

**Veranstaltungsreihe**  
*„Wege zur erneuerbaren elektrischen Energieversorgung“*

# Grundlast aus Photovoltaik

DI Norbert Heinrich  
DI Dr. Magdalena Wolf

**Institute for Chemical and Energy Engineering**  
University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

# Inhalt

- Einleitung
- Herangehensweise & Methodik
- Dimensionierung der Anlagenkomponenten
- Ergebnisse - Systemdesign
- Annahmen & Rahmenbedingungen Wirtschaftlichkeit
- Ergebnisse - Wirtschaftlichkeit
- Schlussfolgerung & Ausblick

# Einleitung

## Stromerzeugung in Europa 2015 – 3,07 Mio. GWh

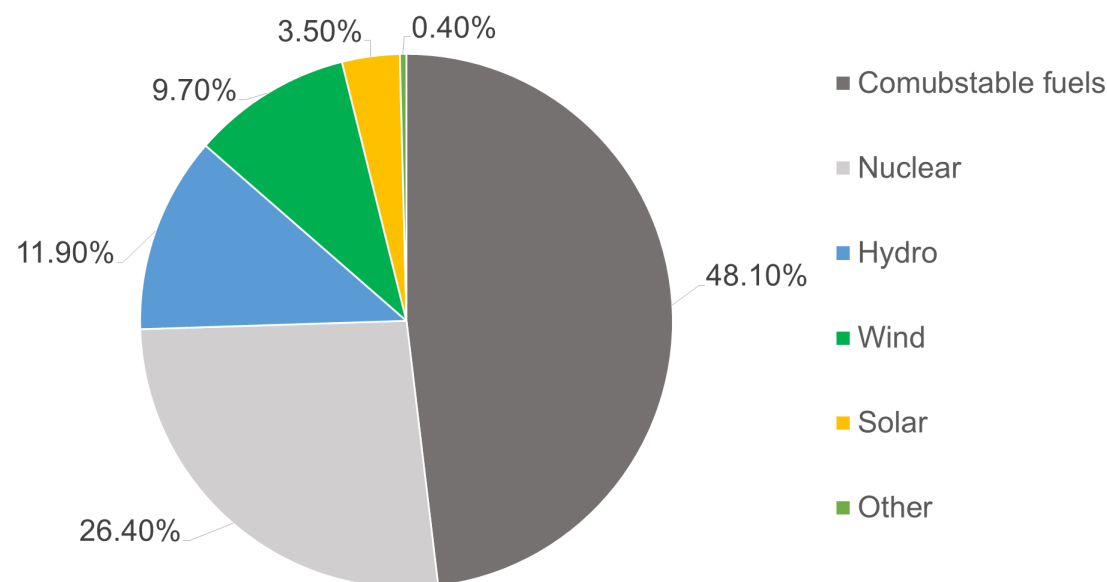


Abb. 1: Europäische Stromerzeugung  
Quelle: Eurostat (2018): [ec.europa.eu/eurostat](http://ec.europa.eu/eurostat)

## EU „Energiefahrplan 2050“ Dekarbonisierungsszenarios:

*„Ein sicheres, wettbewerbsfähiges und dekarbonisiertes Energiesystem im Jahr 2050 ist möglich.“*

*„Starke Förderung der erneuerbaren Energien, die zu einem sehr hohen Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch (75% im Jahr 2050) und zu einem **Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch von 97%** führt.“*

Quelle: Energiefahrplan 2050, Europäische Kommission (2011) [1]

# Zeitlicher Verlauf des Kraftwerksbaus in Österreich

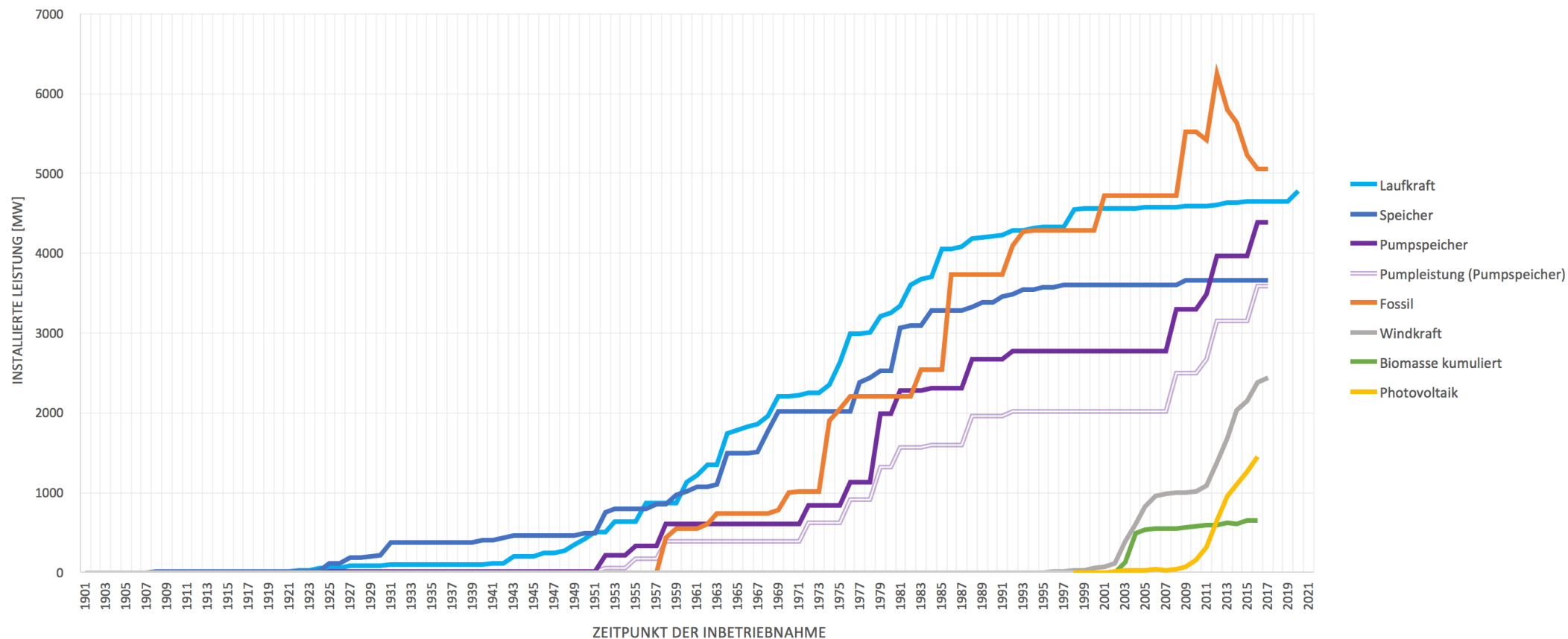
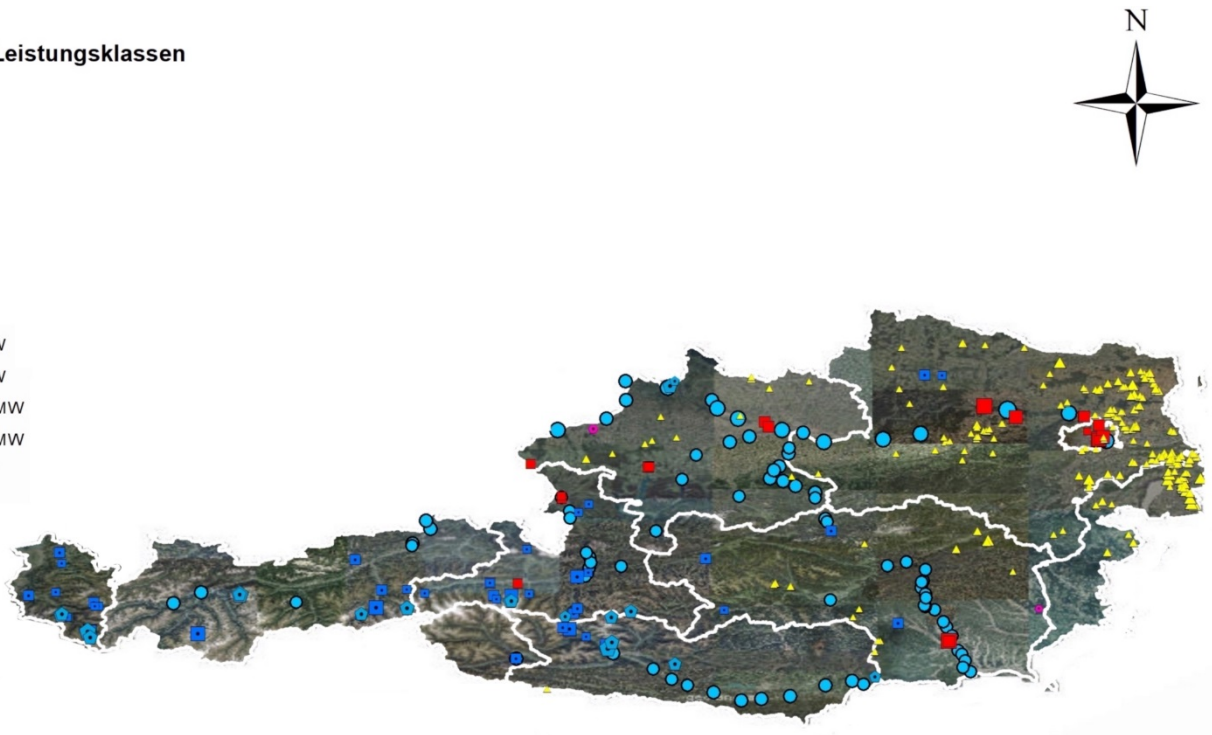


