



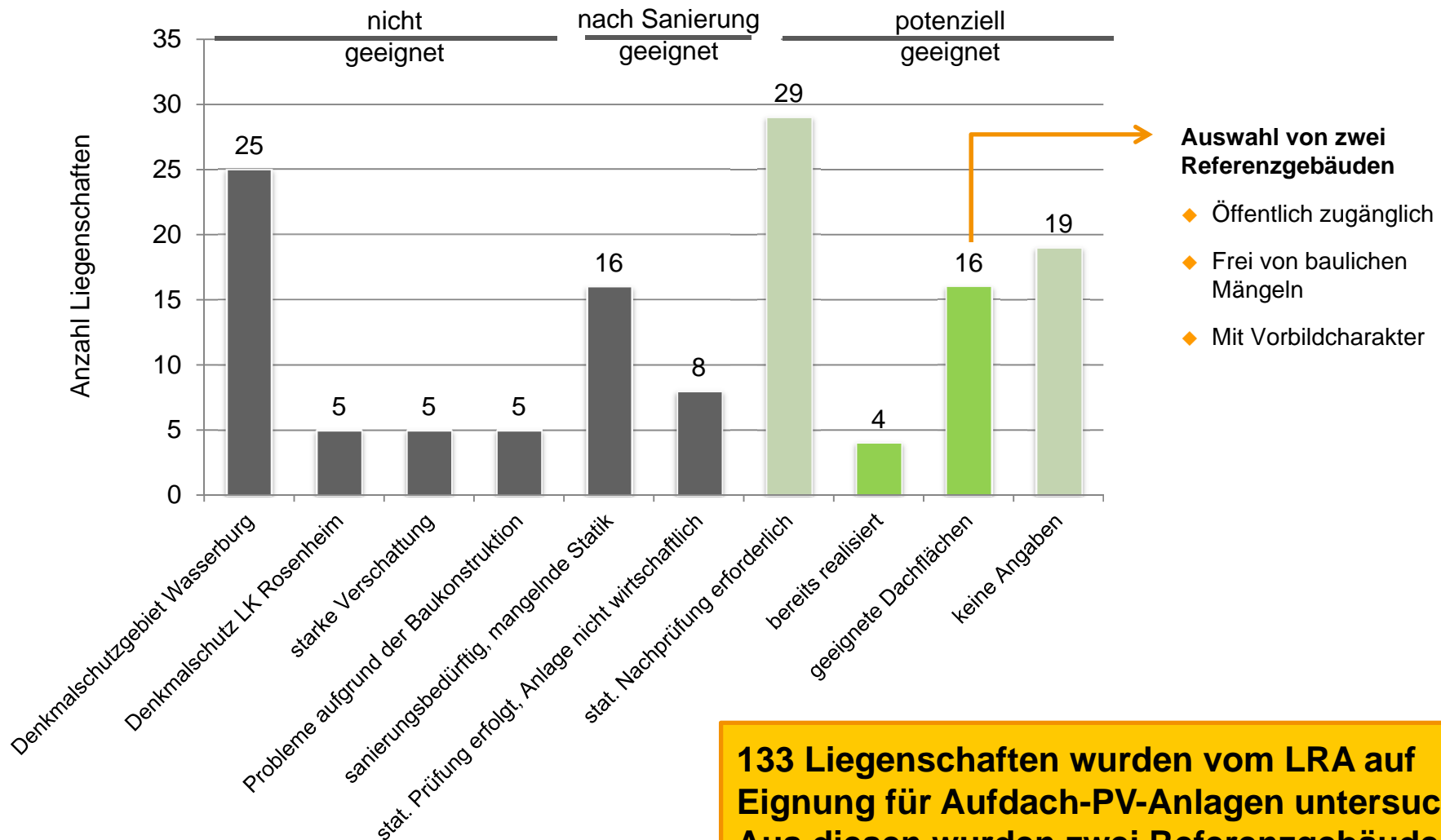
# **Kommunale Aufdach-PV-Anlagen im Landkreis Rosenheim**

Potenzial, Dimensionierung, Betriebskonzept, Wirtschaftlichkeit

Max Heißwolf

Prof. Dr. Dominikus Bucker

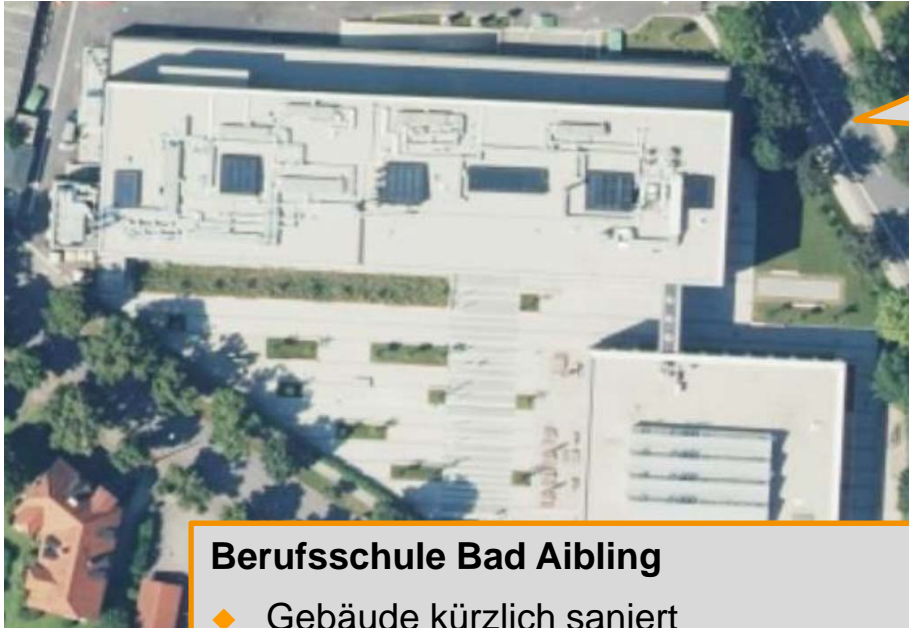
# Potenzial geeignete Dachflächen laut LRA Rosenheim



**133 Liegenschaften wurden vom LRA auf Eignung für Aufdach-PV-Anlagen untersucht. Aus diesen wurden zwei Referenzgebäude ausgewählt.**

