

Simulation der Energiewende im Gemeindegebiet von Ottobrunn anhand  
verschiedener Ausbaustufen von Photovoltaik oder anderer regenerativer  
Energieträger für ein repräsentatives Teilgebiet



Andreas Meier – Hochschule Rosenheim

Betreuer: Prof. Mike Zehner; Prof. Oliver Mayer



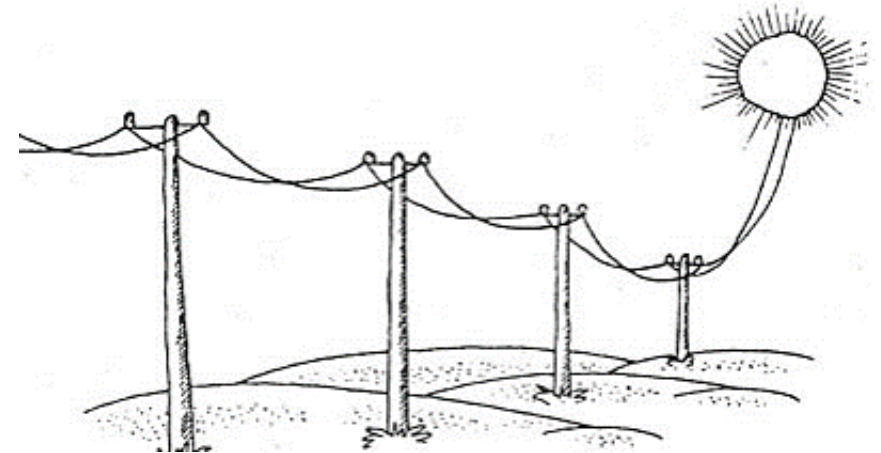
Andreas Meier



## Gliederung

### 1. Einleitung und Motivation

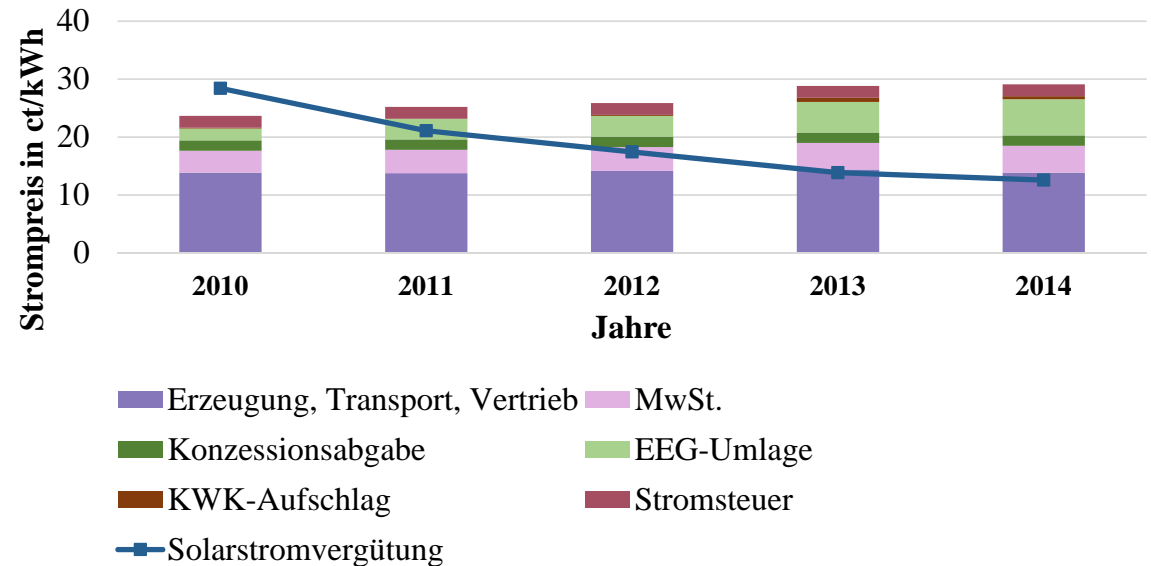
2. Verwendete Daten für die Simulation
3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation
4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn
5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn
  - 5.1 bei **aktuellem** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.2 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.3 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses
7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses
  - 7.1 bei **aktuell** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.2 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.3 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
8. Fazit und Ausblick



## 1. Einleitung und Motivation

- Aus dem Netz bezogener Strom für Haushalte in Deutschland deutlich teurer als Einspeisevergütung nach EEG
- „Netzparität“ wurde im Jahr 2011 erreicht
  - Einspeisung von PV-Strom bringt demzufolge keinen Gewinn gegenüber bezogenen Strom für Haushalte
  - Unabhängigkeit der Verbraucher durch Eigenerzeugung von Strom gewinnt an Attraktivität

Vergleich des Strompreises für **private Haushalte** mit der **Einspeisevergütung für Photovoltaik** laut EEG

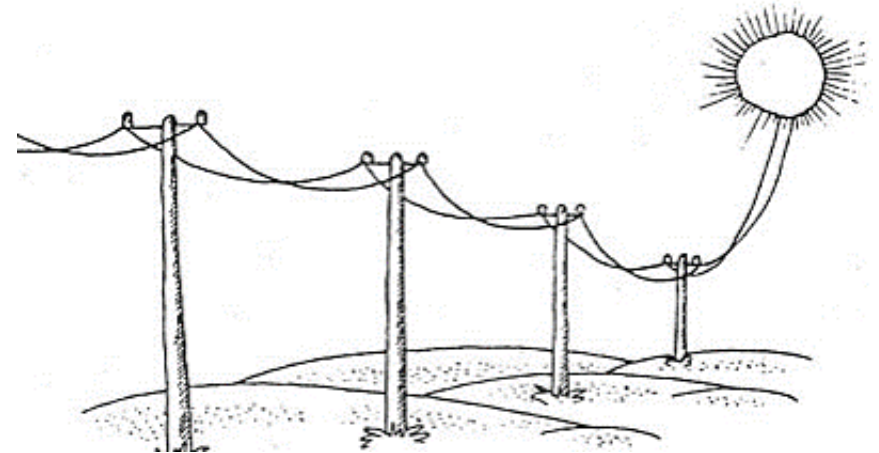


Quelle: Kempmann, Johannes (2016): Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken. Berlin. S.56; eigene Darstellung



## Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. **Verwendete Daten für die Simulation**
3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation
4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn
5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn
  - 5.1 bei **aktuellem** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.2 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.3 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses
7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses
  - 7.1 bei **aktuell** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.2 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.3 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
8. Fazit und Ausblick



## 2. Verwendete Daten für die Simulation

- Generierung eines synthetischen Wetterfiles mit der Software METEONORM 7 von Meteotest
  - Lufttemperatur
  - Windgeschwindigkeit
  - direkte Globalhorizontalstrahlung
  - diffuse Globalhorizontalstrahlung
- Simuliert wurde mithilfe der Software ExtendSim 7 von Imagine That Inc. (Stundenwerte)

- Kennwerte der Photovoltaik-Module

Wirkungsgrad	15,30%
Faktor für Diffuswirkungsgrad	0,5 [2.1]
Referenztemperatur	25 °C [2.2]
NOCT Temperatur	45 °C [2.3]
therm. Eta-Reduktion	0,5 %/K [2.4]
Reflexionskoeffizient der Umgebung	0,2 [2.5]

[2.1] Quelle: Solarwatt (2017): [<https://www.solarwatt.de/pro/media/downloads/pv-module>; 30.04.2017]

[2.2] Quelle: Quaschnig, Volker (2015): Regenerative Energiesysteme. Technologie - Berechnung – Simulation. Hanser. S.226

[2.3] Quelle: Quaschnig, Volker (2015): Regenerative Energiesysteme. Technologie - Berechnung – Simulation. Hanser. S.207

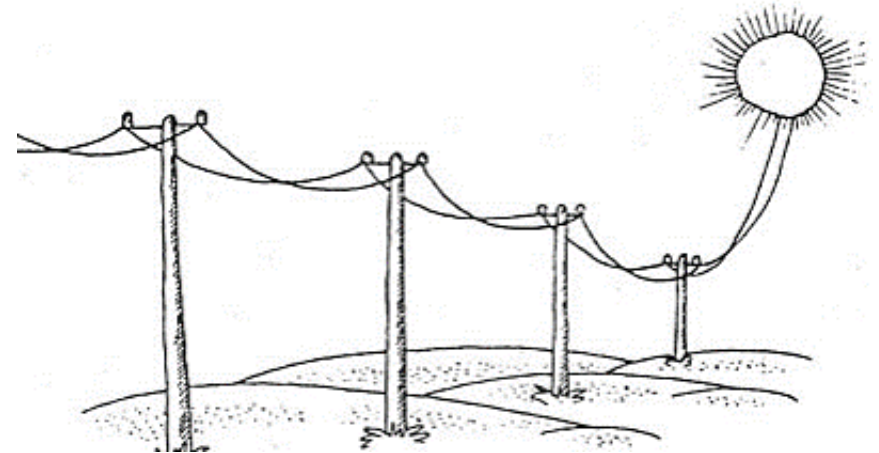
[2.4] Quelle: Solarwatt (2017): [<https://www.solarwatt.de/pro/media/downloads/pv-module>; 30.04.2017]

[2.5] Quelle: DKRZ, Deutsches Klimarechenzentrum (2017): [<https://www.dkrz.de/about/media/galerie/Vis/obs/albedo>; 30.04.2017]



## Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Verwendete Daten für die Simulation
3. **Kennwerte für die Auswertung der Simulation**
4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn
5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn
  - 5.1 bei **aktuellem** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.2 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.3 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses
7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses
  - 7.1 bei **aktuell** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.2 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.3 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
8. Fazit und Ausblick



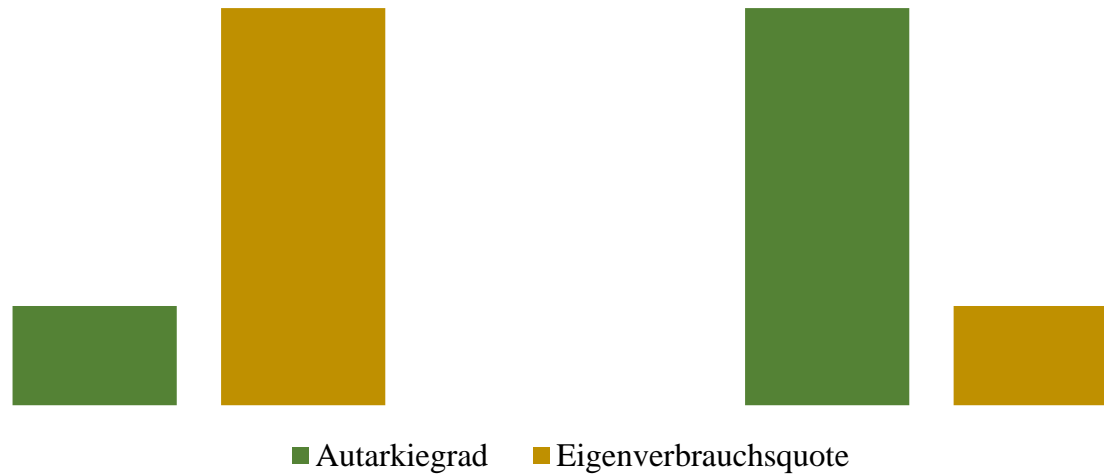
### 3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation

- **Autarkiegrad:** Verhältnis von selbst erzeugtem Strom zum gesamten Jahreshaushaltsstromverbrauch.
- **Eigenverbrauchsquote:** Verhältnis aus selbst verbrauchtem PV-Strom zum gesamt erzeugten PV-Strom der eigenen PV-Anlage.
- **Größte Überschussleistung:** Leistung an Strom, die zusätzlich zur Verfügung steht und nicht lokal verwendet werden kann.
- **Größtes Leistungsdefizit:** Leistung an Strom, die zu der Deckung der aktuellen Nachfrage zusätzlich benötigt werden würde.



### 3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation

Zusammenhang von **Eigenverbrauchsquote** und **Autarkiegrad** in  
Abhängigkeit der installierten **Photovoltaik-Leistung** (idealisierte Darstellung)



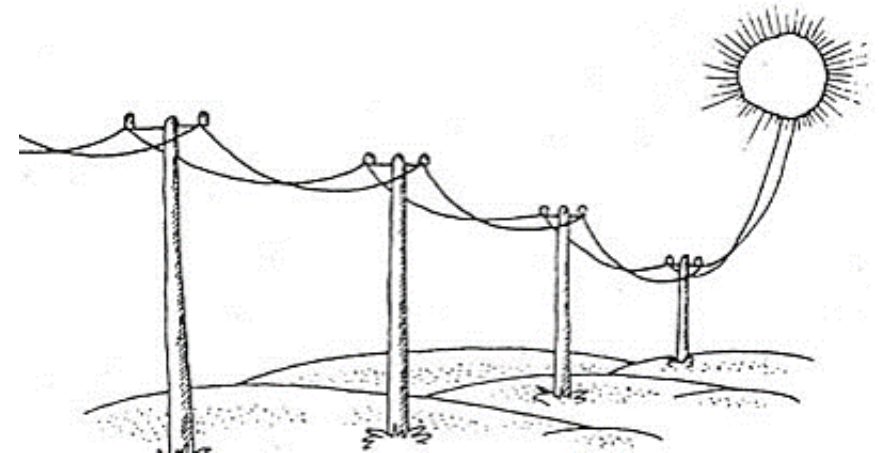
- **Hohe** Eigenverbrauchsquote
- **Niedriger** Autarkiegrad

- **Niedrige** Eigenverbrauchsquote
- **Hoher** Autarkiegrad



## Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Verwendete Daten für die Simulation
3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation
4. **Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn**
5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn
  - 5.1 bei **aktuellem** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.2 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.3 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses
7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses
  - 7.1 bei **aktuell** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.2 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.3 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
8. Fazit und Ausblick



## 4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn

- Ausgewähltes und in der Simulation betrachtetes Teilgebiet von Ottobrunn



## 4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn

- Stromlastgänge von Ottobrunn bilden die Basis
- Nur Verbraucher die per Standardlastprofil (SLP) erfasst werden, werden berücksichtigt
  - Beschränkung auf Haushalte
  - Annahme, dass alle Gebäude, die durch SLP erfasst werden Haushalte sind und ein entsprechendes Lastprofil aufweisen
- Stromverbrauch der privaten Haushalte des Teilgebietes: 14.392 MWh/Jahr
- Strombedarf durch Standardlastprofil H0 <sup>[4.1]</sup> auf ein Jahr verteilt

[4.1] Quelle: Stadtwerke Unna (Hg.) (2002): VDEW-Lastprofile. H0: Haushalt allgemein. [<https://www.sw-unna.de/>; 29.03.2017]



