

Potenzialanalyse für die PV-Stromerzeugung für die Elektrifizierung der Busflotte

Erweiterung der Machbarkeitsanalyse und Umstellungskonzeption zur Elektrifizierung der gesamten Linienbusflotte der west

23.04.2024

Philipp Sinhuber, Sebastian Harms



Vorgehen und Ziele der Analyse

- Aufbauend auf den Ergebnissen der Busflottenelektrifizierungsstudie wird eine Potenzialanalyse für die PV-Stromerzeugung an den folgenden 4 Standorten durchgeführt:
 - Heinsberg
 - Geilenkirchen
 - Gangelt
 - Erkelenz
- Dazu werden die Zeitverläufe der Stromerzeugung (Zeitreihe der Erzeugung, bereitgestellt von Future Sun, skaliert für jeden der 4 Standorte) dem Verbrauch (Lastgänge für die Ladevorgänge der Busse entsprechend der Busflottenelektrifizierungsstudie) gegenübergestellt. Der Verbrauch wird dabei aus den vorangegangenen ebusplan-Studien für den MultiBus-Verkehr und den Linienverkehr (Großbusse und „ErkaBusse“ [Kasan e-Jest-Größe]) abgeleitet.
- Nachfolgend wird ein potenzieller Energiespeicher dimensioniert, um einen möglichen zeitlichen Versatz von Erzeugung und Verbrauch zu überbrücken.
- Anschließend werden für verschiedene Szenarien Kennzahlen wie Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad abgeschätzt.
- Im letzten Schritt wird die erzielbare Wirtschaftlichkeit mit der Wirtschaftlichkeit ohne PV (Ergebnis der Busflottenelektrifizierungsstudie) verglichen und diskutiert.

Inhalt der Präsentation

- Vorgehen und Ziele der Analyse
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung des Verlaufs der PV-Erzeugungsleistung
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung der verbrauchsseitigen Leistungsverlaufs
- Gegenüberstellung von Stromerzeugung und -bezug und Dimensionierung von Energiespeichern
- Auswertung von Kenndaten
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wirtschaftlichkeits-Rechnung
kann separater Excel-Tabelle
entnommen werden



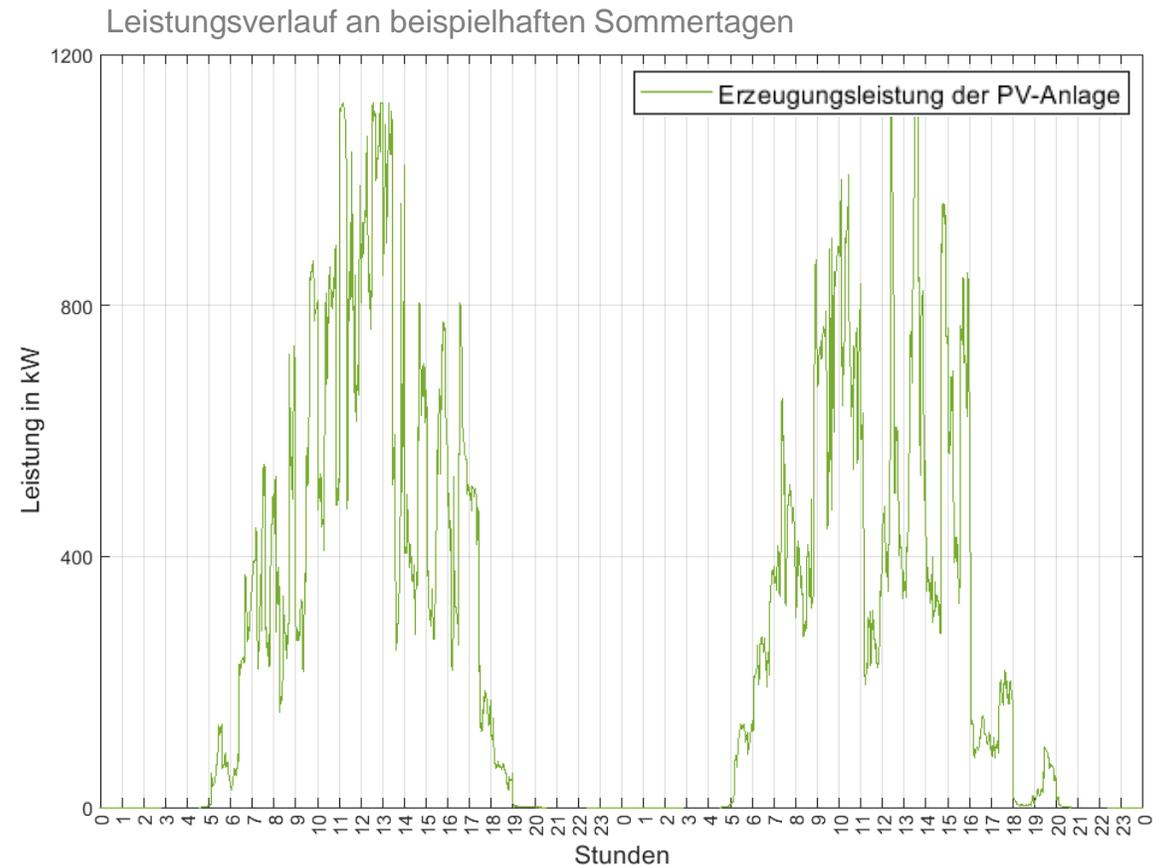
Inhalt der Präsentation

- Vorgehen und Ziele der Analyse
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung des Verlaufs der PV-Erzeugungsleistung
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung der verbrauchsseitigen Leistungsverlaufs
- Gegenüberstellung von Stromerzeugung und -bezug und Dimensionierung von Energiespeichern
- Auswertung von Kenndaten
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

- Der zeitliche Verlauf des Netto-Outputs einer potenziellen PV-Anlage wurde von Future Sun für den Standort Geilenkirchen bestimmt.

Auszug aus dem jährlichen Erzeugungsprofil

Zeit	Verbrauch [W]	PV-Energie (AC) abzgl. Standby-Verbrauch [W]
01.01.2014 00:00	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:01	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:02	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:03	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:04	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:05	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:06	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:07	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:08	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:09	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:10	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:11	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:12	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:13	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:14	1244,835	-89,23083333
01.01.2014 00:15	1244,835	-89,23083333



- Dieser Verlauf wird anhand der möglichen PV-Generatorleistung für die anderen drei Standorte skaliert und für die weiteren Untersuchungen genutzt.

