweils als einzelne KNN zu verstehen sind. Aus den zugrunde liegenden fünf Monaten an Daten werden drei Testwochen basierend auf der Durchschnittstemperatur (kalt, mittel, warm) herausgesucht und für die Auswertung des Modells benutzt. Der ausgewählte Datensatz ist dem System bisher nicht bekannt, sodass ein realitätsnaher Prognosefall gewährleistet ist. Die generierten Netze werden dann mithilfe der RMSE-Funktion (Root Mean Square Error) beurteilt und kontrastiert. Durch dieses Vorgehen werden, wie in **Bild 10** zu sehen, zunächst die 100 besten KNN selektiert und auf deren Gemeinsamkeiten überprüft, sodass relevante Eingangsparameter und Netzkonfigurationen für eine reliable Prognose herausgefiltert werden. Anschließend wird das KNN mit dem niedrigsten RMSE ermittelt und für die Prognose verwendet. Abschließend wird die Plausibilität durch leichte Veränderung der Eingangsdaten überprüft. [3]



**Bild 10** Auswertungsschritte bei Künstlich Neuronalen Netzen [3]

Die Auswertung der Netze von der Fraunhofer UMSICHT zeigt, dass sich der Scaled Gradient Algorithmus (SCG), ein lernfähiger Regelalgorithmus, aufgrund der geringen Prognosefehler gegenüber anderen Algorithmen

durchsetzt. Des Weiteren erweist sich eine Mindestanzahl von Neuronen in der Zwischenschicht als notwendig. **Bild 11** stellt die geringere Varianz der Prognose im Vergleich zur Realität dar, was zum Beispiel auf eine vorhandene regelbare Heizungsanlage zurückzuführen ist. Im Gegensatz zu dem Prognoseprofil nach SLP Gas in Bild 2, wird der Wärmebedarf bei niedrigeren Temperaturen besser simuliert. [3]



**Bild 11** Wärmelastgänge der drei Testwochen [3]

Zudem benötigt das Netz für die Prognose die aktuelle Temperatur, die des Vortags und des Folgetags, sowie die Windgeschwindigkeit, den Status des Wärmespeichers, die Innenraumtemperatur und den Wärmebedarf der letzten 24 Stunden. [5]

## 4 Zusammenfassung/Fazit

Die Prognose von thermischen Profilen beinhaltet verschiedene Faktoren. Je nach Verfahren fallen durch die Gewichtung und Einbeziehung der Faktoren die Prognosen unterschiedlich präzise aus. Grundlegend beziehen sich alle Methoden auf die klimatischen und gebäudespezifischen Merkmale, sowie auf das Verhalten der Bewohner. Die immense Bedeutung des letzten Faktors wird vor allem durch den Vergleich des synPRO-Modells und der VDI Norm deutlich. Es zeigt, dass das menschliche Verhalten wesentlich auf die Qualität der Prognose Einfluss hat. So kann durch eine ausgiebige Studie über Hausbewohner die Prognose verbessert werden. Jedoch wird unter anderem durch das synPRO-Modell auch deutlich, dass eine gewisse Überlagerung von Daten mit gleichen Voraussetzungen, wie z.B. der Gebäudetyp, legitim ist. Der Unterschied zwischen der Prognose und dem realen Verlauf wird dadurch nur unwesentlich vergrößert. Letztendlich ist es eine individuelle Entscheidung, welches Verfahren in Hinsicht auf Kosten-Nutzen das geeignete ist.

## 5 Literatur

[1] D. Fischer et al., A Stochastic Bottom-up Model for Space Heating and Domestic Hot Water Load Profiles for German Households, Energy and Buildings, April 2016.

[2] Umweltbundesamt (UBA), Energieverbrauch privater Haushalte, August 2016. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/energieverbrauch-privater-haushalte> [Zugriff am 28.11.2016].

[3] M. Hasselmann und S. Döing, Wärmebedarfsprognosen für Einfamilienhaushalte auf Basis von Künstlichen Neuronalen Netzen, Januar 2015.

[4] T. Tjade, U. Krien und C. Breyer, Simulation und techno-ökonomischer Vergleich von solarthermischen Heizungskonzepten und Photovoltaik-Wärmepumpen-Kombinationen im Wohnungsbau, Bad Staffelstein: 23. Symposium Thermische Solarenergie, April 2013.

[5] M. Hasselmann und S. Döing, Wärmebedarfsprognosen für Einfamilienhaushalte auf Basis von Künstlichen Neuronalen Netzen, 02. Februar 2015. Available: <http://docplayer.org/24947304-Waermebedarfsprognose-fuer-einfamilienhaushalte-auf-basis-von-kuenstlichen-neuronalen-netzen.html> [Zugriff am 02.01.2017]

[6] Michael Winkel, Einfluss der Modellierung von Wärmebedarfslastgängen auf das ermittelte Lastmanagementpotenzial thermischer Versorgungssysteme, Wien: 9. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 31. Januar 2015.

[7] BDEW, VKU, GEODE, BDEW/VKU/GEODE-Leitfaden- Abwicklung von Standardlastprofilen Gas, Berlin, 30. Juni 2015. Available: [https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0ahUKEwjPl\\_Kf96XRAhWGO1AKHY7pCdwQFggaMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.bdew.de%2Finternet.nsf%2Fid%2FA1566EA4942D4ED1C1257E7400332F41%2F%24file%2F15-06-30\\_Leitfaden\\_Abwicklung\\_SLP\\_Gas.pdf&usq=AFQjCNHCuTM2BrE6\\_QZhH0K19u8FZYkIx\\_A&bv=bv.142059868,d.ZWM&cad=rja](https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0ahUKEwjPl_Kf96XRAhWGO1AKHY7pCdwQFggaMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.bdew.de%2Finternet.nsf%2Fid%2FA1566EA4942D4ED1C1257E7400332F41%2F%24file%2F15-06-30_Leitfaden_Abwicklung_SLP_Gas.pdf&usq=AFQjCNHCuTM2BrE6_QZhH0K19u8FZYkIx_A&bv=bv.142059868,d.ZWM&cad=rja) [Zugriff am 04.01.2017]

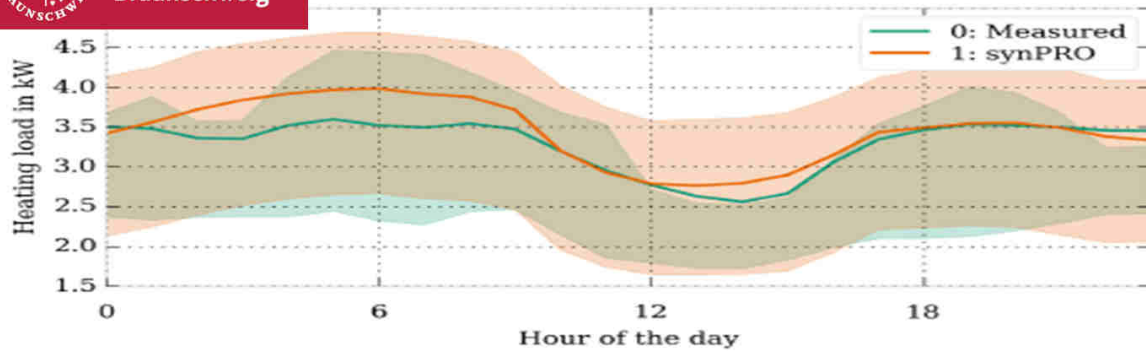
[8] MITNETZ GAS, Stundenverteilungen, 16. Dezember 2011. Available: [https://www.mitnetz-gas.de/irj/go/km/docs/z\\_ep\\_em\\_unt\\_documents/em/mitnetzgas/Dokumente/Stundenverteilung\\_Haushalt.pdf](https://www.mitnetz-gas.de/irj/go/km/docs/z_ep_em_unt_documents/em/mitnetzgas/Dokumente/Stundenverteilung_Haushalt.pdf) [Zugriff am 04.01.2017]

[9] Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (fE), Statusbericht zum Standardlastprofilverfahren Gas, November 2014. Available: [https://www.ffegmbh.de/download/informationen/508\\_bdew\\_slp\\_gas/Statusbericht\\_SLP\\_Gas\\_fE\\_201411.pdf](https://www.ffegmbh.de/download/informationen/508_bdew_slp_gas/Statusbericht_SLP_Gas_fE_201411.pdf) [Zugriff am 05.01.2017]



[10] G. Dubielzig et al., Fortschritt-Berichte VDI-Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2007.

[11] H. Neises, Zu welchem Haus passt welche Heizung?, September 2013.



## Analytischer Vergleich diverser thermischer Referenzlastprofile

Lukas Otte, 13.02.2017

### Agenda

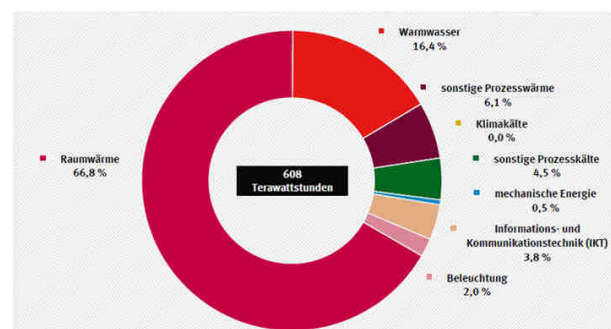
- Einleitung
- Thermisches Referenzlastprofil
- Methoden zur Referenzlastprofilbildung
- Zusammenfassung

# Agenda

- Einleitung
- Thermisches Referenzlastprofil
- Methoden zur Referenzlastprofilbildung
- Zusammenfassung

## Einleitung

- Energiewende in Deutschland
  - Energieeinsparverordnung
  - neue Technologien
- Nicht nur Strom, sondern auch Wärme!
- Wohnsektor Deutschland 2015:
  - 25 % des Endenergieverbrauchs
    - 17 % Warmwasserbedarf
    - 67% Heizwärme
  - großes Einsparpotential
- Demand Side Management zur Netzentlastung
- Effiziente Nutzung setzt bekannten Wärmebedarf voraus



Quelle [1]

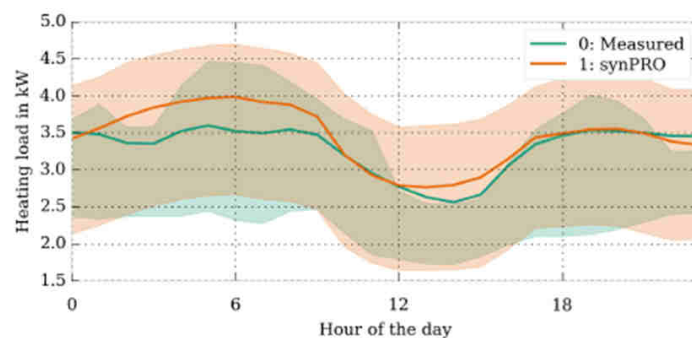
## ➔ Referenzlastprofile

# Agenda

- Einleitung
- Thermisches Referenzlastprofil
- Methoden zur Referenzlastprofilbildung
- Zusammenfassung

## Thermisches Referenzlastprofil

- Messdaten
- Meistens Mittelwerte
- Z.B. Unterteilung in Typtage und klimatische Zonen
- Repräsentatives Lastprofil
- Heizanlagen effizient dimensionieren



Quelle [2]

# Agenda

- Einleitung
- Thermisches Referenzlastprofil
- Methoden zur Referenzlastbildung
- Zusammenfassung

## Standardlastprofil Gas (SLP Gas)

- Geglättetes Wärmebedarfsprofil
- Empirische Berechnung
- Verwendung hauptsächlich in der Gasversorgungswirtschaft
- Wiedergabe einer großen Ansammlung Wärmeverbraucher
- Jahreswärmebedarf des Vorjahres + mittlere Tagesaußentemperatur
- Nichtberücksichtigung von Heizgrenztemperatur oder individueller Gebäudesolltemperatur
- Stündliche Auflösung durch anteilige Stundenfaktoren

### I. Stundenverteilungen

1. Montag - Freitag							
a) Gastagesstunde	1	2	3	4	5	6	7
b) Tagesstunde	7	8	9	10	11	12	13
c) Temperaturbereich							
1) $-10 < t \leq -5$	4,89%	4,63%	4,67%	4,65%	4,56%	4,42%	4,34%
2) $-5 < t \leq 0$	5,33%	4,93%	4,89%	4,72%	4,57%	4,46%	4,38%
3) $0 < t \leq 5$	5,49%	5,17%	5,03%	4,75%	4,65%	4,59%	4,56%
4) $5 < t \leq 10$	6,35%	5,88%	5,42%	4,78%	4,53%	4,47%	4,37%
5) $10 < t \leq 15$	7,51%	6,30%	5,17%	4,44%	4,36%	3,95%	3,90%
6) $15 < t \leq 20$	8,02%	6,64%	4,61%	4,06%	4,33%	3,94%	3,50%
7) $20 < t \leq 25$	8,31%	5,77%	3,50%	3,72%	3,52%	4,33%	3,45%

Quelle [3]

## Formeln zum SLP Gas

- Gewichtete Außentemperatur

$$T = \frac{T_D + 0,5 * T_{D-1} + 0,25 * T_{D-2} + 0,125 * T_{D-3}}{1 + 0,5 + 0,25 + 0,125}$$

- Tagesbezogener normierter Profilwert

$$h(\vartheta) = \left[ \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta - \vartheta_0} \right)^C} + D \right]$$

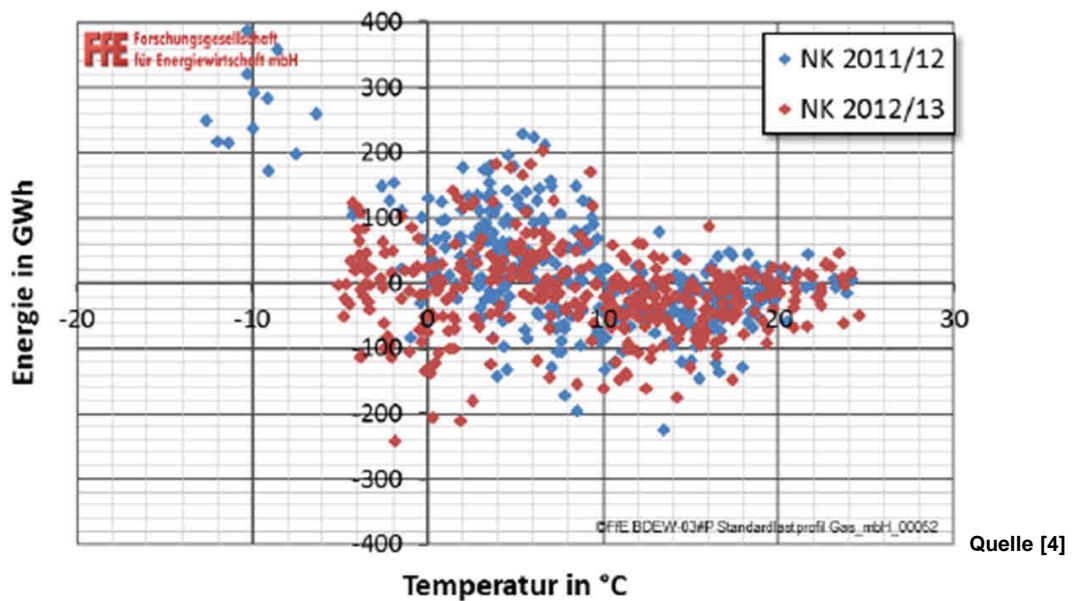
A,B,C,D: Gebäudespezifische Koeffizient;  $\vartheta_0$ : 40°C Referenztemperatur

- Synthetische Tagesmenge

$$Q_{Tag}(\vartheta_D) = KW * h(\vartheta_D) * F_{WT}(D)$$

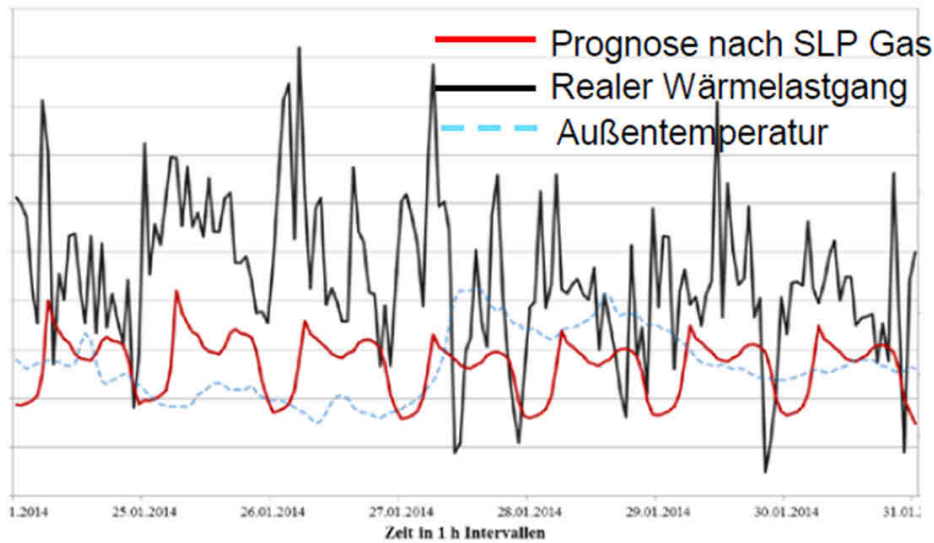
KW: Kundenwert;  $F_{WT}$ : Wochentagfaktor

## Prognosegenauigkeit in Abhängigkeit von der Außentemperatur



→ Bei niedriger Temperatur wird die Prognose ungenauer

## Vergleich SLP Gas-Prognose mit realem Lastgang



Quelle [5]

→ Signifikante Abweichung der Prognose nach SLP Gas

## VDI 4655

- Verfahren für Einsatz von Mikro-KWK-Anlagen
- Typische Lastgänge mit entscheidenden Charakteristika des Gebäudes und Kategorien
- Messung Energiebedarf verschiedener Gebäude
- Unterteilung in Bauart, Wohnfläche, Baujahr, Standort und Bewohneranzahl
- Bildung von Typtagkategorien (Jahreszeit, Temperatur,...)
- Normierung und Kumulierung der Messdaten für qualitativen Vergleich
- Vergleich aller Tageslastgänge einer Typtagkategorie eines Gebäudes
  - 2 repräsentative Profile
- Vergleich aller repräsentativen Profile einer Kategorie aller Gebäude des gleichen Typs
- Nichtberücksichtigung von Heizgrenztemperatur oder individueller Gebäudesolltemperatur

# Typtagkategorien

Anzahl der Tage je Typtagkategorie in den verschiedenen Klimazonen Deutschlands

	ÜWH	ÜWB	ÜSH	ÜSB	SWX	SSX	WWH	WWB	WSH	WSB
TRY01	36	95	7	22	76	12	26	69	6	16
TRY02	39	76	10	15	78	13	23	86	5	20
TRY03	33	87	8	19	71	10	28	83	5	21
TRY04	37	76	9	17	78	13	29	82	6	18
TRY05	42	99	9	19	69	12	19	73	1	22
TRY06	43	91	10	20	31	4	23	114	1	28
TRY07	34	90	8	18	67	11	23	88	2	24
TRY08	45	100	8	21	18	4	17	122	2	28
TRY09	37	79	12	11	65	11	29	92	5	24
TRY10	47	72	15	11	43	7	28	112	3	27
TRY11	40	93	10	17	6	0	20	143	5	31
TRY12	27	91	8	18	104	19	23	57	2	16
TRY13	37	72	15	10	73	13	29	91	6	19
TRY14	42	81	11	15	42	7	22	115	5	25
TRY15	37	88	12	18	49	8	33	95	5	20

Tagesmitteltemperatur der Typtagkategorien in den verschiedenen Klimazonen Deutschlands

	ÜWH	ÜWB	ÜSH	ÜSB	SWX	SSX	WWH	WWB	WSH	WSB
TRY01	11,7	9,7	9,9	10,2	16,3	16,9	1,1	3,3	1,9	4,3
TRY02	11,1	9,7	10,5	9,4	16,8	16,3	0,7	2,5	0,8	3,1
TRY03	11,7	9,9	10,9	10,5	16,4	17,0	-0,3	3,0	0,6	3,9
TRY04	11,1	10,2	10,6	9,5	17,5	17,4	-1,2	2,0	1,5	2,2
TRY05	12,2	9,7	12,8	9,7	16,6	17,3	0,5	3,2	3,2	3,7
TRY06	12,2	10,5	12,3	9,8	16,2	15,9	-2,4	1,0	0,1	1,3
TRY07	12,0	10,0	12,5	9,7	17,1	17,5	-2,4	2,5	2,2	2,8
TRY08	11,4	10,6	9,6	9,7	15,2	15,9	-4,5	0,3	-0,9	0,4
TRY09	11,6	10,6	11,2	10,5	17,2	17,2	-0,3	0,8	1,0	2,0
TRY10	11,5	11,0	10,7	10,4	17,0	15,8	-3,2	0,5	-1,1	0,8
TRY11	11,4	8,4	9,0	8,7	14,8	20,0	-3,1	-2,4	1,8	-2,3
TRY12	10,1	9,1	11,2	10,0	18,0	17,7	-0,7	3,0	3,1	3,2
TRY13	12,3	10,2	11,8	10,7	17,4	16,8	-2,8	1,3	0,3	0,8
TRY14	12,7	10,2	11,4	9,7	16,9	16,7	-3,8	0,6	5,2	0,5
TRY15	12,2	10,5	11,2	9,4	17,0	16,9	-3,1	0,3	-0,6	0,6

ÜWH: Übergangszeit-Wochentag-Heiter  
WSB: Winter-Sonntag-Bewölkt

Quelle [6]

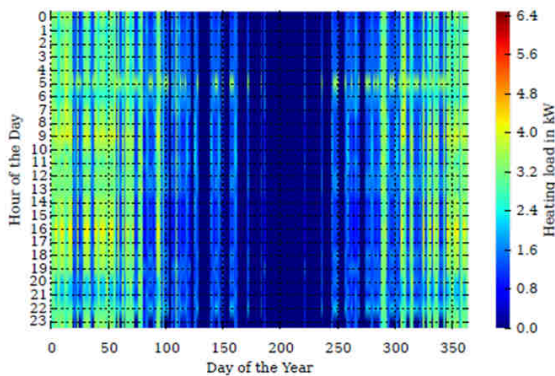


26.01.2017 | Luka Otte | Analytischer Vergleich diverser thermischer Referenzlastprofile | Seite 13

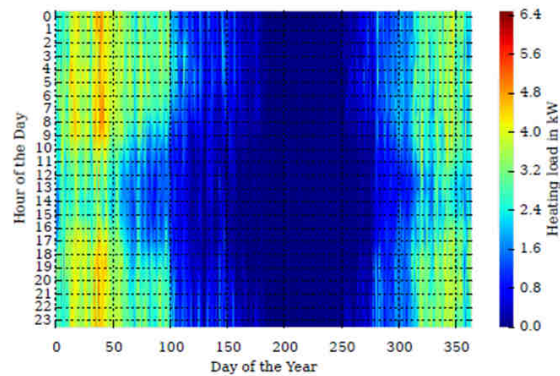


# Vergleich VDI 4655 vs. Realität für ein Jahr

VDI 4655



Gemessener Verlauf



→ Große Prognosefehler bei niedrigen Temperaturen

Quelle [2]



26.01.2017 | Luka Otte | Analytischer Vergleich diverser thermischer Referenzlastprofile | Seite 14



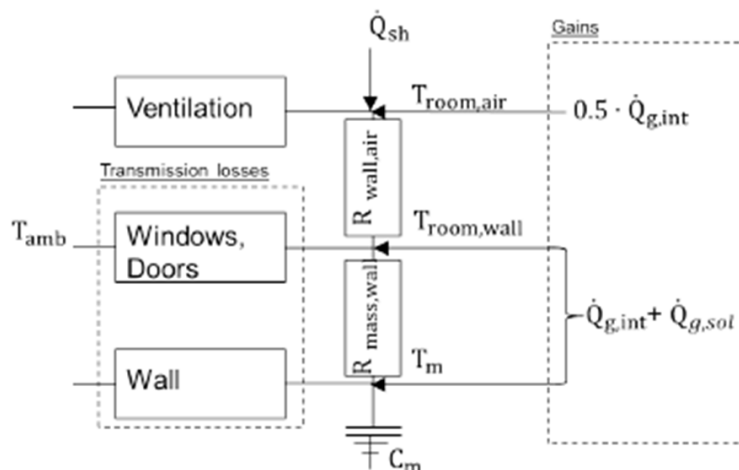


## Das synPRO-Modell

- Fraunhofer ISE
  - Verhalten der Bewohner
    - Soll-Innenraumtemperatur
    - Belüftung
    - Innere gespeicherte Wärme
  - Gebäudecharakteristika
    - Alter
    - Größe
    - Dämmung
- Änderung Wärmeverlust, solarer Energiegewinn, dynamische Wärmeverteilung
- Außentemperatur

## 5R1C-Modell

→ Heizkörper fügen die fehlende Wärme für das Energiegleichgewicht hinzu



Quelle [2]

$\dot{Q}_{g,int}$ : Interne Wärmegewinne;  $\dot{Q}_{g,sol}$ : Solare Raumgewinne;  $C_m$ : Speicherkapazität der Gebäudemasse;  
 $\dot{Q}_{sh}$ : Wärme Heizkörper;  $T_{amb}$ : Außentemperatur

## Gleichungen zum 5R1C-Modell

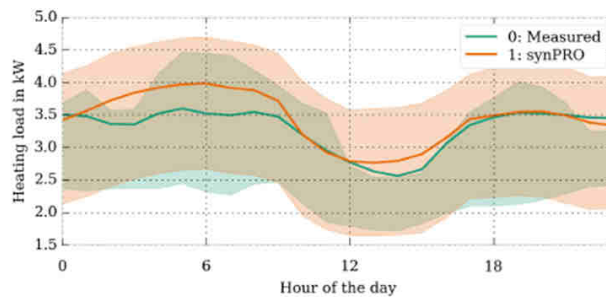
$$\dot{Q}_{g,int}(t) = P_{el}(t) + n_{pers} * 65 \text{ W}$$

$$T_{room,set}(t) = T_{setpoint}(t) + \Delta T_{user}(t) * n_{pers,active}(t)$$

$$\dot{Q}_{sh} = \dot{Q}_{l,vent} + \dot{Q}_{l,trans} - \dot{Q}_{g,sol} - \dot{Q}_{g,int} - C_m \frac{\Delta T_m}{\Delta t}$$

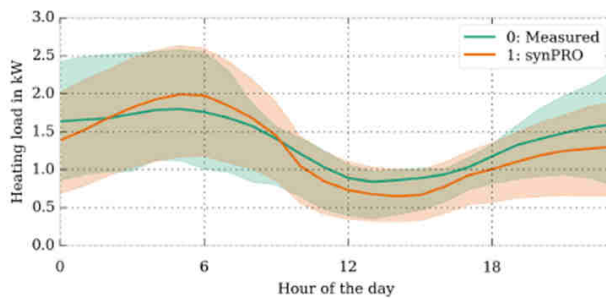
## Vergleich synPRO-Modell vs. Realität

→ Große Streuung des synPRO-Modells in der Übergangszeit



Übergangszeit

→ Gute Prognose für kalte Jahreszeit

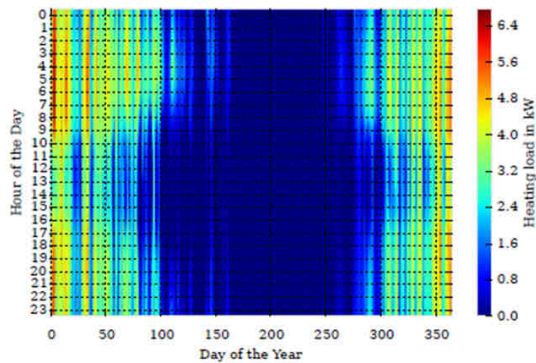


Winterzeit

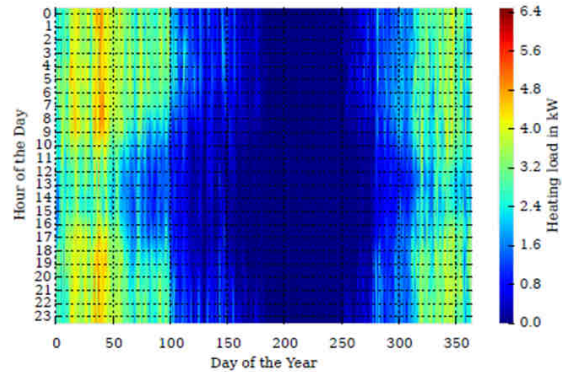
Quelle [2]