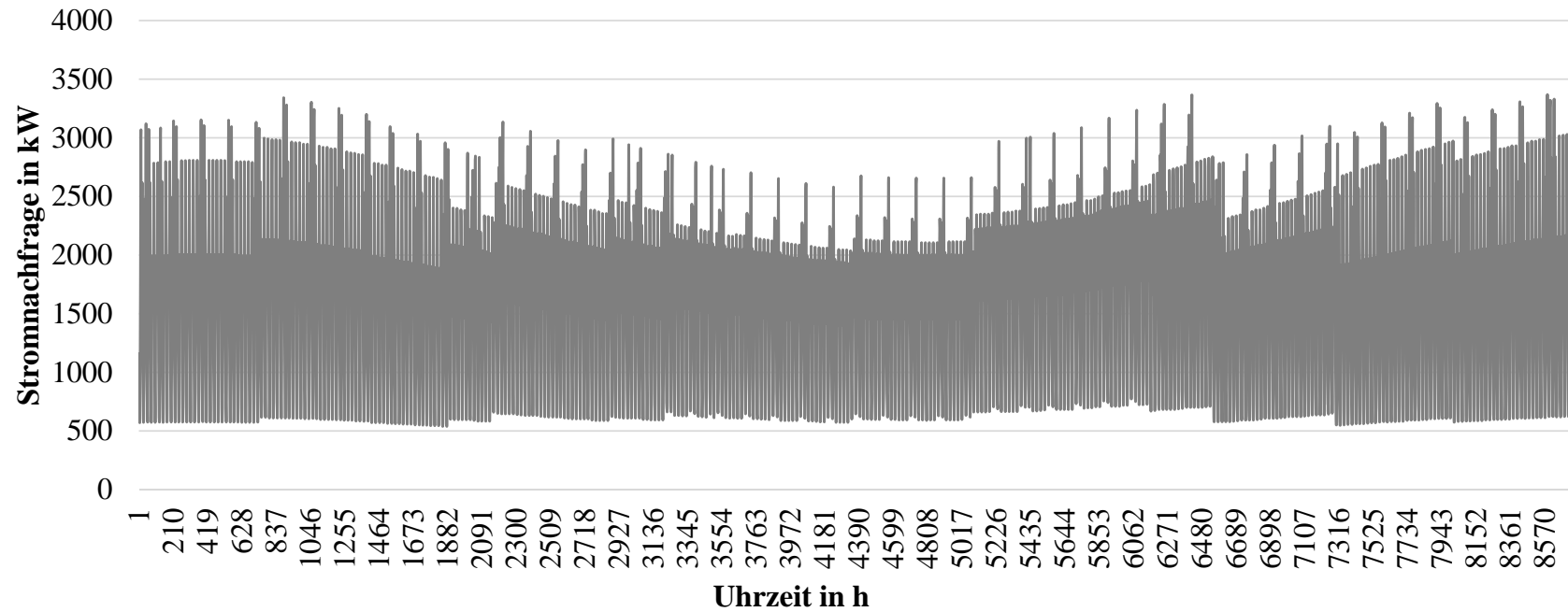
Andreas Meier



11

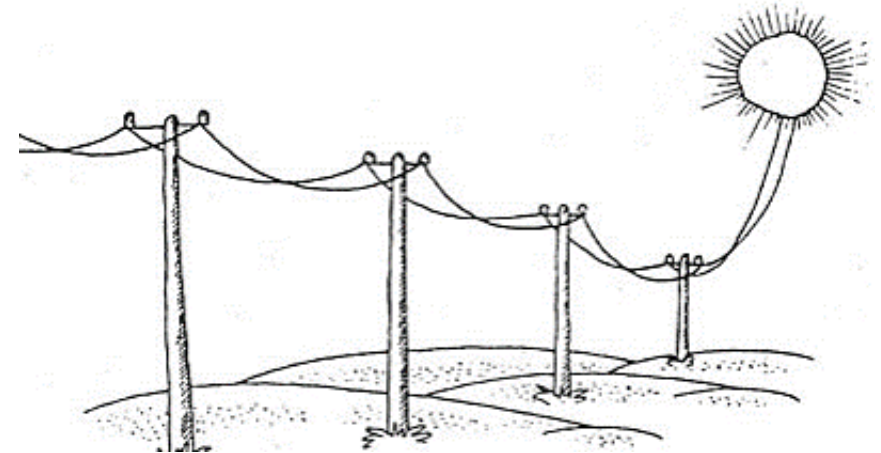
## 4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn

Stromnachfrage der **privaten Haushalte** des **Teilgebietes** nach dem **Standardlastprofil**  
im Jahr 2015



## Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Verwendete Daten für die Simulation
3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation
4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn
5. **Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn**
  - 5.1 bei **aktuellem Ausbaugrad der Photovoltaik**
  - 5.2 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.3 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses
7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses
  - 7.1 bei **aktuell** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.2 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.3 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
8. Fazit und Ausblick



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.1 bei aktuellem Ausbaugrad der Photovoltaik

- Kataster der „EnergyMap.info“ als Datengrundlage <sup>[5.1]</sup>
- Installierte Leistung der Photovoltaik beläuft sich auf 252,3 kW
- Annahme: 10 m<sup>2</sup> für 1 kW installierte Leistung
- Installierte Modulfläche beträgt 2.523 m<sup>2</sup>
- Angaben zu Ausrichtung und Dachneigung stammen aus Solarkataster der Gemeinde Ottobrunn

Installierte PV-Leistung in kW	252,3
Strombedarf der Haushalte des Teilgebietes in MWh	14.392,0
Stromerzeugung der Photovoltaik in kWh	253.961,0

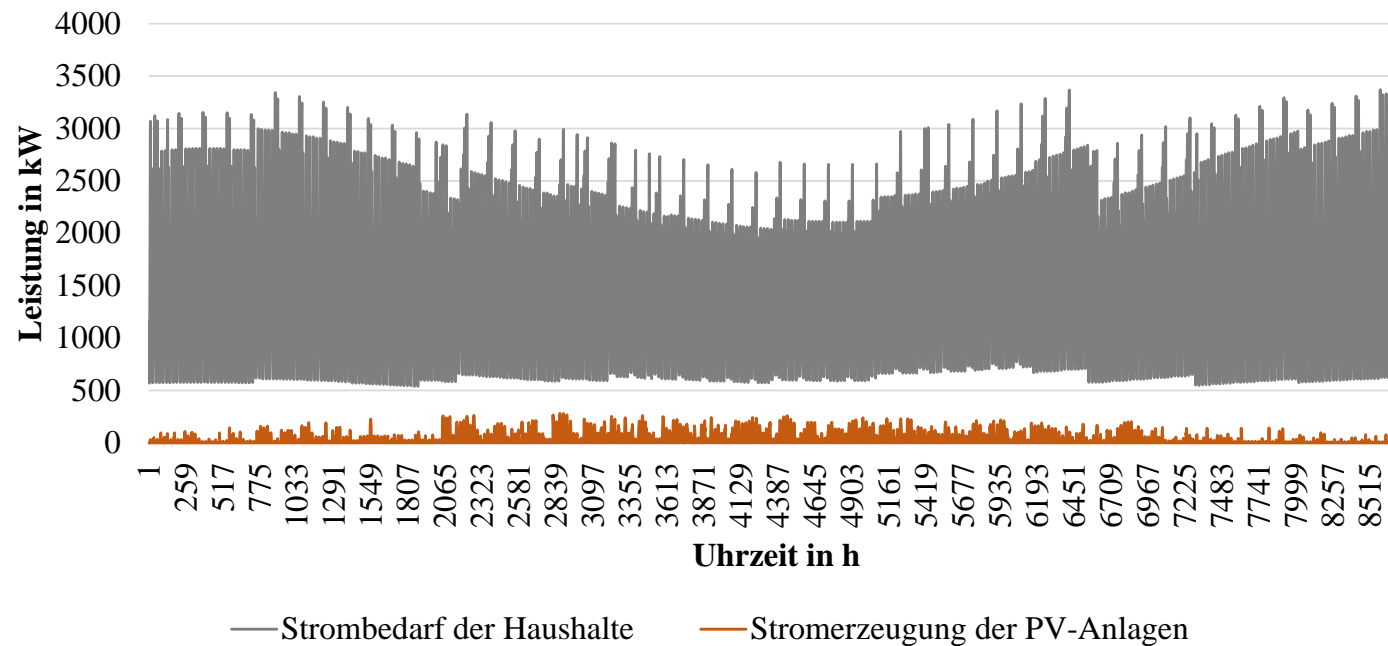
[5.1] Quelle: EnergyMap.info (Hg.) (2015): EEG-Strom. [<http://www.energymap.info/energiere-gionen/DE/105/111/166/225/22267.html>; 29.03.2017]



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.1 bei aktuellem Ausbaugrad der Photovoltaik

Vergleich **Stromerzeugung durch Photovoltaik** mit der **Stromnachfrage der Haushalte** des Teilgebietes bei aktuellem Ausbaustand (Stand 2015)

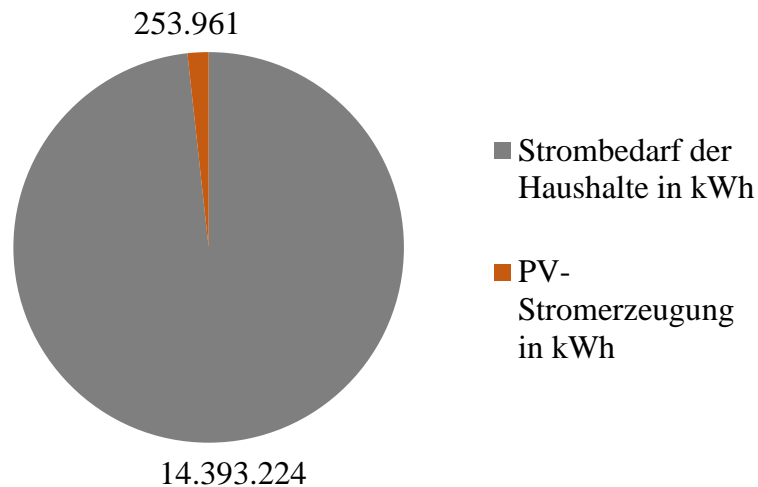


## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.1 bei aktuellem Ausbaugrad der Photovoltaik

#### Autarkiegrad

- Verhältnis von 253.961 kWh/Jahr zu 14.393 MWh/Jahr  
-> 1,8 %



#### Eigenverbrauchsquote

- Nachgefragte Leistung liegt weit über der durch Photovoltaik eingespeisten Leistung (auch in den Sommermonaten)  
-> 100 %

#### Größte Überschussleistung

- ist eigentlich ein Defizit
- -540,3 kW

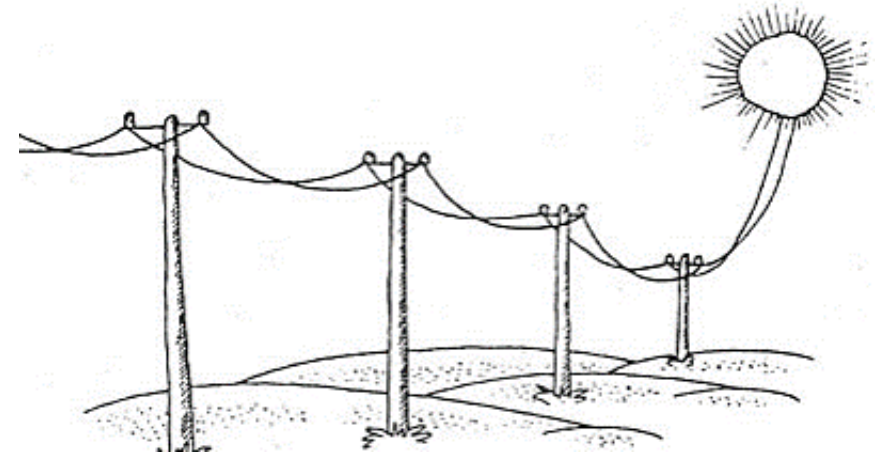
#### Größtes Leistungsdefizit

- -3.418,0 kW



## Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Verwendete Daten für die Simulation
3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation
4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn
5. **Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn**
  - 5.1 bei **aktuellem** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.2 bei **optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik**
  - 5.3 bei **optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern**
6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses
7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses
  - 7.1 bei **aktuell** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.2 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.3 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung **und Verwendung von elektrischen Speichern**
8. Fazit und Ausblick



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn 5.2 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik

- Solarkataster der Gemeinde Ottobrunn als Datengrundlage
- Installierte Leistung der Photovoltaik beläuft sich auf 5.670 kW (Belegungsgrad 70 % [5.2])
- Annahme: 10 m<sup>2</sup> für 1 kW installierte Leistung
- Installierte Modulfläche beträgt 56.700 m<sup>2</sup>
- Ausrichtung und Neigung der Dachflächen mussten teilweise mit einer Zufallszahl bestimmt werden

Strombedarf der Haushalte in kWh	14.393.224
Einspeisung der Photovoltaik in kWh	5.619.095
Direkt nutzbare PV-Energie in kWh	4.204.422
Nicht direkt nutzbare PV-Energie in kWh	1.414.673

[5.2] Quelle: Lee, Eung-Jik (2000): Untersuchung der Anwendungsmöglichkeiten von Photovoltaik an Gebäuden; Dortmund



Andreas Meier



18

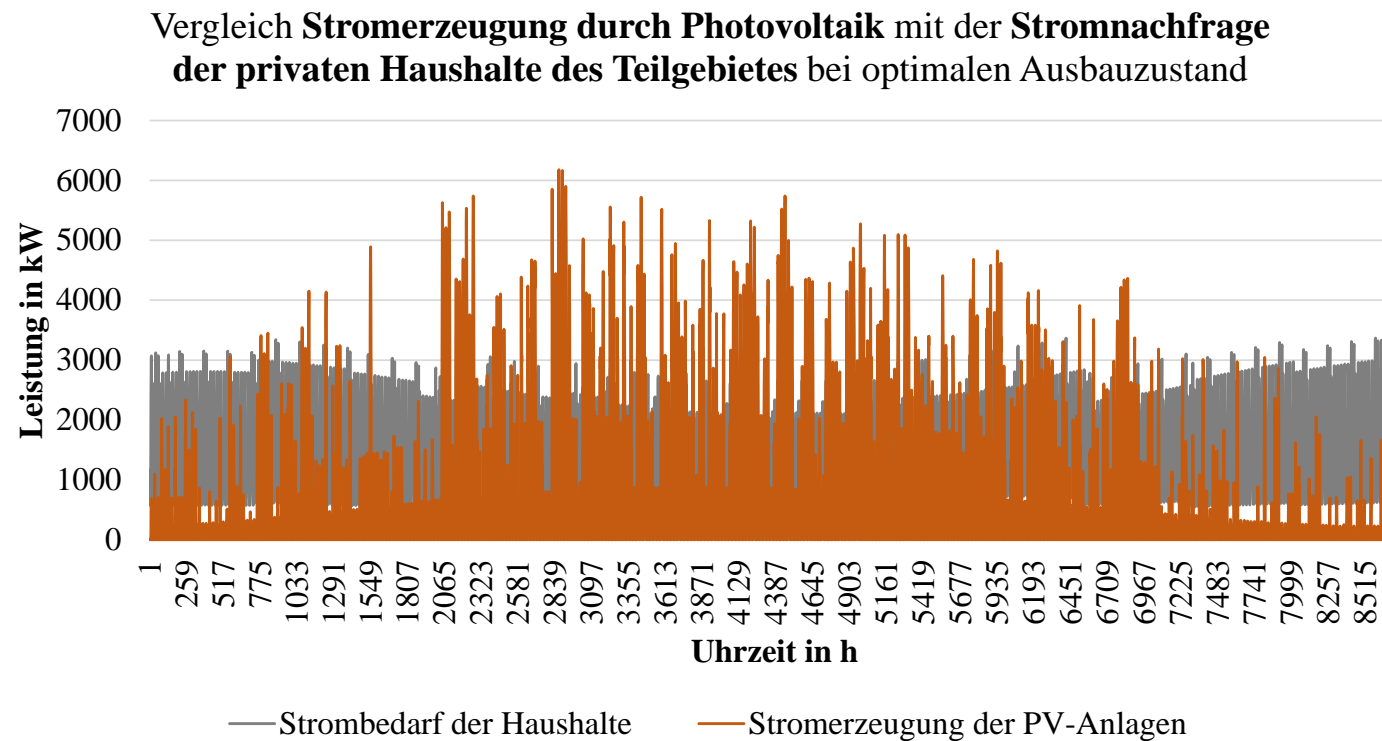
## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn 5.2 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik

### Ausschnitt aus dem Solarkataster der Gemeinde Ottobrunn

Straße	Dachfläche in qm	Ausrichtung	Eignung der gesamten Dachfläche für Photovoltaik	Eignung der gesamten Dachfläche für Solarthermie	Ausrichtung	Dachneigung	Verschattung	Photovoltaik	
								Ertrag je m <sup>2</sup> unverschattete Modulfläche	Ertrag, wenn ges. Dachfläche belegt
W = West O = Ost N = Nord S = Süd G = Garage		Süd = 1 (bzw. Flachdach) SSW o. SSO = 0,95 WSW o. OSO = 0,9 West o. Ost = 0,78 Rest = 0	Dies kann bedeuten, dass einzelne kleinere Bereiche besser o. schlechter geeignet sein können Detailangaben siehe nächste Seite	Dies kann bedeuten, dass einzelne kleinere Bereiche besser o. schlechter geeignet sein können Detailangaben siehe nächste Seite	Süd = 1 SSW o. SSO = 0,95 WSW o. OSO = 0,9 West o. Ost = 0,78 Rest = 0	0° - 15° = 0,9 15° - 45° = 1 45° - 60° = 0,5	10% = 1 25% = 0,75 50% = 0,5 75% = 0,25		
Am Bogen 1	80	0,95	sehr gut	sehr gut	0,95	1	1	120 kWh	9578 kWh
Am Bogen 10	140	0,95	sehr gut	sehr gut	0,95	1	1	120 kWh	18758 kWh
Am Bogen 11	75	0,95	sehr gut	sehr gut	0,95	1	1	120 kWh	9000 kWh
Am Bogen 12, 14	30	0,9	mäßig	mäßig	0,9	1	0,75	113 kWh	2552 kWh
Am Bogen 12, 14	180	0,95	sehr gut	sehr gut	0,95	1	1	120 kWh	21182 kWh
Am Bogen 13	55	0,95	sehr gut	sehr gut	0,95	1	1	120 kWh	6584 kWh
Am Bogen 13	35	0,9	sehr gut	sehr gut	0,9	1	1	113 kWh	3888 kWh



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn 5.2 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik

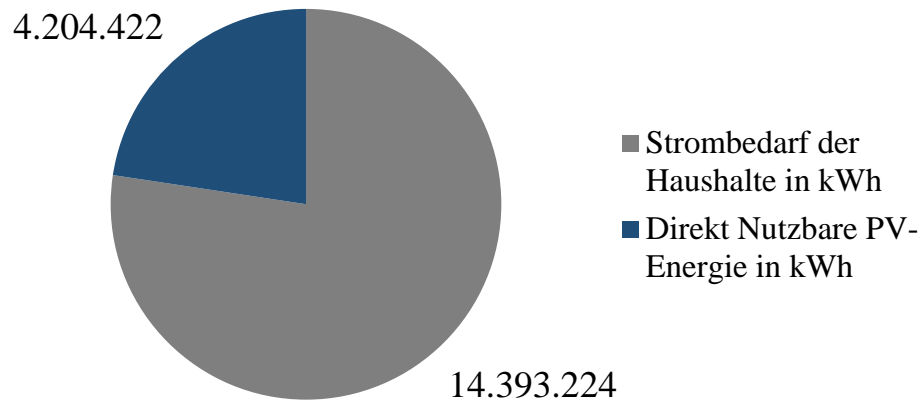


## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.1 bei aktuellem Ausbaugrad der Photovoltaik

#### Autarkiegrad

- Verhältnis von 4.204.422 kWh/Jahr zu 14.393 MWh/Jahr  
-> 29,2 %



#### Eigenverbrauchsquote

- Angebot durch Photovoltaik liegt v.a. in den Sommermonaten weit über nachgefragter Leistung
- Annahme: Leistung bis zu aktueller Nachfrage kann lokal verwendet werden  
-> 74,8 %

#### Größte Überschussleistung

- 3.850,7 kW

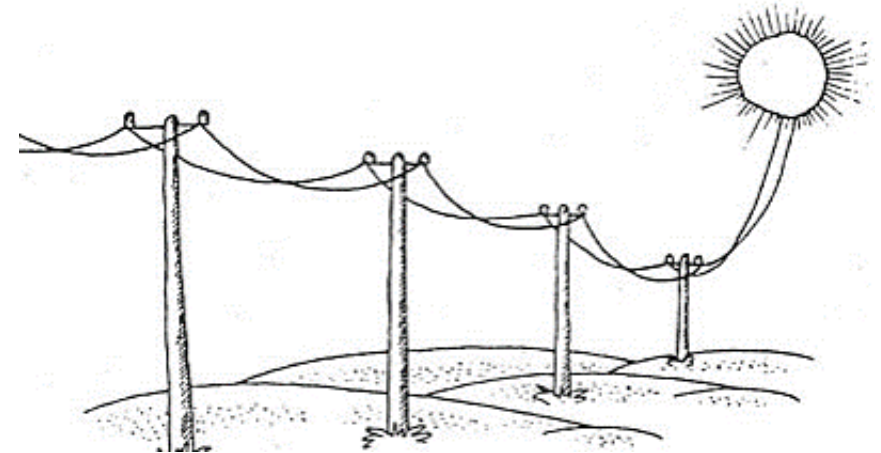
#### Größtes Leistungsdefizit

- -3.418,0 kW



## Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Verwendete Daten für die Simulation
3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation
4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn
5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn
  - 5.1 bei **aktuellem** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.2 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.3 **bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern**
6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses
7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses
  - 7.1 bei **aktuell** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.2 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.3 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung **und Verwendung von elektrischen Speichern**
8. Fazit und Ausblick



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.3 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern

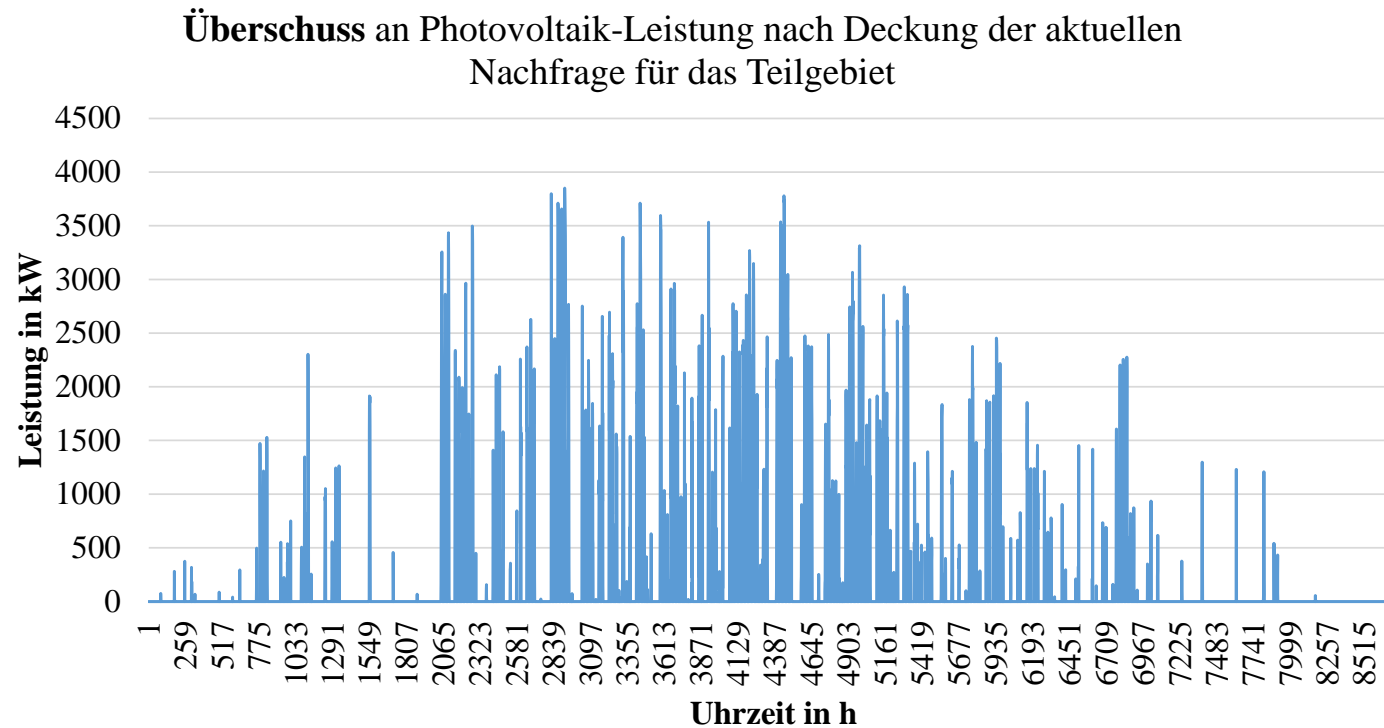
- Solarkataster der Gemeinde Ottobrunn als Datengrundlage
- Installierte Leistung der Photovoltaik beläuft sich auf 5.670 kW (Belegungsgrad 70 %)
- 4.204.422,0 kWh/Jahr können direkt ohne Speicher verbraucht werden

Strombedarf Teilgebiet in kWh	14.393.224,0
Stromerzeugung der Photovoltaik in kWh	5.619.095,0
Direkt nutzbare PV-Energie in kWh	4.204.422,0
Nicht direkt nutzbare PV-Energie in kWh	1.414.673,0



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.3 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.3 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern

#### Eigenschaften des Akkumulators

- Selbstentladungsrate: 11,4 % pro Jahr <sup>[5.2]</sup>
- Lade- und Entladeeffizienz: 98 % <sup>[5.3]</sup>
- Variation des Speicherinhaltes von 1.000 kWh – 25.000 kWh  
(speicherspezifische Kennwerte werden unabhängig von der Größe des Speichers verwendet)

[5.2] Quelle: Elektronik Kompendium (2017). [<http://www.elektronik-kompendium.de/si-tes/bau/0810281>; 29.03.2017]

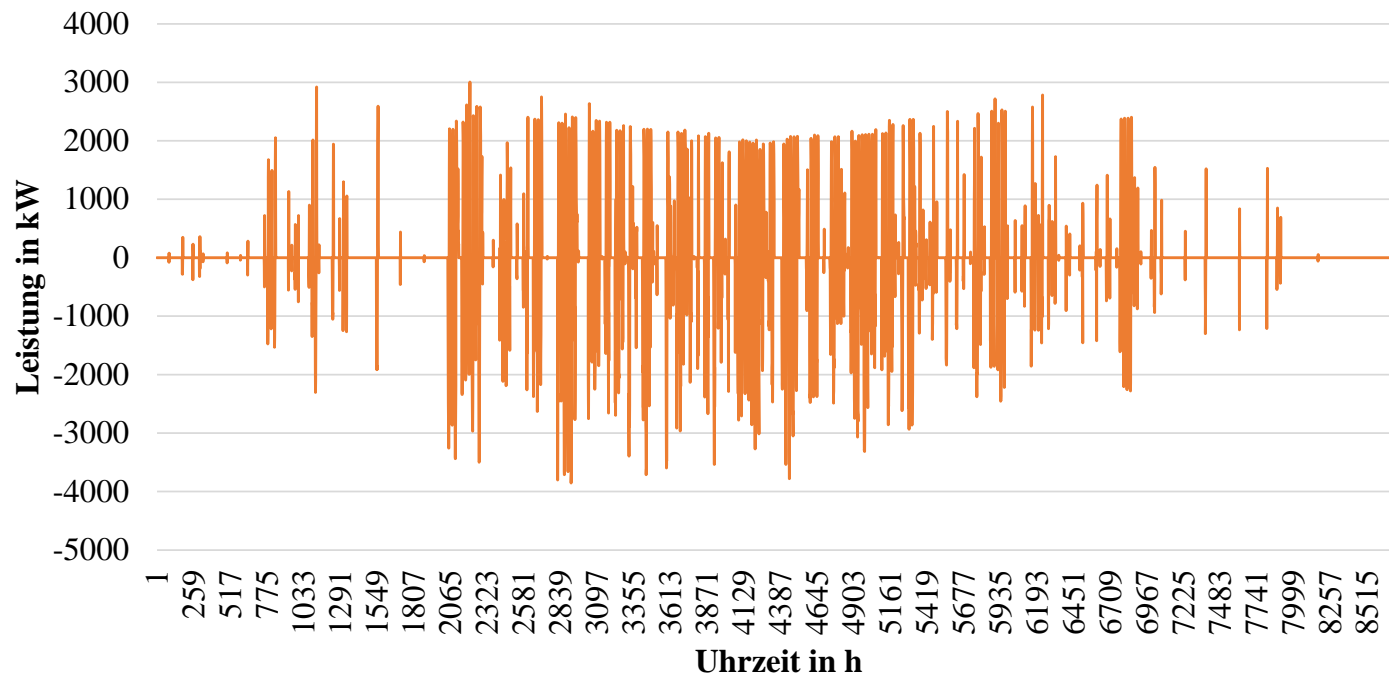
[5.3] Quelle: CARMEN-EV (2017). [<https://www.carmen-ev.de/sonne-wind-co/stromspei-cher/batterien/315-akkutypen/651-lithium-ionen-akkumulatoren>; 02.04.2017]



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.3 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern

Lade- und Entladeverhalten des 21.000 kWh - Akkumulators



**negative** Werte:  
Speicher wird durch Photovoltaik  
geladen

**positive** Werte:  
Abgegebene Leistung des Akkus  
an das Teilgebiet



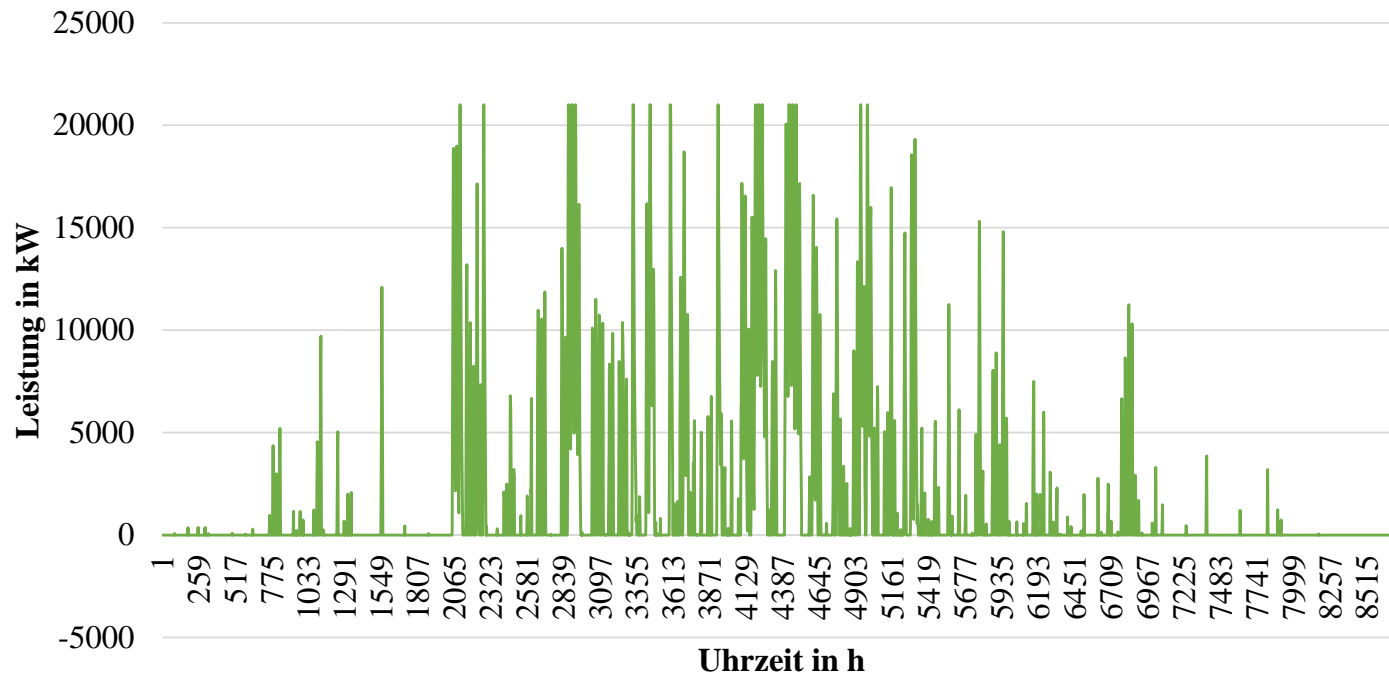
Andreas Meier



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.3 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern

Speicherinhalt des 21.000 - kWh Akkumulators



**Wintermonate:**

Selten hoher Auslastungsgrad

**Sommermonate:**

Häufiger vollständige Lade- und Entladezyklen



Andreas Meier



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.3 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern

#### Eigenverbrauchsquote

- Bestehend aus **direkt genutzter** Energie und dem Teilgebiet **durch den Speicher zur Verfügung gestellten** Energiemenge
- **Direkt genutzte** Energie unabhängig von Speicher (4.204.422 kWh/Jahr)
- **Durch Speicher genutzte Energiemenge** von Speichergröße abhängig

Speicher	durch Akku genutzte Energie in kWh	ges. genutzte Energie in kWh
1.000 kWh	171.373,0	4.375.795,0
3.000 kWh	419.264,2	4.623.686,2
5.000 kWh	619.811,1	4.824.233,1
7.000 kWh	786.969,8	4.991.391,8
9.000 kWh	922.855,9	5.127.277,9
11.000 kWh	1.033.825,1	5.238.247,1
13.000 kWh	1.116.331,4	5.320.753,4
15.000 kWh	1.175.398,1	5.379.820,1
17.000 kWh	1.218.208,3	5.422.630,3
19.000 kWh	1.245.361,5	5.449.783,5
21.000 kWh	1.267.223,0	5.471.645,0
23.000 kWh	1.285.740,5	5.490.162,5
25.000 kWh	1.295.883,7	5.500.305,7

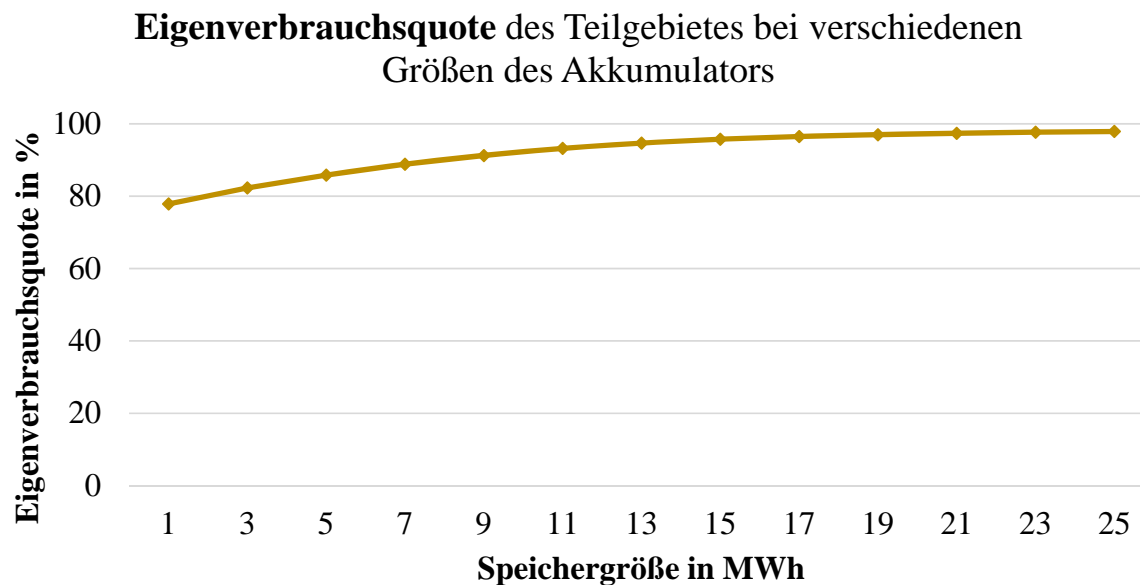


## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.3 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern

#### Eigenverbrauchsquote

- Gesamt durch die Photovoltaik erzeugte Energiemenge: 5.619.095 kWh/Jahr



Speicher	Eigenverbrauchsquote in %
1.000 kWh	77,9
3.000 kWh	82,3
5.000 kWh	85,9
7.000 kWh	88,8
9.000 kWh	91,2
11.000 kWh	93,2
13.000 kWh	94,7
15.000 kWh	95,7
17.000 kWh	96,5
19.000 kWh	97,0
21.000 kWh	97,4
23.000 kWh	97,7
25.000 kWh	97,9



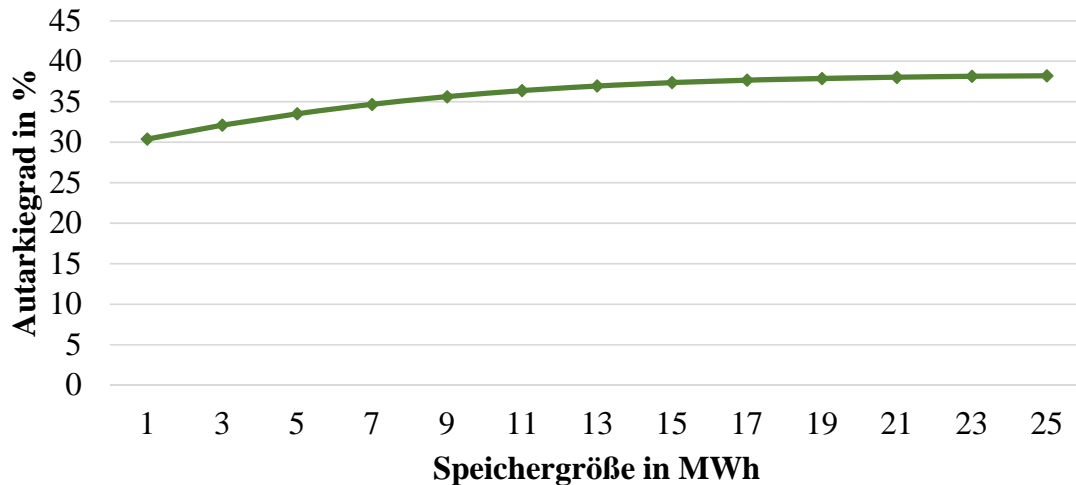
## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.3 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern

#### Autarkiegrad

- Strombedarf der Haushalte des Teilgebietes:  
14.393.224,0 kWh/Jahr

Autarkiegrad des Teilgebietes bei verschiedenen Größen des Akkumulators



Speicher	genutzte Energie in kWh	Autarkiegrad in %
1.000 kWh	4.375.795,0	30,4
3.000 kWh	4.623.686,2	32,1
5.000 kWh	4.824.233,1	33,5
7.000 kWh	4.991.391,8	34,7
9.000 kWh	5.127.277,9	35,6
11.000 kWh	5.238.247,1	36,4
13.000 kWh	5.320.753,4	37,0
15.000 kWh	5.379.820,1	37,4
17.000 kWh	5.422.630,3	37,7
19.000 kWh	5.449.783,5	37,9
21.000 kWh	5.471.645,0	38,0
23.000 kWh	5.490.162,5	38,1
25.000 kWh	5.500.305,7	38,2



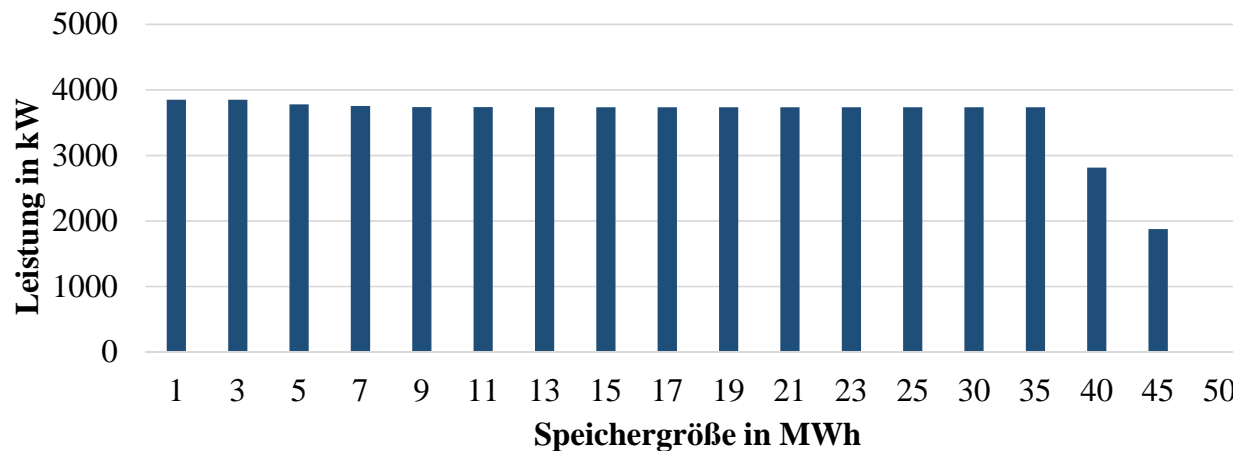
## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.3 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern

#### Größte Überschussleistung

- Wert an Leistung, der nicht direkt genutzt und auch nicht durch den Akkumulator aufgenommen werden kann
- Über ein breites Spektrum an Speichern nahezu unverändert
- Ab 49.529,7 kWh Speicherinhalt keine Überschussleistung mehr festzustellen

Maximale Überschussleistung der Photovoltaik des Teilgebietes  
für verschiedene Akkumulatorgrößen



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.3 bei optimalen Ausbaugrad der Photovoltaik und Verwendung von elektrischen Speichern

#### Größtes Leistungsdefizit

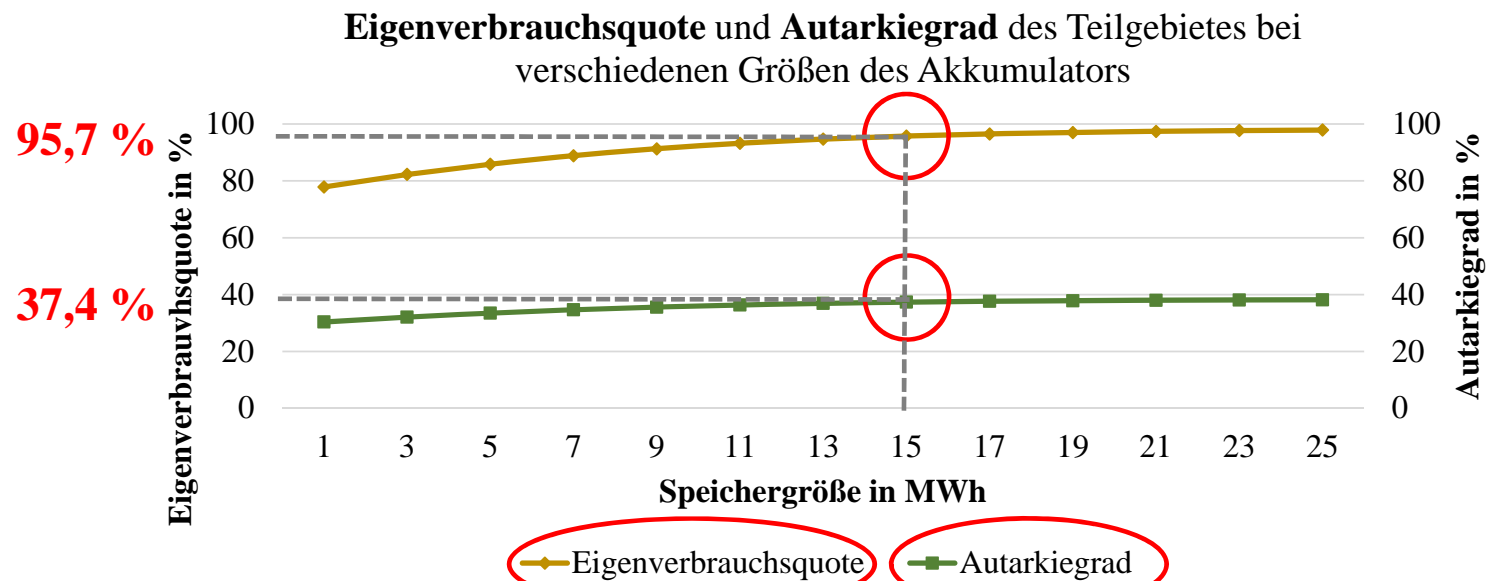
- Wert an Leistung, der benötigt werden würde, um die Nachfrage zu decken
- Über ein breites Spektrum an Speichern nahezu unverändert
- Auch die großen Akkumulatoren weisen keine Verbesserung auf
- Größtes Leistungsdefizit fällt zu Beginn des Jahres an
  - Vorteil, der großen Akkumulatoren kann hier noch nicht genutzt werden
  - Simulation für ein zweites Jahr mit Restspeicherinhalt des Vorjahres könnte Änderung bewirken
- Größtes Leistungsdefizit: -3.418,04 kW (für alle simulierten Speichergrößen)



## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

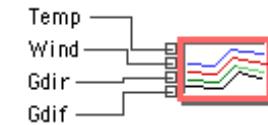
### Zusammenfassung:

- Autarkiegrad könnte von derzeit 1,8 % auf knapp 40 % (15.000 kWh Speicherinhalt) gesteigert werden
- Potenzial von Fassaden- oder Freiflächen wurde noch nicht berücksichtigt
- Mit einem 15.000 kWh – Speicher ist eine Eigenverbrauchsquote von bis zu 95 % möglich

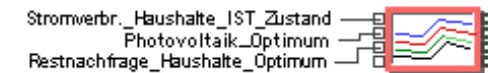
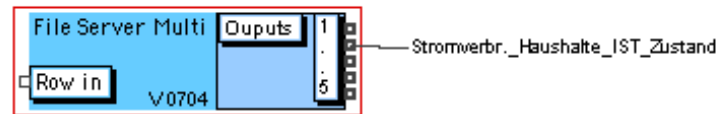


## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

Auszug aus dem erstellen Modell des Teilgebietes mit ExtendSim:

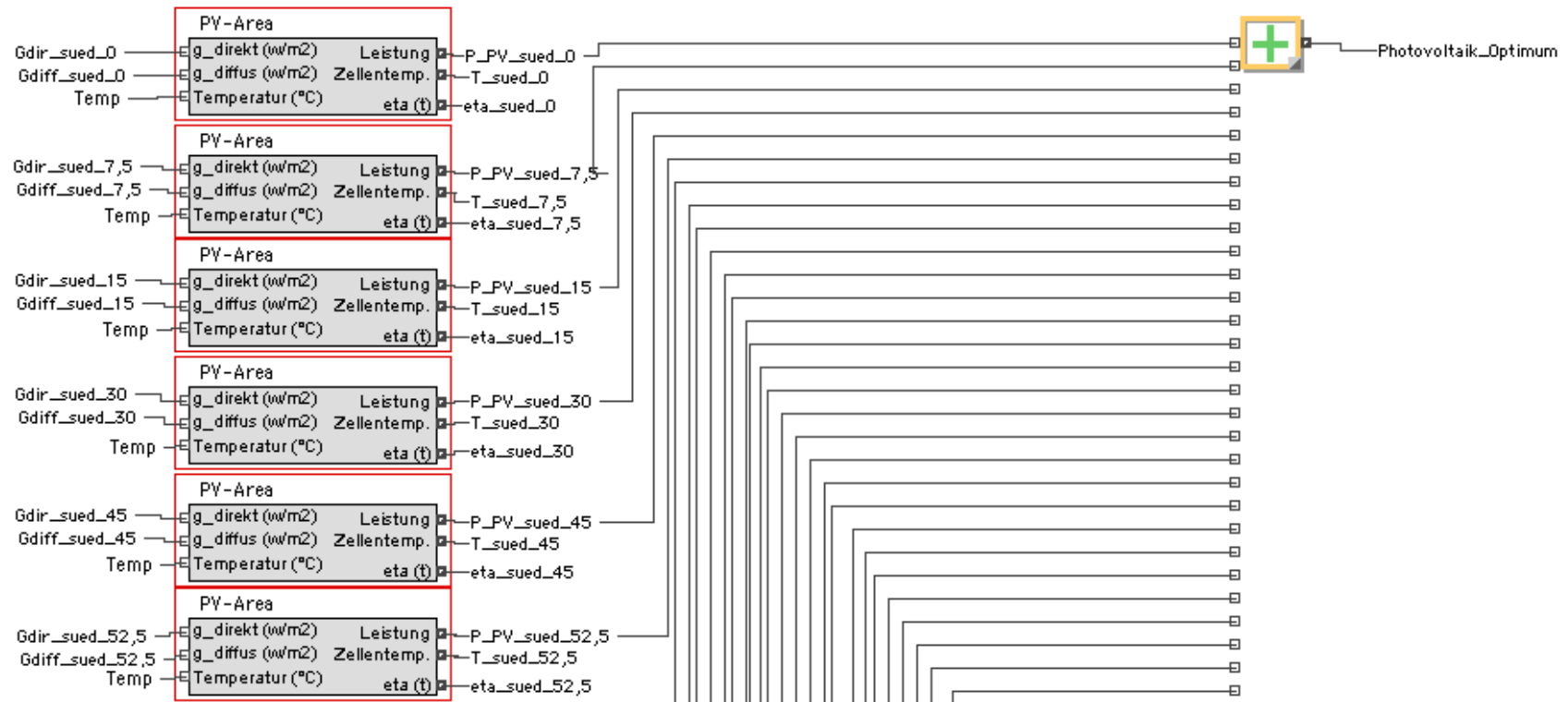


Ausgang 1: Stromverbrauch Haushalte in MWh/Jahr  
Ausgang 2: Stromverbrauch Haushalte in kWh/Jahr