Standort	PV-Generatorleistung	Resultierender Skalierungsfaktor
Geilenkirchen	1.311,38 kWp	1
Erkelenz	985,64 kWp	0,752
Gangelt	678,96 kWp	0,518
Heinsberg	324,72 kWp	0,248

Inhalt der Präsentation

- Vorgehen und Ziele der Analyse
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung des Verlaufs der PV-Erzeugungsleistung
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung der verbrauchsseitigen Leistungsverlaufs
- Gegenüberstellung von Stromerzeugung und -bezug und Dimensionierung von Energiespeichern
- Auswertung von Kenndaten
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

- Der Linien-, Schul- und Bedarfsverkehr der west wird in der Studie wie folgt betrachtet:
 - Es wird nur die west-eigene Fahrleistung betrachtet, nicht die von Subunternehmern.
 - **Linien- und Schulverkehr** wird erbracht durch Solo- und Gelenkbusse sowie durch Kleinbusse. Der durch die Kleinbusse erbrachte Verkehr wird „ErkaBus“ genannt (in Anlehnung an den ErkaBus-Linienverkehr in der Stadt Erkelenz, welcher Ableger in ähnlicher Weise mittlerweile auch in Wassenberg, Heinsberg und zwischen Hückelhoven und Hilfarth hat).
 - Linien- und Schulverkehr wird in dieser Studie mit batterie-elektrischen Fahrzeugen bereitgestellt entsprechend der vorangegangenen ebusplan-Gesamtnetzstudie (beispielsweise werden die Kleinbusse dabei als Typ „e-Jest“ des Herstellers Kasan angenommen).
 - Verwendet wird dabei entsprechend der vorangegangenen ebusplan-Gesamtnetzstudie das Profil für die anspruchsvollste Tagesart „Montag, Schule“ und wird, wie auf den folgenden Folien beschrieben, auf das ganze Jahr hochskaliert.

Fahrleistung für Tagesart „Montag, Schule“:

Hinweis: Der Linienverkehr wird von allen 4 Standorten aus (Geilenkirchen, Erkelenz, Gangelt, Heinsberg) gefahren.

Gefäßgröße	Anzahl Kurse / Fahrzeuge	Anzahl Fahrten (Liniendienst)	Fahrleistung Liniendienst
Kleinbus	10	158	1.328 km
Solobus	44	396	7.541 km
Gelenkbus	43	294	6.291 km

- Der Linien-, Schul- und Bedarfsverkehr der west wird in der Studie wie folgt betrachtet:
 - Es wird nur die west-eigene Fahrleistung betrachtet, nicht die von Subunternehmern.
 - Der **Bedarfsverkehr** („MultiBus“)
 - Wird in dieser Studie mit batterie-elektrischen Fahrzeugen des Typs „eVito“ des Herstellers Daimler bereitgestellt entsprechend der vorangegangenen ebusplan-MultiBus-Studie.
 - Verwendet wird dabei entsprechend der vorangegangenen ebusplan-Gesamtnetzstudie das Profil für die anspruchsvollste Tagesart „Samstag“ und wird, wie auf den folgenden Folien beschrieben, auf das ganze Jahr hochskaliert.

Hinweis: Der Bedarfsverkehr wird nur von Geilenkirchen aus betrieben.

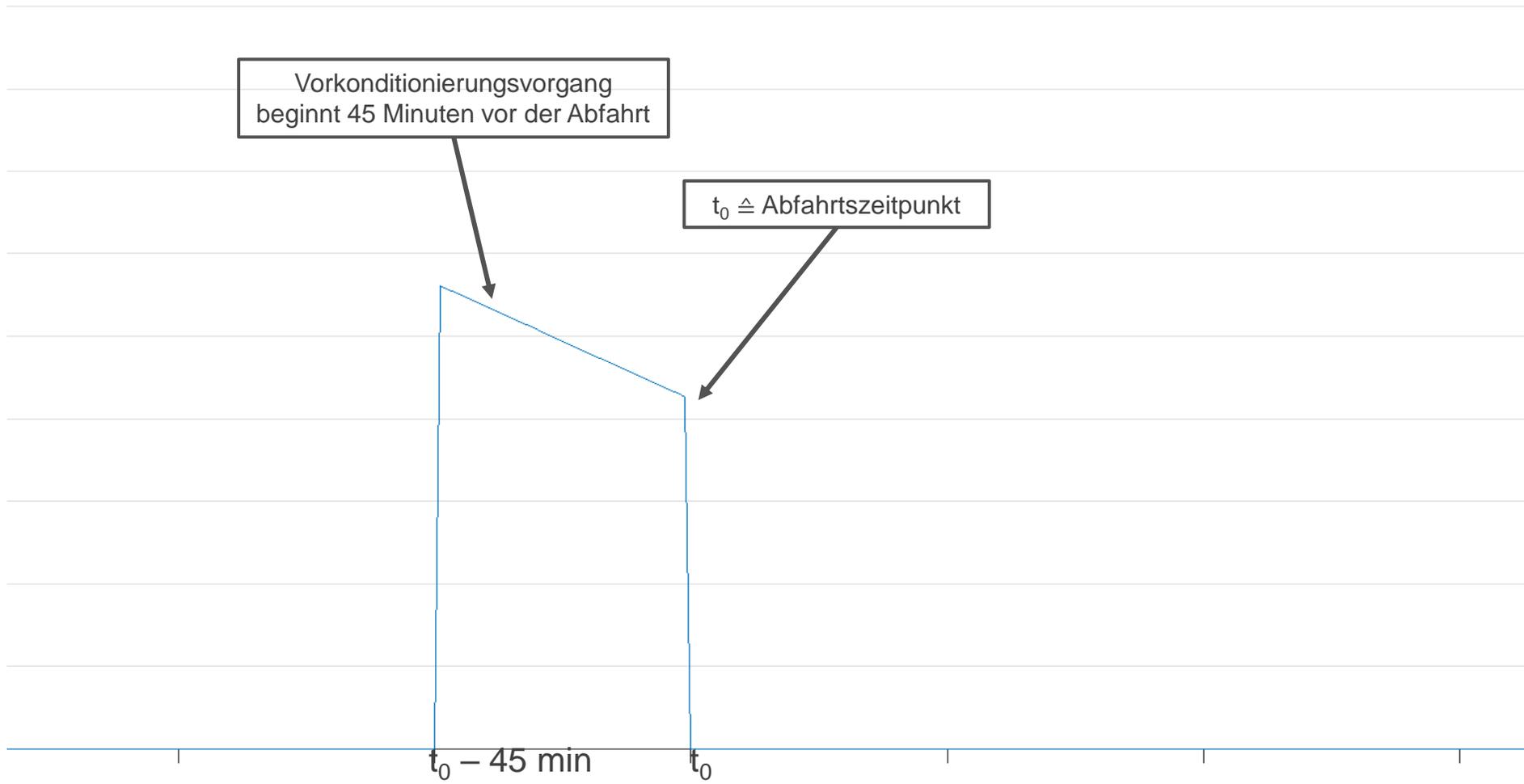
- Die in der Busflottenelektrifizierungsstudie bestimmten Lastgänge der einzelnen Standorte für die betrachtete Tagesart (Montag) werden auf ein gesamtes Jahr skaliert.
- Die Skalierung erfolgt zunächst anhand der Fahrleistung für die verschiedenen Tagesarten*:

Tagesart	Gesamtfahrleistung	Anteil	Resultierender Skalierungsfaktor
Wochentag	15.095 km	100,00 %	1,0000
Samstag	2.121 km	14,05 %	0,1405
Sonntag	1.307 km	8,66 %	0,0866
Ferientag	10.724 km	71,04 %	0,7104