## Vergleich synPRO-Modell vs. Realität für ein Jahr

synPRO-Modell



Gemessener Verlauf



→ Gute Prognose des gemessenen Raumwärmebedarfs

Quelle [2]

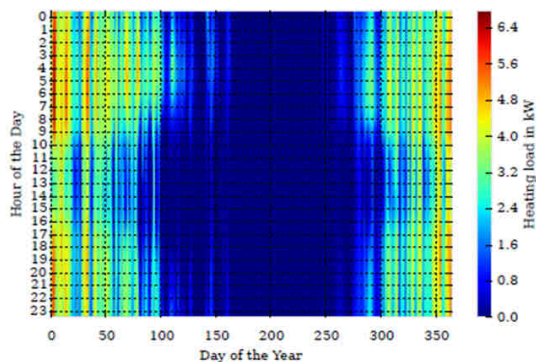


26.01.2017 | Luka Otte | Analytischer Vergleich diverser thermischer Referenzlastprofile | Seite 19

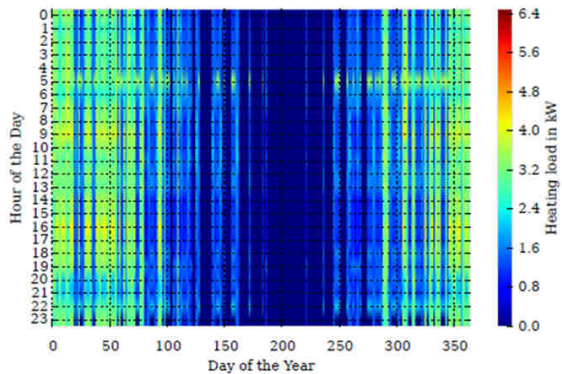


## Vergleich synPRO vs. VDI 4655 für ein Jahr

synPRO-Modell



VDI 4655



→ Prognose mit synPRO-Modell deutlich besser als mit VD 4655

Quelle [2]

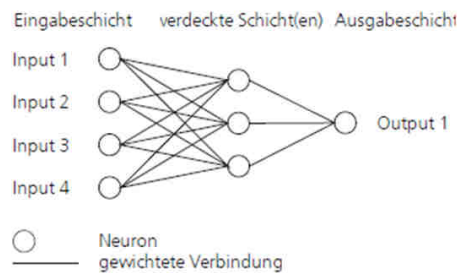


26.01.2017 | Luka Otte | Analytischer Vergleich diverser thermischer Referenzlastprofile | Seite 20



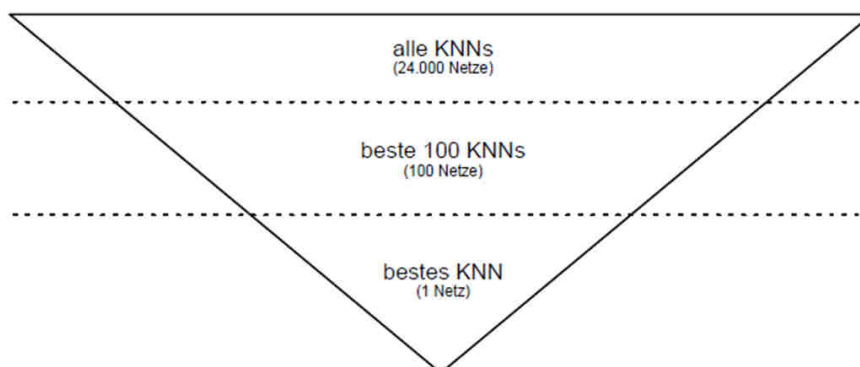
## Künstliche Neuronale Netze (KNN)

- Fraunhofer UMSICHT
- Ursprung in der künstlichen Intelligenz
- Große Lernfähigkeit
- Datenverarbeitung durch mathematische Funktionen
- Funktion entspricht einem Neuron
- Verbindung zu einem Netz
- Eingangsparameter (Wetterdaten, Wärmebedarf der letzten 24 Stunden,...)
- Großer Datenpool
- Auswertung
  - Geringster Prognosefehler
  - Gemeinsamkeiten der besten KNN



Quelle [7]

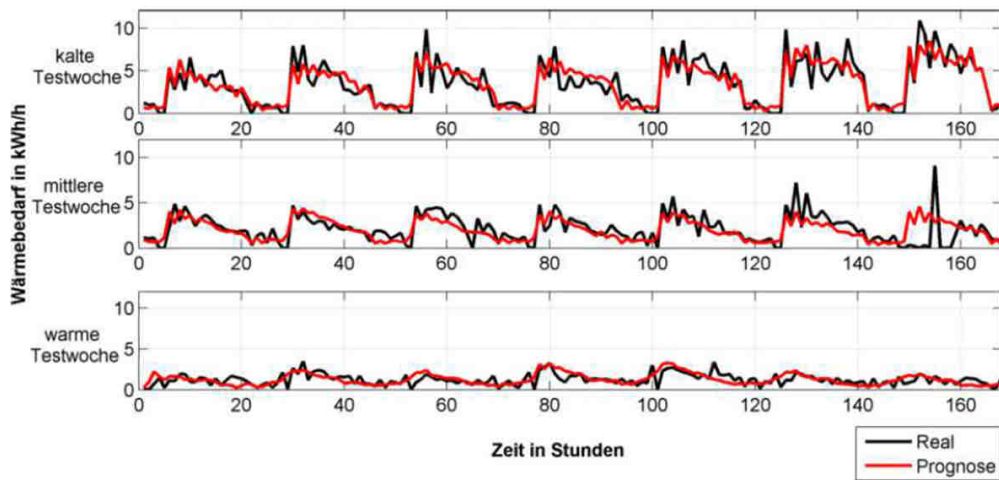
## Auswertungsschritte bei KNN



- Beste 100 KNNs: Gemeinsamkeiten ausmachen
- KNN mit geringstem Prognosefehler aussuchen

Quelle [7]

## Vergleich KNN vs. Realität



Quelle [7]

→ Grundsätzlicher Verlauf wird prognostiziert

## Agenda

- Einleitung
- Thermisches Referenzlastprofil
- Methoden zur Referenzlastbildung
- Zusammenfassung

## Zusammenfassung

- Gewichtung und Einbeziehung unterschiedlicher Faktoren wichtig
  - Unterschiedlich präzise
- Grundlegende Faktoren
  - Klimatische Daten
  - Gebäudespezifische Daten
  - Bewohner
- Gewisse Mittelwertbildung legitim



Auswahl des Verfahrens basierend auf Kosten-Nutzen

**Vielen Dank!!!**

## Quellen

- [1] Umweltbundesamt (UBA), Energieverbrauch privater Haushalte, August 2016.
- [2] D. Fischer et al., A Stochastic Bottom-up Model for Space Heating and Domestic Hot Water Load Profiles for German Households, Energy and Buildings, April 2016..
- [3] MITNETZ GAS, Stundenverteilungen, 16. Dezember 2011.
- [4] Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (FfE), Statusbericht zum Standardlastprofilverfahren Gas, November 2014.
- [5] M. Hasselmann und S. Döing, Wärmebedarfsprognosen für Einfamilienhaushalte auf Basis von Künstlichen Neuronalen Netzen, Januar 2015.
- [6] G. Dubielzig et al., Fortschritt-Berichte VDI-Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2007.
- [7] M. Hasselmann und S. Döing, Wärmebedarfsprognosen für Einfamilienhaushalte auf Basis von Künstlichen Neuronalen Netzen, 02. Februar 2015

# Energieversorgungsnetze außerhalb der ENTSO-E

## Energy Supply Networks beyond ENTSO-E

Anne Preißler,

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen – **elenia**, Braunschweig, a.preissler@tu-bs.de

### Kurzfassung

In diesem Bericht erfolgt eine Gegenüberstellung mehrerer Verbände von Übertragungsnetzbetreibern. Zunächst wird ENTSO-E betrachtet, der weltweit größte Verband. Dieser wurde 1999 in Europa gegründet, um die Liberalisierung des Energiemarktes zu unterstützen. Des Weiteren werden Verbände wie beispielsweise IPS/UPS in Asien oder die Interconnections in Amerika vorgestellt.

### Abstract

In this report a number of various associations of transmission system operators are compared. At first, ENTSO-E is considered, the world's largest network. It was founded in 1999 in Europe to support the liberalization of the energy market. Furthermore, associations such as IPS / UPS in Asia or the Interconnections in America are presented

## 1 Einleitung

Ende der 1990er war die Liberalisierung des Energiemarktes der Europäischen Union (EU) zwar beschlossen, jedoch ging sie nur langsam vonstatten.

Elektrische Energie und Gas wurden zu nicht wettbewerbsfähigen Preisen angeboten und der Einstieg neuer Teilnehmer in den Markt war sehr beschwerlich. Nicht zuletzt wurde dadurch die freie Wahl des Kunden eingeschränkt. Aus diesem Grund wurde 1999 ETSO gegründet, ein Vorläufer des Verbands europäischer Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E).

Da die Liberalisierung des Energiemarktes jedoch ein globales Anliegen ist, werden in dieser Arbeit Netzverbände weltweit vorgestellt.

## 2 ENTSO-E

Das European Network of Transmission System Operators (ENTSO-E) repräsentiert 41 Übertragungsnetzbetreiber aus 34 europäischen Ländern. Der Verband wurde 2009 aus der ETSO durch das Dritte Energiepaket der EU gegründet, mit dem Ziel, die Liberalisierung des Gas- und Elektrizitätsmarktes weiter voranzutreiben.

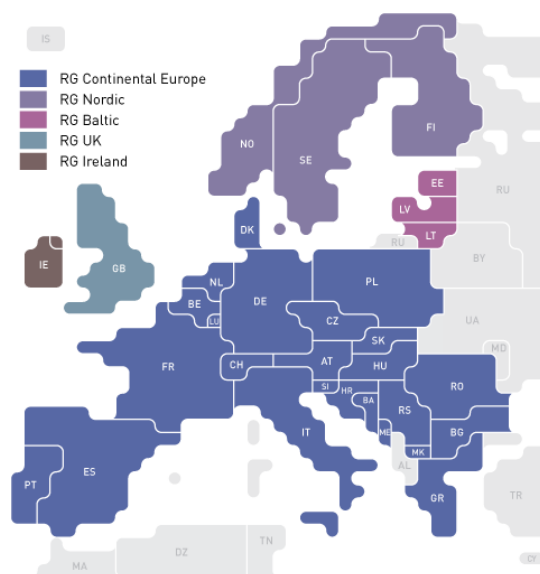
Seine Mitglieder verfolgen das Ziel eines optimal funktionierenden Energiebinnenmarktes und unterstützen dabei die europäische Klima- und Energiepolitik. Dies beinhaltet die Integration eines hohen Grades an erneuerbaren Energien, eine hohe Flexibilität des Systems hinsichtlich Angebot und Nachfrage und eine Erhöhung der Kundenorientierung. Dabei steht die Versorgungssicherheit im Mittelpunkt.

Zu den Aufgaben des Verbandes zählen unter anderem:

- Gesetzesvorschläge auf Grundlage des europäischen Standards
- Erstellung von Networkcodes und deren Umsetzung

- Stärkung der regionalen Zusammenarbeit durch Regional Security Coordination Initiatives (RSCIs)
- Technische Kooperation zwischen den Übertragungsnetzbetreibern
- Bewertung von kurz- und langfristiger regionaler und europaweiter Systemangemessenheit
- Entwicklung von langfristigen europaweiten Netzentwicklungsplänen
- Koordination von Forschung, Entwicklung und Innovationen und Teilnahme an europäischen Forschungsprogrammen und Horizon 2020.

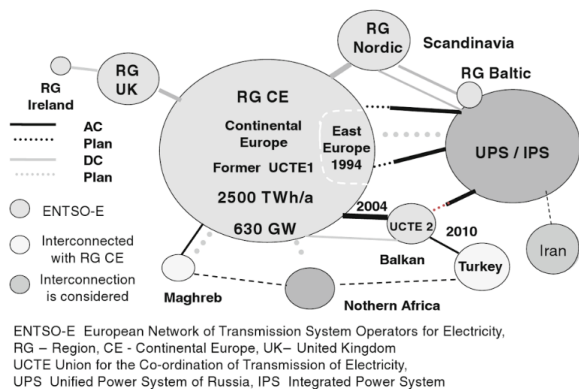
Der Verband besteht aus fünf synchronen Netzen, wie in **Abbildung 1** zu sehen ist. Diese sind: Region (RG) Continental Europe, ehemals UCTE, das skandinavische Verbundnetz RG Nordic, die nationalen Verbände von Großbritannien und Irland, RG UK und RG Ireland, und die mit dem russischen Netz synchrone RG Baltic. [1]



**Abbildung 1:** Die synchronen Netze von ENTSO-E [2]



Die Regionen sind untereinander nicht synchron, sie sind jedoch über Hochspannungsgleichstromübertragungen (HGÜ) gekoppelt, dargestellt in **Abbildung 2**. Die RG Kontinentaleuropa wird seit 1997 synchron mit dem Netz der Maghreb-Staaten und seit 2010 mit dem Netz der Türkei betrieben. In Zukunft ist auch ein Ringschluss über Nordafrika geplant. Zwischen dem Verbundnetz von Russland (UPS) und der RG Nordic existieren schwache HGÜ Kupplungen. Eine weitere Verbindung zwischen ENTSO-E und UPS existiert nicht, einige 750 kV Leitungen enden jedoch in Polen, Ungarn und Bulgarien. [3]



**Abbildung 2:** Verbindungen zwischen ENTO-E und seinen Nachbarn [3]

Insgesamt versorgt der ENTSO-E 532 Millionen Kunden mit einem Stromnetz (220 – 750 kV) von über 312.693 km Länge. Dabei wurden 2014 etwa 3.174,2 TWh Energie verbraucht. Das Netz des Verbandes hat eine verfügbare Nettokapazität von 1.023.721 MW und ist damit das größte Verbundnetz der Welt. [1]

Bei ENTSO-E werden 46 Prozent der elektrischen Energie aus fossilen Brennstoffen, 12 Prozent aus Atomkraft und etwa 42 Prozent aus erneuerbaren Ressourcen gewonnen. [4]

### 3 Weitere Verbundnetze

Nachdem nun der europäische Verband vorgestellt wurde, folgt nun eine Betrachtung von Verbundnetzen weltweit, die alle ähnliche Aufgaben wie ENTSO-E übernehmen.

#### 3.1 IPS/UPS

Zum flächenmäßig größten Verbundnetz gehören zum großen Teil Staaten der ehemaligen Sowjetunion. Das Unified Power System of Russia (UPS) umfasst sechs synchrone Regelzonen und wird von der Federal Grid Company betrieben. Eine Regelzone, das Übertragungsnetz Ost, wird jedoch noch unabhängig von UPS geführt.

Zum Integrated Power System (IPS) zählen die Übertragungsnetze der Ukraine, Kasachstans, Kirgisistans, Weißrusslands, Aserbaidschans, Tadschikistans, Georgiens, Moldawiens und der Mongolei. Die Netze dieser Länder werden von den nationalen Übertragungsnetzbetreibern koordiniert.

Allein in Russland werden 131.000 km Übertragungsleitungen mit Spannungen zwischen 220 und 750 kV betrieben. Der jährliche Bedarf an elektrischer Energie des Landes beträgt 1.040 TWh, die installierte Kapazität 218 GW. Da Russland über die weltweit größten Vorkommen an Kohle und Erdgas verfügt, werden entsprechend 64 Prozent der Energie aus diesen Rohstoffen gewonnen. 19 Prozent werden in Kernkraftwerken produziert und 17 Prozent aus Wasserkraft. Weitere erneuerbare Energien spielen praktisch keine Rolle. [3]

Die Bildung des Verbundnetzes begann im Jahr 1956. Bis 1993 gehörten auch die DDR und Teile Osteuropas, die nun Mitglieder des ENTSO-E sind, dazu. 2001 wurden Länder aus Zentralasien integriert, seit 2009 treten jedoch wieder einige Länder aus dem Verband aus. [5]

#### 3.2 Nordamerika

In Nordamerika gibt es vier große Interconnections, deren Regelzonenführer Mitglied der North American Electric Reliability Corporation (NERC) sind.

Im Westen der USA, in den kanadischen Regionen Alberta und Columbia und im Nord-Westen von Mexiko befindet sich die Western Interconnection. Hier koordiniert ein Regelzonenführer 37 Übertragungsnetzbetreiber.

Im Süden befindet sich die Texas Interconnection und im Norden die Québec Interconnection mit jeweils einem Regelzonenführer.

Die Eastern Interconnection, die sich im Osten der USA und in Teilen Kanadas befindet, wird von mehreren Regelzonenführern kontrolliert und vereint 36 Übertragungsnetzbetreiber. [6]

Des Weiteren gibt es die Alaska Interconnection, ein kleineres Inselnetz.

In den USA ist die zweitgrößte Erzeugerleistung der Welt installiert. Das Verbundnetz weist Spannungsebenen von 230 bis 765 kV auf bei einer Netzfrequenz von 60 Hz. [3] Insgesamt beliefert NERC 334 Millionen Menschen, die meisten befinden sich in der Eastern Interconnection. Die installierte Kapazität beläuft sich auf ungefähr 1035 GW, die Gesamtlänge des Übertragungsnetzes auf etwa 697.000 km. [7]

Insgesamt wird der Hauptanteil der elektrischen Energie in der Eastern, Western und Texas Interconnection aus Erdgas gewonnen, gefolgt von Kohle. In der Québec Interconnection wird mehr als 91 Prozent der Energie aus Wasserkraft gewonnen. Hier hat das Unternehmen Hydro-Québec seinen Sitz, welches 61 Wasserkraftwerke betreibt. [8]

#### 3.3 Indien

Das National Grid of India besteht aus ursprünglich fünf regionalen Netzen, die seit 1991 schrittweise synchronisiert wurden. Zuerst wurden die Übertragungsnetze des Nordostens und des Ostens zusammengeschlossen. Am 31.12.2013 wurde als letztes Gebiet der Süden mit einer 765 kV Leitung an das zentrale Netz gekoppelt, um Indiens Ziel „One Nation – One Grid – One Frequency“ zu erreichen. [9]

In Indien betrug 2012 die gesamte installierte Kapazität 210.951,72 MW. Das Übertragungsnetz hat eine Länge von etwa 166.000 km und beliefert ungefähr 146 Millionen Kunden. Trotzdem besitzen nur etwa 46 Prozent der ländlichen Haushalte Zugang zu elektrischer Energie.

Der größte Anteil an installierter Kapazität entfällt auf fossile Brennstoffe, fast 67 Prozent. Atomkraft besitzt lediglich einen Anteil von etwa 2,3 Prozent während erneuerbare Energien fast 31 Prozent beitragen. [10]

Die Spannungsebenen des Übertragungsnetzes reichen von 220 bis 765 kV. [11]

### 3.4 Australien

Der National Electricity Market (NEM) of Australia ist ein im Dezember 1998 gegründeter einheitlicher Strommarkt in Australien. Zu ihm gehören die Regionen Queensland, New South Wales, Victoria, Südastralien und Tasmanien. Aufgrund der geringen Bevölkerungsdichte und der großen Entfernung und der daraus resultierenden Vielzahl an Inselnetzen sind die Regionen Nord- und Westaustralien nicht Mitglieder in diesem Verbundnetz.

Insgesamt betreibt der NEM über 40.000 km an Übertragungsleitungen (220, 275, 330 und 500 kV ([12]) und beliefert etwa neun Millionen Kunden. Die installierte Kapazität beträgt ungefähr 45 GW bei einem jährlichen Stromverbrauch von 200 TWh. [13]

Insgesamt beträgt der Anteil von fossilen Brennstoffen an der installierten Kapazität im Gebiet des NEM etwa 73 Prozent. Die erneuerbaren Energien besitzen einen Anteil von ungefähr 26 Prozent, der Hauptteil entfällt dabei auf Wasserkraft. [14]

### 3.5 Afrika

Auf dem afrikanischen Kontinent existieren drei größere Verbundnetze.

Das Netz des South-West Mediterranean Block (SWMB), zu dem die Maghreb-Staaten Marokko, Algerien und Tunesien gehören, ist seit 1997 durch ein Seekabel zwischen Gibraltar und Marokko mit dem kontinentaleuropäischen Netz synchronisiert. (vgl. [15]) Die nationalen Verbundnetze sind untereinander mit 400 kV Leitungen gekoppelt. [16]

Die Länder des SWMB besitzen eine installierte Kapazität von ungefähr 24,8 GW, die etwa 86 TWh elektrische Energie pro Jahr generieren. Den Hauptanteil daran besitzen Öl und Gas, erneuerbare Ressourcen spielen in dieser Region eine untergeordnete Rolle. [17], [18], [19]

Im South-Eastern Mediterranean Block (SEMB) befinden sich die Länder Libyen, Ägypten, Syrien, Libanon und Jordanien. Zuerst wurden 1998 die Netze von Libyen und Ägypten über eine 225 kV Leitung gekoppelt. Zuletzt wurde eine 400 kV Leitung zwischen Syrien und dem Libanon installiert. Verbindungen zwischen Syrien und der Türkei beziehungsweise dem Irak existieren zwar schon, wurden jedoch noch nicht in Betrieb genommen. Über die Türkei und im Westen Marokko ist seit einiger

Zeit ein Ringschluss zum kontinentaleuropäischen Netz geplant. [20]

Die installierte Kapazität aller Länder Nordafrikas (inklusive Türkei, Israel, Jordan und Palästina) betrug 2009 118,8 GW und die Jahresproduktion elektrische Energie 556 TWh. Davon werden 94 Prozent aus fossilen Brennstoffen gewonnen, hauptsächlich aus Erdöl und Erdgas. Der Anteil der erneuerbaren Ressourcen beträgt nur sechs Prozent. [21]

Der Southern African Power Pool (SAPP) ist ein gemeinsamer Strommarkt mit zwölf Mitgliedstaaten in Südafrika. Gegründet wurde er 1995 und besitzt eine installierte Kapazität von 53 GW. ([22]) In Südafrika werden fast 68 Prozent der Energie aus fossilen Brennstoffen gewonnen, drei Prozent nur aus atomaren Energieträgern und 29 Prozent aus erneuerbaren Ressourcen. ([23]) Das Übertragungsnetz umfasst Spannungsebenen von 220 bis 400 kV Wechselstrom und 533 kV Gleichstrom. [24]

### 3.6 China

China ist der weltweit größte Produzent und Verbraucher von elektrischer Energie mit einer Jahresenergieproduktion von 4.692 TWh. Bis 2035 soll sich dieser Wert sogar verdreifachen.

In dem Land existieren sechs regionale Übertragungsnetze, von denen die nördlichen und die zentralen Gebiete von einer staatlichen Gesellschaft geführt werden. Der Süden wird von einem anderen staatlichen Unternehmen koordiniert.

Insgesamt gibt es jedoch kein einheitliches synchrones Netz und nur schwache Verbindungen zwischen den Übertragungsnetzen. So kann es zu regionalen und temporären Engpässen in der Versorgung kommen. Beispielsweise treten im Norden im Winter hohe Lastspitzen auf, während im Süden im Sommer der Bedarf an Energie besonders hoch ist. Hier sind jedoch meistens die Wasserstände der Wasserkraftwerke zu gering, um elektrische Energie zu erzeugen und so muss auf teure Dieselkraftwerke ausgewichen werden.

Zusammengefasst werden in China etwa 75 Prozent der elektrischen Energie aus Kohle gewonnen, ungefähr zwölf Prozent aus erneuerbaren Ressourcen. [3]

### 3.7 Japan

Japan stellt eine Besonderheit dar. Es gibt ein nördliches und ein südliches Verbundnetz, beide werden mit einer unterschiedlichen Frequenz betrieben. Im Norden wurde nach deutschen Vorbild 50 Hz eingeführt, im Süden wählte man jedoch 60 Hz wie in Amerika. Dies ist der Grund dafür, dass nur drei Verbindungen zwischen den Übertragungsnetzen bestehen, denn solche Kopplungen sind sehr teuer. So hatte der Norden Japans nach der Katastrophe von Fukushima 2011 große Probleme, die Versorgung aufrecht zu erhalten, denn es konnte nicht die benötigte Menge an Energie aus dem Süden transportiert werden.

Die Spannungsebenen des 21.400 km langen Übertragungsnetzes reichen von 187 bis 500 kV.

Insgesamt gibt es im japanischen Verband zehn Übertragungsnetzbetreiber. [25]

### 3.8 Lateinamerika

Pläne für den Netzausbau und die Schaffung von Verbundnetzen in Mittel- und Südamerika existieren schon seit den 1990er, trotzdem leben noch 31 Millionen Menschen dort ohne Strom. Ein weiteres Problem der Region ist der hohe Anteil von fossilen Brennstoffen an der Energieproduktion.

Das Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central (SIEPAC) vereint die Übertragungsnetze von Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica und Panama. Die Netze der Länder wurden durch eine 1.800 km lange 230 kV Leitung verbunden, welche im Jahr 2013 fertiggestellt wurde. Der Verband hat 37 Millionen Kunden.

Das Garabi-Projekt bezeichnet eine Kopplung der Netze von Brasilien und Argentinien. Dies wurde durch zwei 1100 MW starke 500 kV Übertragungsleitungen realisiert.

Des Weiteren befinden sich noch mehrere Verbundnetze in Planung, wie zum Beispiel das Andean Electrical Interconnection System (SINEA). [26]

## 4 Zusammenfassung/Fazit

Es gibt viele Gründe für einen Zusammenschluss von mehreren Übertragungsnetzbetreibern. Geschah dies früher aus technischen Aspekten, beispielsweise dem Lastenausgleich, sind es heute auch wirtschaftliche Motive.

Ein einheitlicher Strommarkt begünstigt stabile Preise und insgesamt muss in einem Verbund weniger Regelleistung bereitgestellt werden. Die Übertragungsnetzbetreiber können hinsichtlich Angebot und Nachfrage flexibler reagieren und erneuerbare Energien lassen sich besser integrieren.

Das sind nur einige Beispiele, die für ein Verbundnetz sprechen. Denn es befinden sich noch einige weitere Netzverbände in Planung, wie beispielsweise ein europäisches Super Grid, ein Verband aus ENTSO-E, UPS/IPS und den Verbänden von Nordafrika. Ebenso stehen in Zentral- und Westafrika, sowie Lateinamerika noch Verbundnetze in Diskussion.

## 5 Literatur

- [1] ENTSO-E, „ENTSO-E at a Glance“ Juni 2015. [Online]. Available: [https://www.entsoe.eu/Documents/Publications/ENTSO-E%20general%20publications/entsoe\\_at\\_a\\_glance\\_2015\\_web.pdf](https://www.entsoe.eu/Documents/Publications/ENTSO-E%20general%20publications/entsoe_at_a_glance_2015_web.pdf). [Zugriff am 01.12.2016].
- [2] ENTSO-E, „Regional Groups“ 2015. [Online]. Available: <https://www.entsoe.eu/about-entsoe/system-operations/regional-groups/Pages/default.aspx>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [3] B. M. Buchholz, Z. Styczynski, Smart Grids – Grundlagen und Technologien der elektrischen

Netze der Zukunft, Berlin: VDE VERLAG GMBH, 2014.