# Referenzgebäude

## Berufsschulen in Rosenheim und Bad Aibling



### Berufsschule I in Rosenheim

- ◆ Gebäude kürzlich saniert
- ◆ Großes Flächenpotenzial auf dem südlichen Kubus
- ◆ Keine Verschattung aus der Umgebung
- ◆ Lediglich relativ niedrige Dachaufbauten



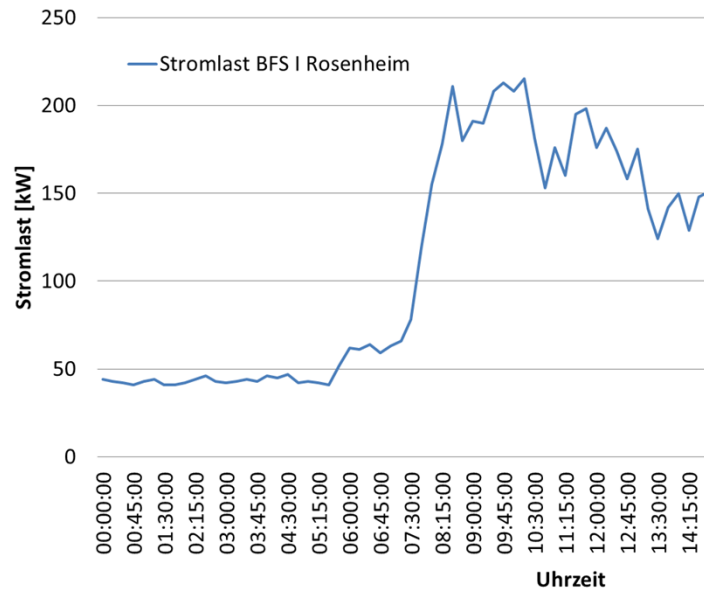
### Berufsschule Bad Aibling

- ◆ Gebäude kürzlich saniert
- ◆ Deutlich größere Dachfläche als in Berufsschule I Rosenheim
- ◆ Vorwiegend Flachdach
- ◆ Verschattung durch Bäume und Aufbauten ist zu berücksichtigen



**Zwei Gebäude mit sehr guten Voraussetzungen wurden als Referenzgebäude ausgewählt.**

# Analyse der Lastgänge Berufsschule I Rosenheim

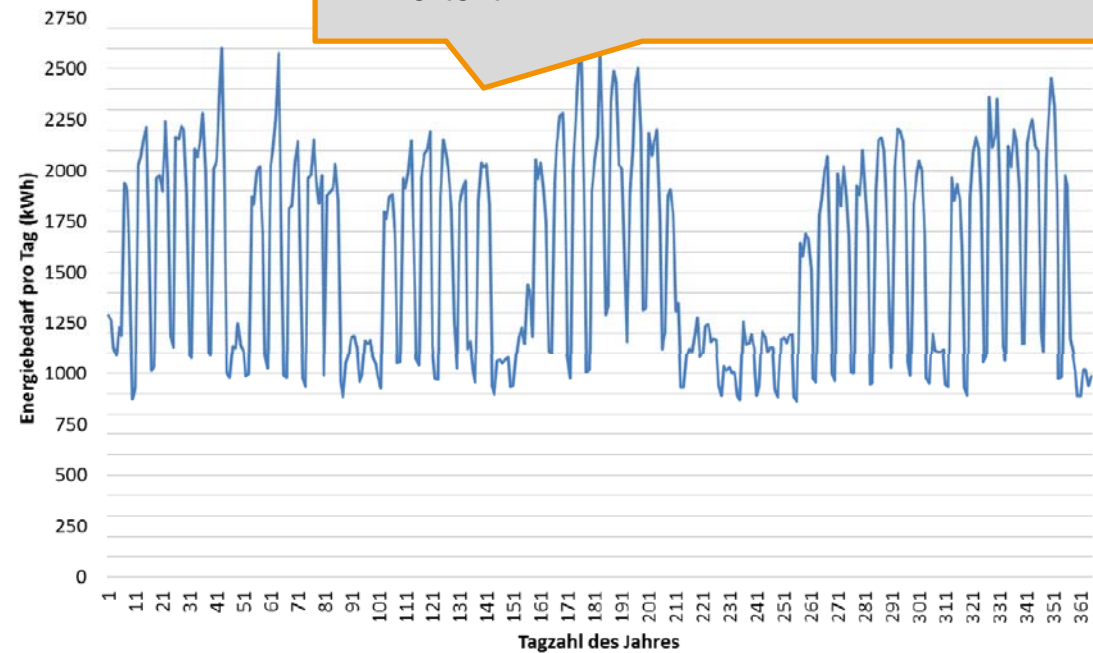


## Tageslastgang 30.04.2016

- ◆ Spitze am Vormittag
- ◆ Lastgang korreliert gut mit Einstrahlung

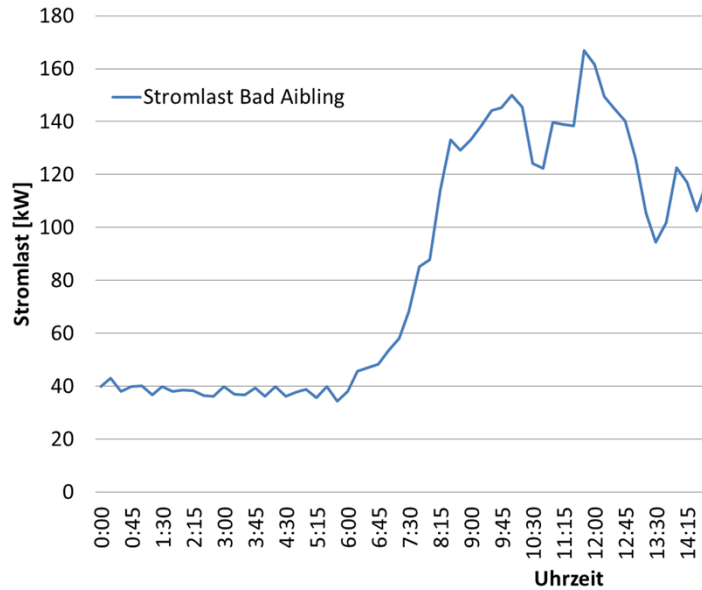
## Jahreslastgang (Tagessummen)