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf: Kumulierte installierte Leistung des österreichischen Kraftwerksparks  
Quelle: Eigene Darstellung

# Elektrische Energiebereitstellung in Österreich (I)

## Kraftwerkstypen und Leistungsklassen

- Laufkraft 10 - 29 MW
- Laufkraft 30 - 99 MW
- Laufkraft 100 - 299 MW
- Laufkraft 300 - 500 MW
- Speicher 10 - 29 MW
- Speicher 30 - 99 MW
- Speicher 100 - 299 MW
- Speicher 300 - 500 MW
- ★ Pumpspeicher 10 - 29 MW
- ★ Pumpspeicher 30 - 99 MW
- ★ Pumpspeicher 100 - 299 MW
- ★ Pumpspeicher 300 - 500 MW
- ★ Pumpspeicher > 500 MW
- Fossil < 10 MW
- Fossil 10 - 29 MW
- Fossil 30 - 99 MW
- Fossil 100 - 299 MW
- Fossil 300 - 500 MW
- Fossil > 500 MW
- ▲ Windkraft < 10 MW
- ▲ Windkraft 10 - 29 MW
- ▲ Windkraft 30 - 99 MW
- Geothermie < 10 MW
- Geothermie 10 - 29 MW



**Anteil erneuerbar an der Stromerzeugung (2016):**

**71,7%**

Abb. 3: Österreichischer Kraftwerkspark >10 MW EPL + Windkraft

Quelle: Eigene Darstellung

1:3.700.000

0 35 70 140 210 280 Kilometers

Quelle: Factsheet Erneuerbare Energie in Zahlen 2017, BMNT (2019) [2]

# Elektrische Energiebereitstellung in Österreich (II)

## Photovoltaik

Tab. 1: Installierte, registrierte PV-Engpassleistung Ende 2016 nach Bundesländern  
Quelle: e-control, 2018 [3]