- [4] ENTSO-E, „Electricity in Europe 2015“ Juni 2016. [Online]. Available: [https://www.entsoe.eu/Documents/Publications/Statistics/electricity\\_in\\_europe/entsoe\\_electricity\\_in\\_europe\\_2015\\_web.pdf](https://www.entsoe.eu/Documents/Publications/Statistics/electricity_in_europe/entsoe_electricity_in_europe_2015_web.pdf). [Zugriff am 21.01.2017].
- [5] The Gazette of Central Asia, „Kazakhstan Delays his Withdrawal from United Energy System“ 20. Januar 2012. [Online]. Available: <http://gca.satrapia.com/+kazakhstan-delays-his-withdrawal-from-united-energy-system+>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [6] U.S Energy Information Agency, „U.S. electric system is made up of interconnections and balancing authorities“ 20. Juli 2016. [Online]. Available: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27152>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [7] NERC, „2015 Summer Reliability Assessment“ Mai 2015. [Online]. Available: [http://www.nerc.com/pa/RAPA/ra/Reliability%20Assessments%20DL/2015\\_Summer\\_Reliability\\_Assessment.pdf](http://www.nerc.com/pa/RAPA/ra/Reliability%20Assessments%20DL/2015_Summer_Reliability_Assessment.pdf). [Zugriff am 21.01.2017].
- [8] WECC, „2016 State of the Interconnection“ 2016. [Online]. Available: <https://www.wecc.biz/Reliability/2016%20SOTI%20Final.pdf>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [9] Power Grid Corporation of India Limited, „One Nation – One Grid“. [Online]. Available: [http://www.powergridindia.com/\\_layouts/PowerGrid/User/ContentPage.aspx?PID=78&LangID=english](http://www.powergridindia.com/_layouts/PowerGrid/User/ContentPage.aspx?PID=78&LangID=english). [Zugriff am 21.01.2017].
- [10] Indian Power Sector, „Overview“ 2012. [Online]. Available: <http://indianpowersector.com/home/about/>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [11] Power Grid Corporation of India Limited, „Our Network“ 2016. [Online]. Available: [http://www.powergridindia.com/\\_layouts/PowerGrid/User/ContentPage.aspx?PID=80&LangID=english](http://www.powergridindia.com/_layouts/PowerGrid/User/ContentPage.aspx?PID=80&LangID=english). [Zugriff am 21.01.2017].
- [12] World Nuclear Association, „Australia’s Electricity“ September 2016. [Online]. Available: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/appendices/australia-s-electricity.aspx>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [13] AEMO, „National Electricity Market“ 2016. [Online]. Available: <https://www.aemo.com.au/Electricity/National-Electricity-Market-NEM>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [14] AEMO, „Generation Information Page“ 2016. [Online]. Available: <https://www.aemo.com.au/Electricity/National-Electricity-Market-NEM/Planning-and-forecasting/Generation-information>. [Zugriff am

- 21.01.2017].
- [15] Global Transmission Report, „MedRing: Building an interconnected system across three continents“ 02. März 2009. [Online]. Available: <http://www.globaltransmission.info/archive.php?id=1433>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [16] Arab Fund, „Electricity“ 2016. [Online]. Available: <http://www.arabfund.org/default.aspx?pageId=454>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [17] IASS Potsdam, „A New Del for Euro-Maghreb“ 2008. [Online]. Available: [http://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/files/abstract\\_hasni\\_01.pdf](http://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/files/abstract_hasni_01.pdf). [Zugriff am 21.01.2017].
- [18] Germanwatch, „Country Fact Sheet Morocco“ 25. April 2016. [Online]. Available: <http://germanwatch.org/de/download/15120.pdf>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [19] fE, „Energy Profile of Tunisia“ Dezember 2015. [Online]. Available: <https://www.ffegmbh.de/kompetenzen/systemmarkt-analysen/514>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [20] PEi, „Transmission Grid Network: The seven wonders of interconnection“ 01. März 2007. [Online]. Available: <http://www.powerengineeringint.com/articles/me/print/volume-4/issue-1/features/transmission-grid-network-the-seven-wonders-of-interconnection.html>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [21] MEDPRO, „Outlook for Electricity and Renewable Energy in Southern and Eastern Mediterranean Countries“ Oktober 2012. [Online]. Available: <https://www.ceps.eu/system/files/MEDPRO%20TR%20No.%2016%20Electricity%20Hafner%20et%20al.pdf>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [22] SAPP, „SAPP Statistic 2014“ 2014. [Online]. Available: <http://www.sapp.co.zw/docs/R9%20%20SAPP%20Statistics%20-%202013.pdf>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [23] SAPP, „SAPP Statistic 2015“ 2015. [Online]. Available: <http://www.sapp.co.zw/docs/R9%20%20SAPP%20Statistics%20-%202015.pdf>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [24] SAPP, „Interconnector Limits“ 2016. [Online]. Available: <http://www.sapp.co.zw/ilimits.html>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [25] Cigré, „The Electric Power System – Japan“. [Online]. Available: <http://www.cigre.org/var/cigre/storage/original/application/fac3623d5d889b8e3bb4821ceb21aa9f.pdf>. [Zugriff am 21.01.2017].
- [26] Worldwatch Institute, „Integrating the Latin American Electricity Grid“ 06. August 2013. [Online]. Available: <http://blogs.worldwatch.org/revolt/integrating-the-latin-american-electricity-grid-2/>. [Zugriff am 22.01.2017].



## Energieversorgungsnetze außerhalb der ENTSO-E

Anne Preißler, 26.01.2017

### Agenda

- Motivation
- ENTSO-E
- UPS/IPS
- NERC
- sonstige
- Zusammenfassung



# Agenda

- Motivation
- ENTSO-E
- UPS/IPS
- NERC
- sonstige
- Zusammenfassung

## Motivation

Erste EU-Richtlinie  
zur Liberalisierung  
des  
Elektrizitätsmarktes

1996

1999

Gründung ETSO

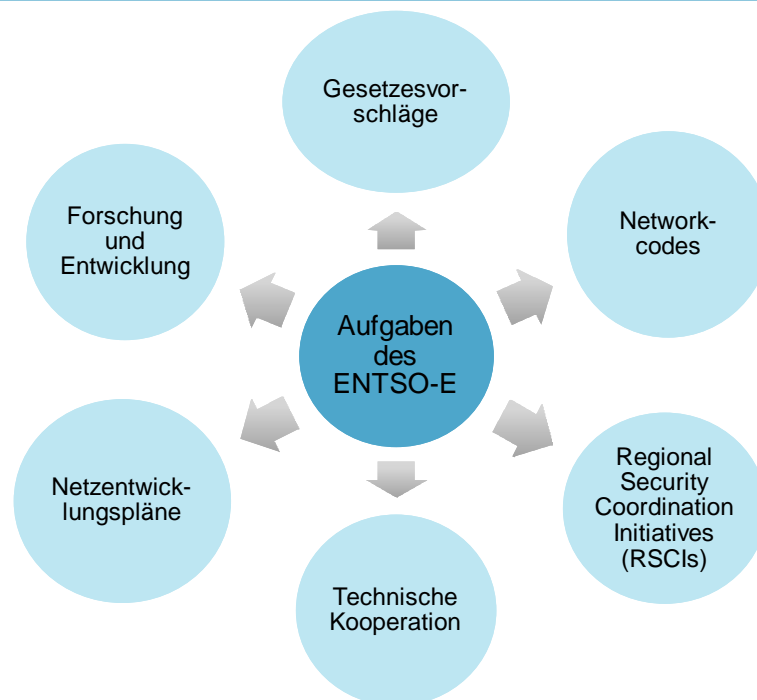
Drittes  
Energiepaket der  
EU, Gründung  
ENTSO-E

2007

# Agenda

- Motivation
- ENTSO-E
- UPS/IPS
- NERC
- sonstige
- Zusammenfassung

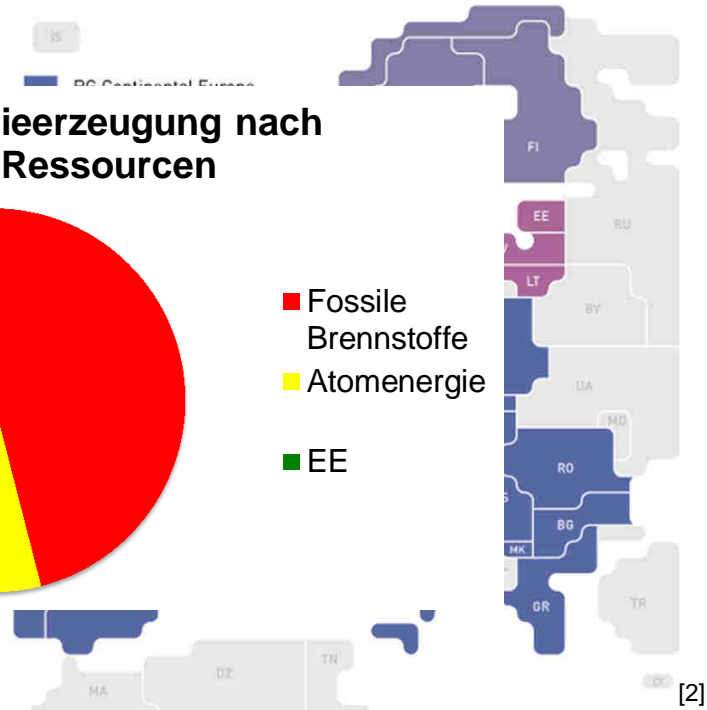
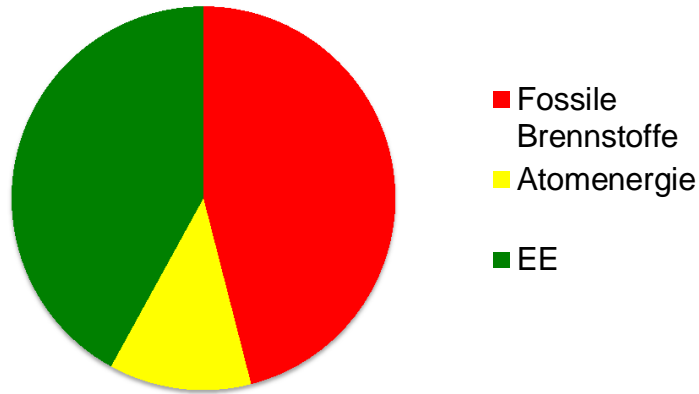
# ENTSO-E



## ENTSO-E

- 532 Mio. Kunden
- Netz (220-765 kV)  
312.693 km
- Stromverbrauch  
3.174,2 TWh
- Installierte Kapazität: 1.100 GW

### Energieerzeugung nach Ressourcen



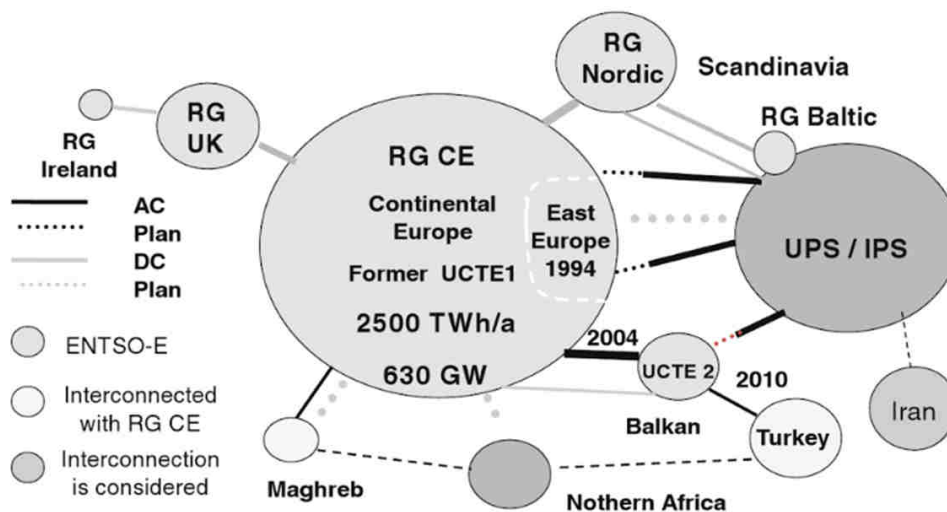
[2]



26.01.17 | Anne Preißler | Energieversorgungsnetze außerhalb der ENTSO-E | Seite 7



## ENTSO-E



ENTSO-E European Network of Transmission System Operators for Electricity,  
 RG – Region, CE - Continental Europe, UK– United Kingdom  
 UCTE Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity,  
 UPS Unified Power System of Russia, IPS Integrated Power System

[3]



26.01.17 | Anne Preißler | Energieversorgungsnetze außerhalb der ENTSO-E | Seite 8

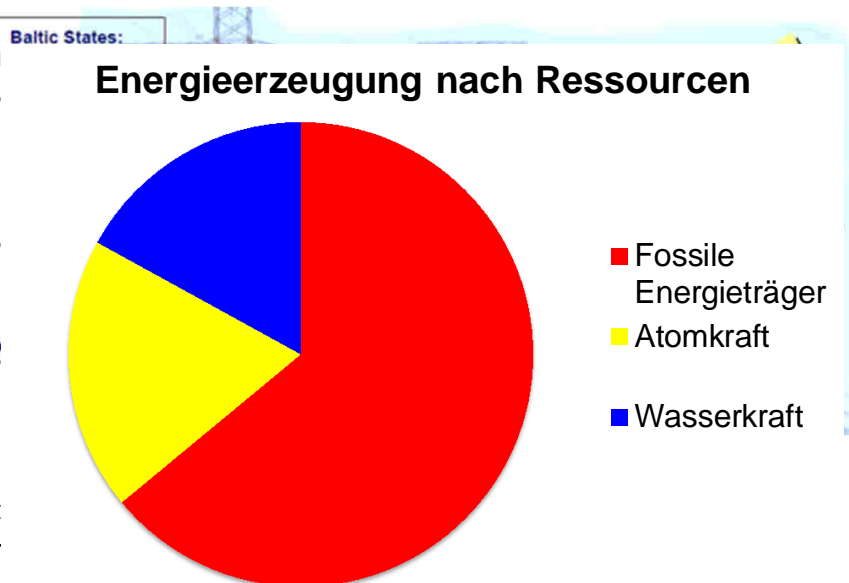




# Agenda

- Motivation
- ENTSO-E
- UPS/IPS
- NERC
- sonstige
- Zusammenfassung

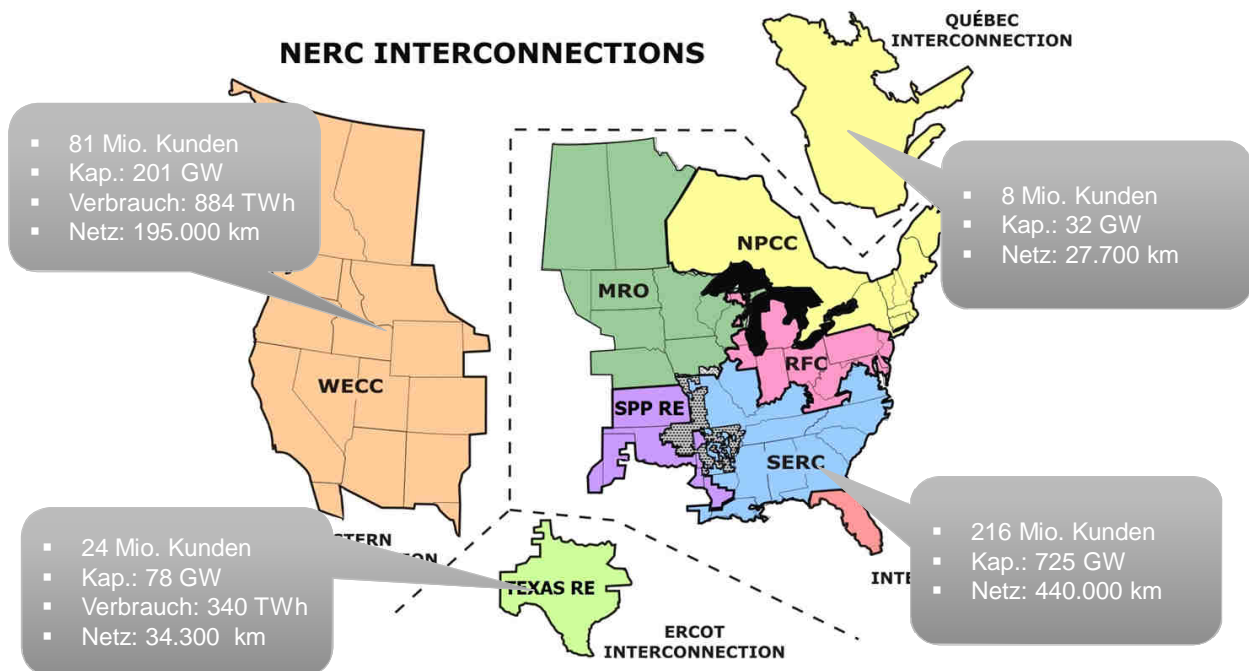
## UPS/IPS



# Agenda

- Motivation
- ENTSO-E
- UPS/IPS
- NERC
- sonstige
- Zusammenfassung

## NERC – North American Electric Reliability Corporation



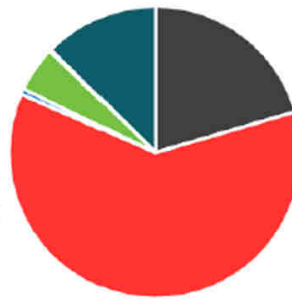
[5]

## NERC – Installierte Kapazität

Eastern Interconnection



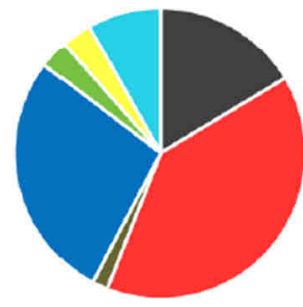
Texas Interconnection



Quebec Interconnection



Western Interconnection

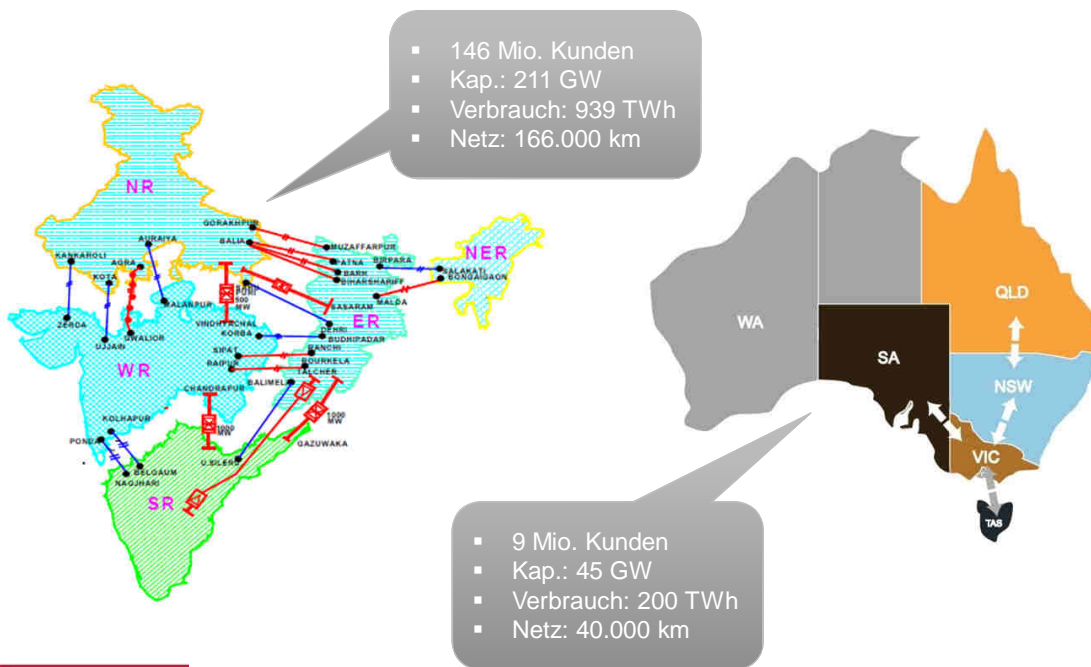


[6]

## Agenda

- Motivation
- ENTSO-E
- UPS/IPS
- NERC
- Sonstige
- Zusammenfassung

# National Grid of India – National Electricity Market (NEM) of Australia



[7]

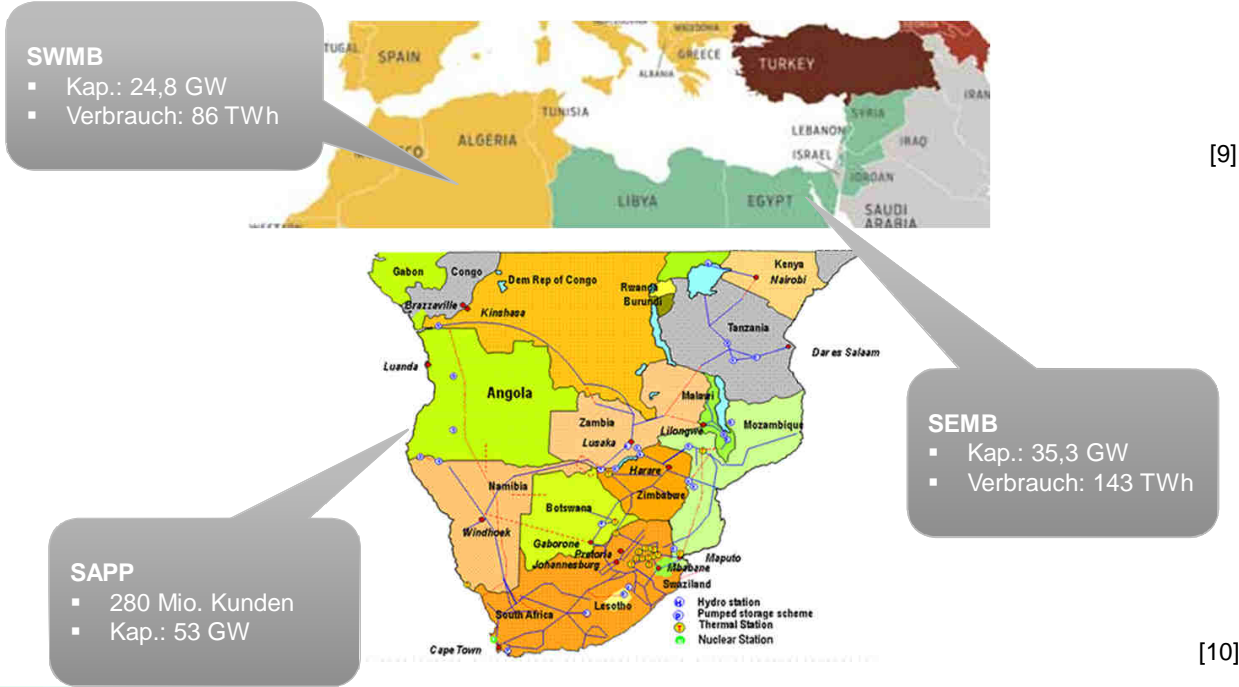
[8]



26.01.17 | Anne Preißler | Energieversorgungsnetze außerhalb der ENTSO-E | Seite 15



## Afrika



[9]

[10]

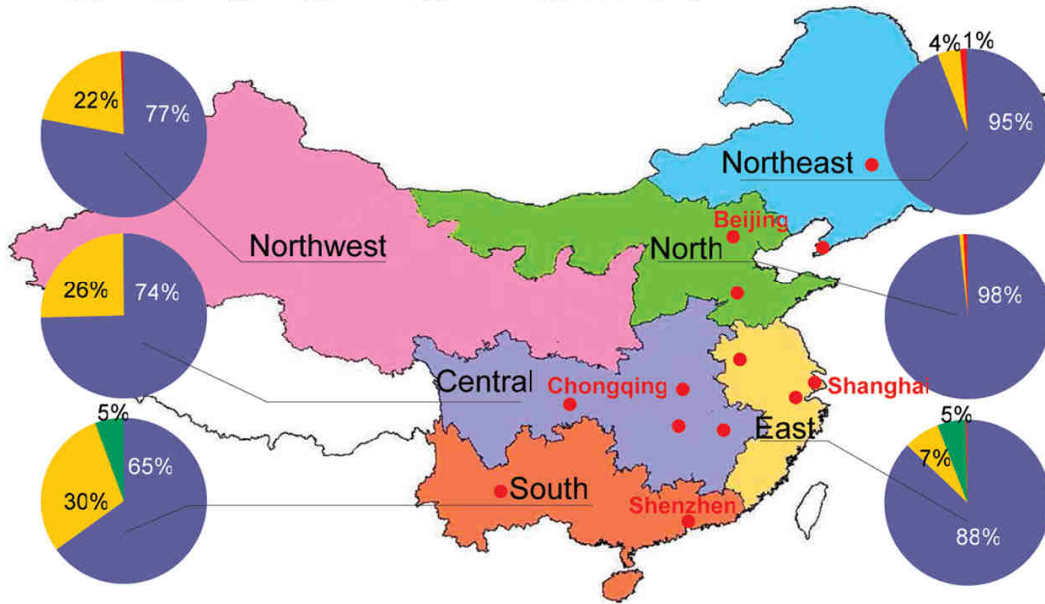


26.01.17 | Anne Preißler | Energieversorgungsnetze außerhalb der ENTSO-E | Seite 16



# China

■ Coal ■ Hydro ■ Nuclear ■ Wind



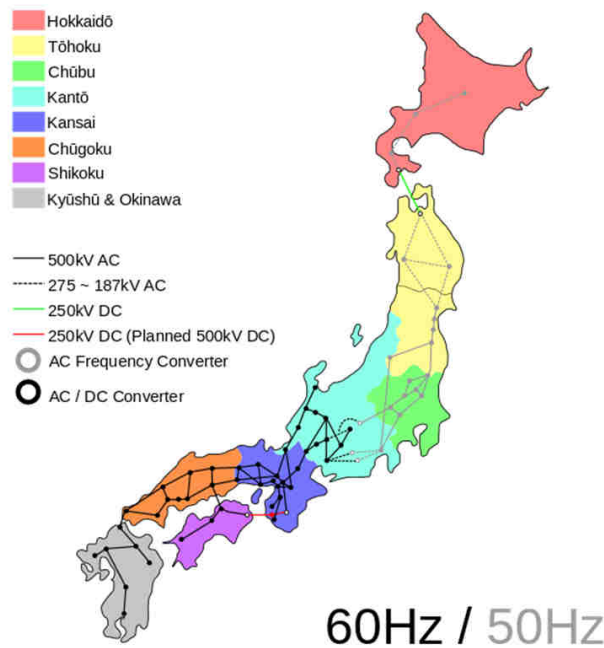
[11]



26.01.17 | Anne Preißler | Energieversorgungsnetze außerhalb der ENTSO-E | Seite 17



# Japan



[12]



26.01.17 | Anne Preißler | Energieversorgungsnetze außerhalb der ENTSO-E | Seite 18



## Lateinamerika



## Agenda

- Übertragungsnetzbetreiber
- Geschichte
- ENTSO-E
- UPS/IPS
- NERC
- sonstige
- Zusammenfassung

## Zusammenfassung

- Verbundnetze gibt es weltweit

	ENTSO-E	IPS/UPS	NERC	Indien	Australien
Kunden [Mio.]	532	280	334	146	9
Installierte Leistung [GW]	1.023	300	1035	211	45
jährlicher Stromverbrauch [TWh]	3.174	1.200		939	200
Spannungsebene [kV]	220-750	220-750	230-765	220-800/765	220-500
Anteil EE [%]	42	17	14	31	26
Anteil fossiler Brennstoff [%]	46	66	77	67	73
Anteil Atomkraft [%]	12	19	9	2	

## Zusammenfassung

- Gründe für Verbundnetze:
  - Stabilere Versorgung der Kunden
  - Flexiblere Reaktion auf Angebot und Nachfrage
  - Weniger Regelleistung
  - Bessere Einbindung von erneuerbaren Energien
  - Entwicklung eines einheitlichen Marktes, stabile Preise
  - Erleichterter Zugang für neue Teilnehmer
- Noch weitere Verbundnetze in Planung



[15]

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!**

## Quellen

- [1] Titelfolie: <http://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/news/2012/gleichstromtrassen-fuer-deutsches-stromnetz/>
- [2] <https://www.entsoe.eu/about-entso-e/system-operations/regional-groups/Pages/default.aspx>
- [3] <https://books.google.de/books?id=D525BQAAQBAJ&pg=PR5&dq=buchholz+smart+grid&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwju6ZK648jRAhXEPBQKHb-zCIsQ6AEINTAA#v=onepage&q=buchholz%20smart%20grid&f=false>
- [4] <http://gca.satrapia.com/+kazakhstan-delays-his-withdrawal-from-united-energy-system+>
- [5] [http://www.nerc.com/AboutNERC/keyplayers/PublishingImages/NERC\\_Interconnections\\_Color\\_072512.jpg](http://www.nerc.com/AboutNERC/keyplayers/PublishingImages/NERC_Interconnections_Color_072512.jpg)
- [6] <https://www.wecc.biz/Reliability/2016%20SOTI%20Final.pdf>
- [7] <http://westphalianllc.blogspot.de/2012/07/causes-of-july-2012-indian-blackouts.html>
- [8] <http://www.tnoconsulting.com.au/resources/understanding-the-nem/>
- [9] <http://www.geni.org/globalenergy/library/technical-articles/transmission/ieee/spectrum/closing-the-circuit/index.shtml>
- [10] <http://www.sapp.co.zw/sappgrid.html>
- [11] <https://ketnaa.files.wordpress.com/2010/08/chinapowergrid.png>
- [12] [https://aleksanderpwnz.files.wordpress.com/2012/07/572px-power\\_grid\\_of\\_japan-svg.png](https://aleksanderpwnz.files.wordpress.com/2012/07/572px-power_grid_of_japan-svg.png)
- [13] <http://www.argentinaindependent.com/currentaffairs/latest-news/newsfromlatinamerica/nama-regional-support-provides-relief-from-energy-crisis/>
- [14] <http://new.abb.com/systems/hvdc/references/brazil-argentina-hvdc-interconnection>
- [15] [http://www.theenergycollective.com/sites/theenergycollective.com/files/imagepicker/1701556/SSA\\_PP.png](http://www.theenergycollective.com/sites/theenergycollective.com/files/imagepicker/1701556/SSA_PP.png)



# Intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen

Mike Skroch

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen – **elenia**, Braunschweig, mike.skroch@tu-bs.de

## Kurzfassung

Das intelligente Laden von Elektrofahrzeugen wird zum Sprungbrett für eine massentaugliche Elektromobilität. Diese These wird im Rahmen dieser Arbeit auf ihre Konsistenz überprüft. Dafür wird zunächst eine Differenzierung zwischen konventionellem und intelligentem Laden vorgenommen, um innovative Neuerungen durch die ISO/IEC Normenreihe 15118 kenntlich zu machen. Anschließend werden potentielle Einflussfaktoren für die Kommerzialisierung der Elektromobilität untersucht, um ein abschließendes Fazit zu fällen.