- Zusätzlich wird der Lastgang anhand des Temperaturverlaufs skaliert.
 - Hierzu wurden Wetterdaten der Region aus den Jahren 2010 bis 2022 genutzt
- Die Ladephasen werden dabei nicht an die Erzeugung der PV-Anlage angepasst.
 - Kein PV-optimiertes Laden

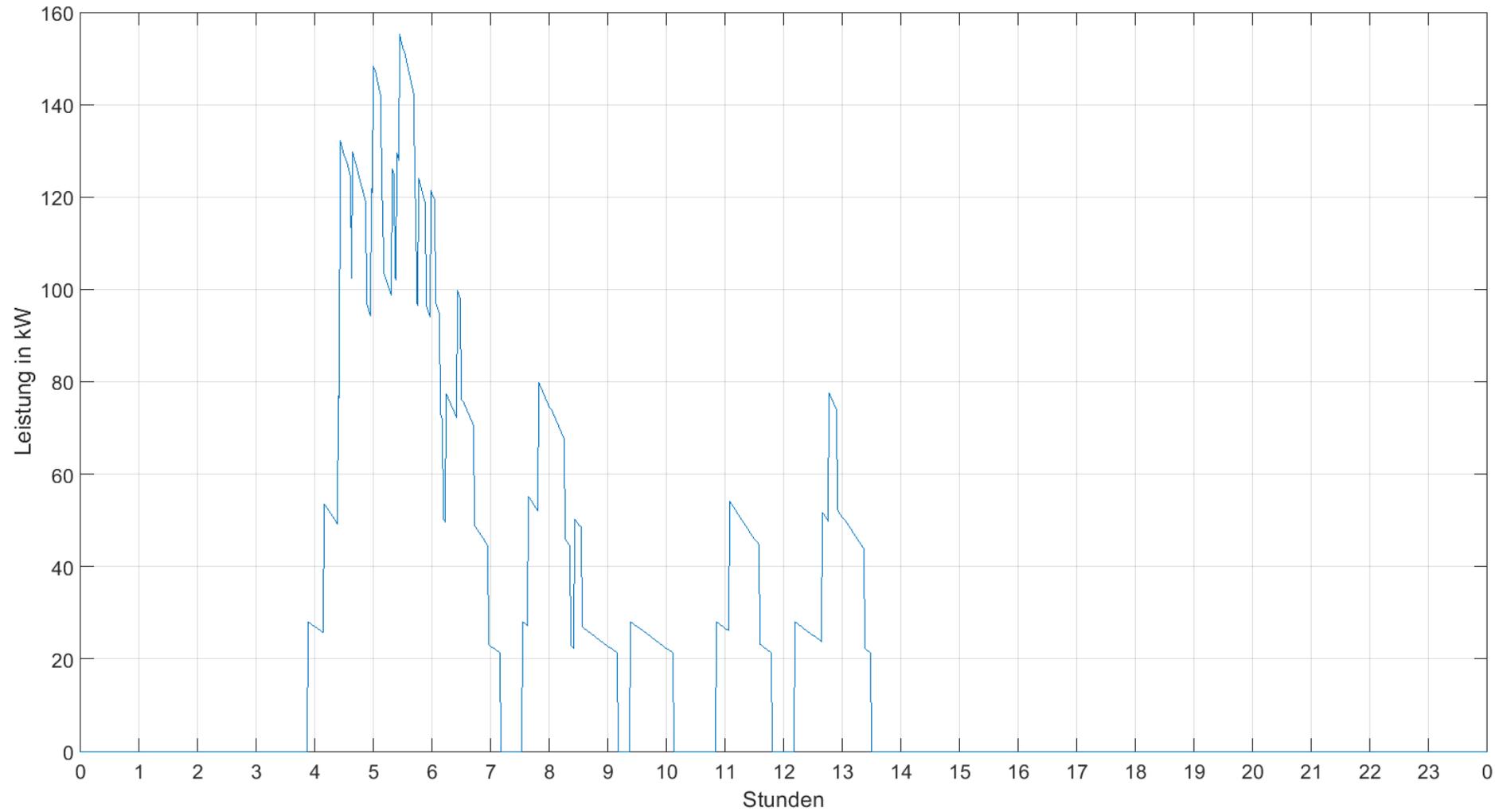
- Beim Linien- und Schulverkehr wird neben der Energie für die Ladung der Fahrzeuge auch deren Vorkonditionierung berücksichtigt.
- Jedes Fahrzeug (Solobusse, Gelenkbusse sowie Busse der Klasse „Kasan e-Jest“) wird dabei genau einmal täglich vor Beginn des ersten Umlaufs vorkonditioniert.
- Die hierzu benötigte Energie / Leistung wird analog zum Lastgang im Jahresverlauf anhand der Fahrleistung und des Temperaturverlaufs skaliert*.
- Basis dafür sind Erfahrungen aus anderen Projekten von ebusplan sowie herstellereigene Angaben.