- ◆ Hoher Grundbedarf bei ca. 950 kWh/d
- ◆ Spitzen gleichmäßig über das Jahr verteilt



**Tages- und Jahresprofil in Verbindung mit mittlerer verfügbarer Dachfläche lassen auf hohen Anteil Eigenverbrauch an der Stromerzeugung schließen.**

# Analyse der Lastgänge Berufsschule Bad Aibling



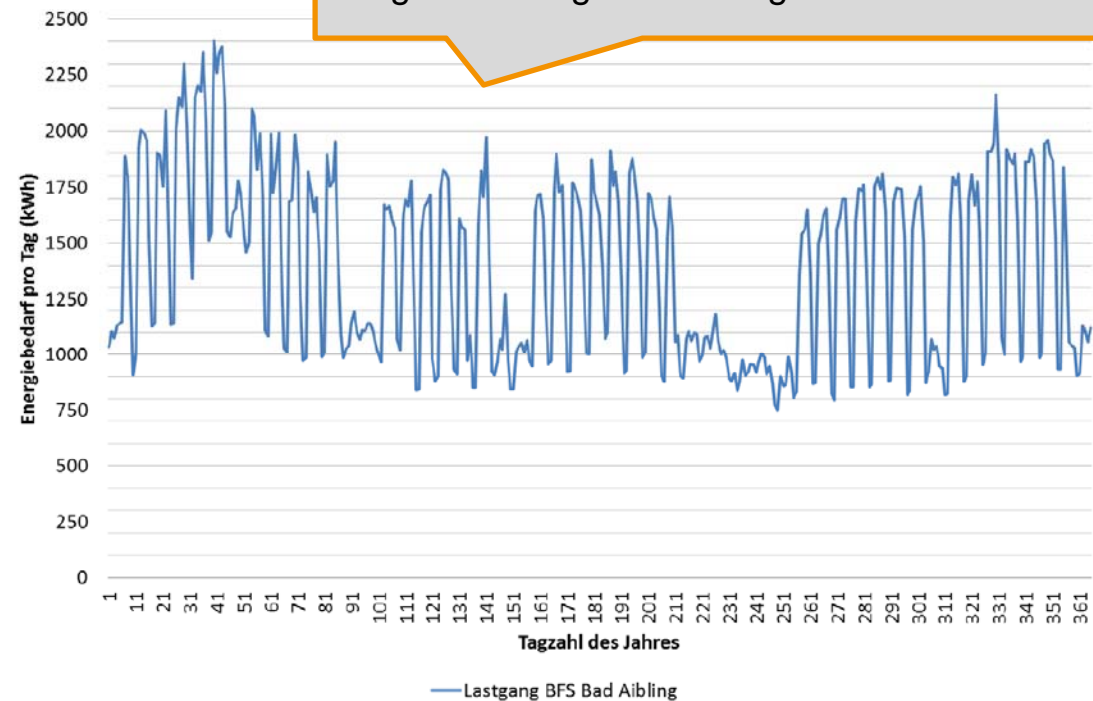
## Tageslastgang 30.04.2016

- ◆ Ausgeprägte Spitze in der Mittagszeit
- ◆ Lastgang korreliert gut mit Einstrahlung

## Jahreslastgang (Tagessummen)

- ◆ Hoher Grundbedarf bei ca. 850 kWh/d
- ◆ Spitzen liegen im Winter, insgesamt aber gleichmäßige Verteilung über das Jahr

**Tagesprofil in Verbindung mit großer verfügbarer Dachfläche ermöglicht potenziell einen hohen Deckungsanteil (Autarkiegrad) durch PV-Strom.**



— Lastgang BFS Bad Aibling



## Modellierung in PVsol

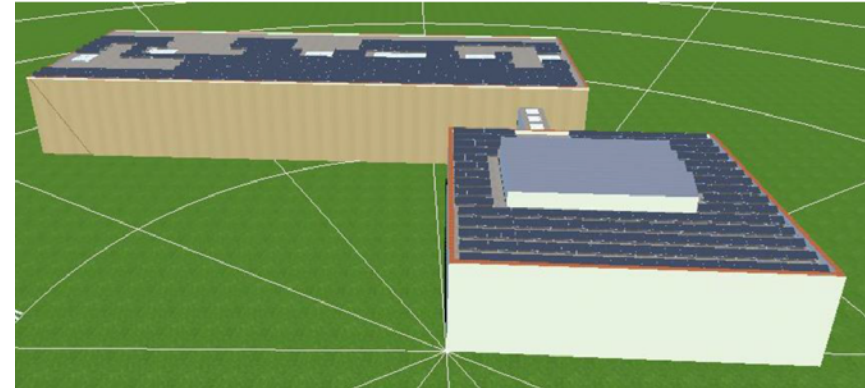
### Modellierung

- ◆ 3-D-Modellierung der Gebäude und der verschattungsrelevanten Umgebung um exakte Verschattung der einzelnen Module zu ermitteln
- ◆ Ermittlung der maximalen technisch sinnvollen Belegung
- ◆ Berücksichtigung von Sperrflächen (z. B. Dachaufbauten)

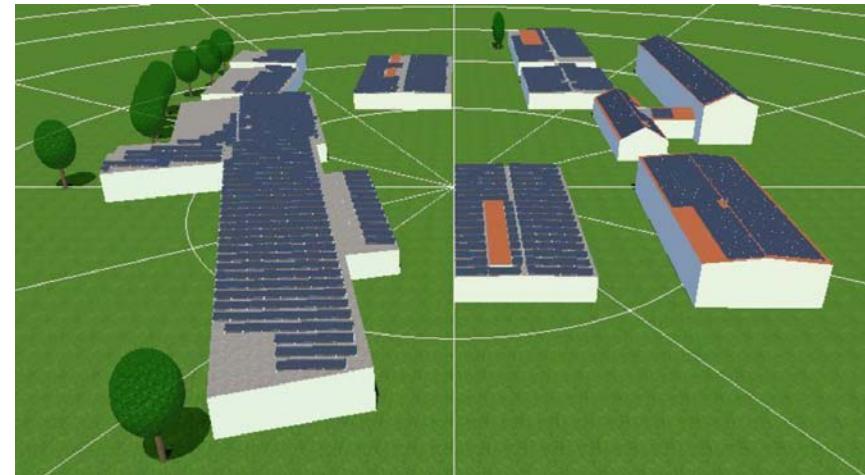
### Aufständigung

- ◆ Bei Flachdächern: Aufstellwinkel 30°, Südausrichtung (passend zum Tageslastgang)
- ◆ Bei Satteldächern (nur Bad Aibling): dachparallele Installation wegen Ost-West-Ausrichtung der Dachflächen (Verschattung, hoher Aufwand für Aufständigung)
- ◆ Einreihige Aufständigung an der Längsseite
  - Geringer Schattenwurf
  - Geringer Reihenabstand
  - Geringerer Eingriff in das Gesamtbild des Gebäudes