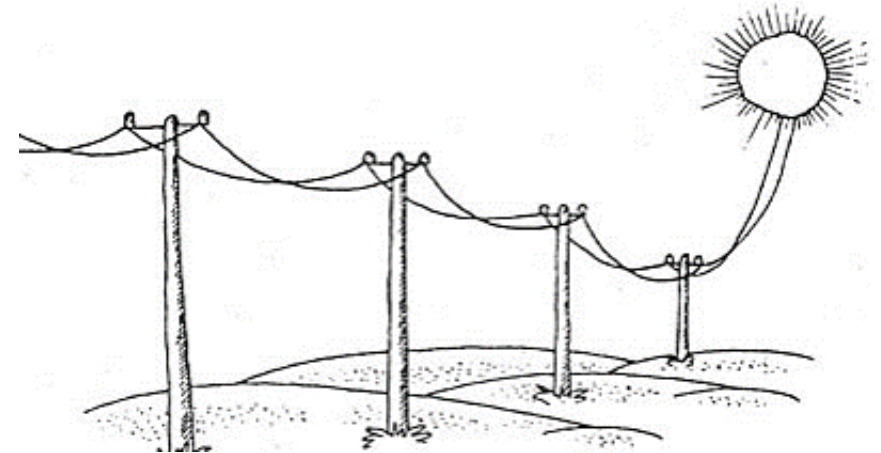
## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

Auszug aus dem erstellten Modell des Teilgebietes mit ExtendSim:



## Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Verwendete Daten für die Simulation
3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation
4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn
5. **Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn**
  - 5.1 bei **aktuellem** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.2 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.3 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik  
und Verwendung von elektrischen Speichern
6. **Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses**
7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses
  - 7.1 bei **aktuell** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.2 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.3 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung  
und Verwendung von elektrischen Speichern
8. Fazit und Ausblick



## 6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses

- Das Lastprofil für das Einfamilienhaus wurde aus zwei (Kapitel 7.1 & 7.2) bzw. drei (Kapitel 7.3) einzelnen Lastprofilen zusammengesetzt
- Kapitel 7.1 & 7.2
  - Standardlastprofil privater Haushalt [6.1]
  - Standardlastprofil Grundwasserwärmepumpe [6.2]
- Kapitel 7.3
  - Standardlastprofil privater Haushalt [6.1]
  - Standardlastprofil Grundwasserwärmepumpe [6.2]
  - Standardlastprofil Elektroauto [6.3]

**Problematisch:** Nachfrage eines realen Einfamilienhauses wird nicht der Nachfrage der Standardlastprofile entsprechen. Diese stellen **gemittelte Verbrauchswerte** da!

[6.1] Quelle: Stadtwerke Unna (Hg.) (2002): VDEW-Lastprofile. H0: Haushalt allgemein. [<https://www.sw-unna.de/>; 29.03.2017]

[6.2] Quelle: Stadtwerke Tübingen (2017). [<https://www.swtue.de/geschaeftskunden/netze/netznutzung/standardlastprofile.html>; 30.03.2017]

[6.3] Quelle: Probst, Alexander; Braun, Martin; Tenbohlen, Stefan: Erstellung und Simulation probabilistischer Lastmodelle von Haushalten und Elektrofahrzeugen zur Spannungsbandanalyse. Hg. v. IEH Uni Stuttgart. Stuttgart. S.3

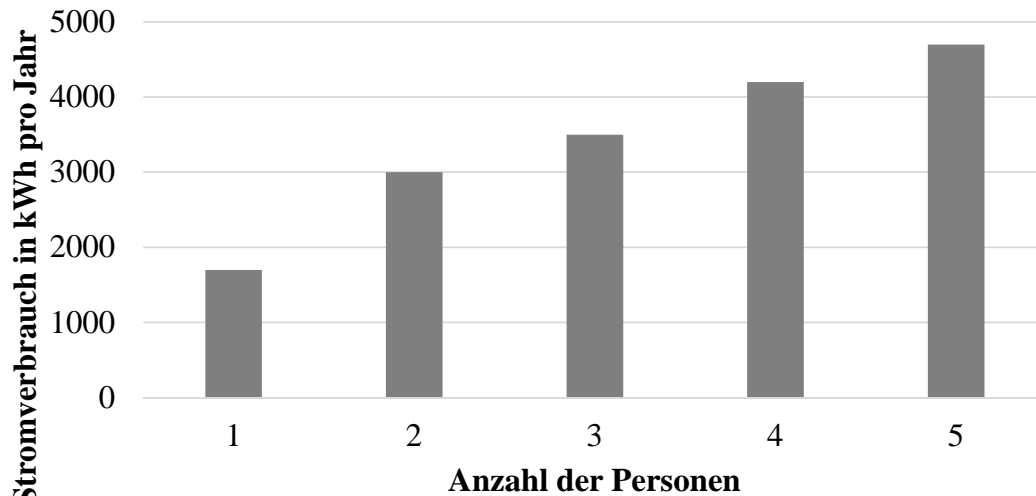


## 6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses

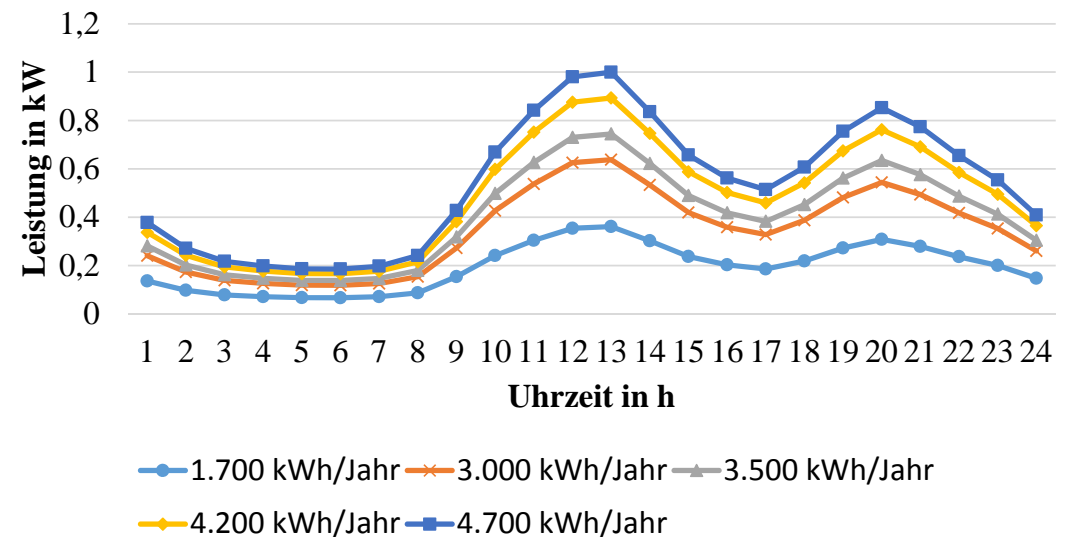
### Standardlastprofil privater Haushalt

- Berücksichtigt den im Haushalt für z.B. Licht benötigten Strom
- Basiert auf den Stromverbräuchen privater Haushalte je nach Personenzahl

Stromverbrauch je Haushalt nach Haushaltsgröße ohne elektrische Warmwasserbereitung



Standardlastprofile für den Stromverbrauch privater Haushalte in Bayern



Quelle: Kempmann, Johannes (2016): Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken. Hg. v. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft. Berlin. S.10



Andreas Meier

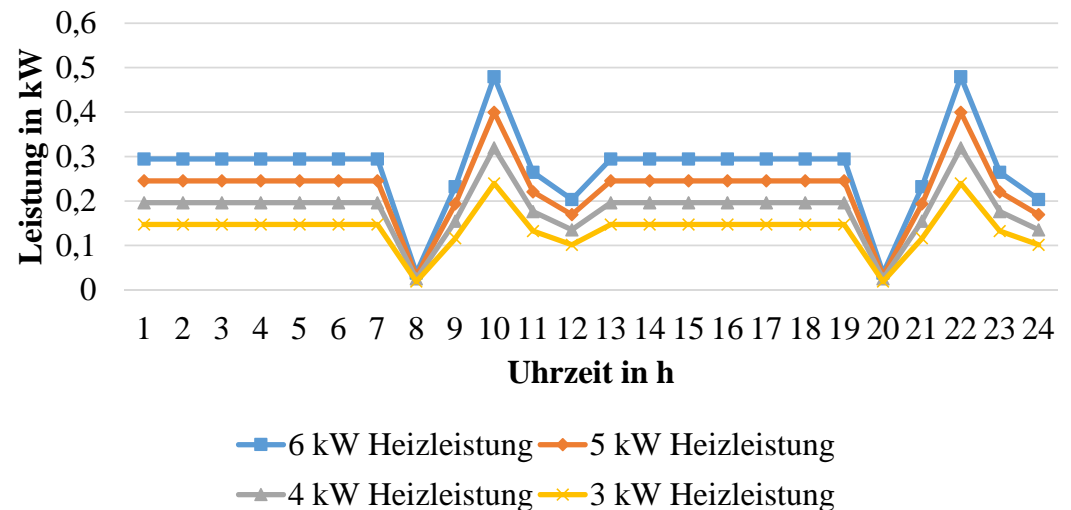


## 6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses

### Standardlastprofil Grundwasserwärmepumpe

- Beinhaltet den Strombedarf für die Beheizung de Gebäudes
- Konstante Grundwassertemperatur von 8 °C wird ganzjährig angenommen [6.4]
- Standardlastprofile wurden basierend auf unterschiedlichen Heizleistungen erstellt

Standardlastprofile für den Stromverbrauch von Grundwasser-WP bei unterschiedlichen Heizleistungen



[6.4] Quelle: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2017). [<http://www.hlnug.de/themen/wasser/grundwasser/grundwassertemperatur/mittlere-temperatur.html>; 30.03.2017]



Andreas Meier



39

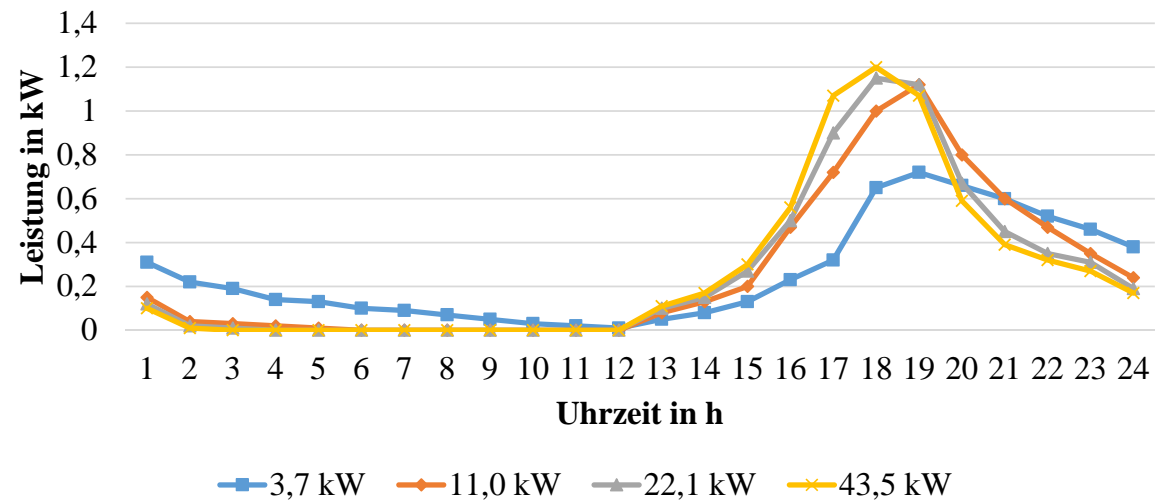
## 6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses

### Standardlastprofil Elektroauto

- Verwendet wird ein Ansatz der IEH Uni Stuttgart [6.5]
- Dieser berücksichtigt u.a. unterschiedliche Ladeleistungen sowie eine Umfrage zur durchschnittlichen Ankunftszeit nach der letzten Autofahrt des Tages

Übliche Ladeleistungen für Elektroautos				
Ladestrom	1x16 A	3x16 A	3x32 A	3x63 A
Ladeleitung	3,7 kW	11,0 kW	22,1 kW	43,5 kW

Standardlastprofile für den Stromverbrauch von Elektromobilitätslasten bei verschiedenen Ladeleistungen



[6.5] Quelle: Probst, Alexander; Braun, Martin; Tenbohlen, Stefan: Erstellung und Simulation probabilistischer Lastmodelle von Haus-halten und Elektrofahrzeugen zur Spannungsbandanalyse. Hg. v. IEH Uni Stuttgart. Stuttgart. S.3



## 6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses

### Lastprofil Kapitel 7.1 & 7.2

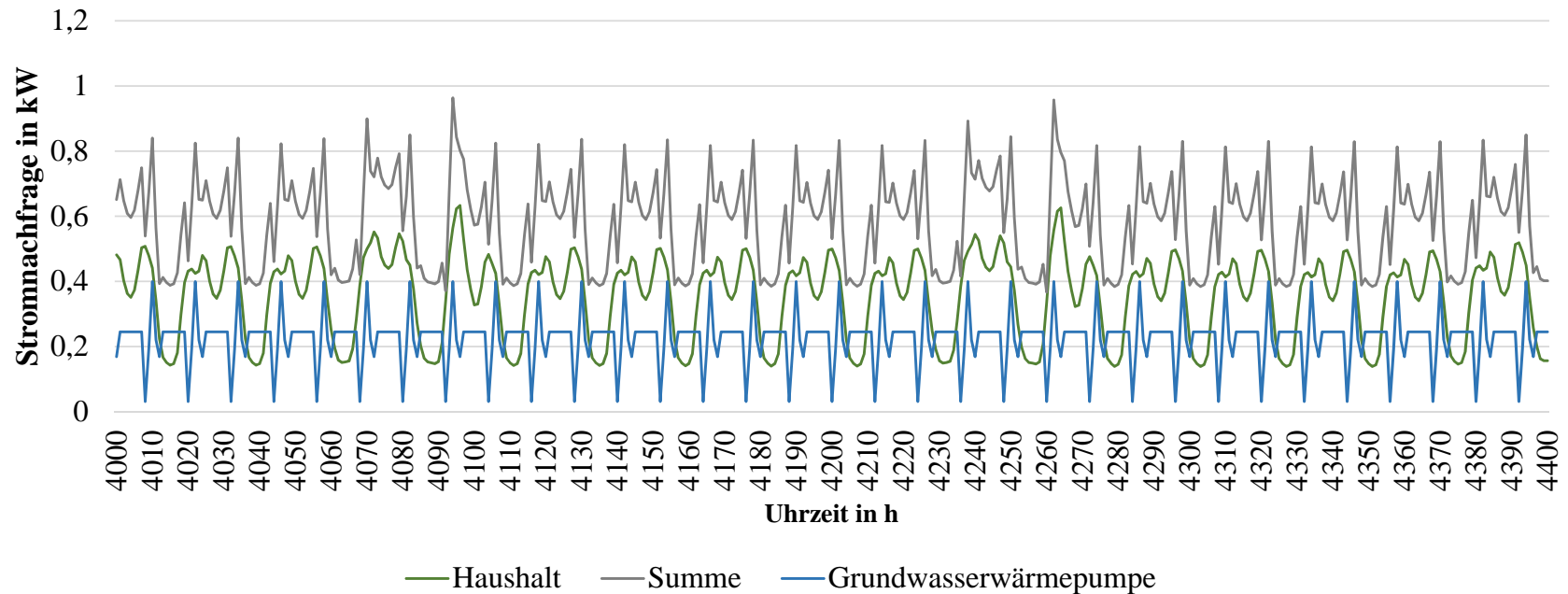
- Werte der Standardlastprofile des 3-Personen-Haushaltes (3.500 kWh/Jahr) und der Grundwasser-Wärmepumpe (2.000 kWh/Jahr) werden zu jedem Zeitpunkt des Jahres addiert
- Gesamte bedarf an Strom beläuft sich auf 5.500 kWh/Jahr