Schematische Darstellung eines Vorkonditionierungsverlaufs



- Winter
- Linien- und Schulverkehr

Beispielhafter Lastgang für die Vorkonditionierung des Linien- und Schulverkehrs



Geilenkirchen

Wochentag

Winter

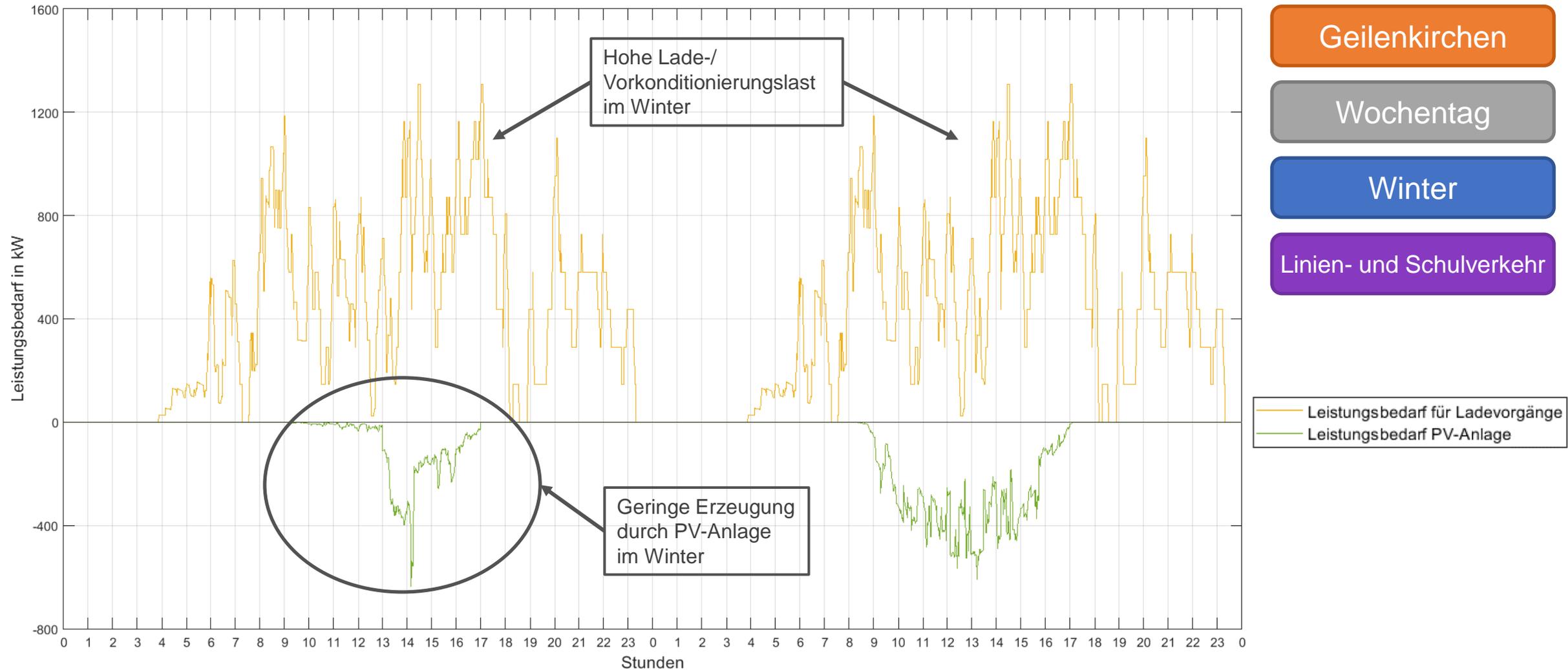
Linien- und Schulverkehr

Inhalt der Präsentation

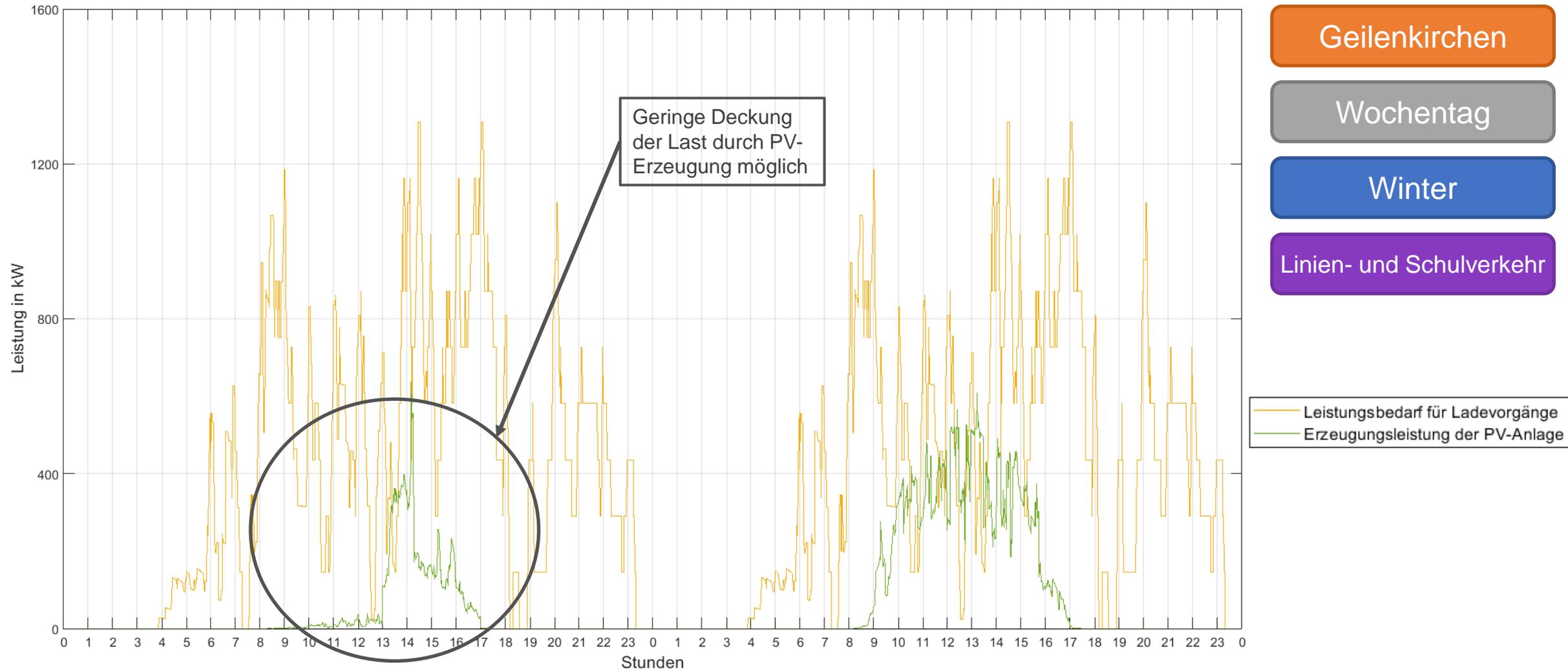
- Vorgehen und Ziele der Analyse
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung des Verlaufs der PV-Erzeugungsleistung
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung der verbrauchsseitigen Leistungsverlaufs
- Gegenüberstellung von Stromerzeugung und -bezug und Dimensionierung von Energiespeichern
- Auswertung von Kenndaten
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

- Auf den folgenden Folien sind einige beispielhafte Verläufe der Leistungskurven der PV-Erzeugung und der Last (für Ladung und Vorkonditionierung) dargestellt.
- Diese sollen verschiedene Effekte verdeutlichen, die im Jahresverlauf zu beobachten sind, die die gesuchten Kenngrößen wie Autarkiegrad und Eigenverbrauchsanteil beeinflussen und die von Interesse für die Dimensionierung des Energiespeichers sind.
- Die Erzeugungsleistung der PV-Anlage ist dabei immer in Grün dargestellt.
- Die Lastkurve für die Ladung und Vorkonditionierung der Fahrzeuge ist in Gelb dargestellt.
- Die Kurven werden zunächst einzeln gezeigt, wobei die Last als positiver Leistungsbedarf und die Erzeugung als negativer Leistungsbedarf dargestellt ist.
- Anschließend werden beide Kurven mit positivem Vorzeichen dargestellt, um die Deckung der Kurven zu veranschaulichen.