### Berufsschule I Rosenheim



### Berufsschule Bad Aibling



**Technisch sinnvolle maximale Belegung. Stark verschattete Dachflächen nicht belegt.**

# Technische Daten und Ertragssimulation

## Berufsschule I Rosenheim ohne Speicher

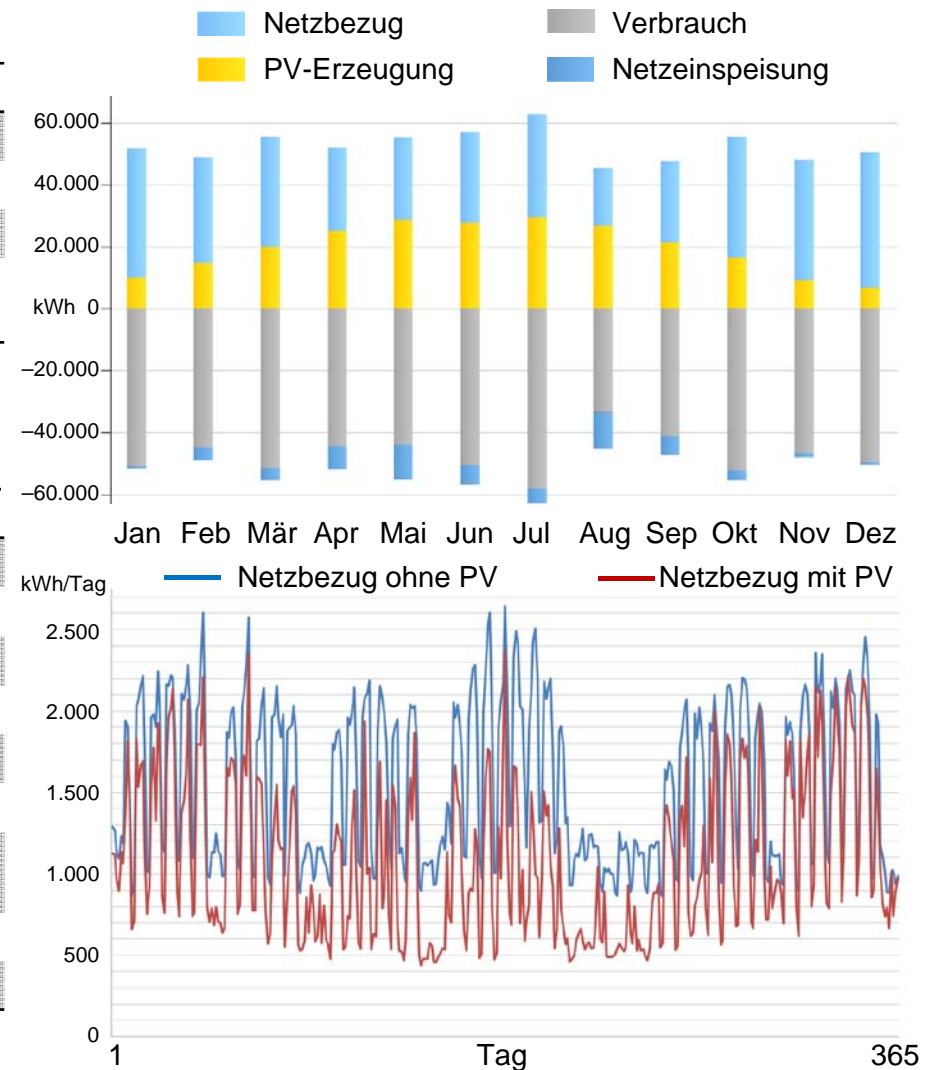


### Technische Daten

| Bezeichnung   | Größe                |
|---|----------------------|
| PV-Generatorleistung                                      | 225 kWp              |
| PV-Generatorfläche  | 1.122 m <sup>2</sup> |
| Anzahl PV-Module (SPR-E20-327)                            | 688                  |
| Anzahl der Wechselrichter (SMA Sunny Tripower 25000TL-30) | 9                    |

### Ertragsprognose

| Bezeichnung  | Größe         |
|--|---------------|
| PV-Ertrag (AC-Netz)                                | 235.801 kWh   |
| Spezifischer Jahresertrag                          | 1.048 kWh/kWp |
| Anlagennutzungsgrad (Performance Ratio)            | 80,9 %        |
| Energiebedarf Gebäude nach Lastgang                | 567.862 kWh   |
| Möglicher Eigenverbrauch (AC-Netz)                 | 173.558 kWh   |
| Verbleibender Netzbezug Eigenverbrauch             | 394.304 kWh   |
| Eingespeister Strom der PV-Anlage in das Stromnetz | 62.243 kWh    |
| Deckungsgrad                                       | 30,6 %        |
| Eigenverbrauchsanteil des PV-Anlagenstroms         | 73,6 %        |