## 6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses

### Lastprofil Kapitel 7.1 & 7.2

Stromnachfrage des Einfamilienhauses mit Grundwasserwärmepumpe und Haushaltsstrom für einen ausgewählten Zeitraum



## 6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses

### Lastprofil Kapitel 7.3

- Zu den Lastprofilen des 3-Personen-Haushaltes (3.500 kWh/Jahr) und der Grundwasser-Wärmepumpe (2.000 kWh/Jahr) wird das Elektroauto mit 2.100 kWh/Jahr <sup>[6.6]</sup> hinzuaddiert
- Das Auto wird im Ladezustand mit 3,7 kW Leistung gespeist
- Gesamte bedarf an Strom beläuft sich auf 7.600 kWh/Jahr

[6.6] Quelle: Elektroautos: Marktübersicht/Kenndaten. Hg. v. ADAC Fahrzeugtechnik. München. S.2



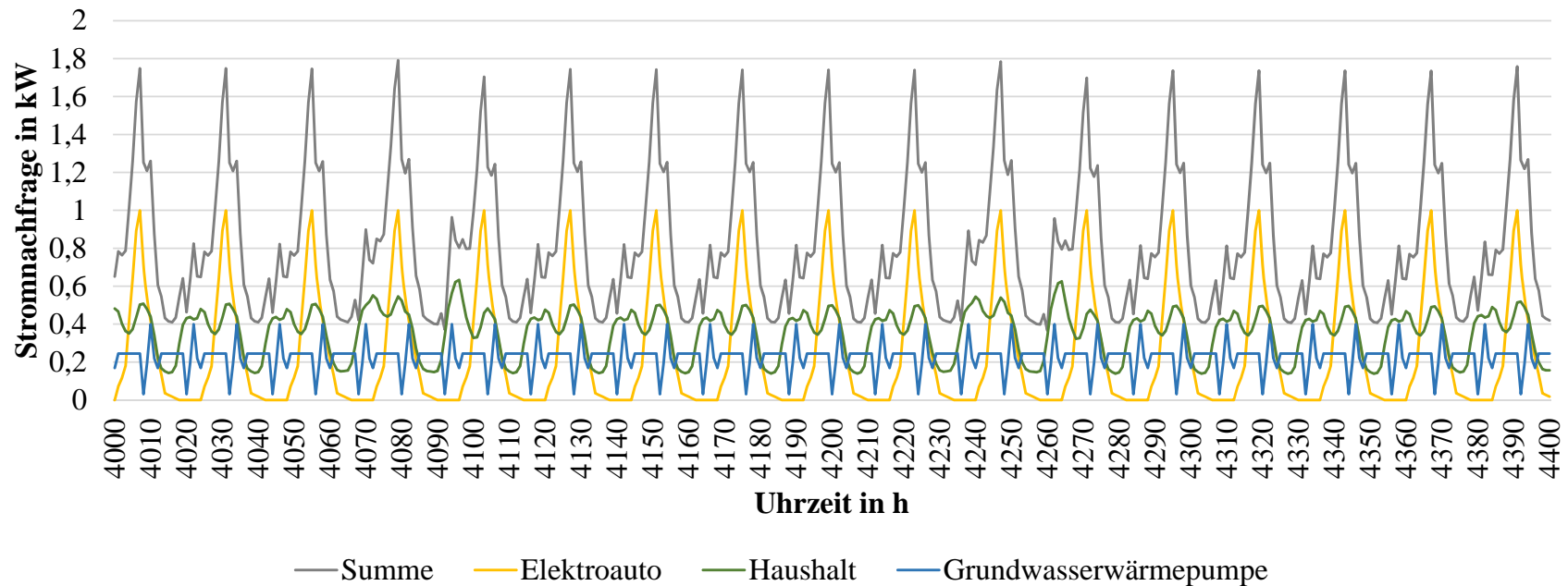
Andreas Meier



## 6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses

### Lastprofil Kapitel 7.3

Stromnachfrage des Einfamilienhauses mit Grundwasserwärmepumpe, Haushaltsstrom und Elektroauto für einen ausgewählten Zeitraum

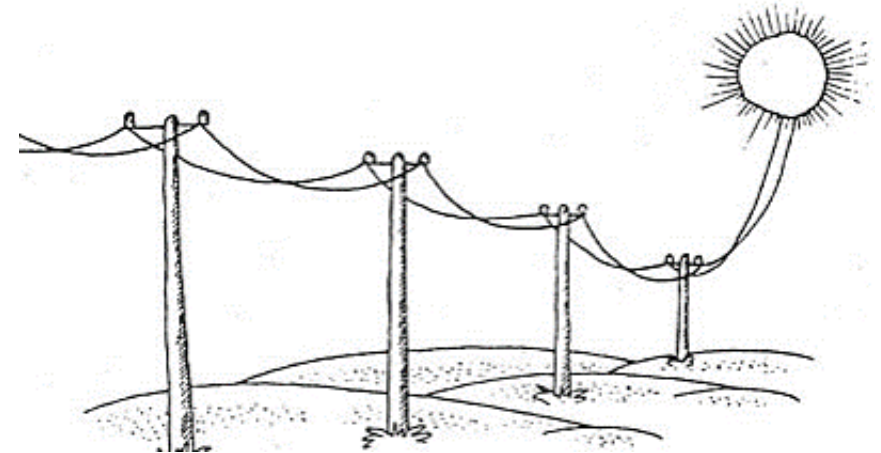


Andreas Meier



## Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Verwendete Daten für die Simulation
3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation
4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn
5. **Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn**
  - 5.1 bei **aktuellem** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.2 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.3 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik  
und Verwendung von elektrischen Speichern
6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses
7. **Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses**
  - 7.1 bei **aktuell durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung**
  - 7.2 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.3 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung  
und Verwendung von elektrischen Speichern
8. Fazit und Ausblick



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses

### 7.1 bei aktuell durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung

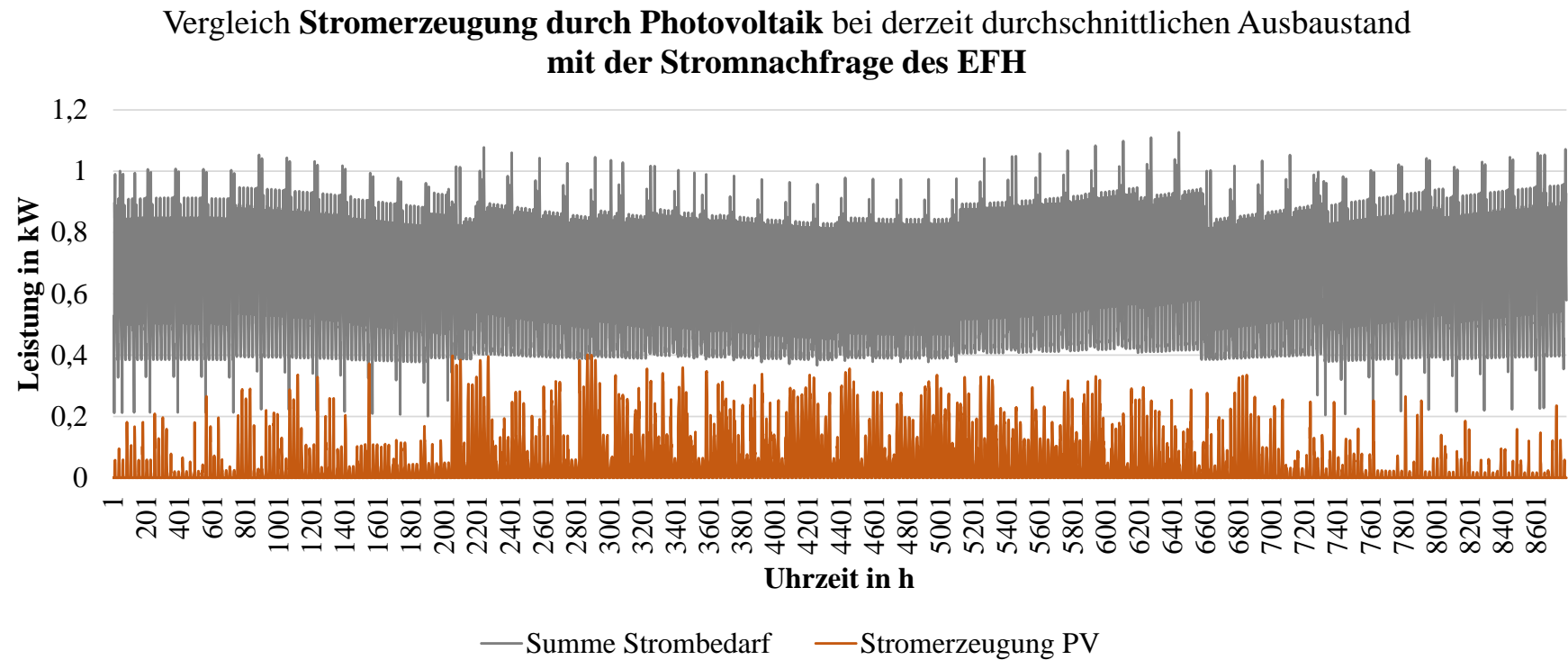
- Photovoltaikanlage ist nach Süden ausgerichtet und hat eine Neigung von  $45^\circ$
- Die aktuell in dem Teilgebiet vorhandene gesamte Leistung an Photovoltaik wurde durch alle Gebäude geteilt, die für eine Nutzung der Photovoltaik in Frage kommen
- Durchschnittlich installierte Leistung pro Gebäude: 0,34 kW
- Annahme:  $10 \text{ m}^2$  für 1 kW installierte Leistung
- Installierte Modulfläche beträgt  $3,4 \text{ m}^2$

Installierte PV-Leistung in kW	0,34
Strombedarf des EFH in kWh	5500,00
Stromerzeugung der Photovoltaik in kWh	394,00



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses

### 7.1 bei aktuell durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung

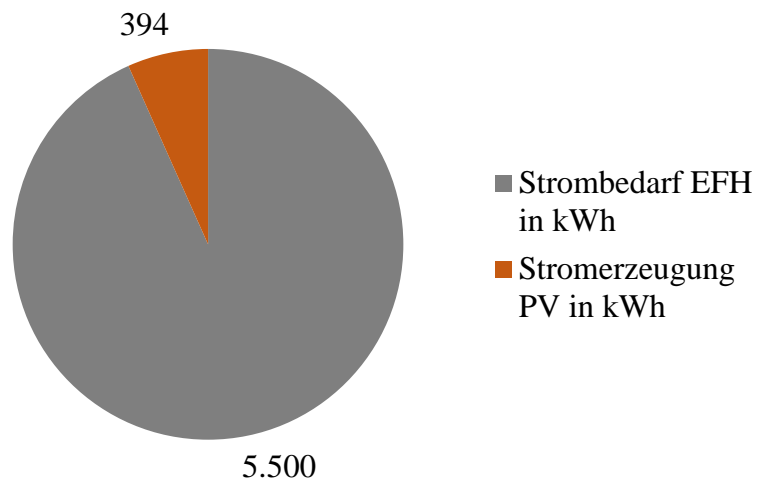


## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses

### 7.1 bei aktuell durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung

#### Autarkiegrad

- Verhältnis von 394,00 kWh/Jahr zu 5.500 kWh/Jahr  
-> 7,1 %



#### Eigenverbrauchsquote

- Nachgefragte Leistung liegt weit über der durch Photovoltaik eingespeisten Leistung (auch in den Sommermonaten)  
-> 100 %

#### Größte Überschussleistung

- ist eigentlich ein Defizit
- -0,17 kW

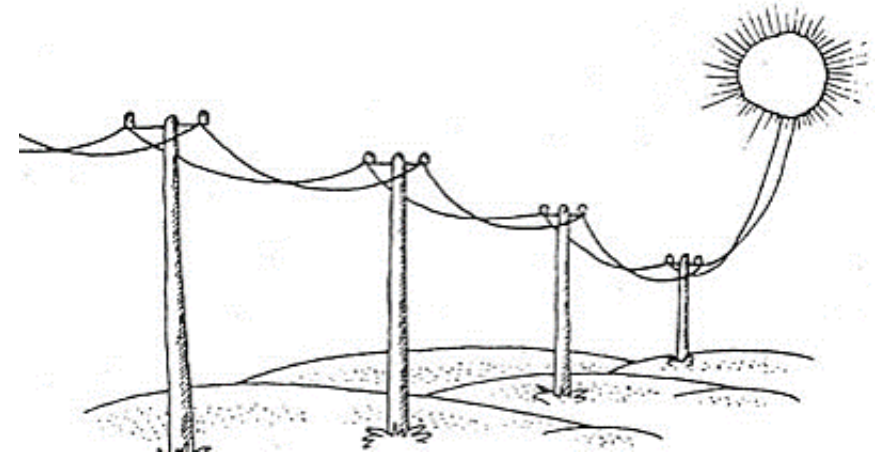
#### Größtes Leistungsdefizit

- -1,07 kW



## Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Verwendete Daten für die Simulation
3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation
4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn
- 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn**
  - 5.1 bei **aktuellem** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.2 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.3 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses
- 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses**
  - 7.1 bei **aktuell** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.2 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung**
  - 7.3 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
8. Fazit und Ausblick



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses 7.2 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung

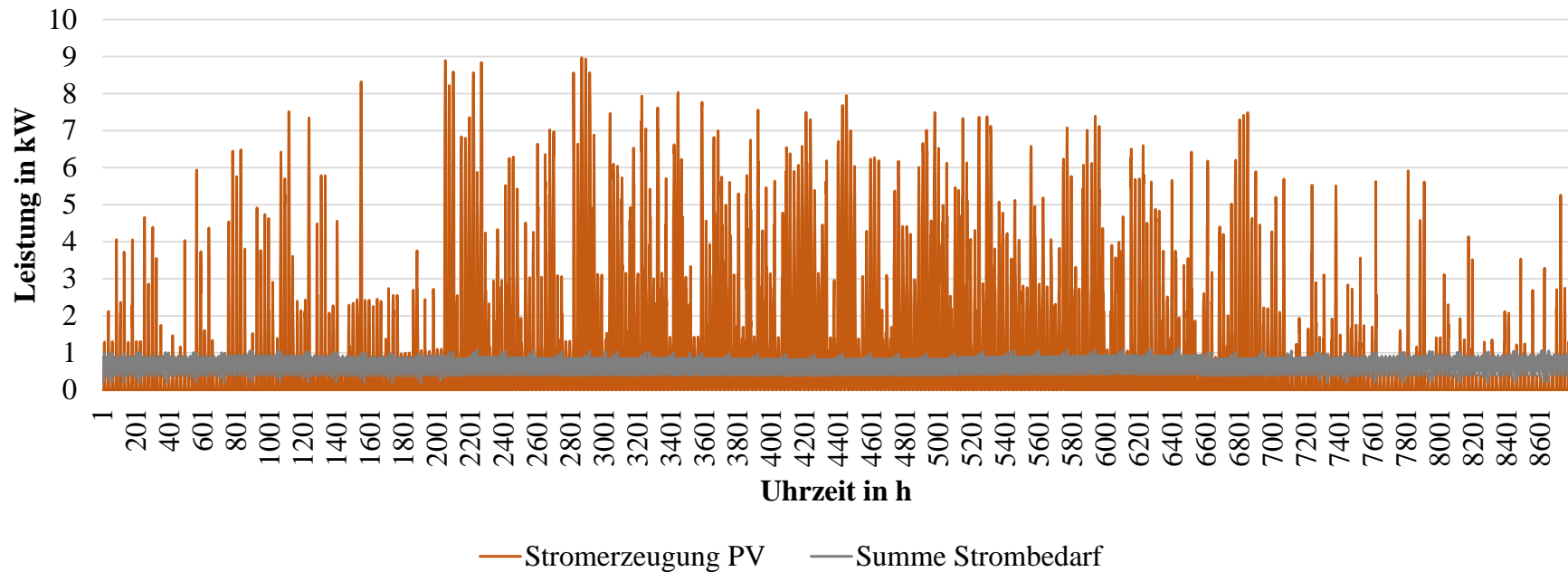
- Photovoltaik nach Süden ausgerichtet und hat eine Neigung von 45 °
- Die optimal in dem Teilgebiet vorhandene gesamte Leistung an Photovoltaik wurde durch alle Gebäude geteilt, die für eine Nutzung durch Photovoltaik in Frage kommen
- Durchschnittlich installierte Leistung: 7,6 kW
- Annahme: 10 m<sup>2</sup> für 1 kWp installierte Leistung
- Installierte Modulfläche beträgt 76,0 m<sup>2</sup>