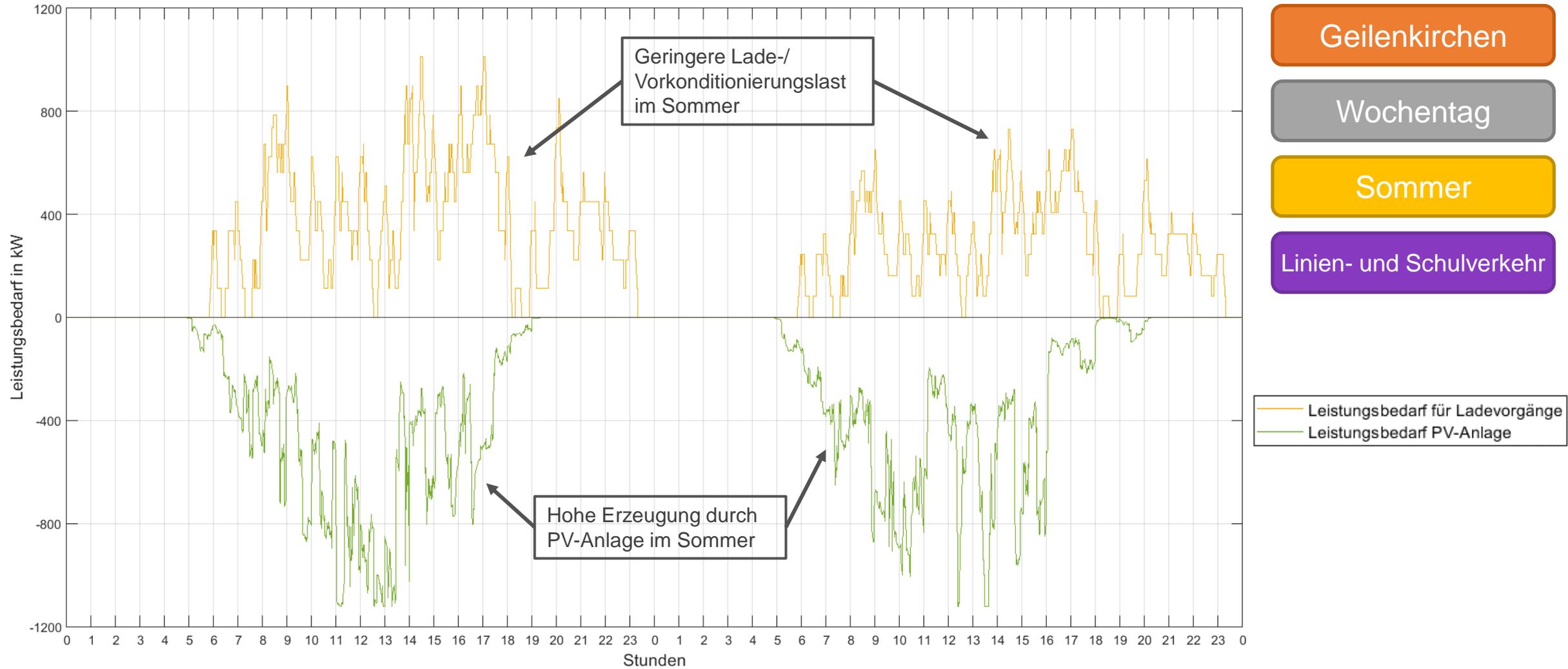
Gegenüberstellung von Lastgang und PV-Erzeugung Einzelne Kurven



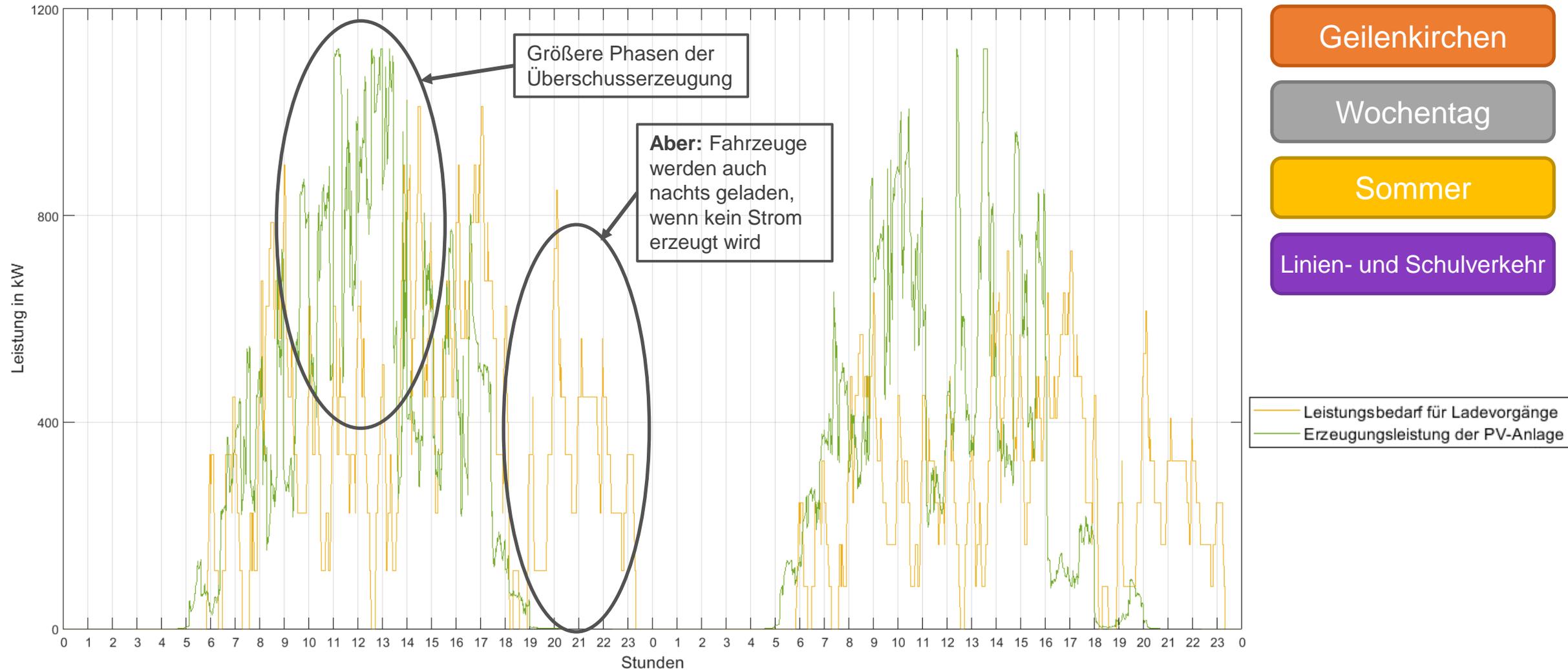
Gegenüberstellung von Lastgang und PV-Erzeugung Überlagerung