**Relativ kleine PV-Anlage bietet hohen Eigenverbrauchsanteil. Deckungsgrad gering.**

# Technische Daten und Ertragssimulation

## Berufsschule Bad Aibling ohne Speicher

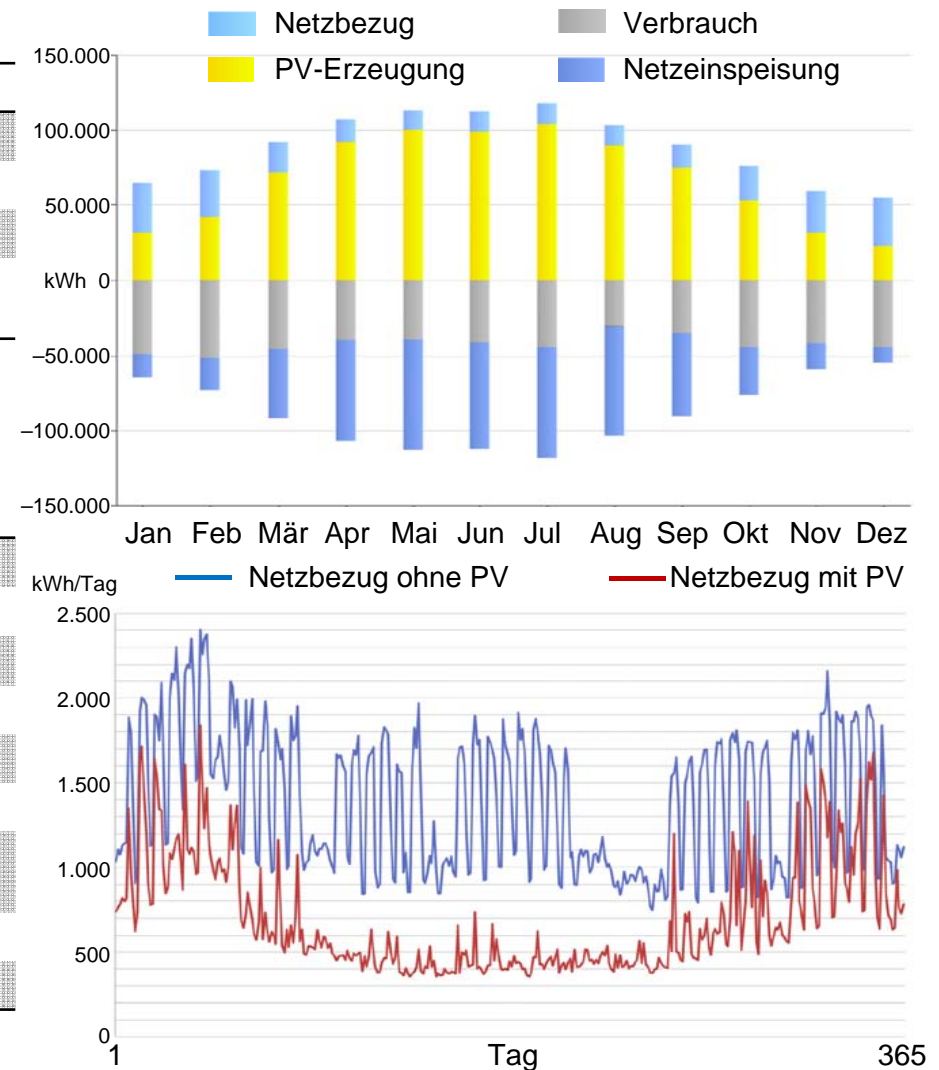


### Technische Daten

| Bezeichnung  | Größe                |
|--|----------------------|
| PV-Generatorleistung   | 788 kWp              |
| PV-Generatorfläche   | 3.932 m <sup>2</sup> |
| Anzahl PV-Module (SPR-E20-327)                                   | 2.411                |
| Anzahl der Wechselrichter<br>(2,1 bis 25 kW, je nach Dachfläche) | 47                   |

### Ertragsprognose

| Bezeichnung   | Größe         |
|---|---------------|
| PV-Ertrag (AC-Netz)                                   | 811.321 kWh   |
| Spezifischer Jahresertrag                             | 1.029 kWh/kWp |
| Anlagennutzungsgrad (Performance Ratio)               | 83 %          |
| Energiebedarf Gebäude nach Lastgang                   | 507.438 kWh   |
| Möglicher Eigenverbrauch (AC-Netz)                    | 255.097 kWh   |
| Verbleibender Netzbezug Eigenverbrauch                | 252.341 kWh   |
| Eingespeister Strom der PV-Anlage in das<br>Stromnetz | 566.244 kWh   |
| Deckungsgrad  | 50,3 %        |
| Eigenverbrauchsanteil des PV-Anlagenstroms            | 31,4 %        |



**Große PV-Anlage bietet hohen Deckungsgrad aber geringen Eigenverbrauchsanteil.**

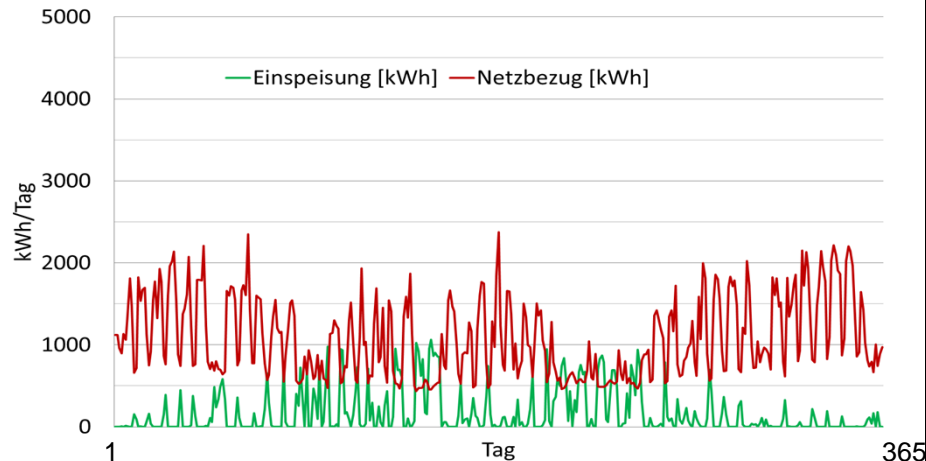


# Auslegung und Effekt eines Speichers



## Berufsschule I Rosenheim mit Speicher

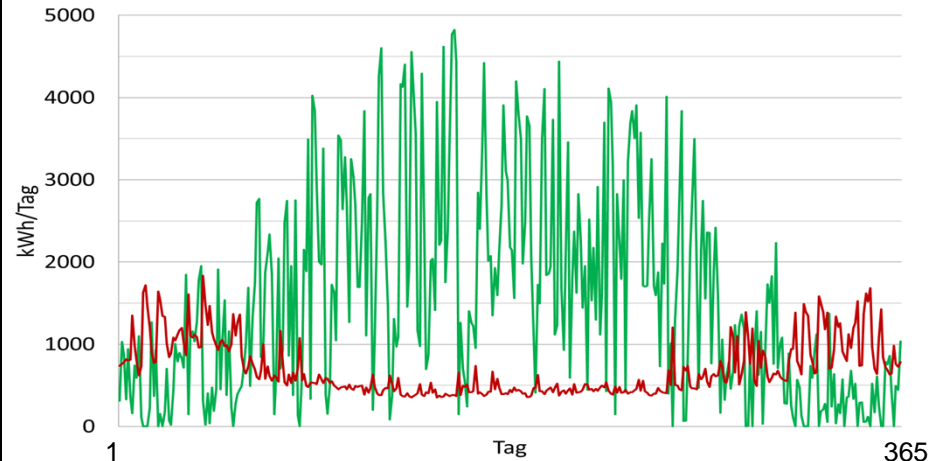
- ◆ Ohne Speicher: großer Netzbezug, geringe Einspeisung → Einspeisung ist limitierender Faktor
- ◆ Optimale Speichergröße 120 kWh
- ◆ Speicherung eines Großteils des sonst eingespeisten Stroms möglich