Strombedarf des EFH in kWh	5.500,0
Stromerzeugung der Photovoltaik in kWh	8.806,7
Direkt nutzbare PV-Energie in kWh	2.428,5
Nicht direkt nutzbare PV-Energie in kWh	6.378,2



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses 7.2 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung

Vergleich Stromerzeugung durch Photovoltaik bei optimalen durchschnittlichen Ausbaustand mit der Stromnachfrage des EFH

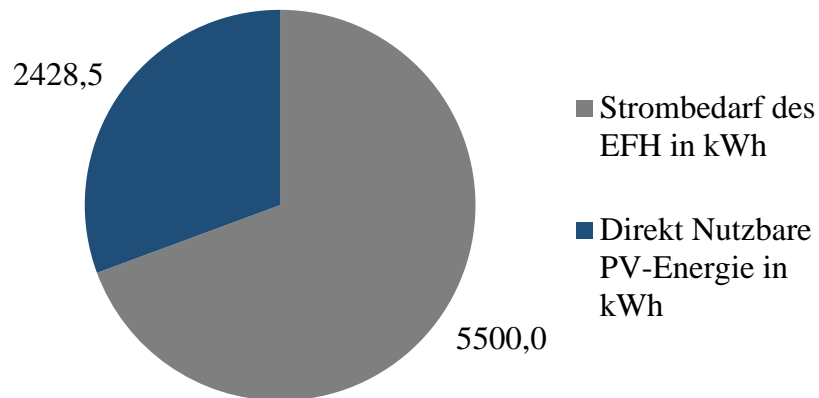


## 5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn

### 5.1 bei aktuellem Ausbaugrad der Photovoltaik

#### Autarkiegrad

- Verhältnis von 2.428,5 kWh/Jahr zu 5.500,0 kWh/Jahr  
-> 44,2 %



#### Eigenverbrauchsquote

- Angebot durch Photovoltaik liegt v.a. in den Sommermonaten punktuell weit über nachgefragter Leistung
- Annahme: Leistung bis zu aktueller Nachfrage kann lokal verwendet werden  
-> 27,6 %

#### Größte Überschussleistung

- 8,31 kW

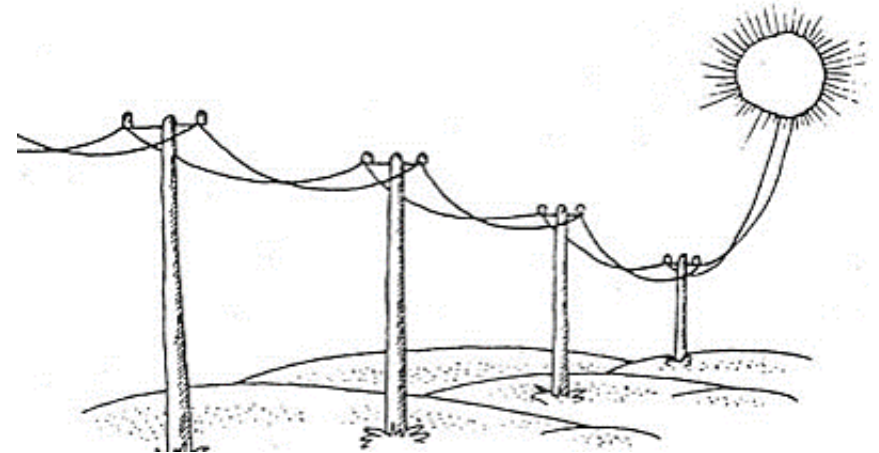
#### Größtes Leistungsdefizit

- -1,07 kW



## Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Verwendete Daten für die Simulation
3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation
4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn
5. **Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn**
  - 5.1 bei **aktuellem** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.2 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.3 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik  
und Verwendung von elektrischen Speichern
6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses
7. **Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses**
  - 7.1 bei **aktuell** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.2 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.3 bei **optimal** **durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung**  
und Verwendung von elektrischen Speichern
8. Fazit und Ausblick



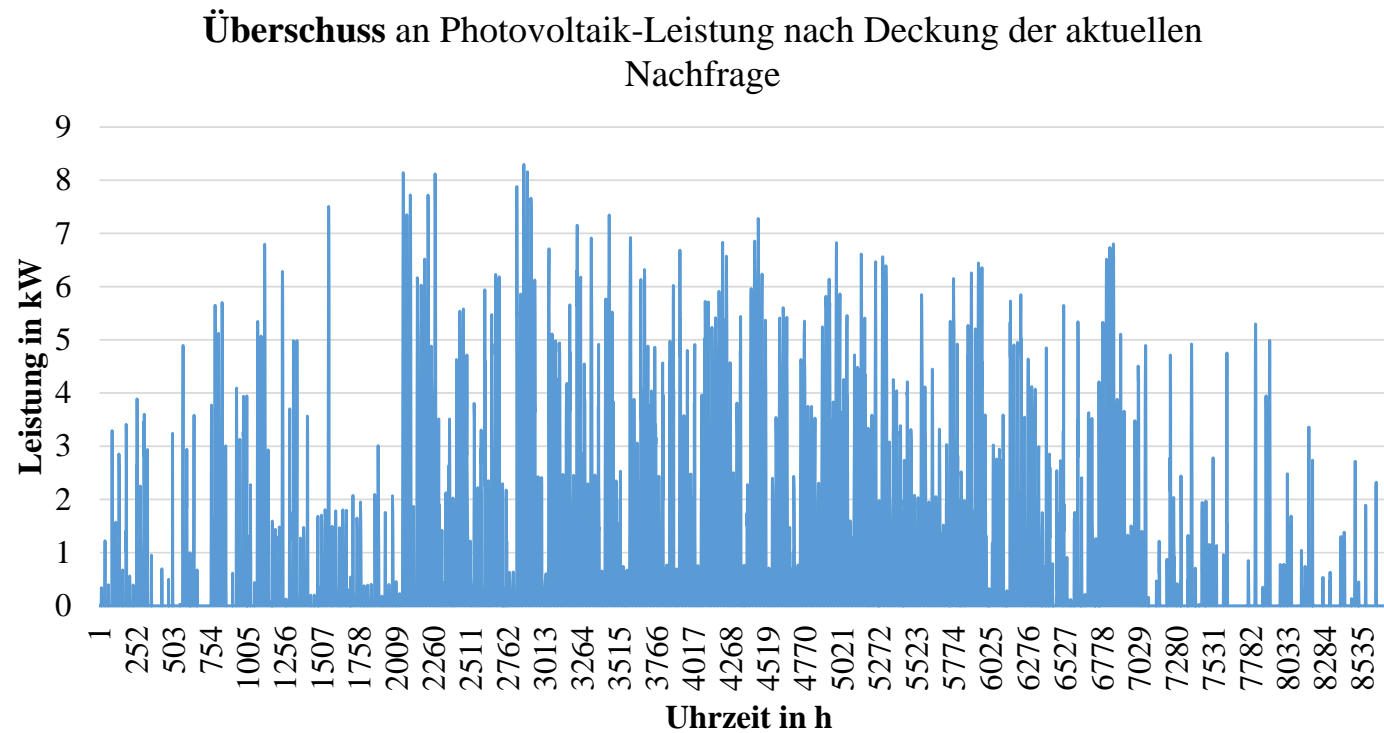
## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses 7.3 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung und Verwendung von elektrischen Speichern

- Photovoltaik nach Süden ausgerichtet und hat eine Neigung von  $45^\circ$
- Durchschnittlich installierte Leistung: 7,6 kW
- Annahme:  $10 \text{ m}^2$  für 1 kWp installierte Leistung
- Installierte Modulfläche beträgt  $76,0 \text{ m}^2$
- Elektroauto wird zusätzlich als Verbraucher mit aufgenommen

Strombedarf des EFH inkl. Elektroauto in kWh	7.600,0
Stromerzeugung der Photovoltaik in kWh	8.806,7
Direkt nutzbare PV-Energie in kWh	2.778,4
Nicht direkt nutzbare PV-Energie in kWh	6.028,3



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses 7.3 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung und Verwendung von elektrischen Speichern



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses 7.3 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung und Verwendung von elektrischen Speichern

### Eigenschaften des Akkumulators

- Selbstentladungsrate: 0,014 % pro Tag <sup>[7.1]</sup>
- Lade- und Entladeeffizienz: 98 % <sup>[7.2]</sup>
- Variation des Speicherinhaltes von 2 kWh – 40 kWh  
(speicherspezifische Kennwerte werden unabhängig von der Größe des Speichers verwendet)

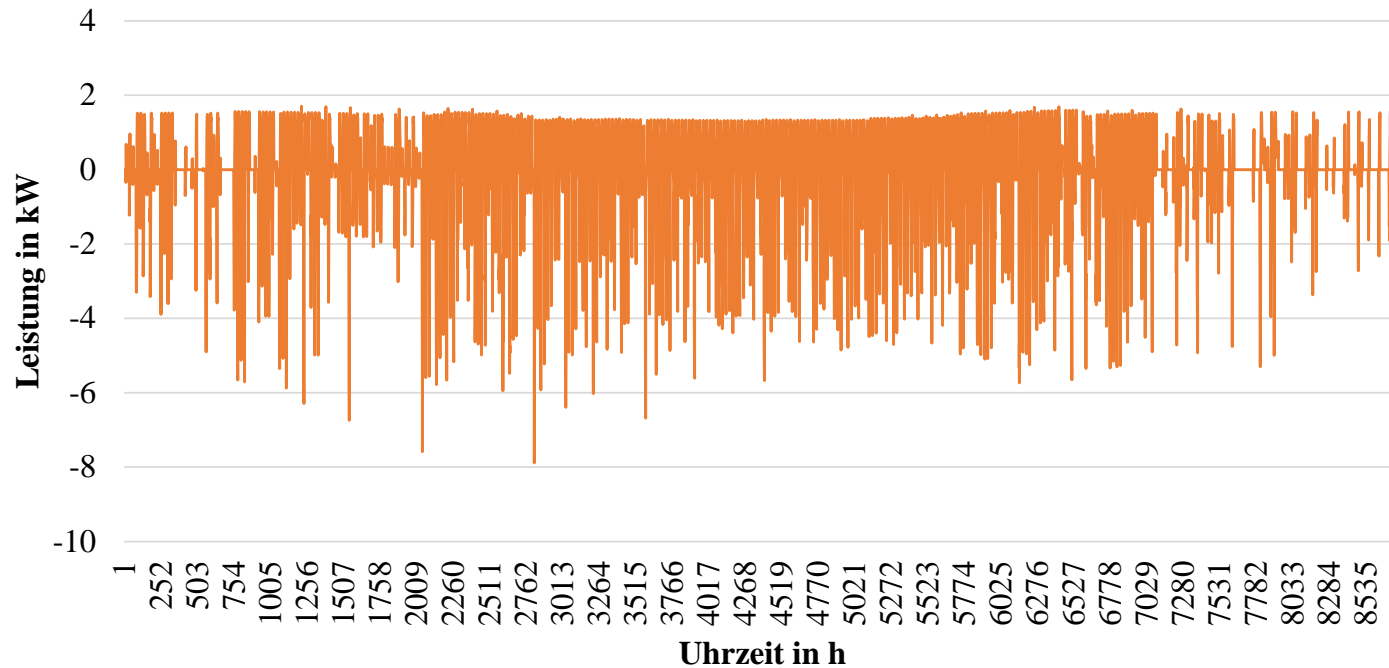
[7.1] Quelle: Hack, Nina; Unz, Simon; Pieper Christoph; Beckmann, Michael (2013): Stand der Technik und innovative Verfahrenskonzepte zur Umwandlung und Speicherung elektrischer Energie. Kraftwerkstechnik - Sichere und nachhaltige Energieversorgung. S.841

[7.2] Quelle: CARMEN-EV (2017). [<https://www.carmen-ev.de/sonne-wind-co/stromspeicher/batterien/315-akkutypen/651-lithium-ionen-akkumulatoren>; 02.04.2017]



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses 7.3 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung und Verwendung von elektrischen Speichern

Lade- und Entladeverhalten des 20 kWh - Akkumulators

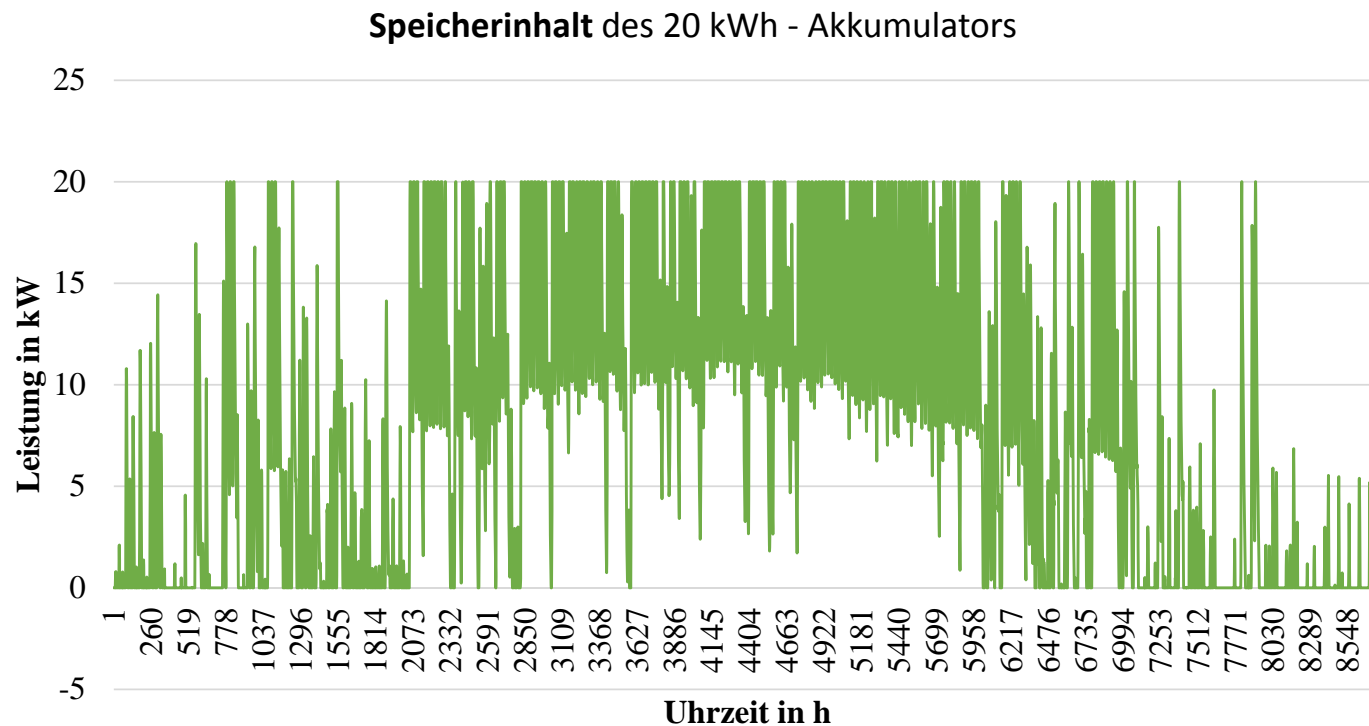


**negative** Werte:  
Speicher wird durch Photovoltaik  
geladen

**positive** Werte:  
Abgegebene Leistung des Akkus  
an das Einfamilienhaus



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses 7.3 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung und Verwendung von elektrischen Speichern