Gegenüberstellung von Lastgang und PV-Erzeugung Einzelne Kurven

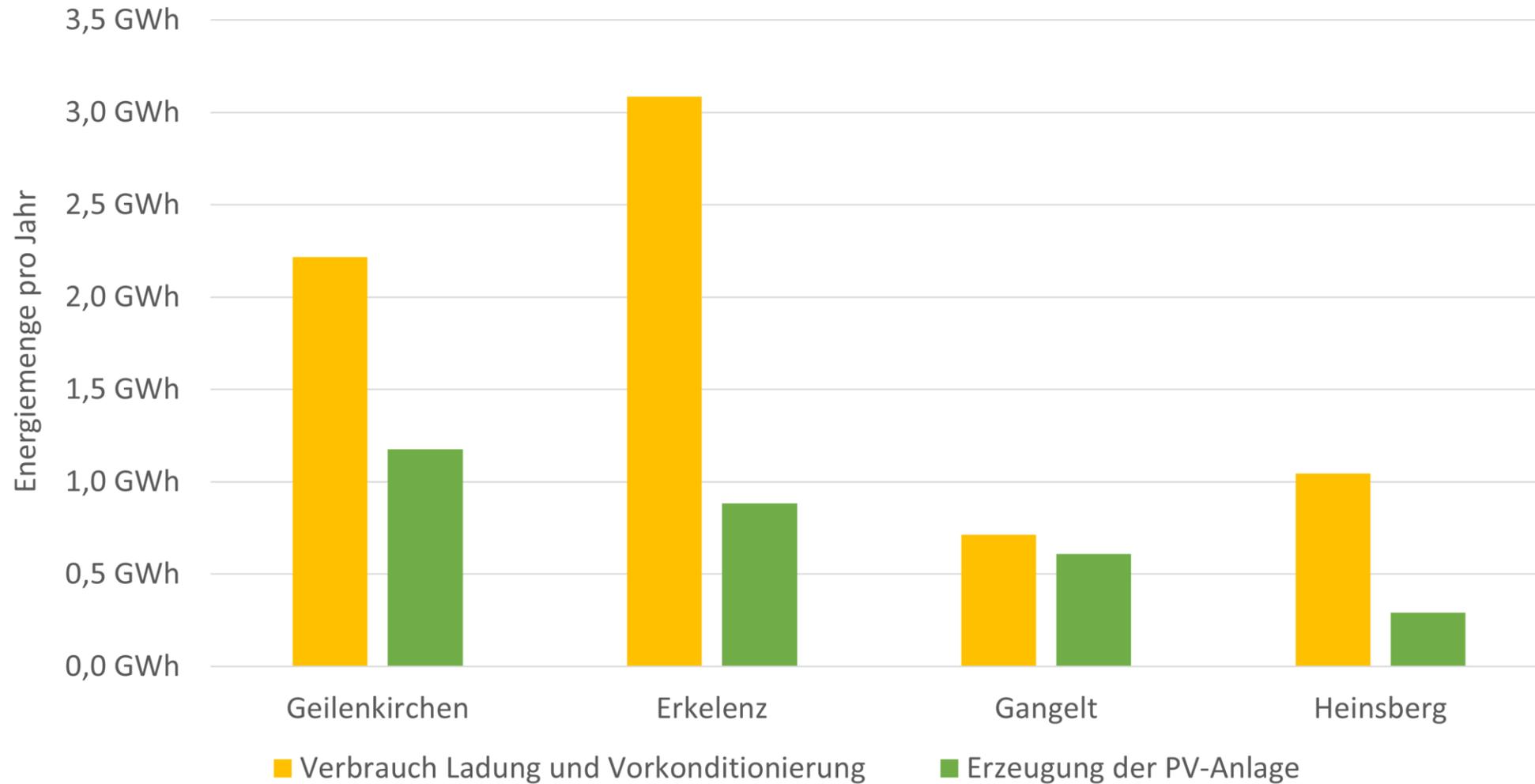


Gegenüberstellung von Lastgang und PV-Erzeugung Überlagerung



Inhalt der Präsentation

- Vorgehen und Ziele der Analyse
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung des Verlaufs der PV-Erzeugungsleistung
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung der verbrauchsseitigen Leistungsverlaufs
- Gegenüberstellung von Stromerzeugung und -bezug und Dimensionierung von Energiespeichern
- **Auswertung von Kenndaten**
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



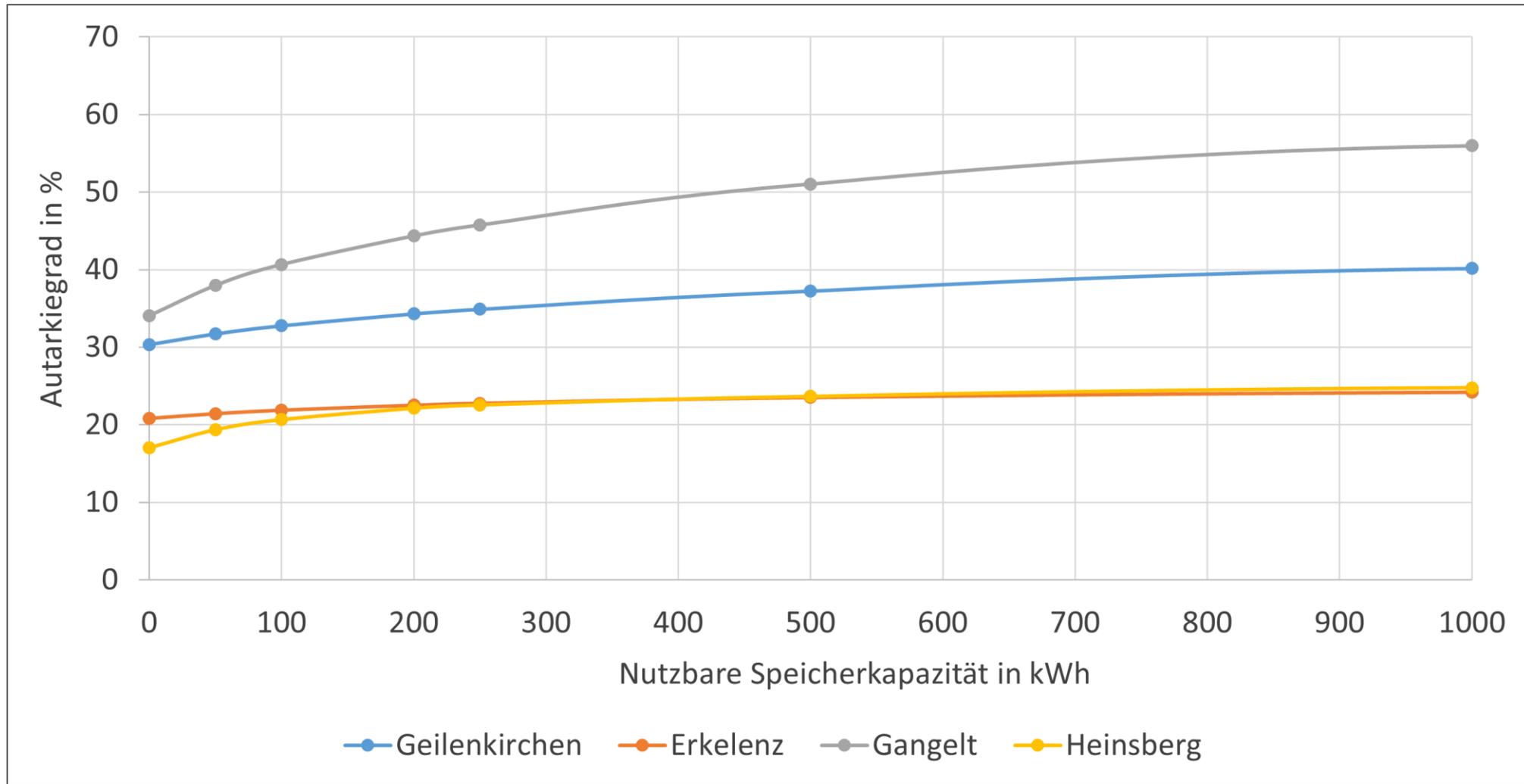
- Autarkiegrad:
 - Der Autarkiegrad gibt den Anteil des selbstproduzierten Stroms am Gesamtverbrauch (für die Lade- und Vorkonditionierungsvorgänge) an.
 - Je weniger Strom vom Netz bezogen wird, desto höher der Autarkiegrad.