| Bezeichnung             | ohne Speicher | mit Speicher |
|-------------------------|---------------|--------------|
| Eigenverbrauch [kWh/a]  | 173.558       | 189.818      |
| Netzeinspeisung [kWh/a] | 62.243        | 43.002       |
| Netzbezug [kWh/a]       | 394.304       | 378.044      |
| Deckungsgrad PV         | 30,6 %        | 33,4 %       |
| Eigenverbrauchsanteil   | 73,6 %        | 81,8 %       |

## Berufsschule Bad Aibling mit Speicher

- ◆ Ohne Speicher: geringer Netzbezug, große Einspeisung → Netzbezug ist limitierender Faktor
- ◆ Optimale Speichergröße 400 kWh
- ◆ Speicherung eines Großteils des sonst aus dem Netz bezogenen Stroms möglich



| Bezeichnung             | ohne Speicher | mit Speicher |
|-------------------------|---------------|--------------|
| Eigenverbrauch [kWh/a]  | 255.097       | 367.041      |
| Netzeinspeisung [kWh/a] | 556.224       | 425.581      |
| Netzbezug [kWh/a]       | 252.341       | 140.397      |
| Deckungsgrad PV         | 50,2 %        | 72,2 %       |
| Eigenverbrauchsanteil   | 31,4 %        | 47,5 %       |

**Eigenverbrauch durch Speicher steigerbar, aber ein signifikanter Netzbezug verbleibt.**



## Investor, Betreiber und Verbraucher sind dieselbe (juristische) Person

- ◆ Einfaches Betreibermodell
  - Landkreis errichtet und betreibt die Anlage
  - Erzeugter Strom wird soweit wie möglich selber genutzt um Strombezugskosten zu sparen
  - Überschüssiger Strom wird per Direktvermarktung (über Dienstleister) verkauft, dabei wird die Marktprämie nach EEG bezogen
  - Risiken und Chancen liegen in einer Hand.
- + Einfache Durchführung, keine Abstimmung zwischen Investor, Betreiber und Verbraucher notwendig
- + Für Eigenverbrauch fällt lediglich verminderte EEG-Umlage an.
- Bürgerbeteiligung nur über Nachrangdarlehen möglich, nicht per eG oder GmbH & Co. KG
- Um Bürger zu gewinnen muss ein deutlich höherer Zins gewährt werden als bei FK-Beschaffung am Markt (z.B. 3 % Zins für Nachrangdarlehen bei 2 % marktüblichem FK-Zins) → Beschränkung des Volumens auf 30 % der Investsumme um die Wirtschaftlichkeit des Projektes nicht zu gefährden

## Investor, Betreiber und Verbraucher sind nicht dieselbe (juristische) Person

- ◆ Modell „Dritte vor Ort beliefern“
  - Investor (z.B. eG, GmbH & Co. KG) errichtet und betreibt PV-Anlage.
  - Betreiber liefert Strom an die Liegenschaft per Stromliefervertrag.
  - Überschüssiger Strom wird vom Betreiber vermarktet (eingespeist).
  - Von der Schule benötigter Reststrom wird über einen zweiten Stromliefervertrag von einem weiteren Partner geliefert.
  - Risiken und Chancen sind geteilt, Stromliefervertrag ist entscheidend.
- Für die Stromlieferung aus der Anlage an die Schule ist EEG-Umlage zu entrichten.
- Der Arbeitsaufwand beim Anlagenbetreiber ist hoch.
- Um Verbrauch vor Ort zu realisieren, muss die eG/KG als Stromlieferant auftreten, fehlende Strommengen müssen beschafft werden.

**Einfaches Betreibermodell belässt alle Chancen und Risiken beim Landkreis.  
Modell „Dritte vor Ort beliefern“ bedingt volle Zahlung der EEG-Umlage.**



## Investor, Betreiber und Verbraucher sind nicht dieselbe (juristische) Person

- ◆ Modell „PV-Anlage mieten“
  - Investor (z.B. eG, GmbH & Co. KG) errichtet PV-Anlage und vermietet sie an den Betreiber der Liegenschaft (Landkreis).
  - Investor ist verantwortlich für technisch einwandfreie Anlage, Mieter ist verantwortlich für Betrieb.
  - Erzeugter Strom wird soweit wie möglich selber genutzt um Strombezugskosten zu sparen.
  - Überschüssiger Strom wird per Direktvermarktung (über Dienstleister) verkauft, dabei wird die Marktprämie nach EEG bezogen.
  - Chancen und Risiken liegen überwiegend beim Betreiber (Landkreis), Mietvertrag ist entscheidend.
- + Betreiber und Verbraucher sind eine Person.
- + Für Eigenverbrauch fällt lediglich verminderte EEG-Umlage an.
- Landkreis muss sich um die Vermarktung des überschüssigen Stroms kümmern (z.B. per Dienstleister).
- Investor tritt lediglich als Vermieter auf.

## Investor, Betreiber und Verbraucher sind nicht dieselbe (juristische) Person

- ◆ Modell „Teilanlage mieten“
  - Investor (z.B. eG, GmbH & Co. KG) errichtet PV-Anlage und vermietet einen Teil an den Betreiber der Liegenschaft (Landkreis), der diesen Teil zur Eigenstromerzeugung nutzt.
  - Investor ist verantwortlich für technisch einwandfreie Anlage und als Hauptbetreiber für den Betrieb.
  - Überschüssiger Strom wird vom Investor per Direktvermarktung (über Dienstleister) verkauft, dabei wird die Marktprämie nach EEG bezogen.
  - Mieter (Landkreis) ist lediglich stiller Mitbetreiber.
  - Chancen und Risiken sind geteilt, Miet- und Betreibervertrag sind entscheidend.
- + Organisatorischer Aufwand beim Mieter ist gering.
- + Für Eigenverbrauch fällt lediglich verminderte EEG-Umlage an.
- Der Arbeitsaufwand beim Investor und Hauptbetreiber ist hoch.