## Abstract

The smart charging of electric vehicles is going to be a stepping stone for the electromobility. This thesis is examined in the context of this work for its consistency. In order to make innovations through the ISO/IEC standards series 15118 recognizable, a differentiation between conventional and intelligent charging is first undertaken. In the following, potential influential factors for the commercialization of electromobility are investigated in order to draw a conclusion.

## 1 Einleitung

Erneuerbare Energiequellen haben in den letzten Jahren sowohl in der Wirtschaft, als auch in der Politik als Kernthematik massiven Einzug erhalten. Sie gelten als hoffnungsvolle Perspektive für eine sowohl saubere als auch vernetzte Erde. Diese Perspektive entfachte den Wunsch nach einer sauberen Alternative der Fortbewegung, die zuverlässig und preiswert ist, aber auch der „Industrie 4.0“ gerecht wird – der Elektromobilität.

Die deutsche Bundesregierung hat das Ziel ausgeben bis zum Jahr 2020 rund eine Million Elektrofahrzeuge auf deutsche Straßen zu bringen [3]. Dieses äußerst engagierte Vorhaben wirft jedoch die Frage auf, ob die nötigen Voraussetzungen für solch eine Entwicklung vorhanden sind. Während die Forschung im Bereich Verbrauch mit Blick auf effizientere Akkus mit größerer Reichweite bereits auf Hochtouren läuft, wird in dieser Arbeit ein Blick auf die effizientere Übertragung der Energie zum Fahrzeug geworfen.

Den Kern des intelligenten Ladens bildet dabei der moderne Kommunikationsstandard ISO/IEC 15118, der einen ausführlichen Informationsaustausch zwischen Ladesäule und Elektrofahrzeug erlaubt.

Dabei sollen Informationen über Variablen wie dem Ladestand, der Ladedauer, dem aktuellen Strompreis und weiteren Informationen ausgetauscht werden können. Zudem ermöglicht es die Norm Ladesäulen so zu konzipieren, dass Elektrofahrzeuge hersteller- und technologieübergreifend an jeder Ladesäule gleichermaßen geladen werden können.

Doch reicht ein intelligenter Standard für Ladesäulen aus, um als Sprungbrett für die massentaugliche Elektromobilität zu dienen? Oder bedarf es weiterer technischer Innovationen und Umsetzungen wie des Konzepts des Smart Grids, um aus intelligentem Laden eine intelligente Alternative zu schaffen – der Elektromobilität.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 ISO/IEC 15118

Die ISO/IEC 15118 ist der modernste Standard für die Kommunikation zwischen Ladesäule und Elektrofahrzeug und beinhaltet eine achteilige Normenreihe zur Beschreibung intelligenter Ladeprozesse.

Dieser Standard umfasst verschiedene Modi zum Laden und baut grundlegend auf dem ISO-OSI-Referenzmodell auf.

Dabei greift die Normenreihe den Standard IEC 61851 zum kabelgebundenen Laden auf und weitet die Ladeoptionen auf das zeitversetzte Laden, das Schnellladen und das kabellose/induktive Laden aus.

Hinzu kommt eine umfangreiche Kommunikation zwischen Ladestation und Elektrofahrzeug, die sich durch Parameter wie z.B. den Ladestand, die Strom-/Spannungsstärke, die Erkennung und Abrechnung des Nutzers durch das Nutzerfahrzeug, die Ladedauer oder auch den momentanen Strompreis kennzeichnet. [1]

### 2.2 ISO-OSI-Referenzmodell

Das gedankliche Grundkonzept für die Normenreihe ISO/IEC 15118 bildet das ISO-OSI-Referenzmodell.

Das ISO-OSI-Referenzmodell (Open-Systems-Interconnection-Referenzmodell) ist ein von der International Standards Organization genormtes Referenzmodell zur Beschreibung der Funktionen und Eigenschaften von Netzwerkprotokollen. Es strukturiert die bei einem Kommunikationsvorgang zwischen Systemen auftretenden Teilaufgaben hierarchisch in sieben festgelegte Schichten, die die Standards der ISO für Kommunikationssysteme darstellen.

Die einzelnen Schichten des Referenzmodells werden in die Kategorien Anwendungsorientiert (Schicht 5-7) und Transportorientiert (Schicht 1-4) unterteilt und wie folgt beschrieben: Schicht 1 (Bitübertragungsschicht) legt die physikalischen Parameter fest und ordnet elektrischen

Größen Bits mit dem Wert 1 oder 0 zu; Schicht 2 (Sicherungsschicht) ordnet den Nachrichten Bitströme zu und korrigiert Übertragungsfehler; Schicht 3 (Vermittlungsschicht) baut Verbindungen zwischen zwei Systemen über Knoten auf und wählt dabei den idealen Weg (Routing); Schicht 4 (Transportschicht) sichert ab, dass Daten vollständig ankommen und bildet eine Transportschicht für die oberen Schichten aus des Referenzmodells aus; Schicht 5 (Sitzungsschicht) baut zwischen zwei Kommunikationsprozessen eine Verbindung auf und strukturiert die Dialogabfolge; Schicht 6 (Darstellungsschicht) stellt eine einheitliche Transfersyntax zur Verfügung, um eine gleiche Darstellung von Daten für unterschiedliche Rechnersysteme zu erzeugen und Schicht 7 (Verarbeitungsschicht) enthält Protokolle, die u.a. Funktionen wie E-Mail oder Videoübertragung bereitstellen. Eine Schicht bekommt nur von der unmittelbar unter ihr liegenden Schicht Dienste zur Verfügung gestellt und stellt diese wiederum nur der unmittelbar über ihr liegenden Schicht zur Verfügung. [2]



**Bild 1: OSI-Referenzmodell**

### 3 Das Laden von Elektrofahrzeugen

Der ISO/IEC Standard 15118 lässt sich in das OSI – Referenzmodell implementieren und seine Aufgaben grob in 8 Unterkategorien unterteilen. Inwiefern lässt sich dieses Modell jedoch zum jetzigen Zeitpunkt umsetzen und welche Aspekte sind zudem nötig, um das intelligente Laden von Elektrofahrzeugen in der Praxis zuverlässig zu realisieren?

#### 3.1 Konventionelles Laden – IEC 62196 & IEC 61851; CHAdeMO

Um eine Vorstellung der intelligenten Ladenmöglichkeiten durch den ISO/IEC 15118 zu erhalten, wird zunächst ein Blick auf die aktuellen Standards geworfen, die lediglich das Kabelgebundene Laden ermöglichen.

Die Normenreihen IEC 62196/IEC 61851 der International Electrotechnical Commission beschreiben die europäischen Standards für das sichere Laden von Elektrofahrzeugen mit 4 verschiedenen Modi und unterschiedlichen Ladesteckern.

Die Modi umfassen dabei sowohl AC – Ladevorgänge von 16 A – 63 A (Typ 2 Ladestecker) bis hin zu DC – Schnellladevorgängen (Combo2 Ladestecker), die jeweils mit spezifischen Kommunikationsmöglichkeiten zum Schutz des Anwenders und der Betriebsmittel ausgestattet sind.

Mittels Pulsweitenmodulation werden dabei zwei unabhängige Variablen (Ankopplung an Ladestation, maximaler Ladestrom) signalisiert. Diese Standards sind aufwärtskompatibel und wurden als Grundlage für die Weiterentwicklung des ISO/IEC Standards 15118 genutzt. [2]

Während in Europa der Typ2-Ladestecker inklusive oben genannten Normen weitverbreitet ist, wurde in Japan von mehreren Automobilkonzernen der CHAdeMO-Standard (Charge de Move) mit Ladesteckern von TEPCO entwickelt, der jedoch nicht mit dem Typ2/ Combo2 Stecksystem kompatibel ist.

Der CHAdeMO-Standard ermöglicht das Schnellladen mittels Gleichstrom bis zu einer Ladung von 80% des Akkus in 15-30 Minuten. Die Signalübertragung zur Kommunikation mit der Ladesäule basiert auf dem Fahrzeugdiagnose-Standard CAN(ISO 11898) und überträgt den Ladestand des Akkus, der anliegenden Spannung, den maximal zulässigen Strom sowie die Batterietemperatur.[2] Der große Nachteil des Schnellladens mit Gleichstrom liegt jedoch in der Kostenintensität und Netzbelastung, sodass es vor allem bei solchen Ladekonzepten eines intelligenten Netzes bzw. einer effizienteren Lademöglichkeit bedarf, um auch zu Stoßzeiten flächendeckend laden zu können.

#### 3.2 Die Intelligenz der ISO/IEC 15118 Normenreihe

Um einen „Anschluss“ des Elektroautos zu einem intelligenten Netz zu schaffen, bedarf es demnach einer geeigneten Kommunikation zwischen Elektroauto und Ladesäule. Um diese zu verwirklichen, nutzt der Standard ISO/IEC 15118 die Powerline Communication (HomePlug Green PHY) und einen TCP/IP-Protokollstack, mit denen es problemlos möglich ist, eine Vielfalt an Informationen, wie der Authentifizierung, der Kostenabwicklung, etc. über das Stromkabel zu übertragen.

Um diese Kommunikation zu vereinheitlichen und eine Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Systemen zu gewährleisten, wurden wie eingangs erwähnt, die Eigenschaften der Kommunikation auf Grundlage des OSI-Referenzmodell in acht Teilen genau definiert.

Der erste Teil dieses Modells befasst sich mit fundamentalen Begriffsdefinitionen, Anforderungen und Anwendungsszenarien und wurde im Jahr 2013 veröffentlicht. [4]

Protokollspezifikationen die sich auf die Teile 3 bis 7 beziehen wurden im zweiten Teil definiert, der im Jahr

2014 veröffentlicht wurde. [4] Im selben Jahr wurde der dritte Teil veröffentlicht, in dem die Eigenschaften der Bitübertragung und Sicherung festgelegt wurden. Teil 4 und 5 dienen der Überprüfbarkeit der erfolgreichen Implementierungen von Teil 2 und 3 mittels Konformitätstests. Diese befinden sich ebenso wie Teil 6 bis 8, die sich mit den kabellosen Ladevorgängen beschäftigen, stets im Entwicklungsstadium und sind für die Öffentlichkeit nicht uneingeschränkt einsehbar. [2]

Die Kommunikation läuft dabei nach dem „Client-Server-Schema“ [5] ab. Dabei stellt das Elektrofahrzeug eine Kommunikation mittels Anfrage zu einem Server her, der das Fahrzeug initialisiert. Es wird sich auf eine Protokollversion festgelegt (Interoperabilität) und die Bezahlparameter etc. sowie die Authentifizierung durchgeführt. Anschließend werden mittels „Charge Parameter Discovery Request“ [5] und „Charge Parameter Discovery Response“ [5] verschiedene Variablen wie der Ladestand, die Energiemenge, die Ladekosten etc. festgelegt und ausgetauscht. [5]

Da der voraussichtliche Veröffentlichungstermin für den vierten Teil erst für das Jahr 2017 einkalkuliert ist [4], wird deutlich, dass es für eine intelligente Ladekommunikation in Bezug auf die ISO/IEC 15118 Normenreihe noch einer Menge Zeit und Erprobungen bedarf, bis sie vollendet und praxistauglich ist.

Standard	IEC 61851-1 / 61851-2	Charge-de-Move	ISO/IEC 15118
Lade-modi	AC bis 3.7 kW DC bis 62.5 kW	DC bis 62.5 kW	AC, DC bis 63 kW
Informations-übertragung	Niedrig	Niedrig bis Mittel	Hoch
Übertragung	PWM	CAN	Power-line

**Bild 2: Vergleich der Standards [2]**

### 3.3 ISO/IEC 15118 und die Notwendigkeit des Smart Grids

Um die Normen zum intelligenten Laden von Elektrofahrzeugen in Zukunft realisieren zu können und Informationen über den Energietransfer, die Zahlung und weiteren Parametern Systemübergreifend dem Netzbetreiber zu übermitteln, bedarf es einem Ausbau von intelligenten Netzen, die diese Möglichkeiten bieten. Sie sollten im Sinne des Smart Grids vom Betreiber steuerbar sein, sodass Verbrauch, Erzeugung und Aufteilung der Energie bewerkstelligt werden können.

In dieser Konfiguration könnten Elektrofahrzeuge eine Schlüsselrolle einnehmen. Sie benötigen auf der „Nehmerseite“ einen hohen Energiebedarf, vor allem zu Stoßzeiten (viele Elektrofahrzeuge werden in einem Parkhaus gleichzeitig geladen), während sie auf der „Geberseite“ als effizienter Zwischenspeicher im Bereich des Lastmanagements fungieren können. (Hohe Einspeisung erneuerbarer Energien in das Netz).

Aus diesem Grund ist es für die intelligenten Ladestationen unerlässlich mit einem Backend zu kommunizieren, über das relevante Informationen und Parameter ausgetauscht werden können. Dadurch wäre eine Steuerung des Elektrofahrzeugs/der Ladestation durch den Energiebetreiber möglich, um sie als Werkzeug für das Lastmanagement zu nutzen.

## 4 Zusammenfassung/Fazit

Dient das intelligente Laden von Elektrofahrzeugen also als Sprungbrett für eine massentaugliche Elektromobilität?

Der Informationsaustausch im Rahmen der ISO/IEC 15118 vorgesehenen Normen würde den Vorgang des elektrischen Ladens auf eine neue Ebene hieven. Er würde die Abwicklung der Bezahlvorgänge, des Bedarfs an Energie und die Nutzungsdauer wesentlich vereinfachen und könnte sich als ein wichtiges Instrument für das Smart Grid – Konzept etablieren.

Die Fertigstellung ist in näherer Zeit jedoch nicht absehbar.

Ebenso fehlen die notwendigen Rahmenbedingungen in Form von intelligenten Netzen, die eine Kommunikation im Bereich des Energiemanagements flächendeckend erlauben. Ihr Ausbau ist sehr kostspielig und wird vermutlich schleppend Einzug in die Verteilungs- und Übertragungsnetze erhalten.

Unter diesen Aspekten erscheint das Vorhaben der Bundesregierung, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf die Straßen zu bringen eher als Utopie. Dennoch ist es sehr wahrscheinlich, dass das intelligente Laden im Einklang mit dem Smart Grid und innovativen Elektrofahrzeugen den Weg für eine massentaugliche Elektromobilität ebnen wird.

## 5 Literatur

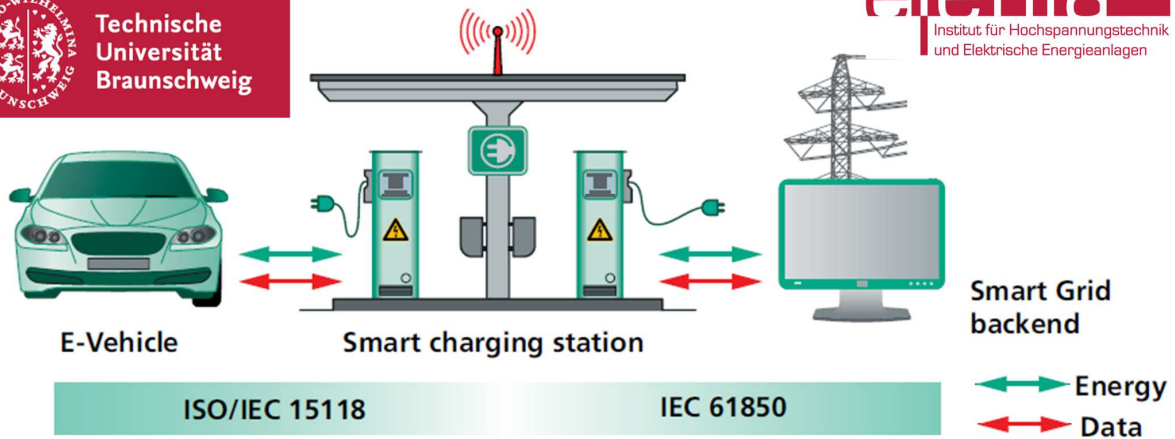
[1] Enrico Nauck, Die Ladestation als Knoten im Smart Grid – Vergleich aktueller Kommunikationsstandards, München: Fraunhofer ESK, 2014

[2] Peter Mandl, Andreas Bakomenko, Johannes Weiß, Grundkurs Datenkommunikation, Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2008

[3] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Online 2016. Available: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Technologie/innovation/spolitik.did=377390.html> [Zugriff am 23.11.16]

[4] Norm ISO 15118, Road vehicles – Vehicle to grid communication – Part 1-3. Available: <http://www.iso.org/iso/home/search.htm?qt=15118+&sort=rel&type=simple&published=on> [Zugriff am 11.01.2017]

[5] Marc Mültin, Intelligentes Laden über ISO/IEC 15118, Bundesverband eMobilität, Online 2016. Available: <http://www.aifb.kit.edu/images/5/55/130729-NM12-M%C3%BCltin.pdf> [Zugriff am 09.11.2016]



## Intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen

Mike Skroch, 30.01.2017

### Agenda

- **Einleitung/Motivation**
- **Kommunikation mittels Netzwerkprotokollen**
  - ISO-OSI-Referenzmodell
  - ISO/IEC 15118
- **Normen zum Laden von Elektrofahrzeugen**
  - Konventionelles Laden – IEC 62196 & IEC 61851, CHAdeMO
  - Die Intelligenz der ISO/IEC Normenreihe 15118
- **Notwendigkeiten zur Umsetzung im Alltag**
  - Elektromobilität und Smart Grid
- **Zusammenfassung**

# Agenda

- **Einleitung/Motivation**
- **Kommunikation mittels Netzwerkprotokollen**
  - ISO-OSI-Referenzmodell
  - ISO/IEC 15118
- **Normen zum Laden von Elektrofahrzeugen**
  - Konventionelles Laden – IEC 62196 & IEC 61851, CHAdeMO
  - Die „Intelligenz“ der ISO/IEC Normenreihe 15118
- **Notwendigkeiten zur Umsetzung im Alltag**
  - Elektromobilität und Smart Grid
- **Zusammenfassung**

## Einleitung/Motivation

- Elektromobilität als saubere Alternative zur Fortbewegung
- Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität: Ca. eine Million E-Fahrzeuge bis 2020
- Forschungsbedarf in den Bereichen:
  - Reichweite
  - Massentauglichkeit
  - Rahmenbedingungen
- Kommunikation zwischen Elektrofahrzeug – Ladesäule
- These: Intelligente Lademöglichkeiten führen die Elektromobilität in die Massentauglichkeit

# Agenda

- Einleitung/Motivation
- **Kommunikation mittels Netzwerkprotokollen**
  - ISO-OSI-Referenzmodell
  - ISO/IEC 15118
- **Normen zum Laden von Elektrofahrzeugen**
  - Konventionelles Laden – IEC 62196 & IEC 61851, CHAdeMO
  - Die „Intelligenz“ der ISO/IEC Normenreihe 15118
- **Notwendigkeiten zur Umsetzung im Alltag**
  - Elektromobilität und Smart Grid
- Zusammenfassung

## Kommunikation über Netzwerkprotokolle: Das ISO-OSI-Referenzmodell

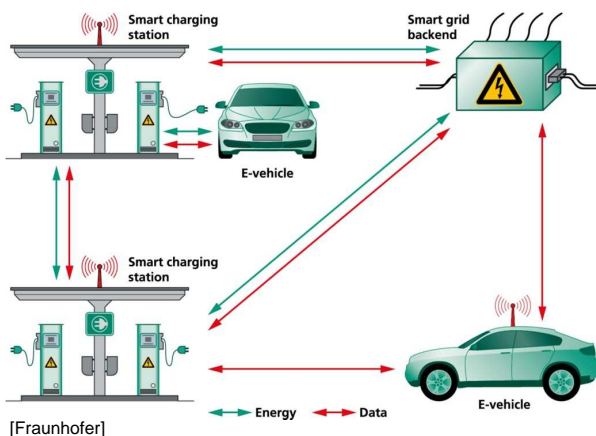
7. Verarbeitungsschicht
6. Darstellungsschicht
5. Sitzungsschicht
4. Transportschicht
3. Vermittlungsschicht
2. Sicherungsschicht
1. Bitübertragungsschicht

- ISO-OSI-Referenzmodell (Open-Systems-Interconnection-Referenzmodell)
  - Genormtes Referenzmodell zur Beschreibung der Funktionen und Eigenschaften von Netzwerkprotokollen
  - Strukturiert Teilaufgaben bei Kommunikation zwischen Systemen
  - Eine Schicht bekommt nur von der unmittelbar unter ihr liegenden Schicht Dienste zur Verfügung gestellt
- 
- Bildet das Grundkonzept für die ISO/IEC Normenreihe 15118

# Agenda

- Einleitung/Motivation
- **Kommunikation mittels Netzwerkprotokollen**
  - ISO-OSI-Referenzmodell
  - ISO/IEC 15118
- **Normen zum Laden von Elektrofahrzeugen**
  - Konventionelles Laden – IEC 62196 & IEC 61851, CHAdeMO
  - Die „Intelligenz“ der ISO/IEC Normenreihe 15118
- **Notwendigkeiten zur Umsetzung im Alltag**
  - Elektromobilität und Smart Grid
- Zusammenfassung

## Kommunikation über Netzwerkprotokolle: ISO/IEC 15118



- Einer der modernsten Standards für die Kommunikation zwischen Ladesäule und Elektrofahrzeug
  - Beinhaltet eine achteilige Normenreihe zur Beschreibung unterschiedlicher Ladeprozesse
  - Bietet eine umfangreiche Kommunikation zwischen Ladestation und Elektrofahrzeug
  - Basiert auf dem ISO-OSI-Referenzmodell
- Greift die Normenreihe den Standard IEC 61851 zum kabelgebundenen Laden auf



# Agenda

- Einleitung/Motivation
- Kommunikation mittels Netzwerkprotokollen
  - ISO-OSI-Referenzmodell
  - ISO/IEC 15118
- Normen zum Laden von Elektrofahrzeugen
  - Konventionelles Laden – IEC 62196 & IEC 61851, CHAdeMO
  - Die „Intelligenz“ der ISO/IEC Normenreihe 15118
- Notwendigkeiten zur Umsetzung im Alltag
  - Elektromobilität und Smart Grid
- Zusammenfassung

## Konventionelles Laden - IEC 62196 & IEC 61851, CHAdeMO



[Mennekes]

- Normen für das kabelgebundene Laden
- IEC 62196/IEC 61851 :
  - Europäische Ladestandards
  - Umfasst 4 Lademodi mit unterschiedlichen Steckern (Typ 2; Combo2)
  - Aufwärtskompatibel, sodass ISO/IEC 15118 darauf aufbaut
- Signalübertragung mittels Pulsweitenmodulation

## Konventionelles Laden - IEC 62196 & IEC 61851, CHAdeMO



[CHAdeMO]

- Normen für das kabelgebundene Laden:
- CHAdeMO :
  - In Japan von mehreren Automobilkonzernen entwickelt (Japanischer Standard)
  - Ermöglicht das Schnellladen mit CHAdeMO-Stecker von TEPCO
  - Die Signalübertragung wird mittels Fahrzeugdiagnose-Standard CAN(ISO 11898) durchgeführt
- Hohe Kostenintensität und Netzbelastung durch Schnellladen mit Gleichstrom

## Agenda

- Einleitung/Motivation
- Kommunikation mittels Netzwerkprotokollen
  - ISO-OSI-Referenzmodell
  - ISO/IEC 15118
- Normen zum Laden von Elektrofahrzeugen
  - Konventionelles Laden – IEC 62196 & IEC 61851, CHAdeMO
  - Die Intelligenz der ISO/IEC Normenreihe 15118
- Notwendigkeiten zur Umsetzung im Alltag
  - Elektromobilität und Smart Grid
- Zusammenfassung

## Die „Intelligenz“ der ISO/IEC Normenreihe 15118

Standard	IEC 61851-1 / 61851-2	Charge-de-Move	ISO/IEC 15118
Lade-modi	AC bis 3.7 kW DC bis 62.5 kW	DC bis 62.5 kW	AC, DC bis 63 kW
Informations-übertragung	Niedrig	Niedrig bis Mittel	Hoch
Übertragung	PWM	CAN	Power-line

- Gliedert sich in acht Teile:
  - 1. Fundamentale Begriffsdefinitionen und Anwendungsszenarien
  - 2. Protokollspezifikationen
  - 3. Bitübertragung und Sicherung
  - 4. } Konformitätstests
  - 5. }
  - 6. } Kabelloses Laden
  - 7. }
  - 8. }