- Eigenverbrauchsanteil:
 - Der Eigenverbrauchsanteil gibt an, wie viel des selbst produzierten Stroms (Netto-Output der PV-Anlage) für die Lade- und Vorkonditionierungsvorgänge genutzt wird.

- Die folgenden Grafiken zeigen den Autarkiegrad bzw. den Eigenverbrauchsanteil für verschiedene untersuchte nutzbare Speichermengen.

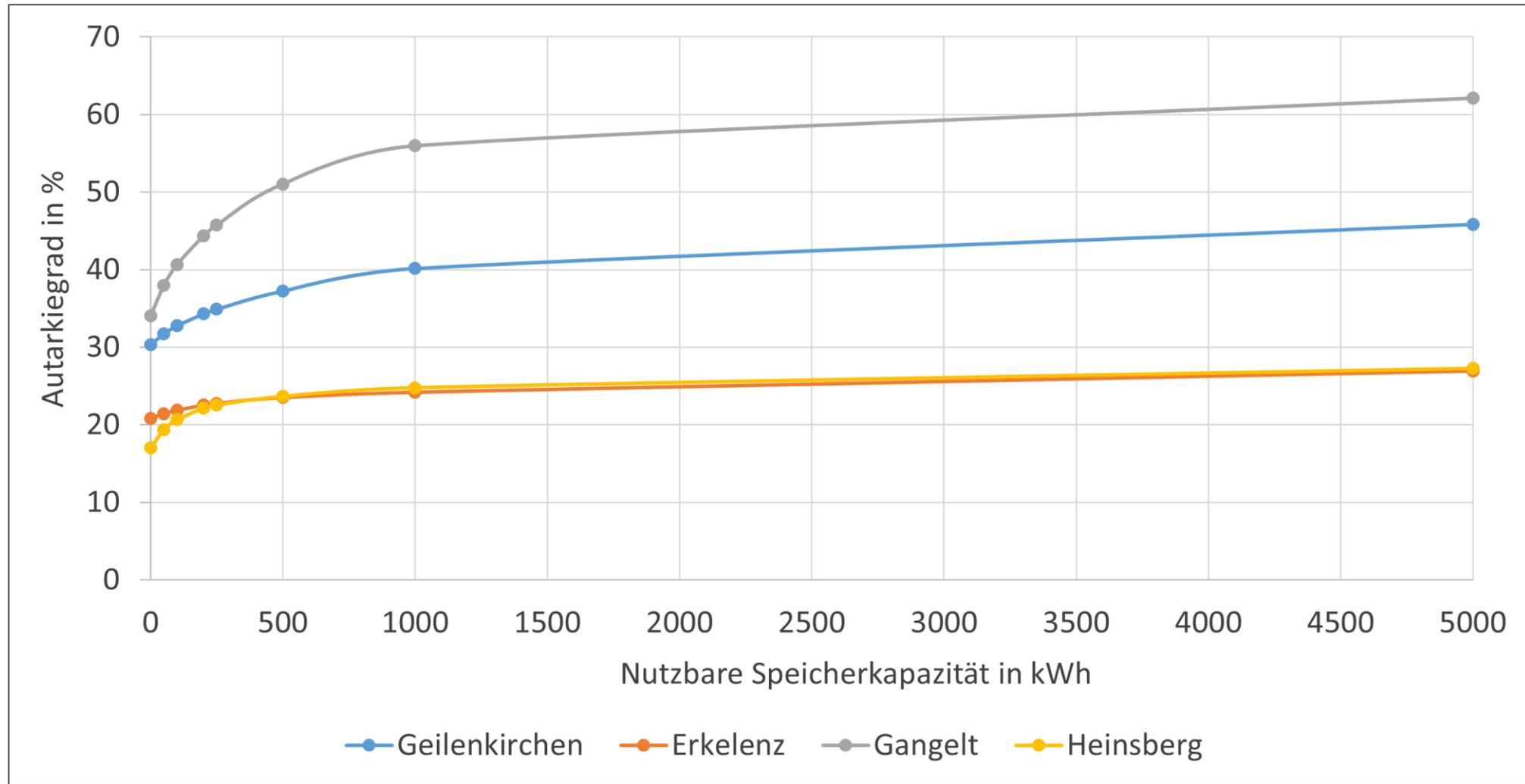
Auswertung von Kenndaten

Autarkiegrad über der Speichergröße



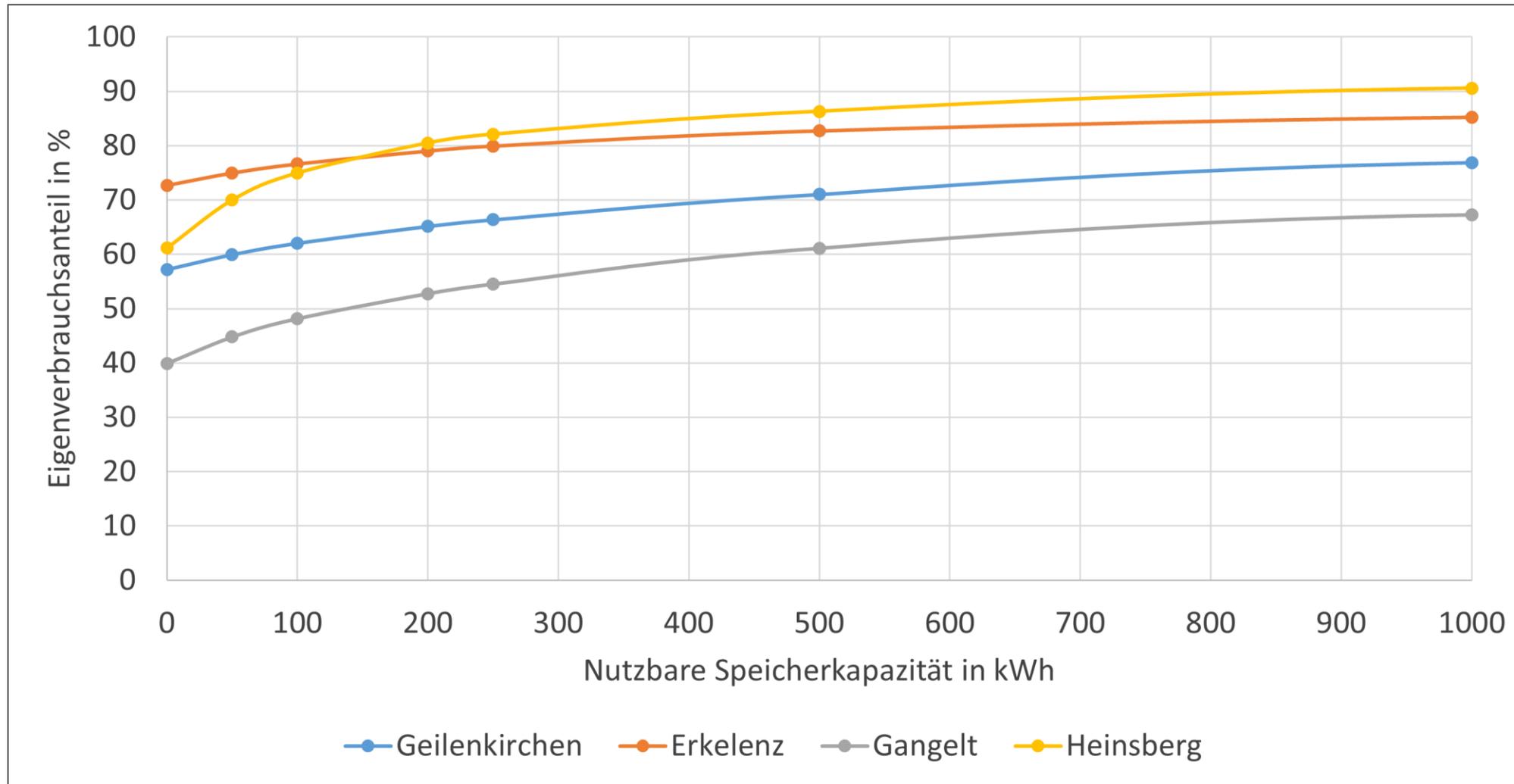
Auswertung von Kenndaten

Autarkiegrad über der Speichergröße



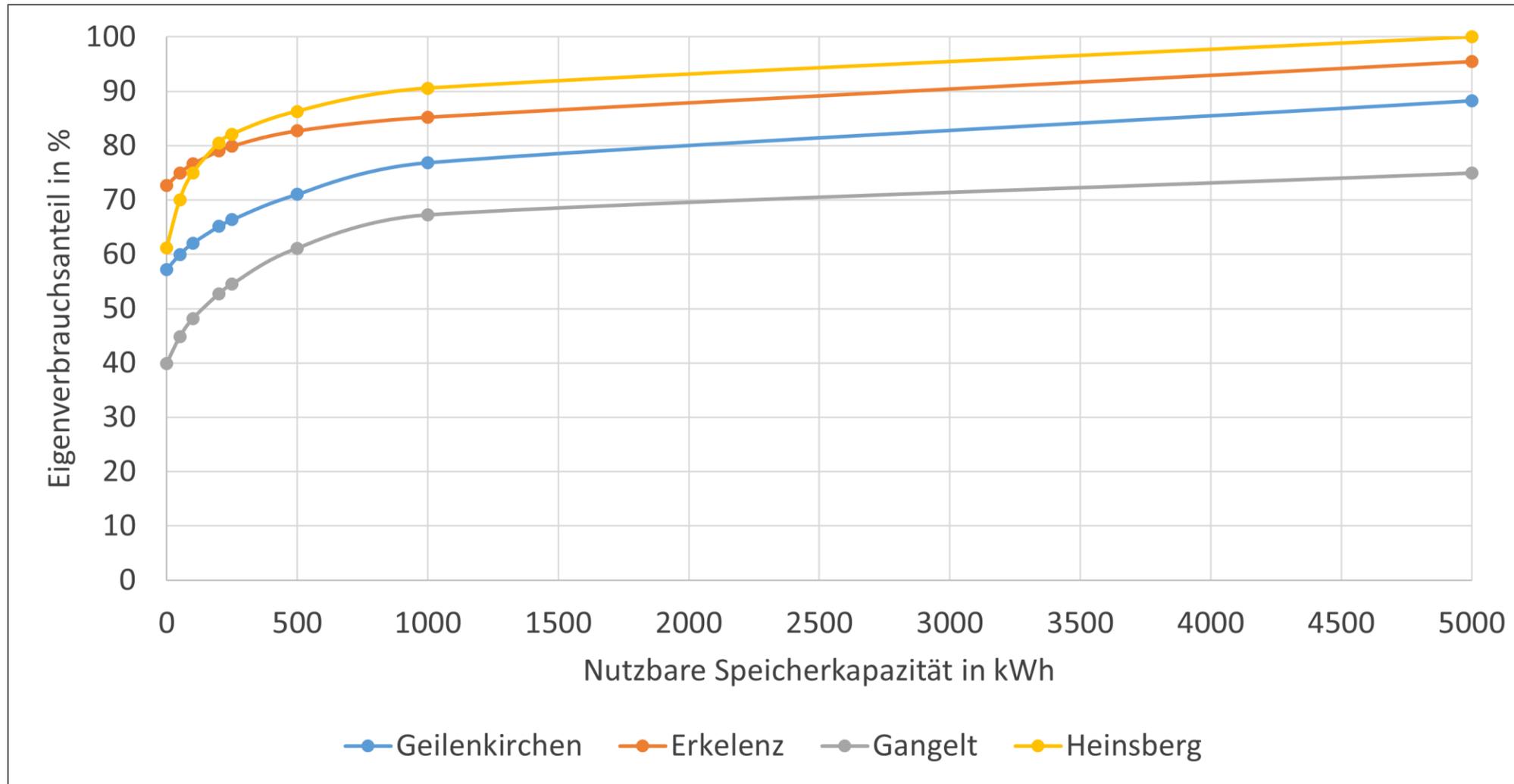
Auswertung von Kenndaten

Eigenverbrauchsanteil über der Speichergröße



Auswertung von Kenndaten

Eigenverbrauchsanteil über der Speichergröße



Inhalt der Präsentation

- Vorgehen und Ziele der Analyse
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung des Verlaufs der PV-Erzeugungsleistung
- Annahmen und Vorgehen: Modellierung der verbrauchsseitigen Leistungsverlaufs
- Gegenüberstellung von Stromerzeugung und -bezug und Dimensionierung von Energiespeichern
- Auswertung von Kenndaten
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

- Es werden keine zeitlich variierenden Strompreise berücksichtigt.
