

Abschlussbericht

Untersuchung zur Nutzung von Abwärme
der Backöfen und Erhöhung des
Eigenverbrauchs der vorhandenen PV-
Anlage



Abbildung: Hausansicht (Foto: Werkbank Sektorenkopplung)

Bitte zitieren als:

Hochschule Hamm-Lippstadt | Werkbank Sektorenkopplung (2026): Abschlussbericht Bäckerei Kreis

Autoren: Dipl. Ing (FH) Jan Lebek, Dipl. Ing. Andreas Lutters

Impressum

Hochschule Hamm-Lippstadt

Institut für Sektorenkopplung in der Energiewirtschaft (IfSK)

Werkbank Sektorenkopplung

Marker Allee 76-78, 59063 Hamm

E-Mail: sektorenkopplung@hshl.de

Telefon: +49 2381 8789-496

Internet: <https://werkbanksektorenkopplung.de>

Hamm, Juli 2026

Haftungshinweis

Die Hochschule Hamm-Lippstadt kann für in diesem Bericht getätigten Berechnungen, Aussagen und Bewertungen weder haftbar gemacht, noch können Schadenersatzansprüche bei tatsächlichen Abweichungen in einem späteren realen Betrieb geltend gemacht werden. Für eine detaillierte technische Beratung einschließlich der aktuellen Fördermöglichkeiten sowie eine vertiefte Analyse und Planung für die Umsetzung der in dieser Untersuchung betrachteten Maßnahmen wird empfohlen, ein qualifiziertes Fachunternehmen oder eine Energieberaterin/einen Energieberater einzubinden.

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung	4
2. Allgemeine Informationen zum Unternehmen	5
3. Abwärmenutzung	7
Erfassung der Abwärme	7
Backofen links	7
Bewertung der Maßnahmen zur Abwärmenutzung	10
4. Strommanagement	11
Lastprofil & Sicherungsproblem	11
PV- Anlage & Simulation	12
Optimierung durch Elektroauto-Ladung	14
Integration eines Batteriespeichers	16
Zusammenfassung Strommanagement	17

1. Einleitung

Dieser Bericht wurde im Rahmen des Projekts „Werkbank Sektorenkopplung“ erstellt, das durch das Institut für Sektorenkopplung in der Energiewende (IfSK) der Hochschule Hamm-Lippstadt (HSHL) durchgeführt wird. Zielsetzung des Projekts ist es, die bestehenden, überwiegend fossil und sektoral getrennten Energiesektoren Strom, Wärme und Mobilität durch intelligente Technologien der Sektorenkopplung klimafreundlich zu vernetzen. Dies geschieht durch einen wechselseitigen Wissens- und Technologietransfer zwischen dem Projekt und den Marktakteuren in der Region Hamm sowie den Landkreisen Warendorf, Soest und Unna.

Abbildung 1 zeigt die Sektoren der Energiewirtschaft. Die im Rahmen dieser Untersuchung relevanten Kopplungspfade sind farblich hervorgehoben.