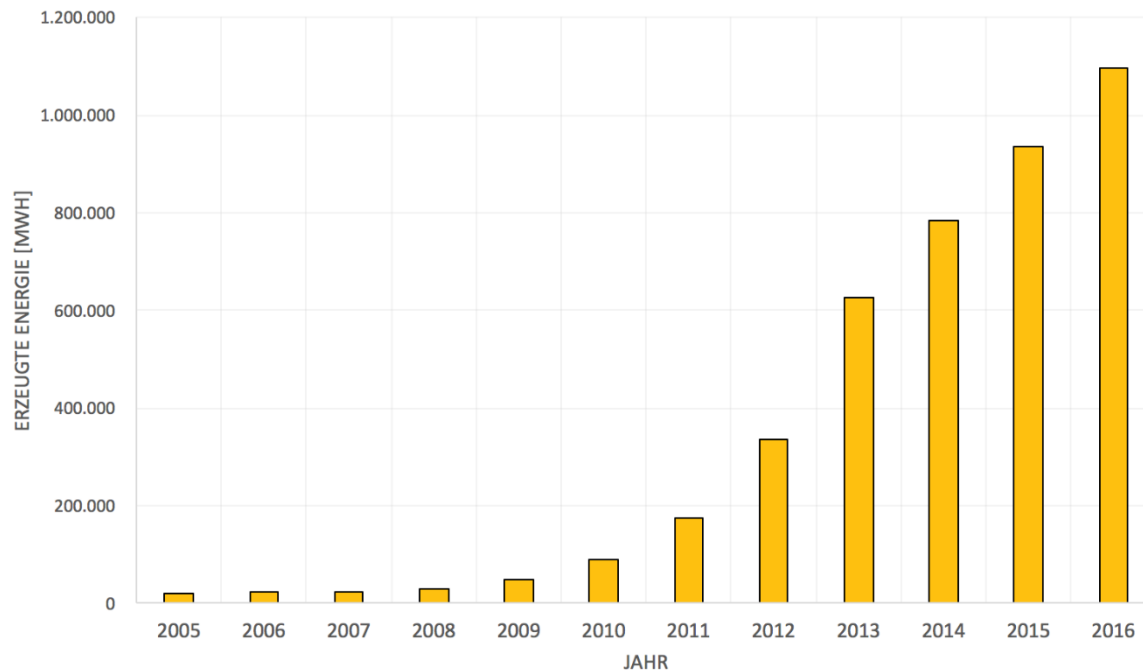


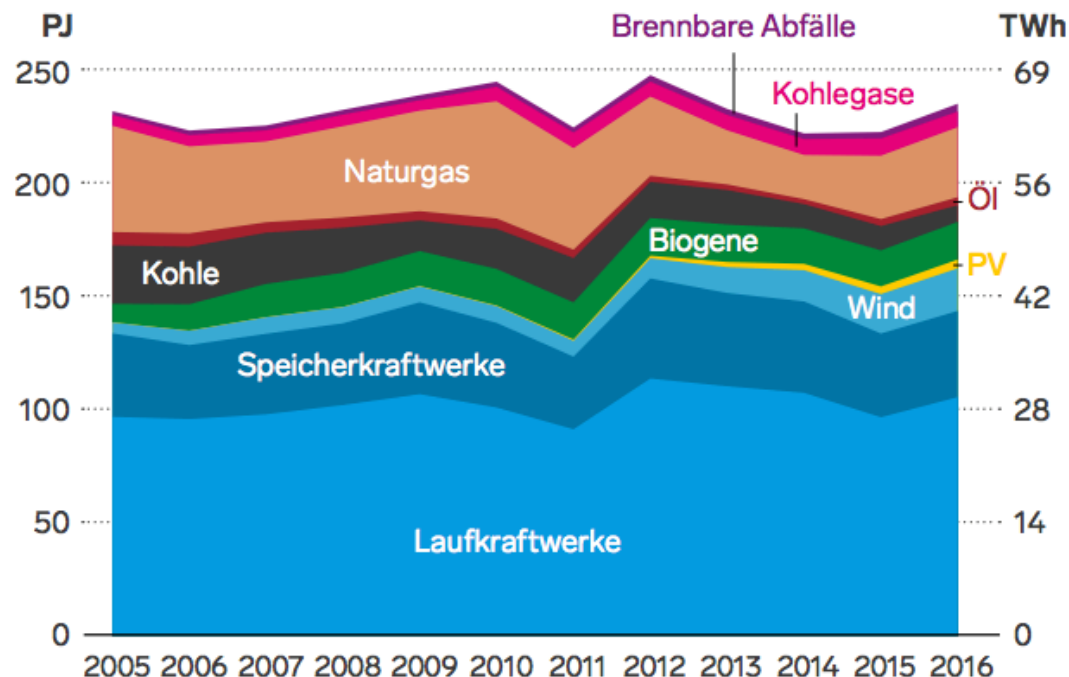
Abb. 4: Erzeugte Energie durch PV in Österreich 2005 – 2016  
Quelle: Eigene Darstellung

| Bundesland       | Anlagenanzahl | Gesamtleistung [MWp] |
|------------------|---------------|----------------------|
| Burgenland       | 1.859         | 38,55                |
| Kärnten          | 3.150         | 122,71               |
| Niederösterreich | 23.076        | 284,50               |
| Oberösterreich   | 25.534        | 365,28               |
| Salzburg         | 2.856         | 80,77                |
| Steiermark       | 14.400        | 355,76               |
| Tirol            | 4.307         | 104,56               |
| Vorarlberg       | 5.526         | 80,43                |
| Wien             | 1.769         | 26,50                |
| Gesamt           | 82.476        | 1.459,05             |

# Elektrische Energiebereitstellung in Österreich (III)

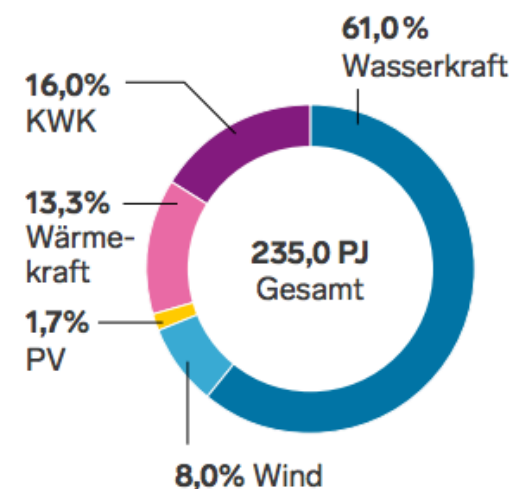
## Bruttostromerzeugung in Österreich

in PJ (linke Skala) und TWh (rechte Skala) 2005 – 2016



Quelle: E-Control

## Stromerzeugung nach Technologien 2016



**+0,4% p. a.**

Stromerzeugung 2005 – 2017

Abb. 5: Bruttostromerzeugung in Österreich nach Technologien  
Quelle: BMNT „Energie in Österreich 2018“ (2019) [4]



# Grundlast & Spitzenlast

- „Teil der bereitgestellten elektrischen Energie, welcher **mehr als 5.000 Stunden pro Jahr** im Verbundnetz zur Verfügung steht. Der Anforderungsbereich von 2.000 – 5.000 h/a wird als **Mittellast**, der Anforderungsbereich kleiner 2.000 h/a als **Spitzenlast** bezeichnet.“ vgl. Strauß, 2016.



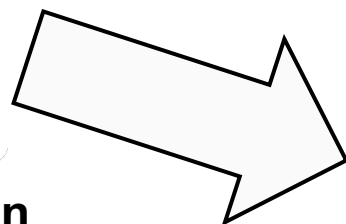
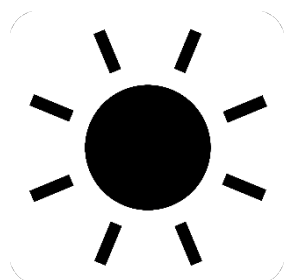
→ **Konstante, planbare Energiebereitstellung mit hoher Gleichmäßigkeit der Erzeugungskurve**



# Herangehensweise & Methodik (I)

- Konzeption einer PV-Anlage in Kombination mit einem stationären Batteriespeichersystem (BSS) zur **Deckung des jährlichen elektrischen Energiebedarfes eines Einfamilienhauses**, auch im Winter
- Zusätzlich wird eine **gleichmäßige Einspeisung** in das Verbundnetz angestrebt

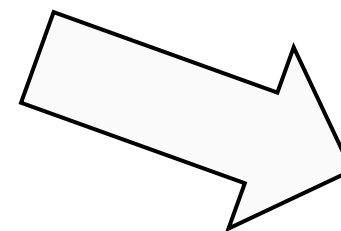
# Herangehensweise & Methodik (II)



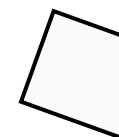
**Darstellung der solaren Erzeugungsfunktion**