### Wintermonate:

- Meist keine vollen Lade- und Entladezyklen

### Sommermonate:

- Speicher hat zumeist hohen Speicherinhalt
- Wird nur selten komplett entladen



Andreas Meier



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses

### 7.3 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung und Verwendung von elektrischen Speichern

#### Eigenverbrauchsquote

- Bestehend aus **direkt genutzter** Energie und dem EFH **durch den Speicher zur Verfügung gestellten** Energiemenge
- **Direkt genutzte** Energie unabhängig von Speicher (2.778,4 kWh/Jahr)
- **Durch Speicher genutzte** Energiemenge von Speichergröße abhängig

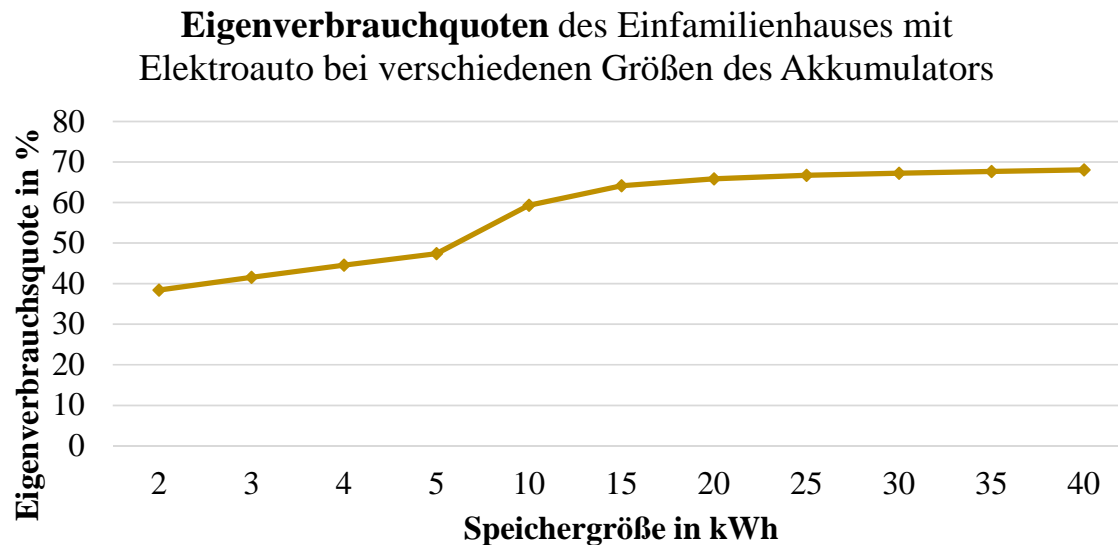
Speicher	durch Akku genutzte Energie in kWh	ges. genutzte Energie in kWh
2 kWh	605,3	3.383,7
3 kWh	881,6	3.660,0
4 kWh	1.146,6	3.925,0
5 kWh	1.395,4	4.173,8
10 kWh	2.445,9	5.224,3
15 kWh	2.871,0	5.649,4
20 kWh	3.021,6	5.800,0
25 kWh	3.096,6	5.875,0
30 kWh	3.141,7	5.920,1
35 kWh	3.180,8	5.959,2
40 kWh	3.215,4	5.993,8



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses 7.3 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung und Verwendung von elektrischen Speichern

### Eigenverbrauchsquote

- Gesamt durch die Photovoltaik erzeugte Energiemenge: 8.806,7 kWh/Jahr



Speicher	Eigenverbrauchsquote in %
2 kWh	38,4
3 kWh	41,6
4 kWh	44,6
5 kWh	47,4
10 kWh	59,3
15 kWh	64,1
20 kWh	65,9
25 kWh	66,7
30 kWh	67,2
35 kWh	67,7
40 kWh	68,1

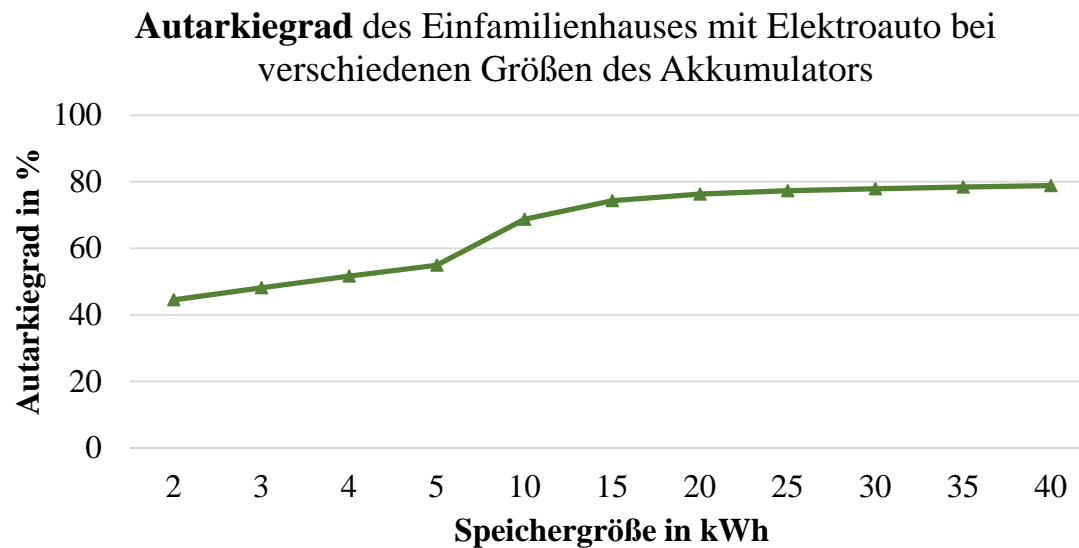


## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses

### 7.3 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung und Verwendung von elektrischen Speichern

#### Autarkiegrad

- Strombedarf des Einfamilienhauses: 7.600,0 kWh/Jahr



Speicher	Autarkiegrad in %
2 kWh	44,5
3 kWh	48,2
4 kWh	51,6
5 kWh	54,9
10 kWh	68,7
15 kWh	74,3
20 kWh	76,3
25 kWh	77,3
30 kWh	77,9
35 kWh	78,4
40 kWh	78,9

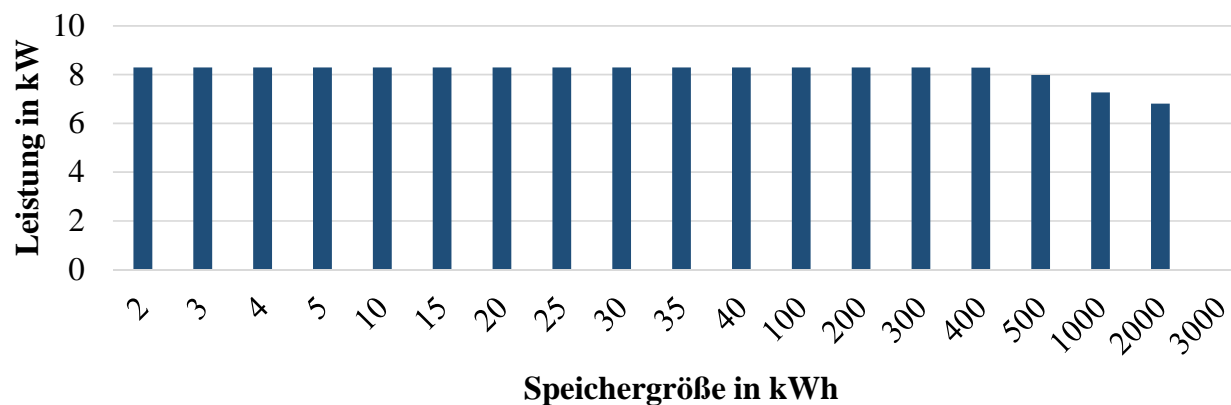


## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses 7.3 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung und Verwendung von elektrischen Speichern

### Größte Überschussleistung

- Wert an Leistung, der nicht direkt genutzt und auch nicht durch den Akkumulator aufgenommen werden kann
- Über ein breites Spektrum an Speichern nahezu unverändert
- Ab 2.604,6 kWh Speicherinhalt keine Überschussleistung mehr festzustellen

Maximale Überschussleistung der Photovoltaik des Einfamilienhauses für verschiedene Akkumulatorgrößen



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses

### 7.3 bei optimal durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung und Verwendung von elektrischen Speichern

#### Größtes Leistungsdefizit

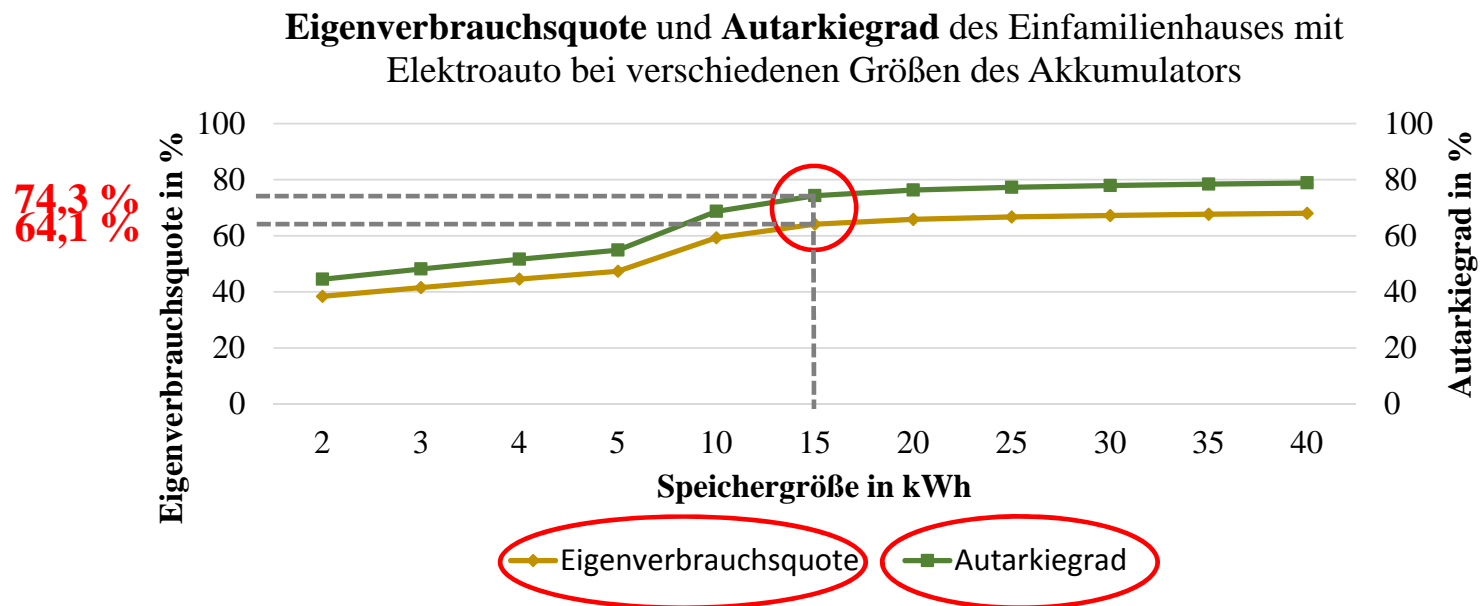
- Wert an Leistung, der benötigt werden würde, um die Nachfrage zu decken
- Über ein breites Spektrum an Speichern nahezu unverändert
- Auch die großen Akkumulatoren weisen keine Verbesserung auf
- Größtes Leistungsdefizit fällt zu Beginn des Jahres an
  - Vorteil, der großen Akkumulatoren kann hier noch nicht genutzt werden
  - Simulation für ein zweites Jahr mit Restspeicherinhalt des Vorjahres könnte Änderung bewirken
- Größtes Leistungsdefizit: -1,74 kW (für alle simulierten Speichergrößen)



## 7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses

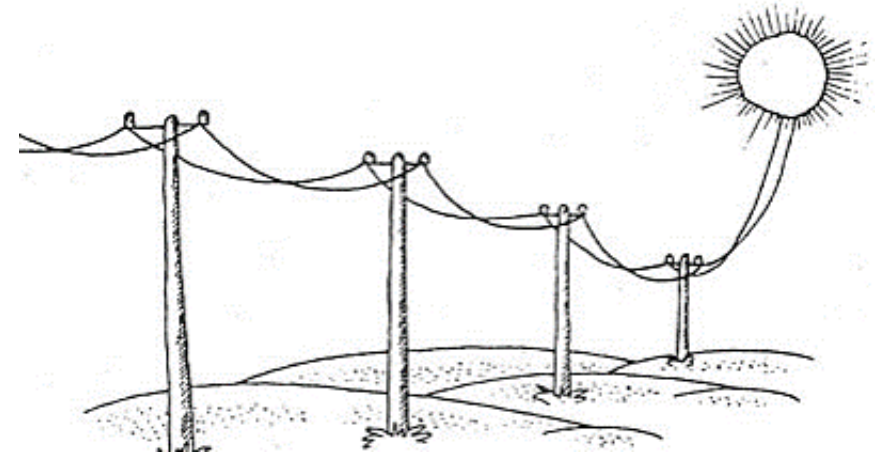
### Zusammenfassung:

- Mit einem Speicher von 15 kWh wurden für den Autarkiegrad und die Eigenverbrauchsquote sehr gute Werte erzielt
- Verwendung von Standardlastprofilen verfälschen Ergebnisse bei Betrachtung eines einzelnen Gebäudes



## Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Verwendete Daten für die Simulation
3. Kennwerte für die Auswertung der Simulation
4. Lastprofil des Teilgebietes von Ottobrunn
5. Simulation des Teilgebietes von Ottobrunn
  - 5.1 bei **aktuellem** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.2 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik
  - 5.3 bei **optimalen** Ausbaugrad der Photovoltaik  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**
6. Lastprofil eines fiktiven Einfamilienhauses
7. Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses
  - 7.1 bei **aktuell** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.2 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung
  - 7.3 bei **optimal** durchschnittlich installierter Photovoltaik Leistung  
**und Verwendung von elektrischen Speichern**



## 8. Fazit und Ausblick



## 8. Fazit und Ausblick

- Dachneigung und Ausrichtung wurden für das Teilgebiet anhand einer Zufallszahl bestimmt  
-> mögliche Lösung könnte ein GIS gesteuerter 2D-Ansatz zur Abschätzung des Photovoltaik-Potenzials für großflächige Gebiete der TU Kaiserslautern sein
- Stromverbrauch von Gebäuden des Teilgebietes die per Standardlastprofil erfasst werden, wurden betrachtet  
-> Gebäude die mit RLM erfasst werden könnten nun hinzugefügt werden
- Verluste von Wechselrichter oder aufgrund von Verschattung wurden in der Simulation nicht berücksichtigt
- Betrachtung des Einfamilienhauses könnte nun auf ein größeres Gebiet ausgeweitet werden  
-> Betrachtung anhand von Standardlastprofilen gewinnt somit an Genauigkeit
- Genauigkeit der Simulation mit geringeren Simulationsintervallen erhöhen (bisher Stundenwerte)





Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