## Die „Intelligenz“ der ISO/IEC Normenreihe 15118

- Signalfloss mittels Powerline Communication (HomePlug Green PHY) und TCP/IP-Protokollstack
- Kommunikation nach dem „Client-Server-Schema“
  - Elektrofahrzeug stellt Kommunikation mittels Anfrage zu einem Server her, der das Fahrzeug initialisiert
  - Es wird eine Authentifizierung über eine Vielzahl von Parametern durchgeführt
  - Mittels „Charge Parameter Discovery Request“ und „Charge Parameter Discovery Response“ werden verschiedene Variablen wie der Ladestand, die Energiemenge, die Ladekosten etc. festgelegt und ausgetauscht

# Die „Intelligenz“ der ISO/IEC Normenreihe 15118

## ▪ Vorteile:

- Große Vielfalt an Informationen, wie der Authentifizierung, der Kostenabwicklung, etc. können über das Stromkabel übertragen werden.
- Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Systemen durch ISO-OSI-Referenzmodell

## ▪ Nachteile:

- Schicht 4-8 befinden sich noch in der Entwicklung, sodass diese Technologie noch nicht zum Laden genutzt werden kann (ausgenommen sind Erprobungszwecke)

## Agenda

- Einleitung/Motivation
- Kommunikation mittels Netzwerkprotokollen
  - ISO-OSI-Referenzmodell
  - ISO/IEC 15118
- Normen zum Laden von Elektrofahrzeugen
  - Konventionelles Laden – IEC 62196 & IEC 61851, CHAdeMO
  - Die „Intelligenz“ der ISO/IEC Normenreihe 15118
- Notwendigkeiten zur Umsetzung im Alltag
  - Elektromobilität und Smart Grid
- Zusammenfassung

## Notwendigkeiten für die Umsetzung im Alltag: Elektromobilität und Smart Grid



[Mültin]

- Umfangreiche Kommunikation zwischen Ladestation und Netzbetreiber nur über intelligente Netze möglich

- Durch das Smart Grid-Konzept kann Verbrauch, Erzeugung und Aufteilung der Energie gesteuert werden
- Rolle des Elektrofahrzeugs:
  - Verbraucherproblematik: Viele Fahrzeuge laden gleichzeitig mit immer größer werdenden Ladeleistungen (Ultraschnellladesäulen mit bis zu 350kW)
  - Zwischenspeicherlösung: Elektrofahrzeuge fungieren als effizienter Zwischenspeicher im Lastmanagement



26.01.2017 | Mike Skroch | Intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen | Seite 17



## Agenda

- **Einleitung/Motivation**
- **Kommunikation mittels Netzwerkprotokollen**
  - ISO-OSI-Referenzmodell
  - ISO/IEC 15118
- **Normen zum Laden von Elektrofahrzeugen**
  - Konventionelles Laden – IEC 62196 & IEC 61851, CHAdeMO
  - Die „Intelligenz“ der ISO/IEC Normenreihe 15118
- **Notwendigkeiten zur Umsetzung im Alltag**
  - Elektromobilität und Smart Grid
- **Zusammenfassung**



26.01.2017 | Mike Skroch | Intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen | Seite 18



## Zusammenfassung

- *Dient das intelligente Laden von Elektrofahrzeugen als Sprungbrett für eine Massentauglichkeit der Elektromobilität ?*
- **Ja:**
  - Die ISO/IEC 15118 würde durch den umfangreichen Informationsaustausch mit dem Elektrofahrzeug und dem Netz(-betreiber) Ladevorgänge beschleunigen und wesentlich vereinfachen
  - Durch die Interoperabilität kann diese Normenreihe systemübergreifend genutzt werden
  - Sie bietet zudem eine Normenreihe für das kabellose Laden und baut auf dem bereits vorhandenen europäischen Standard IEC 62196/IEC 61851 auf
  - Durch Smart Grid können Ladestation und Elektrofahrzeug als Zwischenspeicher für das Lastmanagement dienen

## Zusammenfassung

- *Dient das intelligente Laden von Elektrofahrzeugen als Sprungbrett für eine Massentauglichkeit der Elektromobilität ?*
- **Nein:**
  - Die ISO/IEC 15118 ist noch nicht vollständig veröffentlicht
  - Das Konzept ist massiv auf einen Ausbau von „intelligenten“ Energie-/Transportnetzen angewiesen und kann nur so seine Vorteile effizient umsetzen
  - Elektrofahrzeuge und Lademöglichkeiten müssen effizienter werden
- **Fazit:** Die ISO/IEC 15118 kann Hand in Hand mit dem Smart Grid-Konzept den Weg für die massentaugliche Elektromobilität ebnen, sofern die Normenreihe ausgearbeitet ist und die nötigen Rahmenbedingungen in Form von „intelligenten“ Netzen geschaffen werden

# Quellenverzeichnis

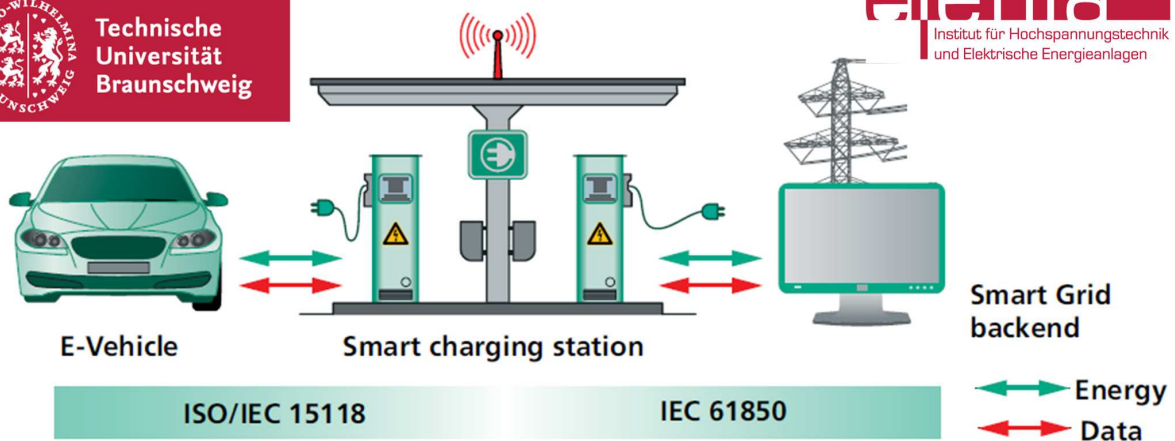
Quelle:

Abkürzung:

- <https://www.esk.fraunhofer.de> [Titelfolie], [Fraunhofer]
- <http://www.mennekes.de/> [Mennekes]
- <http://www.mein-elektroauto.com/> [CHAdemo]
- Marc Mültin, Intelligentes Laden über ISO/IEC 15118, Neue Mobilität Ausgabe 12/2013 [Mültin]



26.01.2017 | Mike Skroch | Intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen | Seite 21



## Intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**

Mike Skroch, 30.01.2017

# Stromdienstleistung mit PV-Heimspeichersystemen

## Electricity services with photovoltaic home systems

Paul Broschinski,  
Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen – **elenia**, Braunschweig,  
p.broschinski@tu-braunschweig.de

### Kurzfassung

In diesem Bericht wird erläutert, welche Möglichkeiten zur Zeit zur Verfügung stehen, um Stromdienstleistung mit Hilfe von PV-Heimspeichersystemen zu leisten. Außerdem wird der Aufbau eines solchen Systems beschrieben, über Anbieter solcher Systeme und deren Vor- und Nachteile informiert und schlussendlich ein Fazit darüber gezogen, ob es sich wirklich lohnt, in solch ein System zu investieren und welche Hürden zur Zeit noch überwunden werden müssen.

### Abstract

In this presentation I shall illustrate the possibilities presently at our disposal of providing electrical services with the aid of a photovoltaics home system.

I will give a rough outline of the construction of such a system. Further, I will provide information about the providers of these systems as well as about the advantages and disadvantages of said systems. Finally, I shall sum up, stating which obstacles will have to be overcome in the future and whether it is worth-while or not investing in such a system.

## 1 Einleitung

In Zeiten von Rohstoffknappheit macht es Sinn, sich Gedanken über Photovoltaik-Anlagen im privaten Gebrauch zu machen.

Mit einem Anteil von nur 5,9% am Strommix Deutschlands im Jahr 2015 [1] ist eindeutig, dass zur Zeit noch viel Potential für die Solarenergie in Deutschland besteht. Interessant dabei ist, dass es Ende 2015 rund 1,53 Mio [2] installierte Photovoltaik-Anlagen in Deutschland gab, somit also ein Großteil von privaten Haushalten installiert wurde. Jedoch gibt es alleine rund 15 Millionen Einfamilienhäuser in Deutschland, d.h. dass noch sehr viel Potential auszuschöpfen ist.

Mit einem PV-Heimspeichersystem kann man bis zu 80% autark von seinem Stromanbieter sein. Mit einer konventionellen PV-Anlage ist dies nur bis zu 35%-55% möglich[3], da ein Großteil der Energie benötigt wird, wenn die Sonne nicht ihre maximale Einstrahlung auf die PV-Anlage liefert.

PV-Heimspeichersysteme bieten für private Personen die Möglichkeit, den mit der eigenen Photovoltaik-Anlage erzeugten Strom längerfristig zu speichern, ihn selbst zu benutzen oder ihn auch wieder ins Netz einzuspeisen, um eine Vergütung zu erzielen.

Somit sind PV-Heimspeichersysteme in gewissem Maße als eine Art Geldanlage zu sehen, wenn man es aus rein monetärer Sicht sieht. Es kommt jedoch auch noch ein ökologischer Aspekt hinzu, der für Privatpersonen von Bedeutung sein kann.

Eine PV-Anlage ist in Deutschland nach ca. 2.5-3.5 Jahren CO<sub>2</sub>-Neutral. Natürlich entsteht kein CO<sub>2</sub> beim Betrieb der PV-Anlage, jedoch muss man in die CO<sub>2</sub>-Neutralität auch das bei der Produktion der PV-Anlage entstandene CO<sub>2</sub> mit einkalkulieren.

Inzwischen haben sich mehrere Firmen (z.B. SMA, sonnen, SENEC-IES) darauf spezialisiert, Systeme für den privaten Markt anzubieten. Sie bieten unter anderem die

Teilnahme an einer Stromcommunity und eine Leistungsgarantie für bis zu 20 Jahre an. Vorab kann man zusätzlich, mit so genannten "Stromrechtern", die mit Hilfe von Angaben wie Dachausrichtung und Jahresverbrauch arbeiten, grobe Schätzungen über die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anschaffung erhalten. Zusätzlich kümmern sie sich um Zulassungen um am Regelleistungsmarkt teilzunehmen und bieten zur Zeit noch große Rabatte, da es gilt den Markt zu erschließen.

## 2 Theoretische Grundlagen

### Regelleistung:

Um Schwankungen in der Netzfrequenz, die gesetzlich 47,5 Hz [4] nicht unterschreiten darf, auszugleichen, ist Regelleistung notwendig. Bereits marginale Änderung der Netzfrequenz von  $\pm 0.01$  Hz werden ausgeglichen.

Wenn zu wenig Leistung im Netz ist, somit also die Netzfrequenz sinkt, wird Regelleistung aus Regelleistungsreserven zugeschaltet, um die Frequenz wieder aufzufangen. Andersherum ist es jedoch auch möglich ein Überangebot von Energie in Speichern wie z.B. Heimspeichern zwischenspeichern, um nicht eine zu hohe Netzfrequenz zu erreichen, die zur Zerstörung von Betriebsmitteln führen kann.

Zur Zeit bieten Unternehmen zwar die Teilnahme am Regelleistungsmarkt an, suggerieren dies mit ihren Zahlungen an den Endverbraucher jedoch nur. In Wirklichkeit ist die Teilnahme am Regelleistungsmarkt zwar schon geplant und alle nötigen Ressourcen stehen zur Verfügung, allerdings fehlt die Lizenz Regelleistung anzubieten.

Die Lizenz ist aber abzusehen und von daher ist das aktuelle Angebot eher zum Kundenlocken gedacht.

Die Teilnahme am Regelleistungsmarkt wird dann in Zukunft Profite für die Aufnahme bzw. Abgabe von



Regelleistung abwerfen.

Aktuelle Preise für positive bzw. negative Regelleistung, wobei positive Regelleistung die Abgabe, negative Regelleistung die Aufnahme von Energie bezeichnet, sind der Website [www.regelleistung.net](http://www.regelleistung.net) zu entnehmen.

### Heimspeicher:

Heimspeicher basieren auf der Batterietechnologie eines Li-Ionen-Akkus oder auch als Blei-Säure Akkumulatoren. Erstere Technologie ist die eindeutig verlustärmere, leichtere und fortschrittlichere. Wenn es jedoch um Kosteneffizienz geht liegt dder deutlich größere und auch schwerere Blei-Säure-Akkumulator vorne. (bis zu 550kg für 10 kWh im Gegensatz zu 150kg bei einem Lithium-Ionen-Akku[5]).

Tesla's "Powerwall 2"[6] z.B. bietet eine nutzbare Kapazität von 13.5 kWh, bei Maßen von ca. 1,2m\*0.8m\*0.2m und einem Gewicht von 120kg.

Die stetige Lade-und-Entladeleistung liegt bei 5kWh bei einem Geräuschpegel von unter 40dB in einem Abstand von einem Meter. Dies entspricht ca. der Lautstärke in einer Bibliothek.

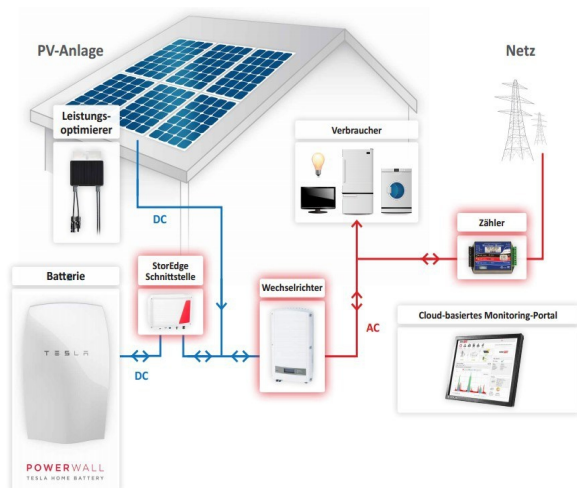
Insgesamt gesehen ist eine Powerwall also relativ platzsparend z.B. als Wandmontage im Keller und fällt auch nicht negativ durch ihre Lautstärke auf.

Die Kapazität reicht für einen Tagesladezyklus völlig aus, da ein 3-Personen-Haushalt aus eigener Erfahrung ca 12,5 kWh am Tag verbraucht.

Somit ist es möglich, am Tag gewonnenen Strom bequem auch nachts zu nutzen und somit im Optimalfall völlig autark vom Netz zu agieren.

Für größere Haushalte gibt es bei Tesla zusätzlich die Option bis zu 9 Powerwalls miteinander zu verknüpfen.

## 3 Aufbau eines PV-Heimspeicher-systems



SolarEdge, Eigenverbrauchslösung [7]

### PV-Anlage:

Die Photovoltaik-Anlage, die meistens nicht von den Firmen, die die Heimspeichersysteme anbieten, vertrieben werden, sondern von Vertragspartnern, liefert mit Hilfe des Photoelektrischen Effekts einen DC-Strom an die Schnittstelle.

### Leistungsoptimierer:

Der Leistungsoptimierer ist ein DC/DC Wandler der die herkömmliche PV-Anschlussdose ersetzt.

Pro installiertem Modul benötigt man einen Leistungsoptimierer, der je nach Hersteller auch schon im Gerät integriert sein kann.

Der Leistungsoptimierer steigert den Energieertrag eines jeden einzelnen Moduls, da er die Last an jedes Modul so anpasst, dass die größt mögliche Leistung entnommen werden kann.

Dieser MPP ( maximum power point) ist jedoch bei jedem Modul durch z.B. Wärme oder unterschiedliche Einstrahlungswinkel veränderlich und muss somit jeder Zeit an die aktuelle Situation angepasst werden.

Weitere Aufgabe des Leistungsoptimierers ist es, Daten über den aktuellen Ertrag an die Schnittstelle zu übermitteln.

### StorEdge Schnittstelle:

Die Schnittstelle liefert zu aller erst eine Verbindung der PV-Anlage mit Leistungsoptimierer zu dem Wechselrichter und der Batterie.

Außerdem managt sie je nach Batteriestand und aktuellem Verbrauch im Haus ob der Strom abgespeichert, selbst benutzt oder ins Netz eingespeist werden soll.

Hinzu kommt eine 3G Verbindung zum jeweiligen Heimspeichersystem-Anbieter, falls eine Teilnahme am Regelleistungsmarkt und Bedarf an der Batterie besteht.

Die Verbindung läuft über 3G um einem möglichen Ausfall des Wlans aufgrund einer Störung entgegenzuwirken. Außerdem können so die Firmen unabhängig vom Besitzer die Regelleistungsaufnahme steuern.

### Batterie:

Die Batterie speichert die nicht im Haus verbrauchte Energie ab und gibt sie je nach Bedarf wieder ab.

Ein kleiner Teil der Kapazität kann auch benutzt werden um am Regelleistungsmarkt teilzunehmen und negative Regelleistung zu liefern.

### Wechselrichter:

Der Wechselrichter wandelt den DC-Strom der Batterie und der PV-Anlage in einen im Haus nutzbaren und ins Netz einspeisbaren AC-Strom um.

Hinzu kommt, dass der Wechselrichter via Ethernet Daten an ein Monitoringportal übermitteln kann, in dem man einfachen Zugriff auf aktuelle Messdaten wie Stromverbrauch, Einspeisung oder Batteriestand hat.

## 4 Vergleich verschiedener Anbieter

### sonnen GmbH:

sonnen GmbH ist der globale Marktführer für den Vertrieb von Lithium-Ionen-Batterien für den Heimspeichermarkt. Sie beziehen ihre Batterien die in den Größen von 2-16 kWh erhältlich sind von Sony.[8]

Dank der von ihnen mitgelieferten Batterietechnologie ist es möglich bis zu 80% autark vom Netzbetreiber zu agieren. Möchte man vollkommen autark vom Netzbetreiber sein, bietet sonnen die Mitgliedschaft in der sonnenCommunity für 20 €/Monat an.

In dieser Community beziehen Mitglieder untereinander verbilligt Strom. Wenn man die nötigen Voraussetzungen erfüllt und mindestens eine PV-Anlage mit einer Leistung von 5,5 kWp und einen Speicher mit mindestens 6 kWh Kapazität besitzt, kann man völlig kostenfrei bis zu 4250 kWh pro Jahr beziehen. In diese Menge ist jedoch die eigens produzierte und verbrauchte Energie mit eingerechnet.

Finanziert wird diese sogenannte sonnenFlat mit dem Bereitstellen des Heimspeichers zur Teilnahme am Regelleistungsmarkt. Dieses Bereitstellen wird zentral von sonnen gesteuert, es besteht also kein Arbeitsaufwand für den Endbenutzer.

Zur Zeit besteht dieses Angebot zwar schon, eine Teilnahme am Regelleistungsmarkt besteht allerdings noch nicht, da die nötigen Lizenzen zur Zeit noch fehlen. Dies und die Tatsache, dass zur Zeit noch Rabatte auf z.B. den nötigen Zähler für die Regelleistungseinspeisung gegeben werden, lässt Rückschlüsse darauf ziehen, dass sonnen zur Zeit noch, trotz bereits weltweit über 20000 verbauten sonnenBatterien, dabei ist Kundenmärkte zu erschließen.

sonnen vertreibt lediglich Heimspeichersysteme, die nötige PV-Anlage gilt als vorausgesetzt.

### SENEC.IES:

SENEC.IES ist noch vor sonnen Marktführer in Deutschland gemessen an verbauter Kapazität.

Im Gegensatz zu sonnen bietet SENEC.IES eine größere Auswahl an Lithium-Ionen-Akkus und zusätzlich auch eine Blei-Säure-Batterie an[5]. SENEC bietet ähnlich wie sonnen auch ein Angebot für Gratisstrom, das der Tabelle zu entnehmen ist:

Paket	erwarteter Stromverbrauch in kWh pro Jahr	Orientierungsgröße PV-Anlage	Mindestgröße SENEC.Speicher	monatL Beitrag SENEC.Cloud*
S	unter 3.200	4,0 kWp	5,0 kWh	16,95 €
M	3.201 bis 4.500	6,0 kWp	5,0 kWh	19,95 €
L	4.501 bis 6.000	7,5 kWp	7,5 kWh	24,95 €
XL	6.001 bis 8.500	9,8 kWp	10,0 kWh	34,95 €

SENEC.IES Preistabelle [9]

Erfüllt man die Anforderungen an PV-Anlage und Mindestgröße des verbauten SENEC.Speichers, so kann man sich je nach Bedarf eins der Pakete aussuchen.

Anders wie bei sonnen, ändert sich der monatliche

Beitrag je nach Stromverbrauch.

Wenn man weniger Strom verbraucht als man gebucht hat, wird das Defizit nach EEG mit ca 12 ct/kWh vergütet.

Überschreitet man das gebuchte Paket, welches man jeden Monat wechseln kann, so zahlt man bis hin zu der eigenen Produktionsmenge 13 ct/kWh. Überschreitet man selbst die eigens produzierte Menge an Strom, zahlt man SENEC.IES die üblichen ca. 29 ct/kWh, erhält dafür jedoch Strom von SENEC.IES der zu 100% aus erneuerbaren Energien gewonnen wurde.

Auch SENEC.IES bietet keine eigenen PV-Anlagen an, ist jedoch auch für Kunden ohne PV-Anlage interessant da sie zu 100% aus erneuerbaren Energien gewonnenen Strom vertreiben.

Auch wie bei sonnen wird dieser Gratisstrom durch den geplanten Regelleistungsmarkteinstieg und die damit verbundene Werbewirkung finanziert.

Insgesamt ist die SENEC.Cloud zwar flexibler als die sonnenFlat, allerdings auch möglicherweise je nach Verbrauch teurer.

## 5 Kostenrechnung anhand eines Beispiels

Die Beispielrechnung bezieht sich auf eine 3-köpfige Familie mit einem Stromverbrauch von ca. 4250 kWh/Jahr, die Mitglied der sonnenCommunity ist. Außerdem qualifizieren die verbaute PV-Anlage und die sonnenBatterie sie für die Teilnahme an der sonnenFlat[10].

Auf der Kostenseite stehen die Anschaffung einer PV-Anlage und der sonnenBatterie inklusive der Rabatte auf Stromzähler und Montage von ca. 15.000€ sowie der monatliche Beitrag für die sonnenCommunity gerechnet auf 10 Jahre von ca 2.400€.

Werden jährlich 4250 kWh genutzt macht das bei einem Strompreis von 26 ct/kWh eine Ersparnis von ca 14.000€. Hinzu kommt die durchschnittliche EEG-Vergütung von ca. 12 ct/kWh von ca. 3.100€.

Das macht nach 10 Jahren ein Defizit von ca 300€.

Somit ist zu sagen, dass sich die Anschaffung eines PV-Heimspeichersystems nach ungefähr 10 Jahren rechnet, gegeben, dass kein Verschleiß o.ä. an der Anlage und den Batterien auftritt. Da sonnen nur eine 10 jährige Garantie auf ihre Geräte gibt, ist durchaus damit zu rechnen, dass durch Defekte und Verschleiß von z.B. der Batterie, Mehrkosten entstehen.

## 5 Fazit

Aus rein monetärer Sicht wirft die Anschaffung eines PV-Heimspeichersystems gerechnet auf lange Zeit eine großartige Rendite ab. Gerade in Zeiten von niedrigen Zinsen ist dies also eine gute, längerfristige Investition.

Da die Unternehmen aber zur Zeit noch in den Anfängen der Markterschließung stehen, ist es durchaus möglich, dass einige von ihnen im Laufe der Zeit bankrott gehen und somit Kunden möglicherweise auf den Kosten sitzenbleiben könnten, zu einem neuen Anbieter zu wechseln.

Selbstverständlich ist der Einbau einer PV-Anlage samt Heimspeichersystem immer ein großartiger Schritt um auf kleiner Ebene etwas für die Umwelt zu bewerkstelligen. Problematisch allerdings, gerade für junge Menschen, sind die Investitionskosten von ca. 20.000€ und überhaupt die Möglichkeit eine PV-Anlage aufzustellen, da dazu meist ein Einfamilienhaus oder ein Vermieter der den Verbau einer Heimspeichersystems akzeptiert nötig sind. Außerdem könnten die aktuellen Speicher schlichtweg zu klein sein, wenn sich Elektroautos in Deutschland etabliert haben. Den aktuellen großen Speichern von SENE.C.IES und sonnen mit max 16 kWh Speicherkapazität stehen z.B. aktuell beim Tesla Model S eine Kapazität von bis zu 100 kWh gegenüber[11]. Fraglich ist außerdem wie sich der Markt der PV-Heimspeichersysteme entwickeln wird, wenn sich eine Zulassung zum Regelleistungsmarkt hinauszögert und Rabatte der Firmen nichtmehr gelten. Insgesamt ist zu sagen dass die Technik an sich sehr innovativ und zukunftsorientiert ist, allesdings noch ein paar wenige Hürden genommen werden müssen, um sich am Markt durchzusetzen.