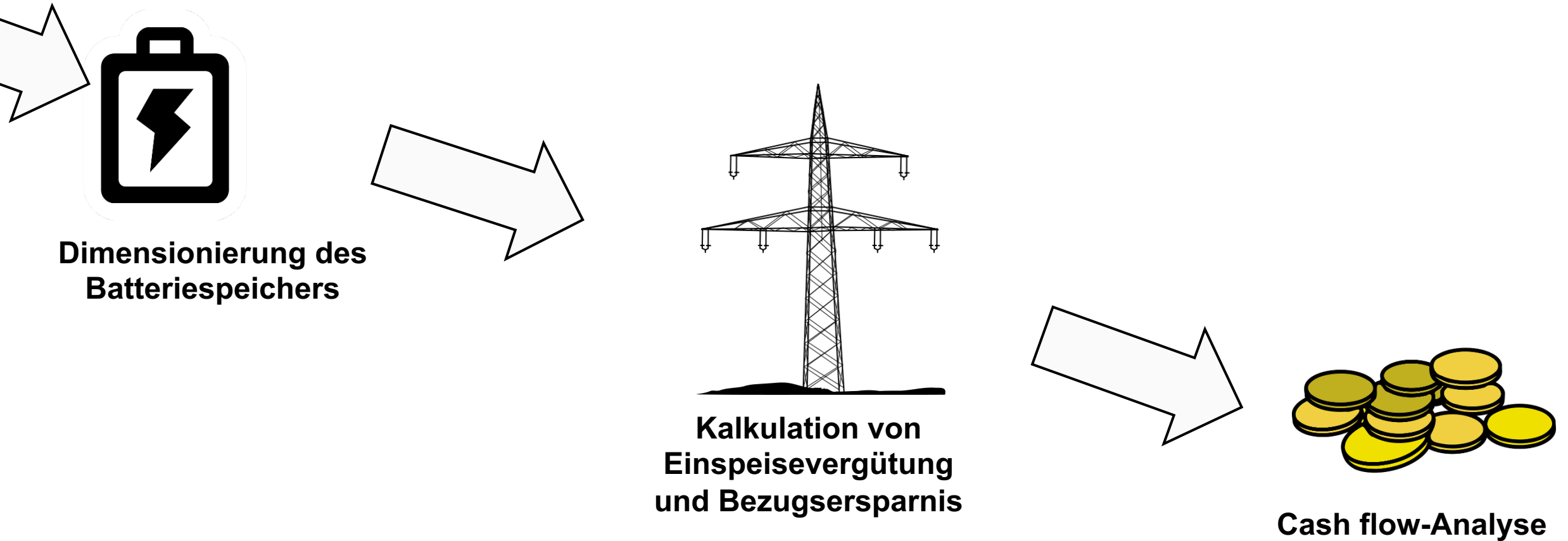
**Ermittlung des Strombedarfes**



**Dimensionierung der PV-Anlage**



# Herangehensweise & Methodik (III)



# Dimensionierung der PV

## Saisonale Schwankungen der PV-Erzeugung

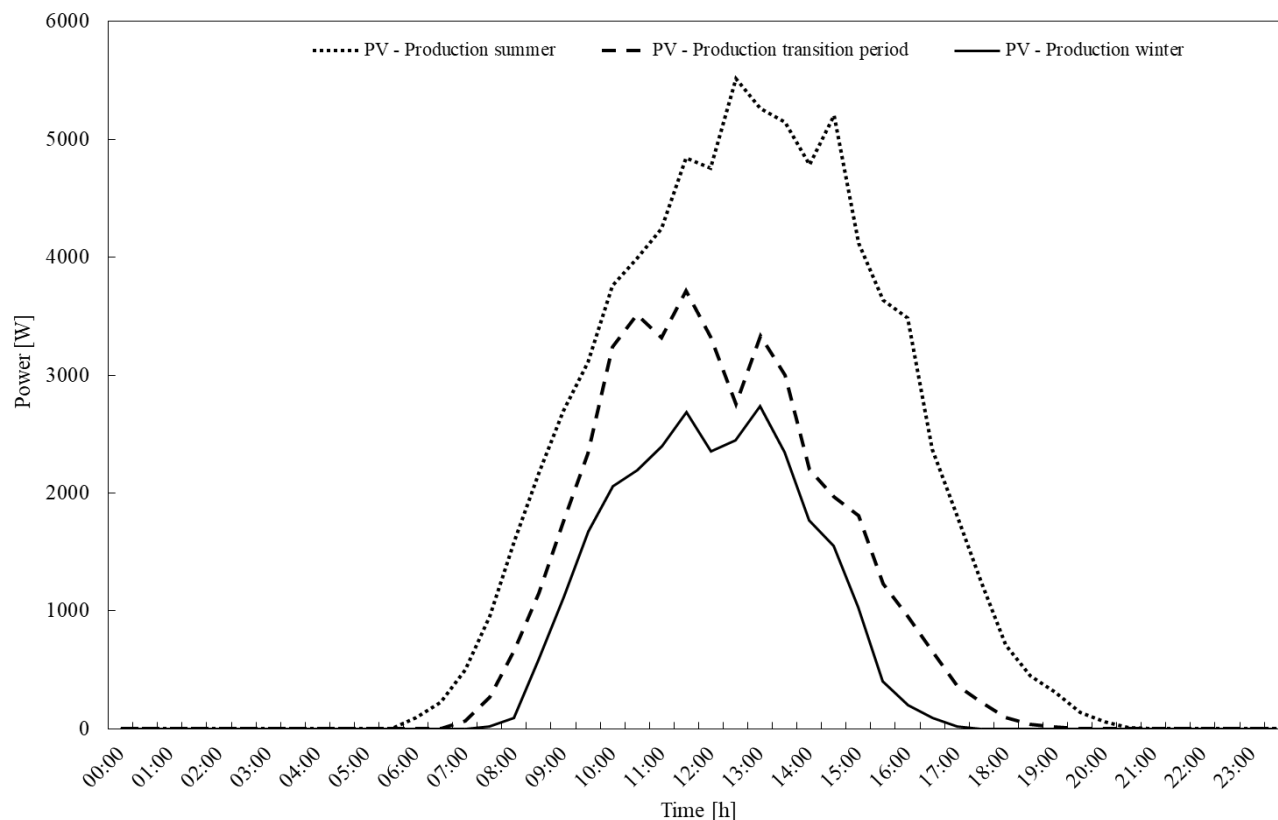


Abb. 6: Durchschnittliche saisonale Schwankungen der PV-Erzeugungskurve der Referenzanlage  
Quelle: Eigene Darstellung

### PV-Sommer

April  
Mai  
Juni  
Juli  
August  
September

### PV-Winter

Dezember  
Jänner  
Februar

### PV-Übergangszeit

März  
Oktober  
November

# Dimensionierung der PV

Saisonale Schwankungen des Lastprofils  
des österreichischen Durchschnittshaushaltes (BDEW H0 Standardastprofil)