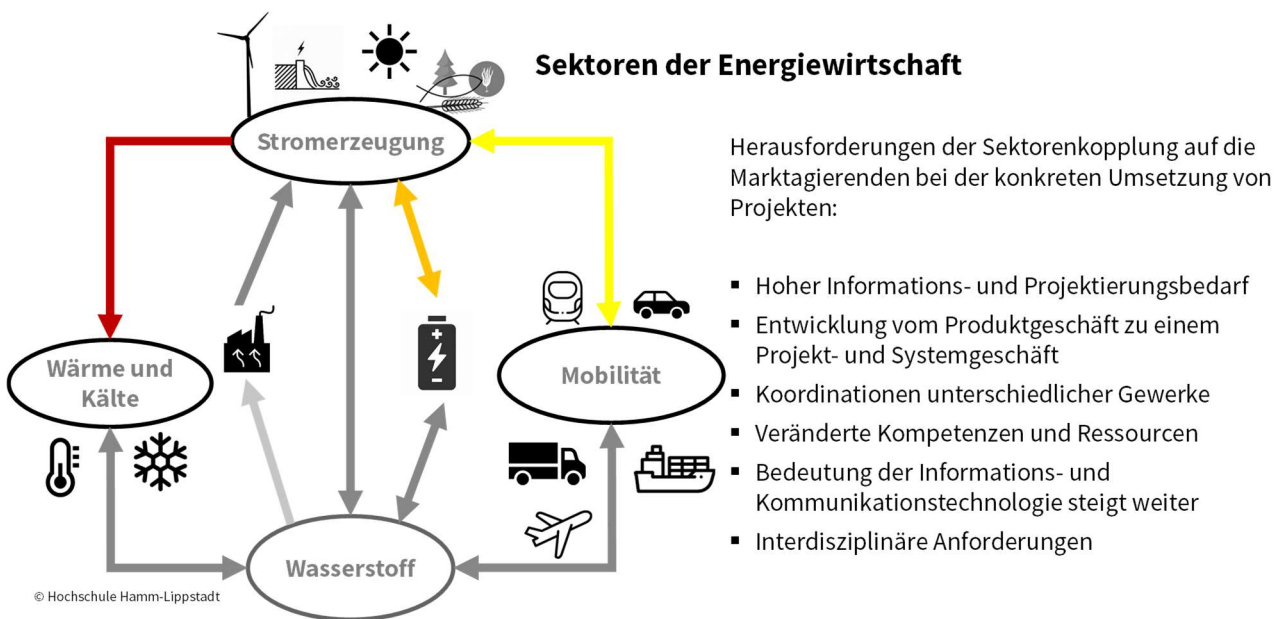


Abbildung 1: Sektoren der Energiewirtschaft. Kopplungspfade mit Bezug auf diese Untersuchung sind farblich hervorgehoben.

Konkret wurden in diesem Projekt zwei Arbeitspakete bearbeitet:

Arbeitspaket 1: Abwärmenutzung

- Erfassung der Abwärme (Leistung und Temperaturen)
- Prüfung der Rückgewinnungspotenziale
- Bewertung der Wirtschaftlichkeit einzelner Lösungen

Arbeitspaket 2: Stromerzeugung

- Erfassung des Stromverbrauchs
- Erfassung der PV-Erzeugung
- Analyse der Lastspitzensteuerung (Sicherungsproblem)
- Eigenverbrauchsoptimierung (Simulation)
- Integration eines Batteriespeichers
- Integration des eigenen Elektrofahrzeugs

2. Allgemeine Informationen zum Unternehmen

Die Naturbackstube Kreis ist eine traditionsreiche Bäckerei aus Dortmund, die 1951 gegründet wurde und seit 2014 von Bäckermeister Stefan Mühlenbäumer geführt wird. Sie versteht sich als Handwerksbetrieb mit starkem Fokus auf Bio-Qualität, regionale Zutaten und ökologisches Wirtschaften.



Abbildung 2: Gebäude des Bäckereibetriebs in Dortmund (Quelle: Google Maps)

Die Bäckerei legt Wert auf Nachhaltigkeit. Deshalb wurde auf dem Gebäude des Betriebes eine 30 kWp PV-Anlage in Ost-West Ausrichtung installiert. Zudem fährt der Eigentümer ein Elektroauto, welches an Arbeitstagen am Betrieb geladen wird, und denkt über die Anschaffung eines Batteriespeichers zur Erhöhung des Eigenverbrauchs nach.

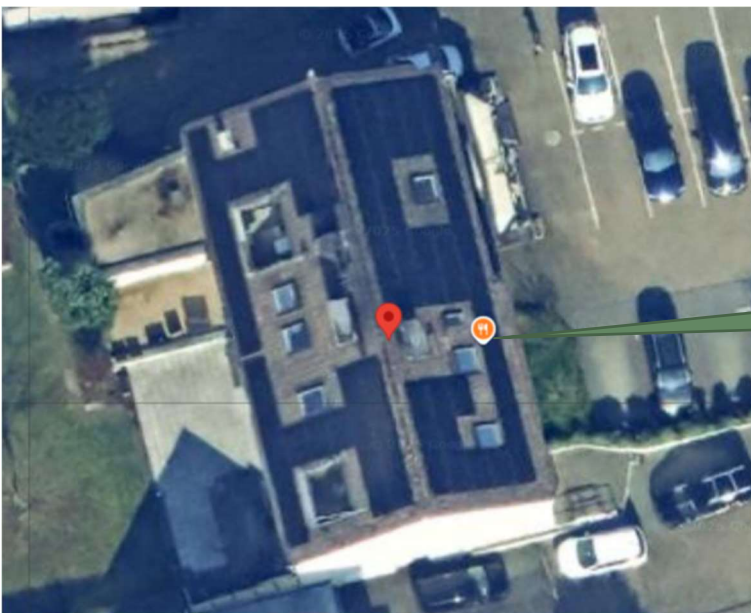


Abbildung 3: Installierte PV-Anlage (Quelle: Google Maps)