 - Der Energiespeicher wird daher nie direkt aus dem Netz, sondern nur mithilfe der PV-Anlage geladen.
 - Ebenso wird die Energie aus dem Speicher nur für die Ladung der Fahrzeuge / deren Vorkonditionierung genutzt und nicht ins Netz eingespeist.

- Es wird angenommen, dass die Stromnetzanschlusskapazität immer ausreichend ist und der Speicher somit nicht für die Lastglättung am Netz genutzt werden muss.
 - Der Speicher wird daher nur entladen, wenn die augenblickliche Erzeugungsleistung der PV-Anlage nicht für die Ladung der Busse ausreicht.
 - Keine Kosteneinsparungen durch Netzentgeltreduktion berücksichtigt.

- Für den Wirkungsgrad des Ein- und Ausspeicherns werden jeweils 97% angenommen.

- Es wird angenommen, dass der Speicher zu Beginn der Simulation vollständig entladen ist.

- Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung können der separaten Excel-Tabelle entnommen werden.

Wirtschaftlichkeits-Rechnung
kann separater Excel-Tabelle
entnommen werden



Potenzialanalyse für die PV-Stromerzeugung für die Elektrifizierung der Busflotte

Erweiterung der Machbarkeitsanalyse und Umstellungskonzeption zur Elektrifizierung der gesamten Linienbusflotte der west

23.04.2024

Philipp Sinhuber, Sebastian Harms