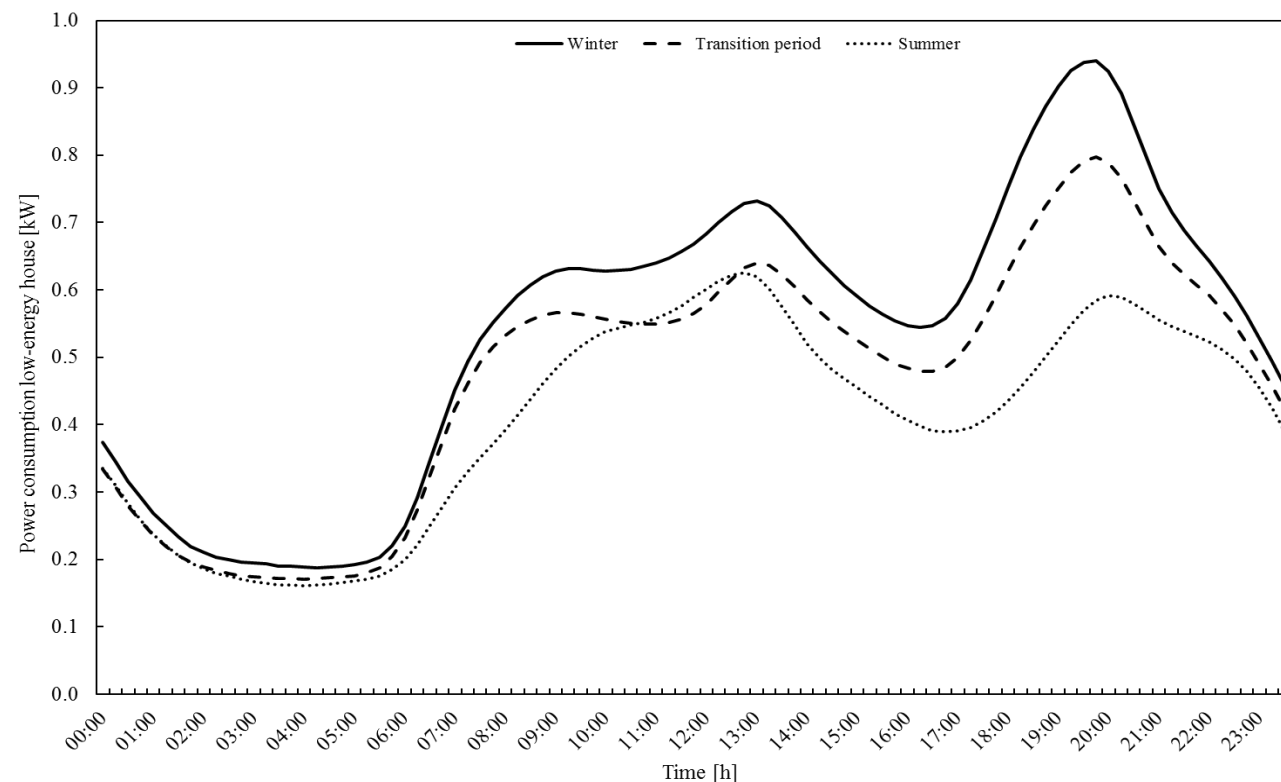
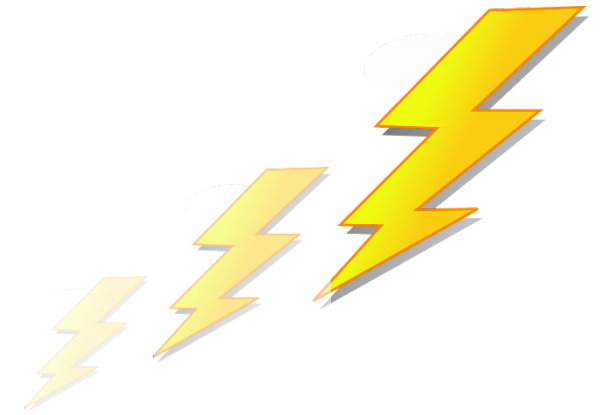


Abb. 7: H0-Durchschnittslastprofil der drei gewählten Referenzzeiträume  
Quelle: BDEW (2017): Bundesverband für Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Standardlastprofile 2017

# Ergebnisse - Systemdesign

## 1. Photovoltaik – Dimensionierung

- Referenzanlage: 8,25 kWp PV-Anlage in Ost-Österreich
- Vergleich der Bedarfs- und Erzeugungskurven
- Skalierung der PV-Anlage zur Deckung des Energiebedarfs im erzeugungsschwächsten Zeitraum „PV-Winter“



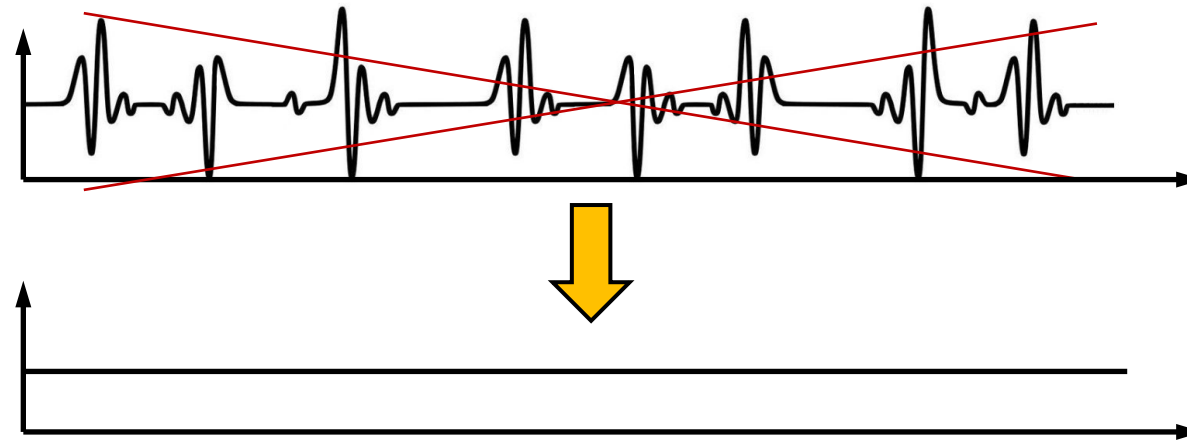
## 2. Batteriespeicher – Dimensionierung

- Anforderung: Fähigkeit der Speicherung der anfallenden Energie im Tagesverlauf im erzeugungsstärksten Zeitraum „PV-Sommer“
- Dimensionierung anhand der Erzeugung im PV-Sommer

# Ergebnisse - Systemdesign

## 3. Saisonal gleichförmige Einspeisung in das Verbundnetz

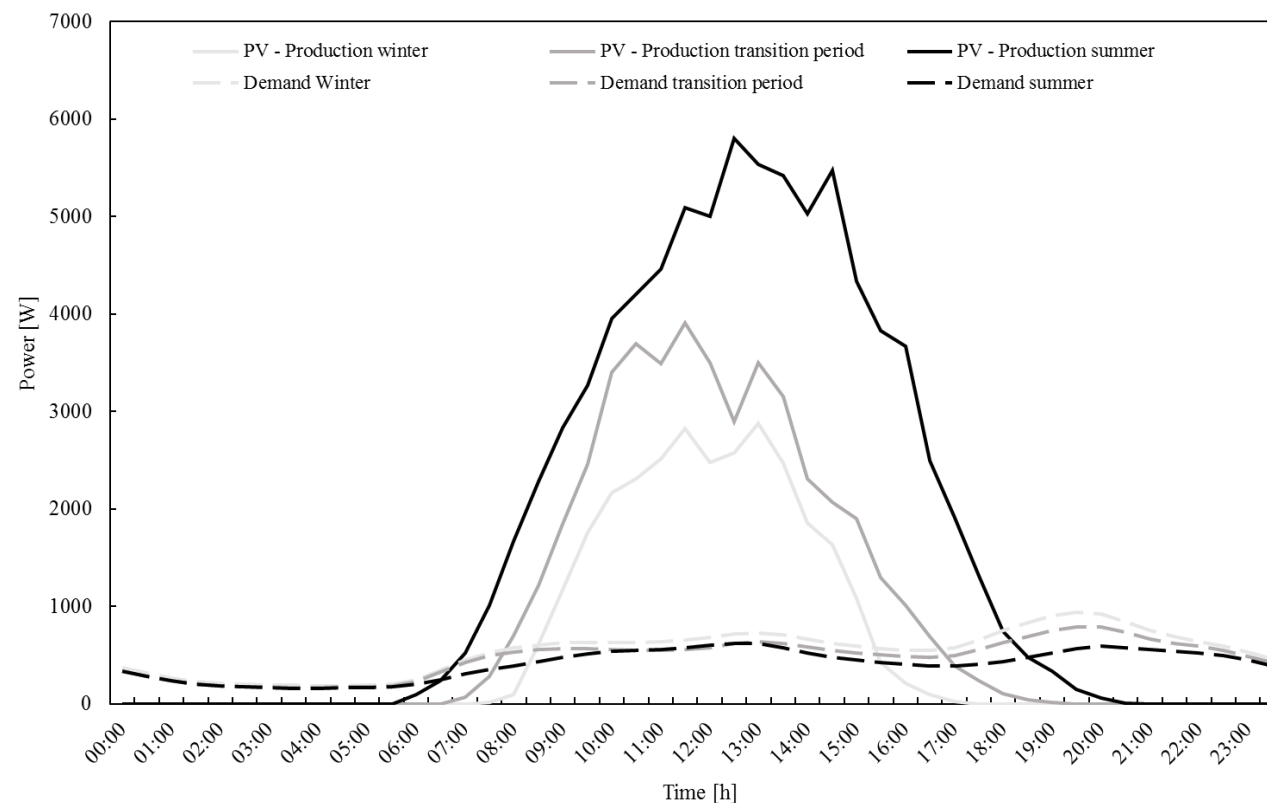
- Überschussenergie wird in das Stromnetz gespeist ABER kontrolliert und gleichförmig
- Anforderung: konstante Einspeiseleistung 0-24 h