## 6 Literatur

- [1] Statista, Anteil der Photovoltaik an der Bruttostromerzeugung in Deutschland in den Jahren 2002 bis 2015, 2016  
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/250915/umfrage/anteil-der-photovoltaik-an-der-stromerzeugung-in-deutschland/> [11/16]
- [2] BSW-Solar, Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche, Juni 2016,  
[www.solarwirtschaft.de](http://www.solarwirtschaft.de) [11/16]
- [3] Sonnen GmbH, sonnenBatterie, 2017  
<https://www.sonnen-batterie.com/de/sonnenbatterie>(Januar 2017)
- [4] Verordnung zur Gewährleistung der technischen Sicherheit und Systemstabilität des Elektrizitätsversorgungsnetzes (20.7.2014), §4,§5,§7,§11,§14
- [5] SENE.C.IES, Technische Daten, 2017  
[http://www.senec-ies.com/senec.home\\_lithium](http://www.senec-ies.com/senec.home_lithium)  
[http://www.senec-ies.com/senec.home\\_blei](http://www.senec-ies.com/senec.home_blei)
- [6] Tesla, Technische Daten, 2016,  
[https://www.tesla.com/de\\_DE/powerwall](https://www.tesla.com/de_DE/powerwall)
- [7] SolarEdge, Eigenverbrauchslösungen, 2017  
<http://www.solaredge.com/de/solutions/self-consumption>
- [8] sonnen, sonnenBatterie, 2017  
<https://www.sonnen-batterie.com/de/sonnenbatterie>
- [9] SENE.C.IES, SENE.C.Cloud, 2017  
<http://www.senec-ies.com/mission-100-prozent>
- [10] Sonnen, sonnenCommunity, 2017  
<https://www.sonnen-batterie.com/de/sonnenCommunity>
- [11] Wikipedia, Tesla Model S, 2017  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Model\\_S](https://de.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S)



## Stromdienstleistung mit PV-Heimspeichersystemen

Seminarvortrag von Paul Broschinski, 26.01.2017

## Agenda

- § Motivation
- § Theoretische Grundlagen
- § Aufbau eines PV-Heimspeichersystems
- § Vergleich verschiedener Anbieter
- § Kostenrechnung anhand eines Beispiels
- § Fazit

# Motivation

## Warum Pv-Heimspeicheranlagen anstatt konventioneller Energieerzeugung?

- Rohstoffe wie Braunkohle werden in Zukunft immer teurer und seltener  
→ Sonnenenergie für Millionen von Jahren garantiert
- Konventionelle Stromerzeugung erzeugt sehr viel Treibhausgas  
→ PV-Anlagen in Deutschland nach 2,5-3,5 Jahren CO<sub>2</sub>-neutral
- Anteil PV am Strommix Deutschlands bei nur 5,9% im Jahr 2015  
→ mehr PV bedeutet auch massives Einsparen an Treibhausgasen
- 2015 rund 1,53 Millionen Solaranlagen in Deutschland installiert  
→ bei rund 15 Millionen Einfamilienhäusern in Deutschland noch sehr viel Potential für Ausbau
- Für Privatepersonen in Zeiten von niedrigen Zinsen leicht zu finanzieren  
→ auf lange Sicht attraktivere Anlage als Zinsen einer Bank (Stand 2017)
- PV-Heimspeichersysteme sind konventionellen PV-Anlagen überlegen  
→ Strom wird dann benutzt wenn er gebraucht wird

# Agenda

- § Motivation
- § Theoretische Grundlagen
- § Aufbau eines PV-Heimspeichersystems
- § Vergleich verschiedener Anbieter
- § Kostenrechnung anhand eines Beispiels
- § Fazit

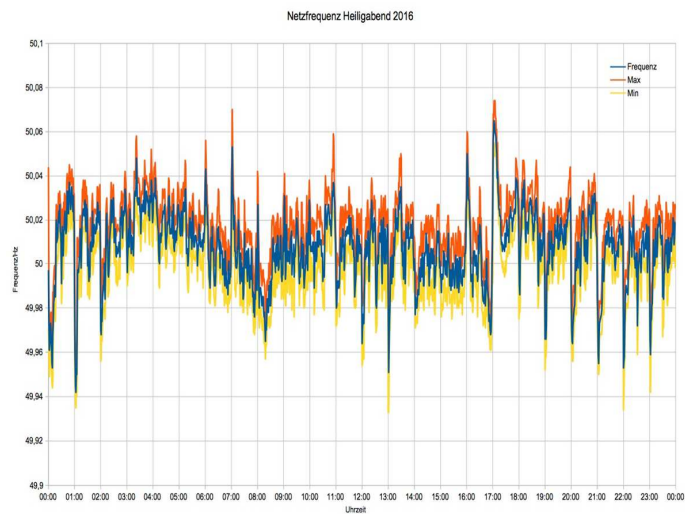
## Theoretische Grundlagen – Regelleistung

-Netzfrequenz in DE auf 50 Hz festgelegt  
- Im Laufe des Tages Schwankungen

-bei zu wenig Leistung im Netz, d.h. es wird mehr verbraucht als erzeugt, sinkt die Netzfrequenz  
-herrscht ein Überangebot an Leistung so steigt die Frequenz  
- selbst kleinste Schwankungen ab 0.01 Hz werden bereits ausgeglichen

-bei zu wenig Leistung wird zusätzliche Energie aus z.B. PV-Anlagen eingespeist  
-ist die Netzfrequenz erhöht, so wird die zusätzliche Energie in Speichern u.a. auch PV-Heimspeichersystemen untergebracht

- so wohl das Aufnehmen als auch das Abgeben erzielen Vergütungen



26.01.2017 | Paul Broschinski | PV-Heimspeichersysteme | Seite 5



## Theoretische Grundlagen - Heimspeicher

Die Akkumulatoren in Heimspeichern beruhen auf der LI-Ionen- oder Blei-Säure-Technologie .

Daten zu Tesla's Powerwall 2:



-13,5 kWh Gleichstrom-Energie → entspricht etwas mehr als der durchschnittliche Verbrauch einer 4-köpfigen Familie pro Tag

- 5 kW kontinuierliche Lade/Entladeleistung

- 1150mm x 755 mm x 155 mm groß und 120 kg schwer  
→ platzsparend als Wandmontage

-Geräuschpegel < 40 dB in 1 m Abstand → entspricht ca. der Lautstärke in einer Bibliothek

-bis zu 9 Powerwalls miteinander koppelbar um auf 121,5 kWh Speicherleistung zu kommen

→ sehr interessant für Mehrfamilienhäuser



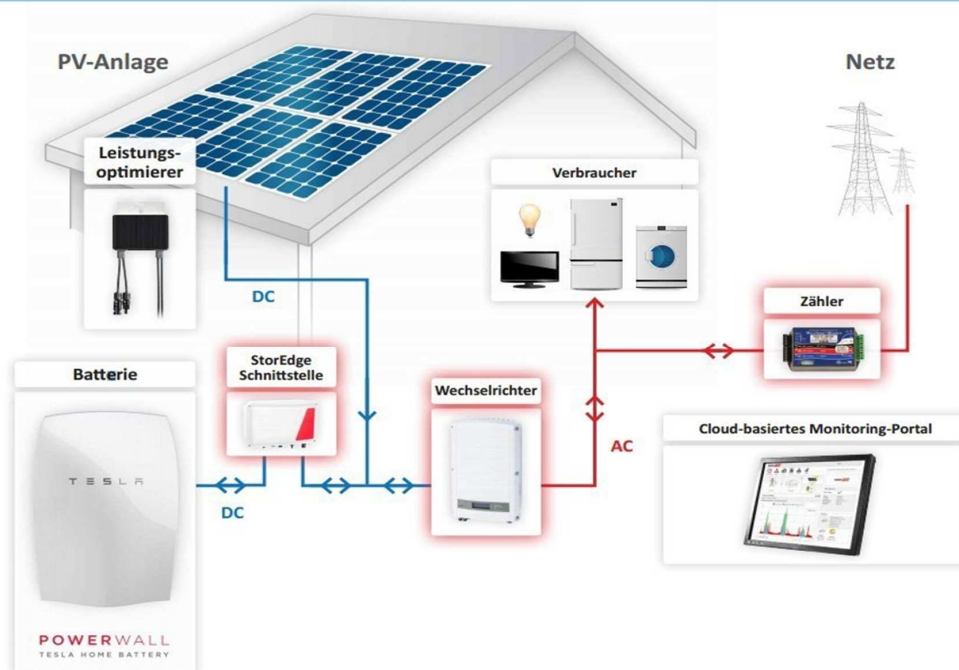
26.01.2017 | Paul Broschinski | PV-Heimspeichersysteme | Seite 6



# Agenda

- § Motivation
- § Theoretische Grundlagen
- § Aufbau eines PV-Heimspeichersystems
- § Vergleich verschiedener Anbieter
- § Kostenrechnung anhand eines Beispiels
- § Fazit

## Aufbau eines PV-Heimspeichersystems



# Aufbau eines PV-Heimspeichersystems

## PV-Anlage:

- Liefert DC-Strom aus Sonnenenergie mit Hilfe des photoelektrischen Effekts

## Leistungsoptimierer:

- DC/DC- Wandler der die herkömmliche PV-Anschlussdose ersetzt
- pro Modul jeweils ein Leistungsoptimierer, integriert oder angeschlossen
- steigert Energieertrag da für jedes Modul eigener MPP ( Maximum Power Point) gesucht wird
- übermittelt Daten an StorEdge Schnittstelle

## StorEdge Schnittstelle:

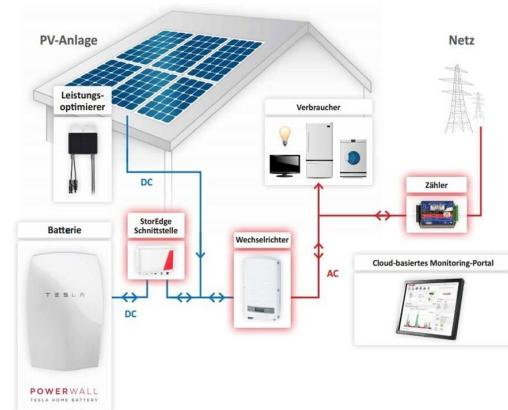
- bietet Verbindung des Wechselrichters und der PV-Anlage zur Batterie
- Managt ob Strom eingespeist oder verbraucht werden soll
- gesteuert über 3G falls Teilnahme an Regelleistung

## Batterie:

- Speichert Energie und gibt sie bei Bedarf wieder ab

## Wechselrichter:

- Wandelt DC/AC um den Strom im Haus zu benutzen oder ins Netz einzuspeisen.
- Übermittelt via Ethernet Daten an das Monitoring-Portal



Technische  
Universität  
Braunschweig

26.01.2017 | Paul Broschinski | PV-Heimspeichersysteme | Seite 9

**elenia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen

## Agenda

- § Motivation
- § Theoretische Grundlagen
- § Aufbau eines PV-Heimspeichersystems
- § Vergleich verschiedener Anbieter
- § Kostenrechnung anhand eines Beispiels
- § Fazit



Technische  
Universität  
Braunschweig

26.01.2017 | Paul Broschinski | PV-Heimspeichersysteme | Seite 10

**elenia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen



## Vergleich verschiedener Anbieter

### sonnen GmbH

- globaler Marktführer für Lithium-Ionen-Batterien als Heimspeicher
- Batterien von 2-16 kWh erhältlich
- dank der Batterietechnologie bis zu 80% Autarkie vom Netzbetreiber
- im Vergleich dazu nur 35-55% Autarkie mit einer normalen PV-Anlage
- Teilnahme an der „sonnenCommunity“



### sonnenCommunity:

- Netz aller sonnenBatterie-Nutzer um untereinander billigen Strom zu beziehen (23ct/kWh)
- ab einer PV-Anlage mit 5,5 kWp und einer Batterie mit mindestens 6 kWh Speicher bis zu 4250 kWh für 0 Ct
- die 4250 kWh beinhalten jedoch auch den eigens produzierten und verbrauchten Strom
- finanziert wird diese Stromflat mit dem Bereitstellen des Heimspeichers, Regelleistung zu liefern
- sonnen steuert zentral die Verteilung von Regelleistung aus Heimspeichern

### Nachteile:

- Sonnen bietet keine eigenen PV-Anlagen an, nur die Speichertechnologie
- Teilnahme an der sonnenCommunity kostet 20€/Monat
- erhebliche Mehrbelastung der Batterie bei nur 10 Jahren Garantie
- mögliche Mehrkosten durch Verschleiß und Ausschluss von der sonnenFlat wenn Batterie keine 6kWh mehr speichern kann



26.01.2017 | Paul Broschinski | PV-Heimspeichersysteme | Seite 11



## Vergleich verschiedener Anbieter – senec.ies

### SENEC.IES

- Marktführer in Deutschland gemessen an verbauter Kapazität
- bietet auch 100% Ökostrom für nicht-PV-Anlagen-Besitzer
- bietet große Anzahl an verschiedenen Speichern an



### SENEC.Cloud:

- 4 Angebote für unterschiedliche Verbraucherprofile
- jeweils bestimmte Menge an Gratisstrom
- verbraucht man weniger Strom wird die Produktion vergütet
- Strom den man mehr braucht, bezahlt man mit 13ct/kWh
- verbraucht man mehr Strom als man selbst produziert, zahlt man die üblichen 29ct/kWh

Paket	erwarteter Stromverbrauch in kWh pro Jahr	Orientierungsgröße PV-Anlage	Mindestgröße SENE.C.Speicher	monatl. Beitrag SENE.C.Cloud*
S	unter 3.200	4,0 kWp	5,0 kWh	16,95 €
M	3.201 bis 4.500	6,0 kWp	5,0 kWh	19,95 €
L	4.501 bis 6.000	7,5 kWp	7,5 kWh	24,95 €
XL	6.001 bis 8.500	9,8 kWp	10,0 kWh	34,95 €

### Nachteile:

- SENE.C. bietet keine eigenen PV-Anlagen an, nur die Speichertechnologie
- Vertragspartner
- ggf. Mehrkosten bei höherem Stromverbrauch
- Communitykosten steigen mit höherem Verbrauch



26.01.2017 | Paul Broschinski | PV-Heimspeichersysteme | Seite 12



# Agenda

- § Motivation
- § Theoretische Grundlagen
- § Aufbau eines PV-Heimspeichersystems
- § Vergleich verschiedener Anbieter
- § Kostenrechnung anhand eines Beispiels
- § Fazit

## Kostenrechnung anhand eines Beispiels

10 Jahre Beispielrechnung für sonnenFlat:  
Annahme 3-köpfige Familie mit ca. 4250 kWh/Jahr Stromverbrauch

Kosten:	
- Anschaffung einer PV-Anlage und der sonnenBatterie	ca. 15.000 €
→ zur Zeit noch keine Kosten für Zähler und Installation	
- Monatlicher Beitrag von 19,99€/Monat für 10 Jahre	2.398 €
Ersparnis:	
- Sparen der Stromkosten dank sonnenFlat mit 26ct/kWh	ca. 14.000 €
- EEG-Vergütung aus PV-Anlage zu 0.123€/kWh	3110 €

Insgesamt nach 10 Jahren: 288€

Man kann also davon ausgehen, dass sich eine PV-Anlage mit sonnenBatterie nach 10 Jahren rechnet. Dies beruht aber auf der Annahme, dass die Batterie keinen Verschleiß aufweist und auch sonst kein Gerät beschädigt ist.

Gegeben, dass man nur 10 Jahre Garantie erhält, ist mit eventuellen Mehrkosten bei z.B. der Batterie zu rechnen.

# Agenda

- § Motivation
- § Theoretische Grundlagen
- § Aufbau eines PV-Heimspeichersystems
- § Vergleich verschiedener Anbieter
- § Kostenrechnung anhand eines Beispiels
- § Fazit

## Fazit

- aus rein monetärer Sicht, scheint sich eine Investition nach 10 Jahren zu rechnen  
→ allerdings muss man bedenken, dass bei Schäden und Verschleiß Mehrkosten aufkommen
  - entscheidet man sich für einen Anbieter, kann es ggf. schwer sein den Anbieter zu wechseln da Geräte nicht kompatibel sein könnten
  - Will man etwas für die Umwelt tun, so ist eine PV-Anlage mit Speichersystem eine hervorragende Möglichkeit, auf kleiner Ebene etwas zu bewerkstelligen
  - Investitionskosten müssen in Zukunft sinken um mehr Kunden zu gewinnen, da 20.000€ eine große Hürde sind  
→ gerade junge Leute, die so ein Angebot attraktiv finden könnte, werden evtl durch hohe Kosten und wenig Ersparnis in den ersten Jahre abgeschreckt
  - In Zukunft könnten Speicher schlichtweg zu klein sein, falls auch Elektroautos privat geladen werden.
  - Zur Zeit erhält man noch viele Rabatte der Firmen um den Markt anzuregen  
→ in Zukunft auch noch so?
- => Insgesamt ist zu sagen, dass die Technik sehr innovativ ist, jedoch noch einige Hürden zu nehmen sind um ein makeloses Endprodukt zu schaffen.**

# Blockchain in der Energiewirtschaft

## Blockchain technology in the energy industry

Lukas Hartjen, B. Sc

Technische Universität Braunschweig, l.hartjen@tu-braunschweig.de

### Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die zukünftige Nutzung der Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft diskutiert. Dazu wird zunächst eine Einführung in die Funktionsweise einer Blockchain gegeben. Anhand der bisherigen Erfahrungen mit der digitalen Währung Bitcoin werden Sicherheitsaspekte der Technologie betrachtet und ihre Eignung für künftige Aufgabenstellungen in der Energiewirtschaft untersucht.

### Abstract

This paper discusses the future application of blockchain technologies in the energy industry. Therefore, a brief introduction into the working principles of a blockchain is given. Afterwards, experiences with the Internet currency Bitcoin will be used to evaluate security aspects of the technology. Lastly, a review of possible future business models based on blockchains in the energy industry is presented.

## 1 Einleitung

Die Blockchain-Technologie stellt ein Vorgehen zur dezentralen Speicherung und Überprüfung von Informationen dar. Im Folgenden soll nach einer Erläuterung des Funktionsprinzips die Anwendbarkeit von Blockchains in der Energiewirtschaft untersucht werden. Dabei sollen Chancen der Technologie beleuchtet werden, ebenso wie mögliche Hindernisse und Nachteile.

## 2 Theoretische Grundlagen

In einer Blockchain wird ein Datensatz dezentral auf allen beteiligten Rechnern gespeichert und anschließend fortlaufend aktualisiert. Neue Daten, wie z.B. aktuelle Transaktionen, werden dabei in Form von Blöcken erzeugt, die meist einen definierten Zeitraum umfassen. Jeder neue Block wird von allen beteiligten Rechnern auf Validität geprüft. Dazu versuchen alle Teilnehmer gleichzeitig ein mathematisches Problem zu lösen (*proof of work*), dessen spezifische Lösung unmittelbar überprüfbar ist und erhebliche Rechenleistung erfordert. Sobald eine Lösung gefunden wurde, wird diese allen Teilnehmern mitgeteilt und durch sie überprüft. Erlangt sie die Zustimmung von mindestens 51% der Teilnehmer, so gilt der Block als verifiziert und wird an die bestehende Blockchain angehängt. Das zur Verfügung stellen von Rechenleistung für den Validierungsprozess wird als „*mining*“ bezeichnet und im Falle von Bitcoin virtuell vergütet.[1]

Das Sicherheitskonzept der Blockchain basiert auf der Annahme, dass es einem einzelnen Teilnehmer aufgrund von limitierter Rechenleistung nicht möglich ist, den mathematischen Nachweis deutlich schneller als den festgesetzten Zeitraum für einen Transaktionsblock zu erbringen. Künftig könnten jedoch Quantencomputer mit

erheblich mehr Rechenleistung als bisherige Hardware neue Validierungsmechanismen nötig machen, um die Sicherheit des Gesamtsystems zu gewährleisten. [1]

Eine bekannte Möglichkeit der Manipulation der Blockchain ist der sogenannte 51%-Angriff. Dazu muss ein Teilnehmer jedoch zunächst über mindestens 51% der Gesamtrechenleistung in der Blockchain verfügen. Dadurch hat er die Möglichkeit, auf seinen synchronisierten Geräten stets über die „aktuelle“ Blockchain-Version zu entscheiden, und kann somit jegliche Transaktionen anderer Teilnehmer blockieren. In Anwendungen mit großer Gesamtrechenleistung ist dieser Angriff jedoch zunehmend unwahrscheinlich. [2]

Eine Abgrenzung existierender Blockchain-Implementierungen kann anhand des Zugangs zum „*mining*“-Prozess sowie den gespeicherten Daten erfolgen. In öffentlichen Blockchains kann jeder Nutzer die gesamten Daten der Blockchain einsehen und uneingeschränkt am „*mining*“-Prozess teilnehmen. Zu diesem Typus gehören etwa Bitcoin oder auch die Ethereum Blockchain. Bei Ethereum handelt es sich ursprünglich, ähnlich wie bei Bitcoin, um eine digitale Währung, es werden jedoch auch komplexere Vertragsabschlüsse, sog. „*smart contracts*“ unterstützt. Private Blockchain hingegen beschränken den Zugang zum „*mining*“ aus Sicherheitsgründen und erlauben in der Regel dem Endanwender keinen Zugriff auf die gesamten gespeicherten Daten.

Aktuell finden vor allem öffentliche Implementierungen einer Blockchain Verbreitung. Die Bitcoin-Blockchain sowie die Ethereum-Blockchain stehen als Open-Source-Material online zur Verfügung und können somit auch von Dritten für neue Projekte genutzt werden. [3]

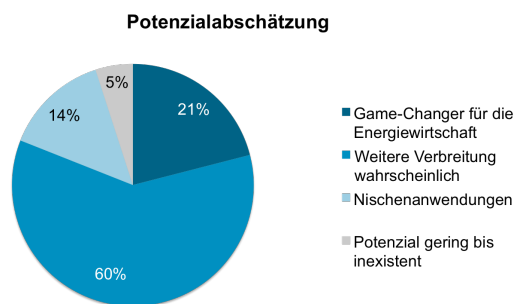
### 3 Adaption und Anwendung in der Energiewirtschaft

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit aktuellen und zukünftigen Anwendungen der Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft. Anhand konkreter Praxisbeispiele werden Anwendungsfälle vorgestellt.

#### 3.1 Umfrage in der deutschen Energiewirtschaft

Im Juli und August 2016 wurde von der Deutschen Energie Agentur (dena) und die European School of Management and Technology (ESMT) eine Umfrage unter Führungskräften in der deutschen Energiewirtschaft zur Blockchain-Technologie durchgeführt. Ziel war, sowohl die Bekanntheit als auch die zukünftige Verbreitung einzuschätzen.

69% der Befragten gaben an, bereits von Blockchain-Anwendungen im Energiesektor gehört zu haben. Lediglich 13% führten bereits eigene Anwendungen durch, während 48% auch zukünftig keine Aktivitäten planen. Wie in **Bild 1** dargestellt, hielten mit 60% die Mehrheit der Teilnehmer eine weitere Verbreitung von Blockchains im Energiesektor für wahrscheinlich, 21% sahen in der Technologie einen potenziellen Game-Changer für die Branche. Vor allem die IT-Sicherheit wurde dabei häufig als Vorteil identifiziert. [4]



**Bild 1** Umfrage der dena zum Potenzial der Blockchain-Technologie. Entnommen aus [4]

#### 3.2 Zahlungsabwicklung in Microgrids

Eine mögliche Anwendung der Blockchain in der Energiewende liegt in der effizienten Zahlungsabwicklung in lokalen Microgrids. Sie ermöglicht den Austausch dezentral erzeugter Energie unter den Teilnehmer und wickelt dabei die Zahlungen in Form einer digitalen Währung ab.

Ein Beispiel für diese Anwendung ist das Brooklyn Microgrid. Dort werden lokale Erzeuger durch eine Blockchain in die Lage versetzt, ihre produzierte Energie untereinander zu vermarkten. Die Bezahlung der eingekauften Energie erfolgt dabei über eine Ethereum-Blockchain. Betrieben wird das Microgrid von einer eigenständigen Gesellschaft. Ziele sind dabei unter anderem die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien

am Strommix, eine größere Versorgungssicherheit bei Naturkatastrophen sowie die Profite aus lokaler Energieerzeugung innerhalb der Gemeinde zu halten. [5]

#### 3.3 Zahlungsabwicklung an privaten Ladesäulen

Mit dem Projekt „share & charge“ unterstützt die innogy SE ein Start-Up, das es Privatleuten ermöglicht, ihre Ladesäulen mit anderen zu teilen. Über eine zugehörige App können Ladesäulen in der Nähe gefunden und reserviert werden. Anschließend wird die Zahlung und künftig auch die Authentifizierung an der Ladestation über sogenannte „smart contracts“ in Form einer Ethereum Blockchain durchgeführt. Eine erste Testphase des Projekts wurde im Oktober 2016 erfolgreich abgeschlossen und ein umfassender Rollout für iOS- und Android-Systeme wird aktuell vorbereitet. [6]

#### 3.4 Nachweis von Ökostromverbrauch

Die von Thorsten Zörner entwickelten „Grünstrom Jetons“ ermöglichen einen Nachweis des verbrauchten Ökostroms. Damit stehen sie bisherigen Ökostrom-Ansätzen gegenüber, die einen Nachweis über die Einspeisung von Energie aus erneuerbaren Quellen erbringen. Basierend auf der Postleitzahl des Nutzers und dem angegebenen Zeitraum ermittelt das System den lokalen Anteil erneuerbarer Erzeugung am Strommix. Daraufhin werden dem Nutzer anteilig Jetons gutgeschrieben, die seinen Verbrauch regenerativer Energie repräsentieren und diesen so nachweisbar machen. Die erhaltenen Token werden in der Blockchain gespeichert und können als Kryptowährung gehandelt werden. Das System befindet sich derzeit in der Rollout-Phase, weshalb auch die künftigen Verwendungsmöglichkeiten der Token noch nicht finalisiert wurden.[7]

### 4 Diskussion

Im Folgenden Abschnitt sollen Chancen und Risiken der Blockchain-Technologie gegenüber gestellt werden. Dazu werden die Bereiche IT-Sicherheit, energetische Aspekte sowie wirtschaftliche und regulatorische Aspekte beleuchtet.

#### 4.1 IT Sicherheit

Ein Vorteil der Blockchain-Technologie liegt in der IT-Sicherheit. Zentralisierte Netzwerke verfügen stets über einen sogenannten „single point of failure“, das heißt ein einziger erfolgreicher Angriff auf die zentrale Instanz verschafft Kontrolle über das Gesamtnetzwerk. [8] Die Blockchain vermeidet dies durch die dezentrale Speicherung der Informationen. Wie bereits in Abschnitt 2 beschrieben, muss eine Manipulation von mindestens 51% der beteiligten Rechner erfolgen, um das Netzwerk anzugreifen. Ein einziger manipulierter Datensatz bleibt ohne Auswirkungen, da neue Transaktionen stets durch Mehrheitsentscheidungen validiert und anschließend über alle Rechner synchronisiert werden. In nutzerstarken Blockchain-Netzwerken ist die gesamte am „mining“-

Prozess teilnehmende Rechenleistung so groß, dass 51%-Angriffe in der Praxis ausgeschlossen werden können. [2] Gerade für kleinere Netzwerke stellt sie jedoch eine reale Gefahr dar.

Eine Lösung für kleinere Anwendungen können private Blockchains sein. Im Gegensatz zu öffentlichen Blockchains wie Bitcoin, bei denen jeder am „*mining*“-Prozess teilnehmen kann, wird dieser Zugang bei privaten Blockchains durch den Eigentümer des Systems reguliert. Auch können in privaten Blockchains aufgrund des höheren Vertrauens in die „*mining*“-Teilnehmer Transaktionen mit geringerem kryptografischem Aufwand durchgeführt werden. Dies führt zu einer erhöhten Verarbeitungsgeschwindigkeit. [9]

#### 4.2 Energetische Aspekte

Im Fall von Microgrids kann die Blockchain-Technologie helfen, Prosumer lokal miteinander zu vernetzen und dadurch den Verbrauch nahe der Erzeugungsstelle maximieren. Hierdurch wird die Energie bis zu ihrem Verbrauchsort weniger weit transportiert, was nicht nur die Verteilnetze teilweise entlastet, sondern auch Transmissionsverluste begrenzt. Der Gesamtwirkungsgrad des Systems von der Erzeugung zur Last steigt. Zukünftig ist es zudem denkbar, dass der fluktuierenden Erzeugung in Form variabler Strompreise in der Blockchain Rechnung getragen wird. So entstünde ein zusätzlicher Beitrag zum Demand Side Management, da große Lasten dadurch rentabler in Zeiten starker Erzeugung betrieben werden könnten. Auch die Automatisierung dieser Prozesse ist mit der Blockchain möglich. Künftige Geräte können als teilautonome Akteure im „*internet of things*“ ihren benötigten Strom unmittelbar über die Blockchain einkaufen. Generell muss im Falle von Stromlieferungen im Gegensatz zur Bitcoin-Architektur auch die physikalische Komponente des Prozesses beachtet werden. Transaktionen sind durch die endliche Übertragungsfähigkeit der Verteilnetze voneinander abhängig. Insbesondere in Zeiten hoher dezentraler Stromerzeugung muss dies in künftigen Microgrids durch geeignete Regulierung der Blockchain-Prozesse wiedergegeben werden.

Ein weiterer Aspekt ist der Eigenenergieverbrauch der Blockchain. Der „*mining*“-Prozess benötigt bei steigenden Nutzerzahlen immer mehr Energie, um die erforderliche Rechenleistung bereitzustellen. Das „*mining*“ und des Vergütung durch Bitcoins etwa haben sich zu einer eigenen Industrie entwickelt. Die Rentabilität dieses Geschäftsmodells ist eng an die Strompreise gekoppelt, weshalb heute etwa 70% des Bitcoin-„*minings*“ in China stattfinden. Die Rechenzentren werden dort mit größtenteils aus Steinkohlekraftwerken produziertem Strom versorgt, was bei der energetischen Evaluierung der Blockchain als Gesamtmodell nicht außer Acht gelassen werden kann. [10]

#### 4.3 Wirtschaftliche Aspekte

Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Blockchain-Technologie im Energiesektor sind eng verwandt mit den Änderungen, die Kryptowährungen wie Bitcoin im Finanzsektor zur Folge haben.