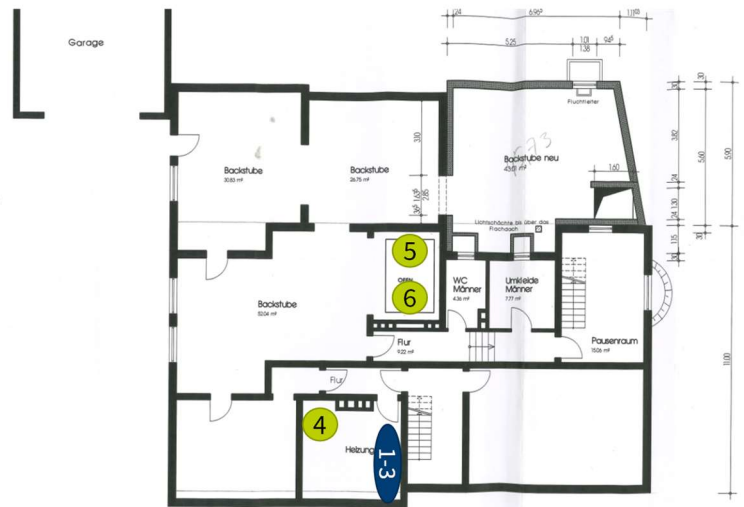
Zwei der drei Backöfen werden noch mit Erdgas betrieben, weshalb die Nutzung der Abwärme einen Schwerpunkt der Untersuchung darstellte.

Das Gebäude beherbergt neben der Backstube im Keller und dem Verkaufsraum im Erdgeschoss noch fünf Wohnungen und ein Apartment, welche vermietet sind. Die Wohnungen werden über eine Zentralheizung im Keller versorgt.

Die Bäckerei verfügt über keine eigene Heizung. Bei Bedarf wird mit einer Klimaanlage der Verkaufsraum beheizt. An Arbeitstagen (Dienstag – Samstag) starten die Arbeiten ab ca. 4 Uhr morgens. Sonntag und Montag sind Ruhetage.

Lageplan

- 1 Gaszähler (Zentralheizung)
- 2 Gaszähler (Backöfen)
- 3 Gaszähler (Apartment, nicht auslesbar)
- 4 Zentralheizung (Mietwohnungen)
- 5 Backofen links
- 6 Backofen rechts (außer Betrieb)



Grundriß Kellergeschoß, Maßstab 1 : 100

Abbildung 4: Grundriss des Kellers mit Backstube, Gaszähler und Öfen

Grundriss (Erdgeschoss)

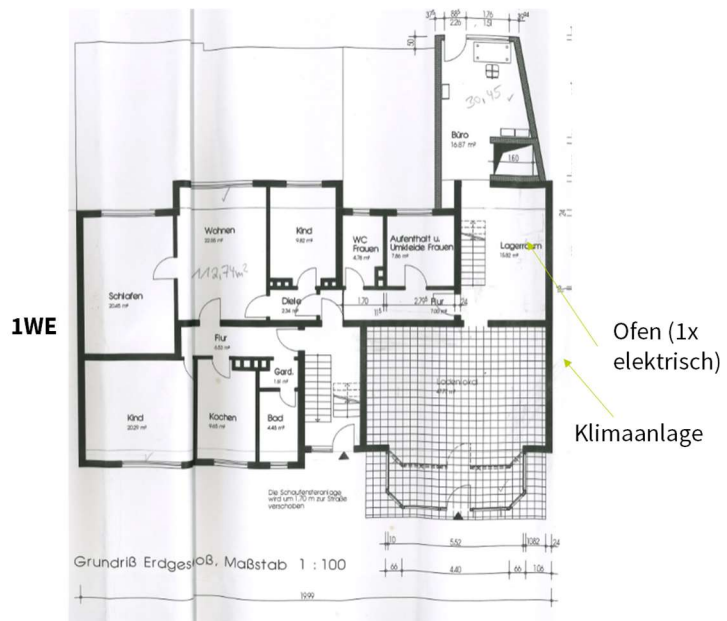


Abbildung 5: Grundriss des Erdgeschosses mit Verkaufsraum und einer Mietwohnung

3. Abwärmenutzung

Erfassung der Abwärme

Zur Erfassung der Verbräuche und Temperaturen wurden hauptsächlich eigene Messsysteme eingesetzt. Lediglich für die Messung des Gasverbrauchs wurden Fremdsysteme (Beulco) verwendet. Der Messzeitraum betrug ca. vier Wochen. Gemessen wurde der Backofen links. Der Backofen rechts war während der Untersuchung außer Betrieb.