# Ergebnisse - Systemdesign

## Gegenüberstellung der saisonalen Verbrauchs- und Erzeugungskurven



- **Ergebnis**  
**PV-Skalierung:**  
**8,7 kWp**
- **Ergebnis**  
**Skalierung des BSS:**  
**19,8 kWh**

Abb. 8: Vergleich der Erzeugungskurven der PV und des H0-Lastprofils für die drei Referenzzeiträume  
Quelle: Eigene Darstellung

# Ergebnisse - Systemdesign

## Betriebsweise des „Grundlast-PV-Systems“ im **PV-Sommer**

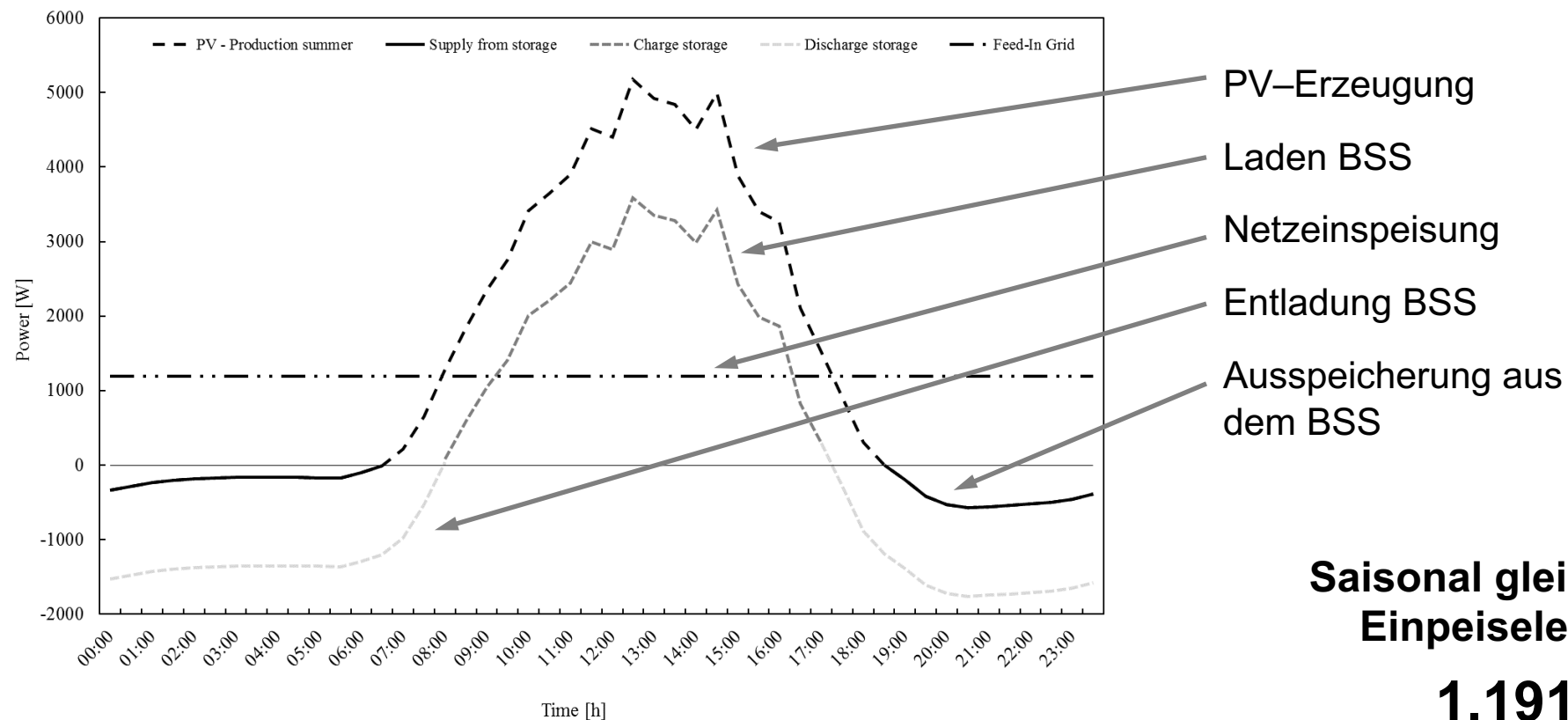


Abb. 9: Betriebsweise des PV-BSS-Systems im Referenzzeitraum PV-Sommer  
Quelle: Eigene Darstellung