Die Anwendung eines öffentlichen Blockchain-Modells zur Zahlungsabwicklung bedeutet stets den Wegfall einer zentralen Vermittlungsinstanz. Somit können Transaktionen wie der Kauf und Verkauf von Energie unter den Teilnehmer getätigt werden, ohne dass ein Energieversorgungsunternehmen (EVU) daran direkt beteiligt wäre. Darin liegt eindeutig ein Konkurrenzmodell zur heutigen Absatz- und Vermarktungsstrategie der EVUs. Da langfristig auch größere Erzeugungseinheiten wie Windparks ihren Strom über ein Blockchain-Modell verkaufen könnten, hätte dies eine sinkende Bedeutung der Strombörse als zentralem Handelsplatz für elektrische Energie zur Folge. Dies wird in erster Linie von regulatorischen Entwicklungen in diesem Markt abhängen. (Siehe hierzu auch Abschnitt 4.4)

Denkbar sind zukünftig Geschäftsmodelle, in denen Unternehmen die Blockchain-Infrastruktur bereitstellen und sich eben diese vergüten lassen. Einen solchen Weg geht beispielsweise die innogy SE mit ihrer Unterstützung des „*share&charge*“-Projektes.

#### 4.4 Regulatorische Aspekte

In Falle des dezentralen Energiehandels über die Blockchain ergeben sich eine Reihe von regulatorischen Fragestellungen, die einer Umsetzung aus heutiger Sicht noch entgegenstehen. Da das bestehende Energierecht die eindeutige Zuordnung jedes Verbrauchers zu einem Bilanzkreis fordert, müsste in diesem Fall jeder Prosumer als eigenständiger Bilanzkreisverantwortlicher auftreten. Der finanzielle und organisatorische Aufwand lässt dies jedoch unwahrscheinlich erscheinen.

Ein weiteres rechtliches Problem liegt in der Abwesenheit einer zentralen Instanz. Durch die Aufteilung der Verantwortung für Transaktionen auf alle Teilnehmer gibt es im Falle von Rechtsstreitigkeiten zunächst keinen unmittelbaren Ansprechpartner. [11]

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Blockchain-Technologie ermöglicht bereits heute erste Anwendungen im Energiesektor. Dabei beruhen viele Projekte auf dem bereits im Finanzsektor demonstrierten Potenzial von Blockchains, Zahlungen zwischen Nutzern ohne vermittelnde Instanz abzuwickeln. Erste Geschäftsmodelle beinhalten etwa den Verkauf dezentral erzeugter Energie in Microgrids oder die Nutzung privater Ladesäulen für Elektrofahrzeuge durch Dritte.

Eine wesentlich Rolle für die künftige Verbreitung der Technologie wird die Entwicklung der rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen spielen. Bei der

Abschätzung des Potenzials der Blockchain in der Energiewirtschaft muss in Abgrenzung zu reinen Finanzprodukten wie Bitcoin stets die physikalische Komponente beachtet werden. So ist etwa im Falle von Stromlieferungen deutlich umfassendere Regulierung nötig, um eine ausreichende Anwender- und Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

## 6 Literatur

- [1] M. Crosby, Nachiappan, Pradhan Pattanayak, Sanjeev Verma, Vignesh Kalyanaraman, „Blockchain Technology – Beyond Bitcoin“, UC Berkley, Kalifornien, 2015.
- [2] V. Prashar, „What Is Bitcoin 51% Attack, Should I Be Worried?“, 2013, Online abrufbar unter: „<http://www.btcpedia.com/bitcoin-51-attack/>“ zuletzt geprüft am 21.01.17
- [3] Ethereum Foundation, <https://github.com/ethereum/>, zuletzt 21.01.17
- [4] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Blockchain in der Energiewende – Eine Umfrage unter Führungskräften der deutschen Energiewirtschaft“, Berlin, 2016, Online abrufbar unter „[https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Meldungen/blockchain\\_deutsch.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Meldungen/blockchain_deutsch.pdf)“, zuletzt geprüft am 21.01.17
- [5] Brooklyn Microgrid, „About“, 2016, Online abrufbar unter „<http://brooklynmicrogrid.com/>“, zuletzt geprüft am 21.01.17
- [6] S. Tual, „Blockchain Energy P2P sharing project Share&Charge going into live Beta“, 2016, Online abrufbar unter „<https://blog.slock.it/blockchain-energy-p2p-sharing-project-share-charge-going-into-live-beta-ad4e069e79d#.pf5p2d66s>“, zuletzt geprüft am 21.01.17
- [7] T. Zörner, „Pressemitteilung – GrünStromJetons machen den Ökostromverbrauch sichtbar“, 2016, Online abrufbar unter „<http://jetons.stromstunde.de/pressemitteilung/laUNCH>“, zuletzt geprüft am 21.01.17
- [8] N. Aitzhan, D. Svetinovic, „Security and Privacy in Decentralized Energy Trading through Multi-Signatures, Blockchain and Anonymous Messaging Streams“, 2016, Online abrufbar unter „<http://ieeexplore.ieee.org/document/7589035/>“, Zuletzt geprüft am 21.01.17
- [9] L. Parker, „Private versus Public Blockchains: Is there room for both to prevail?“, 2016, Online abrufbar unter „<https://magnr.com/blog/technology/private-vs-public-blockchains-bitcoin/>“, Zuletzt geprüft am 21.01.17
- [10] D. Vincent, „We looked inside a secret Chinese bitcoin mine“, 2016, BBC, Online abrufbar unter „<http://www.bbc.com/future/story/20160504-we-looked-inside-a-secret-chinese-bitcoin-mine>“, Zuletzt geprüft am 21.01.17
- [11] PricewaterhouseCoopers, „Blockchain – Chance für Energieverbraucher?“, 2016, Online abrufbar unter: „<http://www.verbraucherzentrale.nrw/media/242404A>“, zuletzt geprüft am 21.01.17



## Blockchain in der Energiewirtschaft

Lukas Hartjen, 13.02.2017

### Agenda

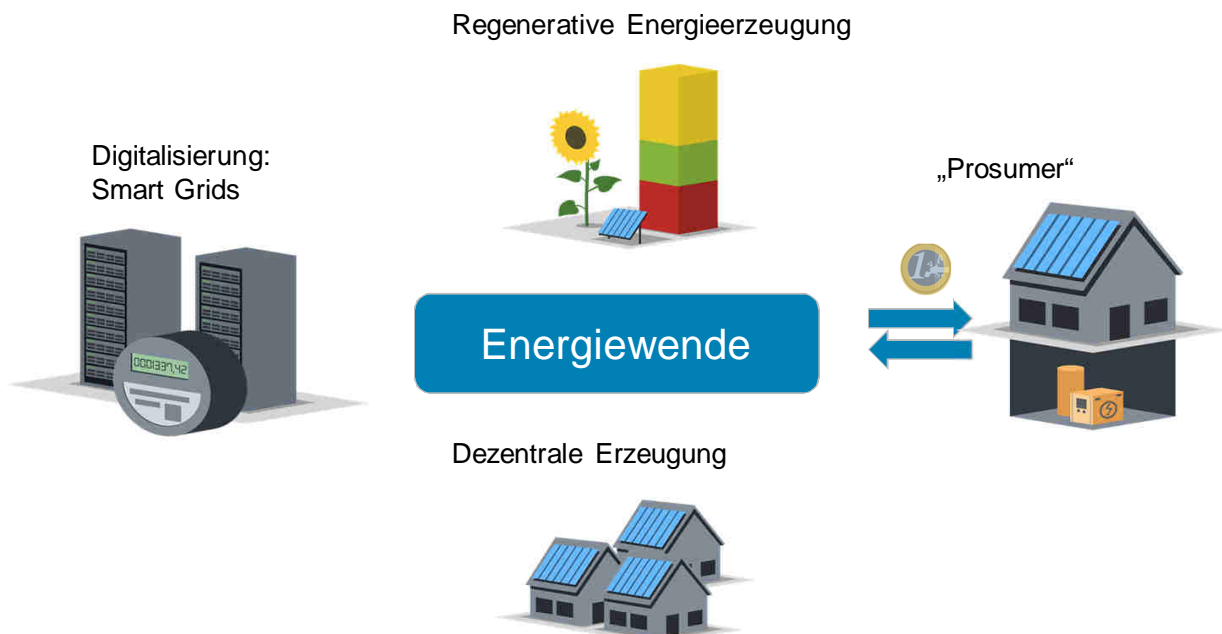
- Einleitung und Motivation
- Grundlagen: Blockchain-Technologie
- Anwendung und Adaption im Energiesektor
- Möglichkeiten und Herausforderungen
- Zusammenfassung



# Agenda

- Einleitung und Motivation
- Grundlagen: Blockchain-Technologie
- Anwendung und Adaption im Energiesektor
- Möglichkeiten und Herausforderungen
- Zusammenfassung

## Einleitung und Motivation



## Einleitung und Motivation

Kann die Blockchain-Technologie zukünftig diese Veränderungen unterstützen oder sogar beschleunigen?

## Einleitung und Motivation

Zuerst einmal aber:

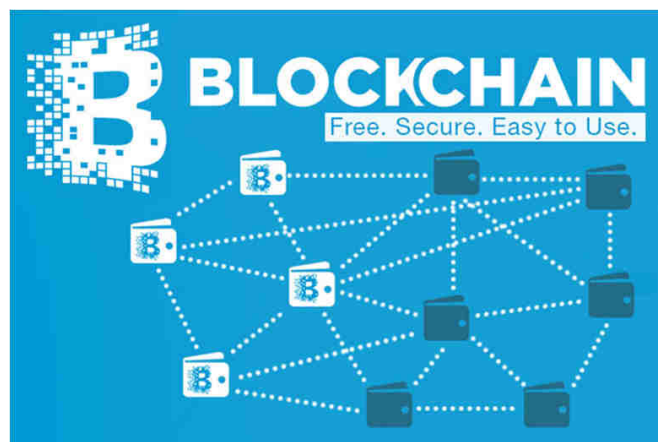
Was genau ist überhaupt eine Blockchain?

# Agenda

- Einleitung und Motivation
- Grundlagen: Blockchain-Technologie
- Anwendung und Adaption im Energiesektor
- Möglichkeiten und Herausforderungen
- Zusammenfassung

## Grundlagen: Blockchain-Technologie

„Die Blockchain ist eine dezentral organisierte digitale Plattform, die sichere Datenspeicherung und Transaktionen (...) ermöglicht.“ (dena)



## Grundlagen: Blockchain-Technologie



Bitcoin:

- Digitale Währung
- Transaktionen erfolgen über die Blockchain
- Aktuell sind etwa 16 Mio. Bitcoins im Umlauf, etwa 14,7 Mrd Dollar

## Grundlagen: Blockchain-Technologie

Eigenschaften einer Blockchain:

Dezentrale Buchhaltung, bestehend aus Blöcken

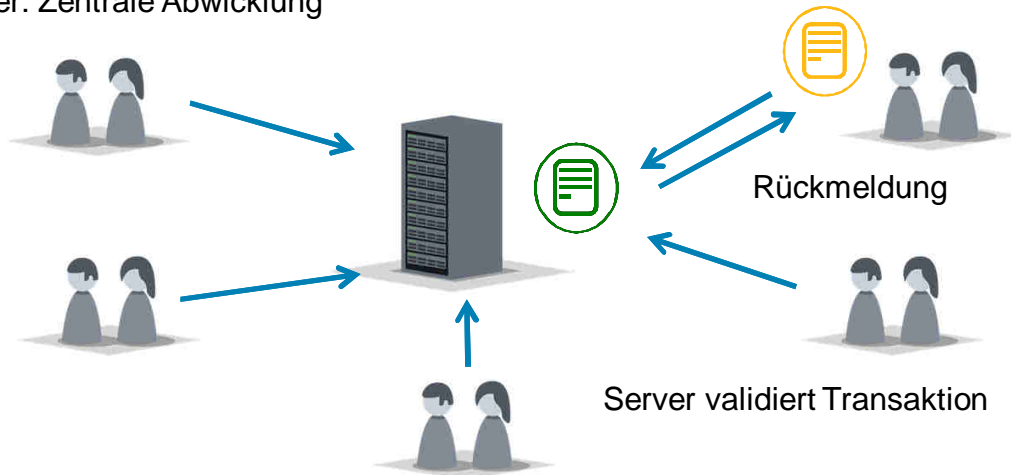
Ein Block enthält z.B. Transaktionen der letzten 15 min

Neue Blöcke müssen durch eine Validierungsrechnung von 51% der Teilnehmer akzeptiert werden

Vergütung der Teilnahme am Validierungsprozess („Mining“)

## Grundlagen: Blockchain-Technologie

Bisher: Zentrale Abwicklung



## Grundlagen: Blockchain-Technologie

Blockchain: Dezentrale Abwicklung



## Grundlagen: Blockchain-Größe

Nutzerzahl einer Blockchain wächst

Mehr Transaktionen in jedem neuen Block

Validierungsaufwand steigt an

Besser Geschützt gegenüber Angriffen, aber  
Eigenverbrauch der Blockchain nimmt zu!

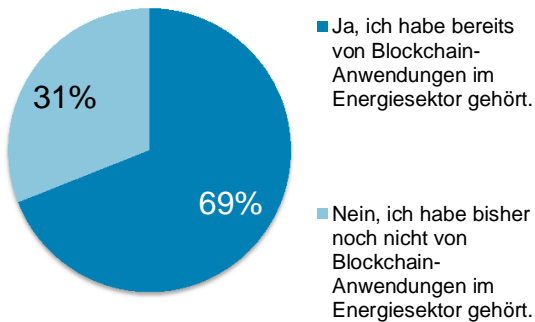
## Agenda

- Einleitung und Motivation
- Grundlagen: Blockchain-Technologie
- Anwendung und Adaption im Energiesektor
- Möglichkeiten und Herausforderungen
- Zusammenfassung

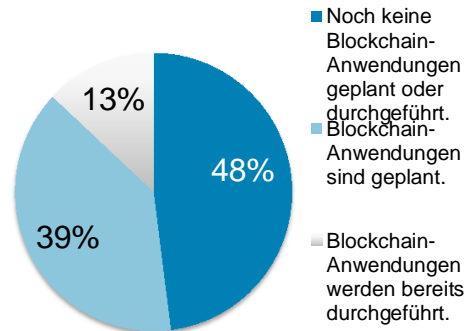
## Adaption im Energiesektor

dena und ESMT Umfrage unter Führungskräften der Energiewirtschaft:  
(Juli / August 2016)

### Bekanntheitsgrad

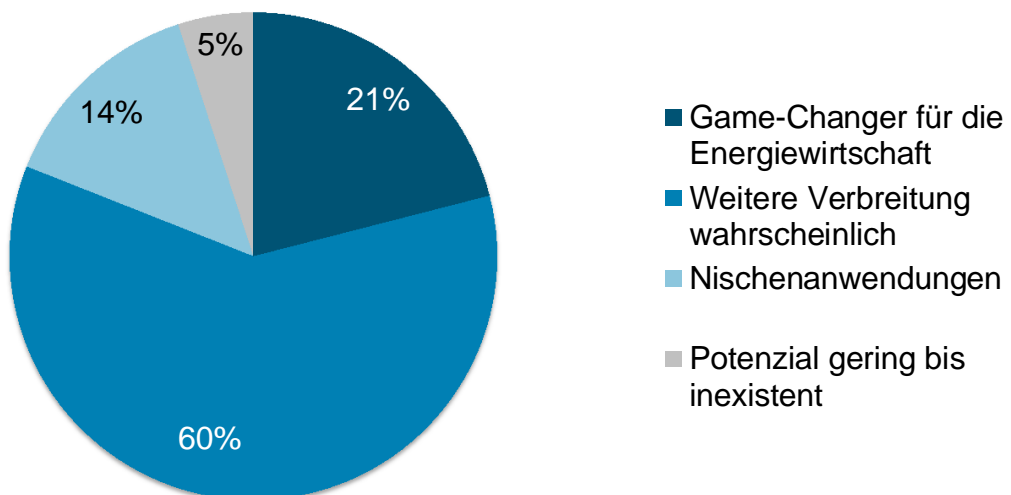


### Aktivitäten



## Adaption im Energiesektor

### Potenzialabschätzung



## Anwendung im Energiesektor



Lokales Microgrid in Brooklyn

Verknüpft Erzeuger und Verbraucher innerhalb des Stadtteils

Nutzt die „Ethereum“-Blockchain, um Verkäufe unter den Anwendern abzuwickeln

## Anwendung im Energiesektor

 GrünStromJeton

„Ethereum“-Blockchain für die Energiewirtschaft

Nachweis des Verbrauchs von lokalem Ökostrom

Zukünftig: Abwicklung der Zahlung denkbar



## Funktionsweise: GrünStromJetons

Über ein SmartMeter wird stündlich der Strombezug überwacht



Auf Basis der Postleitzahl wird die aktuelle lokale Ökostromgeneration ermittelt



Basierend auf dem lokalen Strommix erhält der Verbraucher Jetons gutgeschrieben



Die Jetons werden in der Blockchain gespeichert



Quelle Grafiken: elenia

## Anwendung im Energiesektor

SHARE & CHARGE



Durch den Innogy Innovation-Hub  
gefördertes Start-Up

Ermöglicht das Teilen von  
privaten E-Auto Ladestationen

Die Zahlungsabwicklung erfolgt  
mithilfe einer privaten Ethereum-  
Blockchain

Quelle Grafiken: shareandcharge.com, news.innogy.com

# Agenda

- Einleitung und Motivation
- Grundlagen: Blockchain-Technologie
- Anwendung und Adaption im Energiesektor
- Möglichkeiten und Herausforderungen
- Zusammenfassung

## Möglichkeiten und Herausforderungen

Positive Aspekte:



- Unterstützung von Microgrids
- Lokaler Verbrauch führt zu weniger Transmissionsverluste
- Effizienzsteigerung bei der Zahlungsabwicklung
- Besser gegen Manipulationen geschützt als zentrale Server
- Verschiedene Blockchain-Codes sind Open-Source verfügbar

## Möglichkeiten und Herausforderungen

Negative Aspekte:



- Energieverbrauch des Mining-Prozesses
- Mining vor allem in Ländern, in denen günstiger (Kohle-)Strom verfügbar ist, z.B. China
- Kleinere Blockchains sind verwundbar gegenüber 51%-Angriffen
- Gewährleistung der IT-Sicherheit für kleinere Projekte zu aufwendig?

## Agenda

- Einleitung und Motivation
- Grundlagen: Blockchain-Technologie
- Anwendung und Adaption im Energiesektor
- Möglichkeiten und Herausforderungen
- Zusammenfassung

## Zusammenfassung

Anwendung von Blockchains im Energiesektor grundlegend verschieden von der im Finanzsektor (physik. Komponente)

Blockchains könnten die Transaktionsabwicklung in Lokalen Microgrids kostengünstig darstellen

Durch geeignete Regulierung muss die Funktionsfähigkeit der Verteilnetze sichergestellt werden

IT-Sicherheit wird eine entscheidende Rolle spielen

Der Eigenenergiebedarf für die Validierung ist bei größeren Blockchains nicht mehr zu vernachlässigen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gibt es Fragen?

# Clearingstelle-EEG

Clearingstelle-EEG, Markus Untiedt,  
Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen – **elenia**, Braunschweig, m.untiedt@tu-bs.de

## Kurzfassung

Der Seminarvortrag „Clearingstelle-EEG“ befasst sich mit der Organisation und den Aufgabenfeldern der im Jahr 2007 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gegründeten Clearingstelle-EEG. Dazu wird im ersten Schritt erläutert, was die Clearingstelle-EEG ist, wie sie strukturiert ist und woraus ihr Nutzen besteht. Im zweiten Schritt werden die von der Institution angebotenen Verfahren, vom Einigungsverfahren bis zum Stellungnahmeverfahren, beschrieben. Darüber hinaus wird auf Fragestellungen eingegangen, welche in den vergangenen Jahren bearbeitet wurden. Dabei wird ein Beispiel näher erläutert.

## Abstract

The seminar lecture “Clearingstelle-EEG” deals with the organization and the scope of duties from the Clearingstelle-EEG founded in year 2007 by the Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). To introduce the institution the paper outlines the structure, the main duties and the benefits of it. In addition to that the procedures offered by the institution are described, starting by the arrangement procedure up to the statement procedure. Furthermore the paper will present previous cases the Clearingstelle worked on during the past years and will finally discuss one specific case.

## 1 Einleitung

Wie bei vielen anderen Gesetzen auch, lässt die Interpretation der einzelnen Paragraphen des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) einen gewissen Spielraum zu. Sie sind nicht immer eindeutig. So kommt es hin und wieder zu einer unterschiedlichen Auslegung des Gesetzes von Seiten des Anlagenbesitzers und des Netzbetreibers. Sofern beide Parteien nicht zu einer gemeinsamen Lösung finden, bleibt nur der Weg über das Gericht. Es besteht allerdings noch eine weitere Option, denn die 2007 durch das BMU gegründete Clearingstelle-EEG hilft, auf beidseitigem Wunsch, Streitigkeiten und Anwendungsfragen bezüglich des EEG zu klären, ohne den Weg über das Gericht gehen zu müssen.

Zudem ist die neutrale und unabhängige Einrichtung ein Ansprechpartner für mit dem EEG befasste öffentliche Stellen wie Bundes- und Landesministerien sowie Interessenverbände und unterstützt auf Anfrage auch Zivilgerichte bei Anwendungsfragen. [1]

## 2 Theoretische Grundlagen

**Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG):** Im Zuge der von der Bundesregierung beschlossenen Energiewende, der Übergang von der Energieproduktion mittels fossiler Energieträger und Kernenergie hin zur Energieproduktion mittels regenerativer Energien, spielt das EEG eine zentrale Rolle. Es trat im Jahr 2000 erstmals in Kraft, bildet seitdem ein wichtiges Steuerungsinstrument für den Ausbau der erneuerbaren Energien und wurde seither immer wieder an die aktuellen Entwicklungen angepasst (EEG 2004, EEG 2009, EEG 2012, PV-Novelle, EEG 2014, EEG 2017).

Der Zweck des Gesetzes ist es, „insbesondere im Interesse des Klima- und Umweltschutzes eine

nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen, die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung auch durch die Einbeziehung langfristiger externer Effekte zu verringern, fossile Energieressourcen zu schonen und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien zu fördern.“ Das entsprechende Ziel (EEG 2014), um diesen Zweck zu erreichen, besteht darin, dass bis 2050 mindestens 80 % des Bruttostromverbrauches von erneuerbaren Energien gedeckt werden. [2]

Neben den allgemeinen Bestimmungen (z.B. Zweck und Ziel, Geltungsbereich) beinhaltet das Gesetz unter anderem Vorgaben zu:

- Anschluss, Abnahme, Übertragung und Verteilung
- Finanzielle Förderung
- Rechtsschutz und behördliches Verfahren

Unter dem Punkt Rechtsschutz und behördliches Verfahren wird beschrieben, dass speziell zu diesem Gesetz eine Clearingstelle eingerichtet wird, welche für Fragen und Streitigkeiten bezüglich des EEG zuständig ist. [2]

## 3 Hauptteil

Die Gründung der Clearingstelle EEG und ihre Verankerung in dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz ist eine wichtige Maßnahme zur stetigen Weiterentwicklung und zur Bewahrung der Aktualität eines Gesetzes, welches ein zentrales Steuerungselement eines relativ neuen und sich rasch verändernden Segmentes darstellt.

### 3.1 Allgemeines zur Clearingstelle EEG

Die Mitarbeiter beschäftigen sich mit rechtlichen, technischen und energiewirtschaftlichen Fragestellungen zum EEG. Aus diesem Grund besteht das Team aus Juristen, Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaftlern. Zudem wird mit akkreditierten Vereinen, Verbänden, Interessengruppen und registrierte öffentliche Stellen zusammengearbeitet. Dabei bleibt die Clearingstelle immer neutral und unabhängig und arbeitet dienstleistungs- und serviceorientiert.

Jeder, der aus dem EEG berechtigt oder verpflichtet ist, kann sich mit seinen Problemstellungen an die Mitarbeiter wenden. Dies sind: Netzbetreiber, Anlagenbetreiber, Direktvermarkter, öffentliche Stellen, Interessenverbände und ordentliche Gerichte. Seit 2017 betrifft dies auch Fragen zum Messstellenbetriebsgesetz und somit auch Messstellenbetreiber.

Die Fragen, die geklärt werden, sind zum einen offene Fragen aus dem EEG sowie Verletzungen des Rechts aus dem EEG und zum anderen Auslegungs- und Anwendungsfragen zum EEG. Letzteres umfasst auch zusammenhängende Fragen, die sich aus anderen Gesetzen ergeben.

Die Hauptziele, die bei der Beantwortung dieser Fragen verfolgt werden, sind, Streitigkeiten zwischen zwei Parteien beizulegen und eine außergerichtliche Klärung eines Konfliktes zu erreichen, da Gerichtsverfahren meist teurer und langwieriger sind.

### 3.2 Vorgehensweise

Die Clearingstelle erhält eine Anfrage (z.B. von einem Netzbetreiber) oder ein Ersuch von einem Gericht. Für den Fall, dass die Institution zuständig ist, arbeiten sich die zugewiesenen Mitarbeiter in die Problematik ein und versuchen, im ersten Schritt einen Konflikt durch informierende Klärung (siehe Kap.3.2.1 & 3.2.4) zu vermeiden. Gelingt dies nicht, kommt es zur Verfahrensvorbereitung. Hierbei wird ein für den vorliegenden Fall passendes Verfahren festgelegt und mit den beteiligten Parteien abgestimmt. Folgende Verfahrensarten sind möglich (siehe **Bild 1**):

- Einigungsverfahren
- Votumsverfahren
- Schiedsrichterliches Verfahren
- Stellungnahmeverfahren
- Hinweisverfahren
- Empfehlungsverfahren

In den folgenden Unterkapiteln sollen diese Verfahren nun kurz erläutert werden.

#### 3.2.1 Informierende Klärung im Einzelfall

Bei der informierenden Klärung im Einzelfall geht es um die Beantwortung einer Frage durch ein vorliegendes Arbeitsergebnis, durch die Antwort auf eine häufig gestellte Frage (FAQ) oder durch andere Informationen. Sie stellt die einfachste Methode zur Klärung dar.



**Bild 1** Vorgehensweise der Clearingstelle EEG [3]

#### 3.2.2 Verfahrensförmliche Klärung im Einzelfall

Sobald sich die Frage nicht mehr durch die vorliegenden Ergebnisse oder das FAQ beantworten lassen, müssen einzelfallbezogene Verfahren durchgeführt werden. Dazu bedarf es die Zustimmung beider Parteien.

Beim **Einigungsverfahren** stellt die Clearingstelle die allparteiliche dritte Person (Mediatorin) und versucht durch Moderation des Gesprächs die Konfliktparteien zu einer gemeinsamen Lösung zu bewegen. Da die Clearingstelle ohne inhaltliche Begutachtung der Sach- und Rechtslage am Gespräch teilnimmt, wird die Lösung von den Konfliktparteien selber erarbeitet. Kommt es zu einer Einigung, wird das Ergebnis rechtlich verbindlich und ein Gerichtsverfahren wird vermieden.

Im **Votumsverfahren** wird die Clearingstelle wie ein Fachgericht tätig. Es kann genutzt werden, um einen unabhängigen Spruch anzustreben. Das Votum ist dabei rechtlich nicht bindend, es sei denn, die Parteien einigen sich auf einen Vergleich. Hierbei nähern sich die Seiten an, indem beide Kompromisse eingehen und somit eine win-win Situation erzielen. Kommt es zu keinem Vergleich, so wird die Gesetzmäßigkeit nur über einen Gerichtsbeschluss erzielt.