**Wirtschaftlichkeit beider Modelle basiert auf der verminderten EEG-Umlage (Betreiber = Verbraucher), sie unterscheiden sich in der Aufteilung der Verantwortlichkeiten.**

# Bürgerbeteiligungsmodelle

## Übersicht



|                           | Modell   | Finanzierung/Verwaltung   | Mitbestimmung  |
|---------------------------|--|---|--|
| Kombinationen der Modelle | <b>GmbH &amp; Co. KG</b><br>Geldgeber und Eigentümer   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Beteiligungstranchen</li> <li>Hoher Verwaltungsaufwand</li> <li>Geeignet für große Volumina</li> <li>Rendite abhängig vom Jahresergebnis</li> <li>Prospektpflicht (ab 20 Anteile)</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mitunternehmer</li> <li>Informationspflichten</li> <li>Mitspracherechte</li> <li>Einkünfte aus Gewerbebetrieb</li> </ul>              |
|                           | <b>Genossenschaft (eG)</b><br>Geldgeber und Eigentümer | <ul style="list-style-type: none"> <li>Niedrige Beteiligungstranchen</li> <li>Hoher Verwaltungsaufwand</li> <li>Geeignet für kleine/mittlere Volumina</li> <li>Rendite abhängig vom Jahresergebnis</li> <li>Keine Prospektpflicht</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mitglied</li> <li>Informationspflichten</li> <li>Mitspracherechte</li> <li>Einkünfte aus Kapitalvermögen</li> </ul>                   |
|                           | <b>Nachrangdarlehen</b><br>Nur Geldgeber               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Niedrige Beteiligungstranchen</li> <li>Niedriger Verwaltungsaufwand</li> <li>Geeignet für große Volumina</li> <li>Rendite Mindestzins + Bonuszins</li> <li>NEU: Prospektpflicht</li> <li>NEU: Schwarmfinanzierung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Darlehensgeber</li> <li>Keine Informationspflichten</li> <li>Keine Mitspracherechte</li> <li>Einkünfte aus Kapitalvermögen</li> </ul> |

Quelle: eigene Grafik nach eueco GmbH

**Alle Modelle sind für die Berufsschulen denkbar. Falls „eG“ oder „GmbH & Co. KG“ gewählt wird, sollte eine der Varianten „Anlagenmiete“ oder „Teilanlagenmiete“ realisiert werden. Im Folgenden wird Modell „Nachrangdarlehen“ betrachtet.**

# Wirtschaftlichkeit

## Annahmen und Kosten



| Annahme                                | Wert        |
|--|-------------|
| Inflationsrate pro Jahr                | 1,28 %      |
| Strompreiserhöhung pro Jahr            | 3,00 %      |
| Zinssatz für Fremdkapital              | 2,00 %      |
| Zinssatz für Bürgerbeteiligung         | 3,00 %      |
| Zinssatz für Haben des Solarkontos     | 1,00 %      |
| Tilgungsfreie Jahre des Fremdkapitals  | 2 a         |
| Tilgungsjahre des Fremdkapitals        | 10 a        |
| Gesamtlaufzeit des Fremdkapitalkredits | 12 a        |
| Eigen-/ Fremdkapitalanteil             | 30 % / 70 % |
| Betrachteter Zeitraum                  | 20 a        |

| Kosten/Preise                            | BFS-I<br>Rosenheim | BFS Bad<br>Aibling |
|--|--------------------|--------------------|
| Invest PV-Anlage                         | 258.600 €          | 906.660 €          |
| Invest Batteriespeicher                  | 98.032 €           | 406.313 €          |
| Wartung und Überwachung PV-Anlage        | 2.689 €/a          | 4.218 €/a          |
| Wartung und Überwachung Batteriespeicher | 478 €/a            | 713 €/a            |
| Kapitalrückhaltung für Reparaturen       | 1.345 €/a          | 2.109 €/a          |

**Alle Kosten & Preise basieren auf aktuellen Angeboten bzw. Preisauskünften.**

# Wirtschaftlichkeit

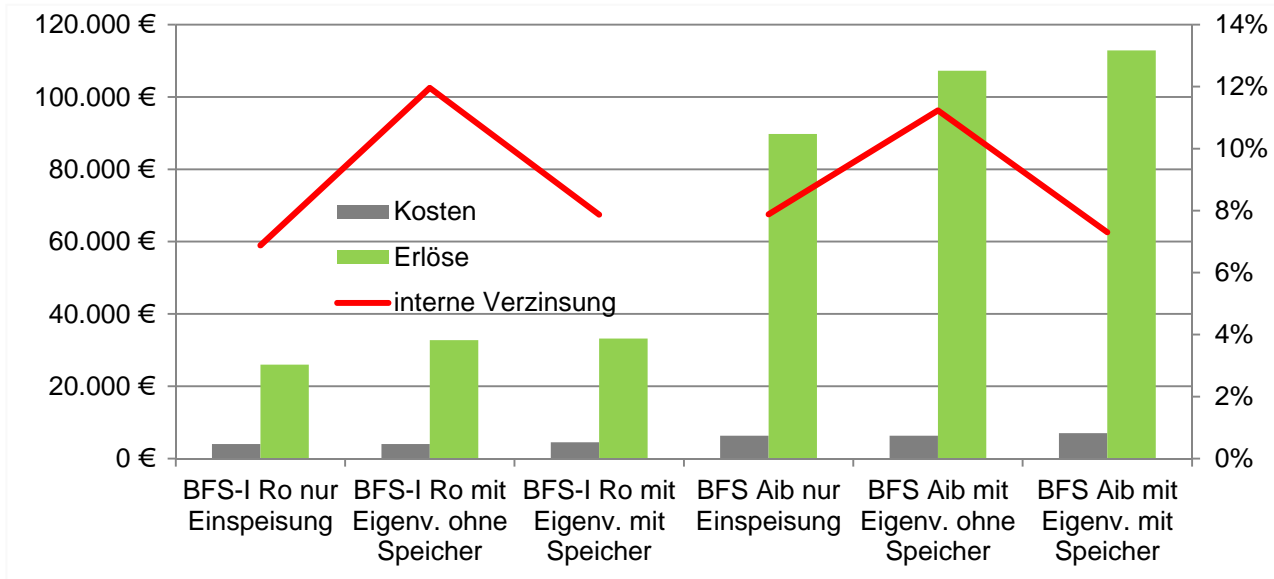
## Erlöse (1. Betriebsjahr)