# Ergebnisse - Systemdesign

Betriebsweise des „Grundlast-PV-Systems“ in der **PV-Übergangszeit**

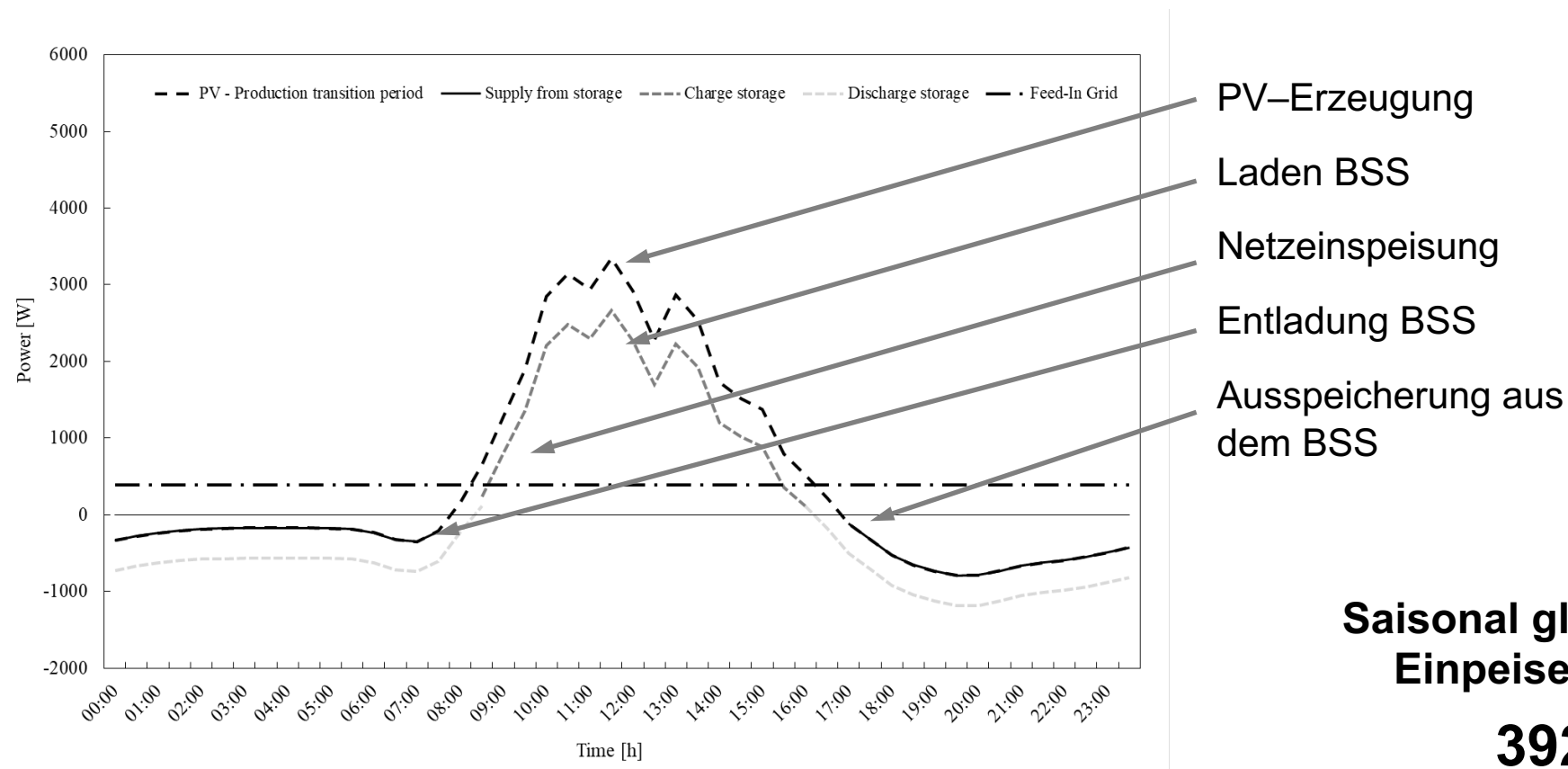
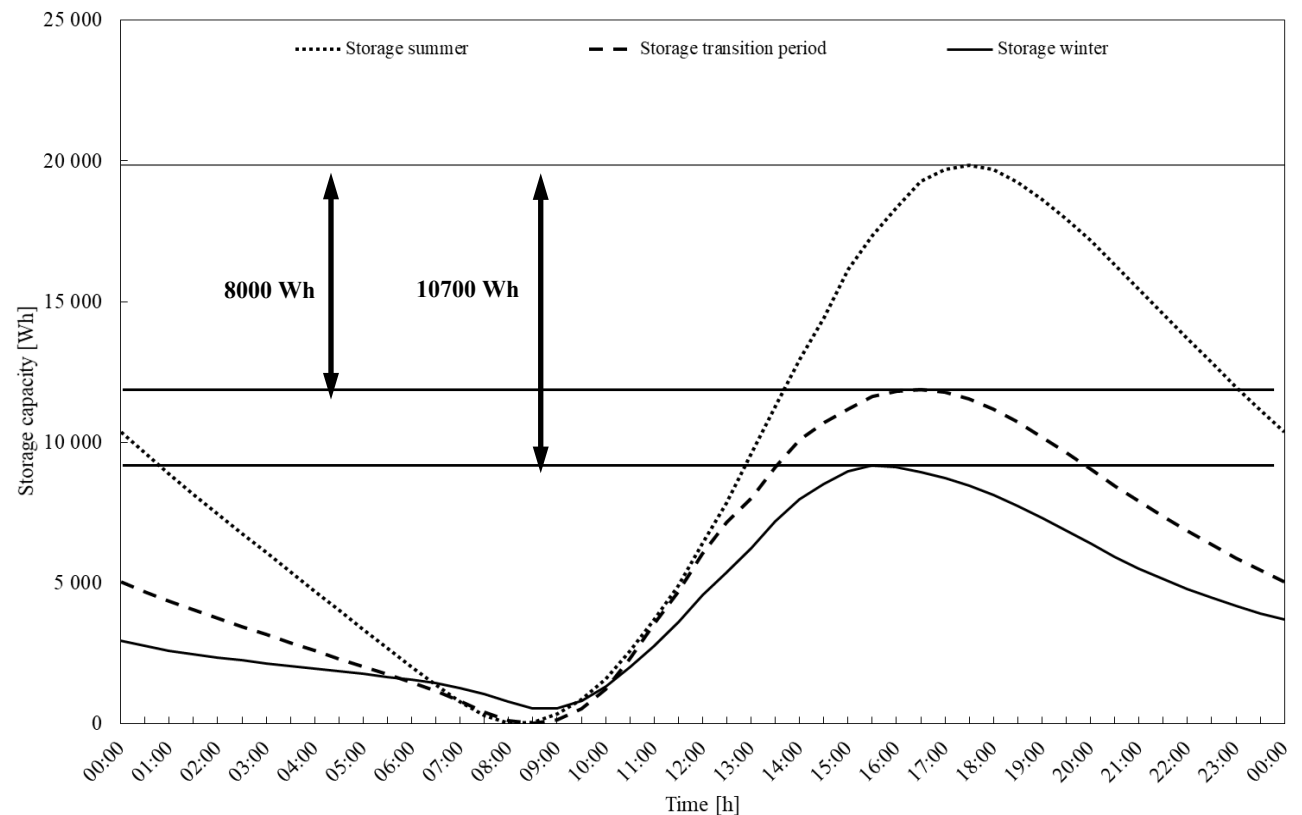


Abb. 10: Betriebsweise des PV-BSS-Systems im Referenzzeitraum PV-Übergangszeit  
Quelle: Eigene Darstellung

# Ergebnisse - Systemdesign

## Freie Speicherkapazitäten im saisonalen Vergleich



**Ermöglichung der Aufnahme von überschüssiger Leistung und Speicherung von Energie aus dem Stromnetz**

- **PV-Übergangszeit: 8.000 Wh**
- **PV-Winter: 10.700 Wh**

Abb. 11: Frei verfügbare Speicherkapazitäten in den Referenzzeiträumen PV-Winter und -Übergangszeit  
Quelle: Eigene Darstellung

# Wirtschaftliche Annahmen und Rahmenbedingungen

## Photovoltaikanlagen

- Durchschnittspreis Systembasis 2016:

**1.375 €/kWp**

(Quelle: Bundesverband Solarwirtschaft e.V, pvXchange.org)

- Annahme Preisentwicklung für 2022:

**1.250 €/kWp**



Abb. 12: Entwicklung der durchschnittlichen Modulpreise für Photovoltaikanlagen 2006 - 2016.  
Quelle: EuPD Research International Solar (2018) [5]

# Wirtschaftliche Annahmen und Rahmenbedingungen

## Stationäre Batteriespeicher

- Kürzere Marktreife als PV
  - Miteinbeziehung von Preisprognosen aus E-Mobilitätssektor, auf Grund fehlender Erfahrung bei stat. Speichersystemen
- Fahrzeugspeicher, im Vergleich zu stat. Systemen wesentlich günstiger.  
Grund: Skaleneffekte auf Grund größerer Produktionsmengen**