Beim **schiedsrichterlichen Verfahren** tritt die Clearingstelle als Schiedsgericht auf. „Schiedsgerichte sind Privatgerichte, die aus einem oder mehreren Schiedsrichtern bestehen und denen Kraft selbstständiger Vereinbarung (Schiedsabrede) oder in Form einer Vertragsklausel (Schiedsklausel) die Entscheidung anstelle der staatlichen Gerichte übertragen worden ist [4].“ Das Ergebnis, das unter rechtlicher, sachlicher und/oder technischer Begutachtung sowie durch mögliche

Beweisaufnahmen zustande kommt, ist rechtlich bindend. Ein Gerichtsverfahren wird ersetzt.

Im **Stellungnahmeverfahren** gibt die Clearingstelle auf Ersuch eines ordentlichen Gerichts (d.h. von Zivilgerichten wie einem Amts-, Land- oder Oberlandesgericht) eine Stellungnahme zu einer Anwendungsfrage des EEG ab. Das Verfahren wird schriftlich durchgeführt und begrenzt sich auf die inhaltlichen Aspekte eines Einzelfalls. Durch die rechtlich nicht bindende Stellungnahme wird das Gerichtsverfahren ergänzt.

### 3.2.3 Verfahrensförmliche Klärung über den Einzelfall hinaus

Bestehen viele Anfragen zu einem strittigen Thema und/oder besteht ein öffentliches Interesse an der Klärung der Anwendungsfrage, so wird entweder das Hinweisverfahren oder das Empfehlungsverfahren angewendet.

Verfahrensart	Hinweisverfahren	Empfehlungsverfahren
Funktion der Clearingstelle EEG	interdisziplinäres Expertengremium	
Charakteristika	Klärung von allgemeinen Anwendungs- und Auslegungsfragen des EEG (i. d. R. energieträgerspezifisch)	Klärung von allgemeinen Anwendungs- und Auslegungsfragen des EEG (i. d. R. energieträgerübergreifend)
Rechtsverbindlichkeit	nein	
Ihr Nutzen	Beide Verfahren tragen in hohem Maße dazu bei, Gerichtsverfahren überflüssig zu machen.	
Kosten	entgeltfrei	

**Bild 2** Hinweis- und Empfehlungsverfahren [5]

Der Unterschied beider Verfahren besteht darin, dass das Hinweisverfahren energieträgerspezifisch und das Empfehlungsverfahren energieträgerübergreifend ist (siehe **Bild 2**). Beide werden schriftlich durchgeführt. Es gibt keine Parteien und die akkreditierten Vereine, Verbände und Interessengruppen sowie registrierte öffentliche Stellen werden durch ihre Stellungnahmen in die Entscheidungsfindung mit einbezogen. Die Ergebnisse können in den Verfahren zur Klärung von Einzelfällen angewendet werden.

### 3.2.4 Konfliktvermeidung durch Information

Damit möglichst wenige Konflikte aufkommen, fördert die Clearingstelle EEG auf verschiedene Art und Weise den Informationsaustausch in Bezug auf das EEG. Auf der **Internetpräsenz** findet man unter anderem Verfahrensergebnisse sowie aktuelle Arbeitsausgaben des EEG. Mit Hilfe von **Rundbriefen**, die abonniert werden können, **öffentlichen Vorträgen** und **Beiträgen in Zeitschriften** ist es möglich, auf dem aktuellsten Stand zu bleiben. Eine weitere Möglichkeit zum Informations- und Erfahrungsaustausch stellen die **Fachgespräche** dar, die mehrmals im Jahr stattfinden und zu Diskussionen anregen.

## 4 Fragestellungen

Ob und welche der Verfahrensergebnisse der Öffentlichkeit bereitgestellt werden, hängt zum einen vom Verfahren und zum anderen von der Zustimmung der Beteiligten ab. Einzelfallbezogene Verfahrensergebnisse werden in jedem Fall anonymisiert veröffentlicht, wie **Bild 3** zu entnehmen ist.

Verfahrensart	Veröffentlichung
Einigung	nie (aus Vertraulichkeitsgründen)
Schiedssprüche	nur in anonymisierter Form, wenn Beteiligte zustimmen
Voten	in anonymisierter Form
Stellungnahmen	bei Eignung in anonymisierter Form
Hinweise	uneingeschränkt
Empfehlungen	uneingeschränkt

**Bild 3** Veröffentlichung von Verfahrensergebnissen [6]

Im Folgenden werden drei ausgewählte Fragestellungen in den Raum gestellt, um sich ein Bild von den Anfragen machen zu können, die die Clearingstelle EEG erhält und bearbeitet:

- Besteht ein Anspruch auf die entgangene Einspeisevergütung bei Abschaltung der Anlage während eines Netzausbaus? (Votum, vgl.[7])
- Kann die frühere Nutzung einer Fläche zur Intensivtierhaltung gleichzeitig eine wirtschaftliche Nutzung im rechtlichen Sinn darstellen? (Stellungnahme, vgl.[8])
- Was gilt für PV-Anlagen, die an einen anderen Standort versetzt werden, hinsichtlich des Inbetriebnahmezeitpunktes, des Vergütungsanspruchs und des Vergütungszeitraums? (Hinweis, vgl.[9])

Dabei kann es sich sowohl um energieträgerspezifische als auch um energieträgerübergreifende Probleme handeln.

## 5 Beispielfall

Als Beispielfall wurde der „Schiedsspruch 2016/2 - Leistungsseitige und vergütungsseitige Zusammenfassung zweier Hofanlagen verschiedener Spannungsebenen“ ausgewählt [10].

Auf einem Grundstück, bestehend aus mehreren Flurstücken, befindet sich eine Hofanlage. Auf der Werkstatt der Hofanlage befindet sich die PV-Anlage der Klägerin, die am 27. Juni 2012 in Betrieb genommen wurde. Auf der Lagerhalle der Hofanlage befindet sich eine weitere PV-Anlage einer „dritten“ Person, die am 8. August 2011 in Betrieb genommen wurde.

In dem schiedsrichterlichen Verfahren musste nun geklärt werden, ob die eine Anlage mit der anderen „zum Zweck der Ermittlung der installierten Leistung im Sinne von § 6 Abs. 3 i. V. m. § 66 Abs. 1 Nr. 1 EEG 2012 und der Ermittlung der Vergütung für den jeweils zuletzt in Betrieb gesetzten Generator gemäß § 19 Abs. 1 EEG 2012 als eine Anlage gilt. Ferner streiten die Parteien, ob die Schiedsbeklagte die zwischen Juli 2012 und Dezember

2013 ausgezahlte Vergütung für den aus der Fotovoltaikinstallation der Schiedsklägerin in ihr Netz eingespeisten Strom zurückverlangen kann [11].“

Nach der Auswertung der Stellungnahmen von Klägerin und Beklagten sowie nach Anwendung der entsprechenden Vorschriften auf die zu klärenden Fragen ist das Schiedsgericht zu folgendem Ergebnis gelangt:

Zum Zweck der Ermittlung der installierten Leistung gelten die Anlagen *nicht als eine Anlage*, da sie unterschiedlichen Regelungsgremien des EEG unterfallen (Anlage des „Dritten“: Übergangsbestimmung des EEG 2012. Anlage der Klägerin: unmittelbar das EEG 2012). Damit ist die Klägerin im Recht und die Beklagte kann aus diesem Grund keine ausgezahlte Vergütung zurückverlangen.

Zum Zweck der Ermittlung der Vergütung gelten die Anlagen allerdings als *eine Anlage*, da es sich hier, bei wirtschaftlicher Betrachtung, um dasselbe Grundstück handelt, auf dem die Anlagen stehen. Die Rückforderung der Vergütung in Bezug auf dieses Ergebnis, war nicht Bestandteil der Verhandlung. (vgl. [12])

## 6 Zusammenfassung

Die Clearingstelle EEG ist eine Schlichtungsstelle, an die sich alle wenden können, die aus dem EEG berechtigt oder verpflichtet sind. Mit Hilfe ihrer interdisziplinären Fachkompetenz vermeidet, ersetzt oder ergänzt die Clearingstelle Gerichtsverfahren. Ihr Hauptvorteil besteht darin, dass sie oftmals effizienter und kostengünstiger arbeitet als die Gerichte, woraus eine hohe Nachfrage resultiert.

Eine weitere wichtige Aufgabe besteht darin, Informationen bezüglich des EEG bereitzustellen, um das Aufkommen von Konflikten schon im Voraus zu verhindern.

Mit Beginn des Jahres 2017 ist die Clearingstelle nun auch für das Messstellenbetriebsgesetz zuständig, solange es sich um Messungen an EEG Anlagen handelt.

Aufgrund der EEG Novellierungen und des anhaltenden Zubaus an EEG Anlagen wird die Beanspruchung der Leistungen der Clearingstelle EEG in Zukunft weiter wachsen.

## 7 Literatur

- [1] Clearingstelle-EEG, Unser Auftrag, <https://clearingstelle-eeg.de/auftrag> [06.12.2016].
- [2] Clearingstelle-EEG, Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien, Arbeitsausgabe der Clearingstelle EEG, 29.08.2016, <https://www.clearingstelle-eeg.de/files/EEG-160902-160829.pdf> [06.12.2016].
- [3] Clearingstelle EEG, Clearingstelle nach Erneuerbaren-Energien-Gesetz, [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Brosch%C3%BCre\\_2017.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Brosch%C3%BCre_2017.pdf), S.16 [13.01.2017].
- [4] <http://www.bpb.de/nachschlagen/lexika/recht-a-z/22832/schiedsgerichtsbarkeit> [08.01.2017].

- [5] Clearingstelle EEG, Clearingstelle nach Erneuerbaren-Energien-Gesetz, [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Brosch%C3%BCre\\_2017.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Brosch%C3%BCre_2017.pdf), S.14 [13.01.2017].
- [6] <https://www.clearingstelle-eeg.de/ergebnisse> [13.01.2017].
- [7] Brunner, Lovens, Richter, Votum 2015/48, 15.02.2016, [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Votum\\_2015\\_48.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Votum_2015_48.pdf) [13.01.2017].
- [8] Lovens, Pippke, Mutlak, Stellungnahme 13/2013/1/Stn, 14.03.2013, [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Stellungnv\\_2013-1.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Stellungnv_2013-1.pdf) [13.01.2017].
- [9] Lovens, Pippke, Richter, Hinweis 2012/21, 31.01.2013, [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/2012\\_21\\_Hinweis.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/2012_21_Hinweis.pdf) [13.01.2017].
- [10] Dibbern, Lovens, Pippke, Schiedsspruch, 10.05.2016, <https://www.clearingstelle-eeg.de/schiedsrv/2016/2> [23.01.2017].
- [11] Dibbern, Lovens, Pippke, Schiedsspruch, 10.05.2016, [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Schiedsspruch\\_2016\\_2\\_0.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Schiedsspruch_2016_2_0.pdf), S. 3 [23.01.2017].
- [12] Dibbern, Lovens, Pippke, Schiedsspruch, 10.05.2016, [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Schiedsspruch\\_2016\\_2\\_0.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Schiedsspruch_2016_2_0.pdf), S. 1f [23.01.2017].





Quelle: [1]

## Clearingstelle EEG

Markus Untiedt, Seminarvortrag, 30.01.2017

### Agenda

- Motivation
- Allgemeines zur Clearingstelle EEG
- Vorgehensweise
- Fragestellungen
- Beispielfall
- Zusammenfassung

# Agenda

- Motivation
- Allgemeines zur Clearingstelle EEG
- Vorgehensweise
- Fragestellungen
- Beispielfall
- Zusammenfassung

## Motivation

- Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) spielt eine zentrale Rolle
- Paragraphen des EEG lassen Spielraum zu
- Es kann zur unterschiedlichen Auslegung durch Netzbetreiber und Anlagenbesitzer kommen
- Parteien können sich nicht einigen → Gerichtsweg
- Vermeidung des Gerichtsweges durch Aufsuchen der Clearingstelle EEG
- Außergerichtliche Klärung von Streitigkeiten und Anwendungsfragen

# Agenda

- Motivation
- Allgemeines zur Clearingstelle EEG
- Vorgehensweise
- Fragestellungen
- Beispielfall
- Zusammenfassung

## Allgemeines zur Clearingstelle EEG

- Gegründet vom BMU im Jahr 2007, wird mittlerweile durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie betrieben
- Bearbeitet werden rechtliche, technische und energiewirtschaftliche Fragestellungen
- Das Team besteht aus Juristen, Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaftlern
- Zusammenarbeit mit akkreditierten Vereinen, Verbänden, Interessengruppen und registrierten öffentlichen Stellen
- Dienstleistungs- und serviceorientiert

### Ziele

- Anwendungsfragen bezüglich des EEG beantworten
- Streitigkeiten beilegen
- Außergerichtliche Klärung

# Allgemeines zur Clearingstelle EEG

## Arbeitet für...:

- Anlagenbetreiber
- Netzbetreiber
- Direktvermarkter und ihre Verbände
- Öffentliche Stellen
- Ordentliche Gerichte
- Messstellenbetreiber (2017)

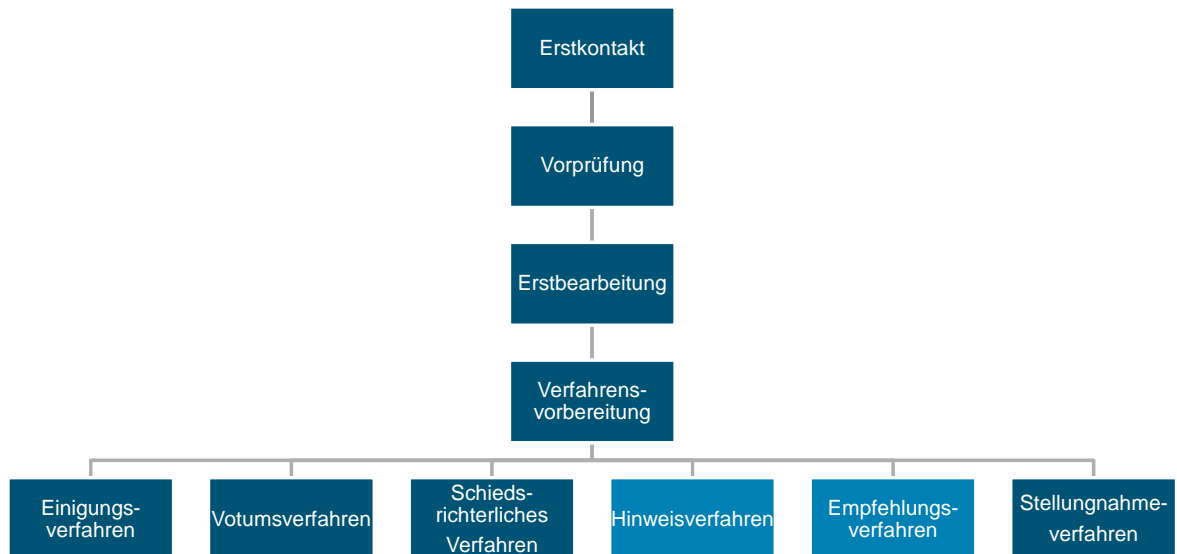
## Klärt...:

- Offene Fragen aus dem EEG
- Verletzung des Rechts aus dem EEG
- Auslegungs- und Anwendungsfragen zum EEG

# Agenda

- Motivation
- Allgemeines zur Clearingstelle EEG
- Vorgehensweise
- Fragestellungen
- Beispielfall
- Zusammenfassung

# Vorgehensweise



Quelle: [2]

# Vorgehensweise

## 1. Informierende Klärung im Einzelfall

Beantwortung einer Frage durch...

- Vorliegendes Arbeitsergebnis
- FAQ
- Andere Informationen



Quelle: [3]

## Vorgehensweise

### 2. Verfahrensförmliche Klärung im Einzelfall

Frage lässt sich nicht durch verfügbare Informationen beantworten.

**Bedingung:** Alle Beteiligten müssen mit Verfahren einverstanden sein.

- |                                     |   |                             |
|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| I. Einigungsverfahren               | } | Kosten gemäß Entgeltordnung |
| II. Votumsverfahren                 |   |                             |
| III. Schiedsrichterliches Verfahren |   |                             |
| IV. Stellungnahmeverfahren          | } | Entgeltfrei                 |

## Vorgehensweise - Verfahrensförmliche Klärung im Einzelfall

### I. Einigungsverfahren

- Clearingstelle ist Mediatorin (allparteiliche dritte Person)
- Lösung des Konfliktes wird unter Moderation der Clearingstelle gesucht
- Ohne inhaltliche Begutachtung der Sach-/ Rechtslage durch die Clearingstelle
- Konfliktparteien erarbeiten eigene Lösung
- Rechtlich verbindlich wenn Einigung erzielt wird
- Gerichtsverfahren wird vermieden



Quelle: [4]

## Vorgehensweise - Verfahrensförmliche Klärung im Einzelfall

II. Votumsverfahren	III. Schiedsrichterliches Verfahren
Auf das EEG spezialisierte Gericht	Schiedsgericht
Begutachtung eines Einzelfalls rechtlich, sachlich und/oder technisch	
Schriftliche Durchführung oder mit mündlicher Erörterung	
	Beweisaufnahme möglich
Rechtsverbindlich, wenn z.B. ein Vergleich erzielt wird	Rechtlich bindend
Gerichtsverfahren wird vermieden, wenn Vergleich erzielt wird	Gerichtsverfahren wird ersetzt

Quelle: [5]

## Vorgehensweise - Verfahrensförmliche Klärung im Einzelfall

### IV. Stellungnahmeverfahren

- Clearingstelle gibt auf Ersuch eines ordentlichen Gerichts eine Stellungnahme zu einer Anwendungsfrage des EEG ab
- Nur das Gericht kann Stellungnahmeverfahren beantragen
- Inhaltliche Begutachtung eines Einzelfalls
- Wird schriftlich durchgeführt
- Rechtlich nicht bindend
- Gerichtsverfahren wird ergänzt

## Vorgehensweise

### 3. Verfahrensförmliche Klärung über den Einzelfall hinaus

Es bestehen viele Anfragen zu einem strittigen Thema und/oder es besteht ein öffentliches Interesse an der Klärung der Anwendungsfrage.

#### I. Empfehlungsverfahren

#### II. Hinweisverfahren

Verfahrensart	Hinweisverfahren	Empfehlungsverfahren
Funktion der Clearingstelle EEG	interdisziplinäres Expertengremium	
Charakteristika	Klärung von allgemeinen Anwendungs- und Auslegungsfragen des EEG (i. d. R. energieträgerspezifisch)	Klärung von allgemeinen Anwendungs- und Auslegungsfragen des EEG (i. d. R. energieträgerübergreifend)
Rechtsverbindlichkeit	nein	
Ihr Nutzen	Beide Verfahren tragen in hohem Maße dazu bei, Gerichtsverfahren überflüssig zu machen.	
Kosten	entgeltfrei	

Quelle: [6]

## Vorgehensweise

### 4. Konfliktvermeidung durch Information

- Internetpräsenz
- Rundbriefe
- Fachgespräche
- Fachlicher Austausch
- Öffentliche Vorträge und Beiträge in Zeitschriften
- Bibliothek



Quelle: [7]



# Agenda

- Motivation
- Allgemeines zur Clearingstelle EEG
- Vorgehensweise
- Fragestellungen
- Beispielfall
- Zusammenfassung

## Fragestellungen

- Fragestellungen und Verfahrensergebnisse aus der Internetpräsenz
- Veröffentlichung der Ergebnisse abhängig von der Verfahrensart

Verfahrensart	Veröffentlichung
Einigung	nie (aus Vertraulichkeitsgründen)
Schiedssprüche	nur in anonymisierter Form, wenn Beteiligte zustimmen
Voten	in anonymisierter Form
Stellungnahmen	bei Eignung in anonymisierter Form
Hinweise	uneingeschränkt
Empfehlungen	uneingeschränkt

Quelle: [8]

## Fragestellungen

Zu welchem Zeitpunkt sind die Module der PV-Anlage in Betrieb genommen worden?  
(Schiedsspruch, vgl.[9])

Besteht ein Anspruch auf die entgangene Einspeisevergütung bei Abschaltung der Anlage während eines Netzausbaus?  
(Votum, vgl.[10])

Was gilt für PV-Anlagen, die an einen anderen Standort versetzt werden, hinsichtlich des Inbetriebnahmezeitpunktes, des Vergütungsanspruchs und des Vergütungszeitraums?  
(Hinweis, vgl.[11])

## Agenda

- Motivation
- Allgemeines zur Clearingstelle EEG
- Vorgehensweise
- Fragestellungen
- Beispielfall
- Zusammenfassung

# Beispielfall – Schiedsrichterliches Verfahren

CLEARINGSTELLE EEG

2016/2 Berlin, den 10. Mai 2016

## Schiedsspruch

Anonymisierte Fassung zur Veröffentlichung – in eckige Klammern gesetzte Informationen sind zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen verfremdet.

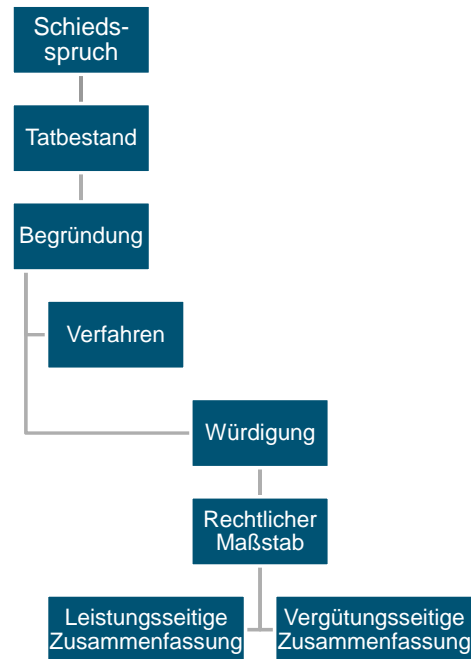
In dem schiedsrichterlichen Verfahren

1. [...]
2. [...]

- Schiedsklägerin -  
- Schiedsbeklagte -

erlässt die Clearingstelle EEG als Schiedsgericht durch den Vorsitzenden Dr. Lovens sowie die Beisitzer Dübbern und Dr. Pippke auf der Grundlage der vorgelegten Unterlagen im schriftlichen Verfahren am 10. Mai 2016 einstimmig folgenden Schiedsspruch:

- a) Die auf der Flur [...] der Gemarkung [...] belegene Fotovoltaikinstallation der Schiedsklägerin auf den Flurstücken [...] 3] und [...] 4] mit einer installierten Leistung von 25,2 kW<sub>p</sub> und Inbetriebnahme am 27. Juni 2012 galt nicht gemeinsam mit der Fotovoltaikinstallation eines Dritten auf den Flurstücken [...] 1] und [...] 2] mit einer installierten Leistung von 339,3 kW<sub>p</sub> und Inbetriebnahme am 8. August 2011 zum Zweck der Ermittlung der installierten Leistung gemäß § 6 Abs. 3 i. V. m. § 66 Abs. 1 Nr. 1 EEG 2012 als eine Anlage.
- b) Die Schiedsklägerin hatte daher für ihre Fotovoltaikinstallation nicht die technischen Vorgaben nach § 6 Abs. 1 EEG 2012 zu beachten. Die



Quelle: [12]

26.01.2017 | Markus Untiedt | Clearingstelle EEG | Seite 21



## Beispielfall - Tatbestand

### I Tatbestand

Zwischen den Parteien ist streitig, ob die Fotovoltaikinstallation der Schiedsklägerin auf den Flurstücken [...] 3] und [...] 4] der Flur [...] der Gemarkung [...] mit einer weiteren, auf den benachbarten Flurstücken [...] 1] und [...] 2] befindlichen Fotovoltaikinstallation eines Dritten zum Zweck der Ermittlung der installierten Leistung im Sinne von § 6 Abs. 3 i. V. m. § 66 Abs. 1 Nr. 1 EEG 2012 und der Ermittlung der Vergütung für den jeweils zuletzt in Betrieb gesetzten Generator gemäß § 19 Abs. 1 EEG 2012 als eine Anlage gilt. Ferner streiten die Parteien, ob die Schiedsbeklagte die zwischen Juli 2012 und Dezember 2013 ausgezahlte Vergütung für den aus der Fotovoltaikinstallation der Schiedsklägerin in ihr Netz eingespeisten Strom zurückverlangen kann.

Quelle: [13]



26.01.2017 | Markus Untiedt | Clearingstelle EEG | Seite 22



## Beispielfall - Fragen

Es ergeben sich folgende Fragen:

- a) Sind die PV-Installationen mit gemeinsamen Einrichtungen auszustatten, damit die Schiedsklägerin die Vergütung von der Schiedsbeklagten verlangen kann?

Zur Ermittlung der Installierten Leistung sind die beiden Anlagen nicht gemeinsam als eine Anlage anzusehen und müssen daher nicht mit gemeinsamen Einrichtungen ausgestattet werden.

- b) Wenn ja: Kann die Schiedsbeklagte die Rückzahlung der ausgezahlten Vergütung verlangen?

Kein Anspruch auf Rückzahlung.

- c) Ist die PV-Anlage der Klägerin zur Berechnung der Vergütung des darin erzeugten Stroms mit der Anlage auf dem benachbarten Flurstücken zusammenzufassen?

Ja, beide Anlagen sind zur Berechnung der Vergütungshöhe zusammenzufassen. Der Rückzahlungsanspruch bezüglich dieser Frage war nicht Bestandteil der Verhandlung.

## Agenda

- Motivation
- Allgemeines zur Clearingstelle EEG
- Vorgehensweise
- Fragestellungen
- Beispielfall
- Zusammenfassung

## Zusammenfassung

- Anlaufstelle für alle, die aus dem EEG berechtigt oder verpflichtet sind
  - Neutral und unabhängig
  - Interdisziplinäre Fachkompetenz
  - Vermeidet, ersetzt oder ergänzt Gerichtsverfahren
  - Arbeitet oftmals effizienter und kostengünstiger als Gerichte
- 
- Ab 2017 auch zuständig für das Messstellenbetriebsgesetz, wenn es um die Messung an EEG Anlagen geht
  - Aufgrund der EEG Novellierungen und des anhaltenden Zubaus an EEG-Anlagen wird die Arbeit nicht weniger

## Quellen

- [1] <https://clearingstelle-eeg.de/fachgespraeche/21> [11.01.2017]
- [2] [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Brosch%C3%BCre\\_2017.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Brosch%C3%BCre_2017.pdf), S.16 [13.01.2017]
- [3] [http://www.futurenetworkmarketing.com/images/network\\_marketing\\_faq.jpg](http://www.futurenetworkmarketing.com/images/network_marketing_faq.jpg) [08.01.2017]
- [4] <http://www.drcyakima.org/wp-content/uploads/2016/05/Mediation-image.jpg> [08.01.2017]
- [5] <https://www.clearingstelle-eeg.de/verfahrenserlaeuterungen> [08.01.2017]
- [6] [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Brosch%C3%BCre\\_2017.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Brosch%C3%BCre_2017.pdf), S.14 [13.01.2017]
- [7] <https://www.clearingstelle-eeg.de/fachgespraeche> [13.01.2017]
- [8] <https://www.clearingstelle-eeg.de/ergebnisse> [13.01.2017]
- [9] [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Schiedsspruch\\_2015\\_29\\_0.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Schiedsspruch_2015_29_0.pdf) [13.01.2017]
- [10] [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Votum\\_2015\\_48.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Votum_2015_48.pdf) [13.01.2017]
- [11] [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/2012\\_21\\_Hinweis.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/2012_21_Hinweis.pdf) [13.01.2017]
- [12] [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Schiedsspruch\\_2016\\_2\\_0.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Schiedsspruch_2016_2_0.pdf), S. 1 [13.01.2017]
- [13] [https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Schiedsspruch\\_2016\\_2\\_0.pdf](https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Schiedsspruch_2016_2_0.pdf), S. 3 [13.01.2017]

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Haben Sie Fragen?



26.01.2017 | Markus Untiedt | Clearingstelle EEG | Seite 27