|   | Einheit  | Berufsschule-I Rosenheim |   |               | Berufsschule Bad Aibling |   |                |
|---|----------|--------------------------|---|---------------|--------------------------|---|----------------|
|   |          | Nur<br>Einspeisung       | Eigenverbrauch und<br>Direktvermarktung |               | Nur<br>Einspeisung       | Eigenverbrauch und<br>Direktvermarktung |                |
|   |          |                          | ohne<br>Speicher                        | mit Speicher  |                          | ohne<br>Speicher                        | mit Speicher   |
| <b>Jährliche<br/>Stromerzeugung</b>                           | [kWh/a]  | 235.800                  | 235.800                                 | 235.800       | 811.320                  | 811.320                                 | 811.320        |
| <b>Möglicher<br/>Eigenverbrauch</b>                           | [kWh/a]  | 0                        | 173.558                                 | 189.818       | 0                        | 255.097                                 | 367.041        |
| <b>Anlegbarer Strompreis</b>                                  | [ct/kWh] | ---                      | 15,61                                   | 15,61         | ---                      | 18,28                                   | 18,28          |
| <b>Erlöse aus<br/>Eigenverbrauch</b>                          | [€/a]    | <b>0</b>                 | <b>27.092</b>                           | <b>29.631</b> | <b>0</b>                 | <b>46.632</b>                           | <b>67.095</b>  |
| <b>Mögliches<br/>Einspeisevolumen für<br/>die Vermarktung</b> | [kWh/a]  | 235.800                  | 62.243                                  | 43.002        | 811.320                  | 556.220                                 | 425.580        |
| <b>Erlöse aus<br/>Direktvermarktung</b>                       | [€/a]    | 26.469                   | 6.696                                   | 4.583         | 91.398                   | 61.953                                  | 47.103         |
| <b>Vermarktungsgebühren</b>                                   | [€/a]    | 472                      | 1.020                                   | 1.020         | 1.623                    | 1.320                                   | 1.320          |
| <b>Erlöse nach Abzug der<br/>Vermarktungsgebühren</b>         | [€/a]    | <b>25.997</b>            | <b>5.676</b>                            | <b>3.563</b>  | <b>89.776</b>            | <b>60.633</b>                           | <b>45.783</b>  |
| <b>Erlöse bei EEG-Ver-<br/>gütung (zum Vergleich)</b>         | [€/a]    | 26.150                   | 6.903                                   | 4.769         | 89.976                   | 61.685                                  | 47.197         |
| <b>Σ Vermarktungserlöse<br/>nach Direktvermarktung</b>        | [€/a]    | <b>25.997</b>            | <b>32.768</b>                           | <b>33.193</b> | <b>89.776</b>            | <b>107.264</b>                          | <b>112.878</b> |

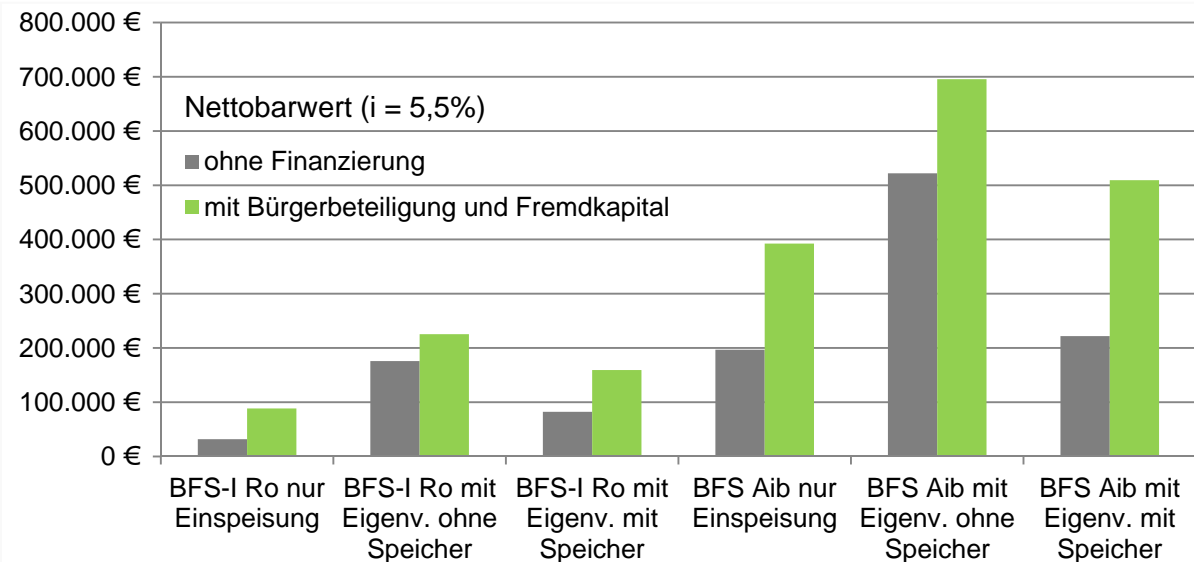


## Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen



1. **Aufdach-PV-Anlagen können grundsätzlich wirtschaftlich sein.**
2. **Eigenverbrauch ist der Schlüssel zur Wirtschaftlichkeit.**

3. **Speicher ist in diesen Projekten wirtschaftlich nicht sinnvoll.**
4. **Bürgerbeteiligung und Fremdfinanzierung heben die Wirtschaftlichkeit.**





**Kontakt:**

Prof. Dr. Dominikus Bücker  
Hochschule Rosenheim  
Hochschulstr. 1  
83024 Rosenheim

[dominikus.buecker@fh-rosenheim.de](mailto:dominikus.buecker@fh-rosenheim.de)

Tel.: 08031-805-2652