# Wirtschaftliche Annahmen und Rahmenbedingungen

## Stationäre Batteriespeicher

Endkundenpreis inkl. Installation für stationären Batteriespeicher **2016:**

**1.413 €/kWh nutzbar**

(Quelle: Sterner & Stadler, 2017)

Endkundenpreis inkl. Installation für stationären Batteriespeicher **2017:**

**539 €/kWh nutzbar**

(Quelle: Solaranlagen Portal, 2018)

Annahme Preisentwicklung 2022:

**200 €/kWh nutzbar**



Abb. 13: Entwicklung der durchschnittlichen Preise für Fahrzeugspeicher auf Systembasis.  
Quelle: Bloomberg Technology (2018) [6]

# Wirtschaftliche Annahmen und Rahmenbedingungen

## Cash flow-Analyse

Tab. 2: Basisannahmen zur wirtschaftlichen Betrachtung des Dimensionierten Grundlast-PV-Systems  
Quelle: Eigene Darstellung

| Ausgaben                                  |       |         |
|-------------------------------------------|-------|---------|
| PV-System                                 | 1.250 | EUR/kWp |
| BSS                                       | 200   | EUR/kWh |
| Energiemanager (Kontrolleinheit)          | 500   | EUR     |
| Versicherung, Instandhaltung, Zählermiete | 282   | EUR/a   |
| Abschreibung                              |       |         |
| Abschreibungszeitraum                     | 10    | a       |
| Inflationsrate                            | 2     | %p.a.   |
| Einnahmen                                 |       |         |
| Strombezugstarif                          | 0,206 | EUR/kWh |
| Einspeisevergütung                        | 0,058 | EUR/kWh |





# Ergebnisse - Wirtschaftlichkeit

## Cash flow-Analyse

Tab. 3: Darstellung der Ergebnisse der durchgeführten cash flow-Analyse  
Quelle: Eigene Darstellung

| Ausgaben                                  |                           |              |            |  |
|-------------------------------------------|---------------------------|--------------|------------|--|
| Investitionskosten                        |                           |              |            |  |
| PV-System                                 | 8,7 kWp                   |              |            |  |
|                                           | 1.250 EUR/kWp             | 10.844       | EUR        |  |
| BSS                                       | 19,8 kWh                  |              |            |  |
|                                           | 200 EUR/kWh               | 3.968        | EUR        |  |
| Energiemanager                            |                           | 500          | EUR        |  |
| Betriebskosten                            |                           |              |            |  |
| Versicherung, Instandhaltung, Zählermiete | 282 EUR/a                 | 2.845        | EUR        |  |
|                                           | Summe Ausgaben            | 18.157       | EUR        |  |
| Einnahmen                                 |                           |              |            |  |
| Netzeinspeisung                           | 5.994 kWh/a               |              |            |  |
|                                           | 348 EUR/a                 | 3.512        |            |  |
| Ersparnis Netzbezug                       | 4.000 kWh/a               |              |            |  |
|                                           | 825 EUR/a                 | 8.323        | EUR        |  |
|                                           | Summe Einnahmen           | 11.835       | EUR        |  |
|                                           | <b>Finanzierungslücke</b> | <b>6.322</b> | <b>EUR</b> |  |

**Der Einsatz von  
Fördermitteln ist  
notwendig**

# Schlussfolgerung & Ausblick (I)

## Einfamilienhaus:

- 8,7 kWp Photovoltaik-System
- 19,8 kWh Batteriespeicher stationär
- **Das System deckt den Energiebedarf auch im Winter**
- **Gleichförmige Einspeisung von Grundlast-Energie** in das Verbundnetz
  - PV-Sommer: 1.191 W | 5.233 kWh
  - PV-Übergangszeit: 392 W | 760 kWh
- **Freie Speicherkapazitäten** stehen im PV-Winter und in der PV-Übergangszeit temporär zur Verfügung

# Schlussfolgerung & Ausblick (II)

- Nach 10 Jahren:
  - Finanzierungslücke von 6.322 EUR
  - Förderung ist notwendig

## Ausrichtung der Förderung

- Investitionsförderung
  - PV: 530 EUR/kWp und
  - BSS: 86 EUR/kWh
- oder über temporär garantierte Einspeisetarife:
  - Förderung von eingespeister Energie ausschließlich → 10,55 cent/kWh
  - Förderung der gesamt erzeugten Energie → 5,87 cent/kWh

# Schlussfolgerung & Ausblick (III)

Nicht in Betracht gezogen wurden folgende Punkte:

- Mögliche Fördermodelle für die zur Verfügung stehende Speicherleistung zur Entlastung des Stromnetzes
- Potentiell zukünftig erhöhter Leistungsbedarf auf Grund von P2H (Wärmepumpe) und Elektromobilität
- **Bilaterale Abkommen zwischen Anlagenbetreiber und Energieversorgungsunternehmen können Vorteile schaffen**
  - **Politische Rahmenbedingungen müssen definiert werden**

# Literatur

- [1] Europäische Kommission (2011): Energiefahrplan 2050: ein sicherer, wettbewerbsfähiger und CO<sub>2</sub>-armer Energiesektor ist möglich, abrufbar unter: [europa.eu/rapid/press-release\\_IP-11-1543\\_de.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-1543_de.htm) (20.01.2019)
- [2] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2019): Factsheet Erneuerbare Energie in Zahlen 2017, abrufbar unter: [www.bmnt.gv.at/umwelt/energiewende/erneuerbare\\_energie/erneuerbare-energie-in-zahlen-2017.html](http://www.bmnt.gv.at/umwelt/energiewende/erneuerbare_energie/erneuerbare-energie-in-zahlen-2017.html) (20.01.2019)
- [3] e-control (2018): Ökostrombericht 2017, abrufbar unter: [www.e-control.at/documents/20903/388512/e-control-oekostrombericht-2017.pdf/](http://www.e-control.at/documents/20903/388512/e-control-oekostrombericht-2017.pdf/) (20.01.2019)
- [4] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2019): Energie in Österreich 2018, abrufbar unter: [www.bmnt.gv.at/energie-bergbau/energie/Zahlen--Daten--Fakten.html](http://www.bmnt.gv.at/energie-bergbau/energie/Zahlen--Daten--Fakten.html)
- [5] EuPD Research International Solar (2017): Photovoltaik-Preismonitor Deutschland. Forschungsbericht BSW-Solar Bundesverband Solarwirtschaft e.V.
- [6] Bloomberg Technology (2017): The Latest Bull Case for Electric Cars: the Cheapest Batteries Ever, abrufbar unter: [www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-20/deadly-mines-linked-to-child-laborthrive-in-rush-for-batteries](http://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-20/deadly-mines-linked-to-child-laborthrive-in-rush-for-batteries) (17.02.2018)

# University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

## Department of Material Sciences and Process Engineering

Institute for Chemical and Energy Engineering  
Research Group Energy Technology and Energy Management

DI Norbert Heinrich  
DI Dr. Magdalena Wolf

Peter Jordan Straße 82, 1190 Vienna  
Tel.: +43 1 47654-89315  
[magdalena.wolf@boku.ac.at](mailto:magdalena.wolf@boku.ac.at)  
[www.boku.ac.at](http://www.boku.ac.at)