Backofen links

Es zeigt sich eine mittlere Abgastemperatur von 41°C. Dies ist für eine Stromerzeugung zu gering, kann aber potenziell für die **direkte Heizung der Backstube über einen Luft/Luft Wärmetauscher** genutzt werden.

Temperaturmessung 5 Backofen links

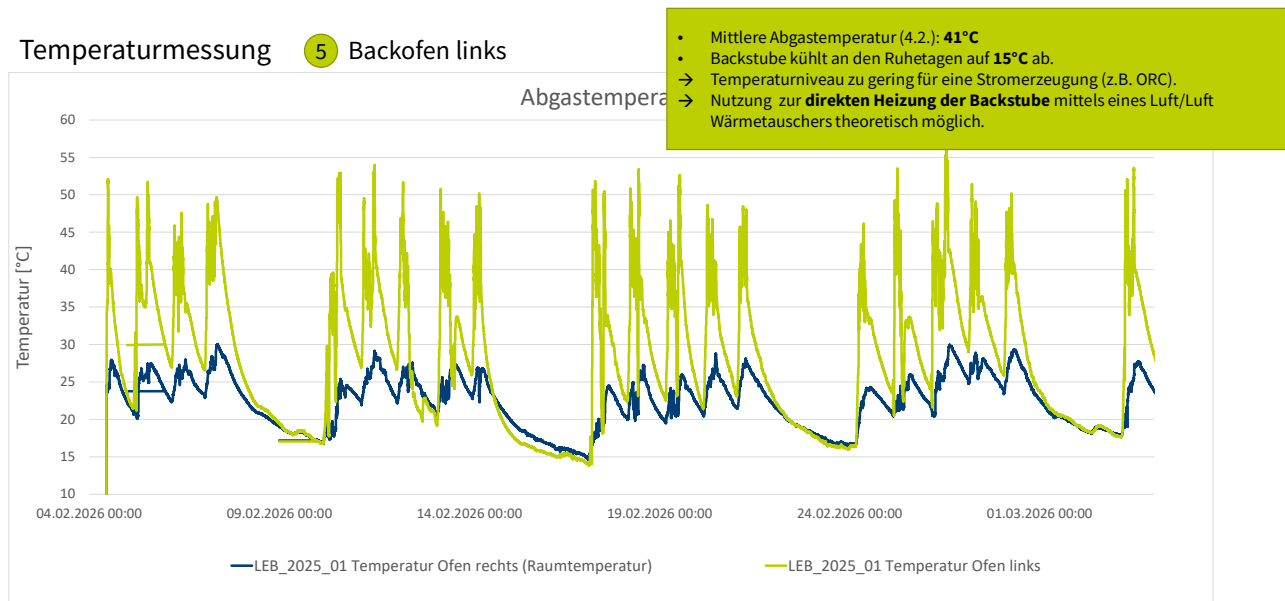


Abbildung 6: Temperaturmessung am Abgasrohr des Backofens links

Abbildung 6 zeigt die Temperaturmessung am Abgasrohr des Backofens links. An fünf Tagen pro Woche wird gebacken (siehe Abbildung 6 und 7). Aus den Verbrauchsdaten ergibt sich eine mittlere Leistung von 16kW während der Backvorgänge. Bei einer angenommenen Lufteintrittstemperatur von 20°C ergibt sich ein Volumenstrom von ca. 2.267 m³/h für das Abgas bzw. den Wärmetauscher.

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T}$$

$$\dot{V} = \frac{16.000 \text{ W}}{1,204 \text{ kg/m}^3 \cdot 1005 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \cdot 21 \text{ K}} \approx 0,6297 \text{ m}^3/\text{s} \quad 1$$

$$\dot{V} = 0,6297 \cdot 3600 \approx 2267 \text{ m}^3/\text{h}$$

¹ https://www.schweizer-fn.de/stoff/wkapazitaet/wkapazitaet_gase.php
https://www.schweizer-fn.de/helpdat/stoff/help_dichte.php

Während der Ruhetage kühlt die Backstube deutlich ab, da keine zentrale Heizanlage vorhanden ist. Der Backofen dient daher auch als indirekte Wärmequelle. Es wurde berichtet, dass insbesondere am ersten Tag nach den Ruhetagen vermehrt die Klimaanlage im Verkaufsraum zur Beheizung eingesetzt wird.

Gasverbrauch

4 5 Zentralheizung + Backofen links

- Mittlere Leistung des Ofens (4.2.): Ca. **16kW**
- Mittlerer Volumenstrom: **>2200m³/h**

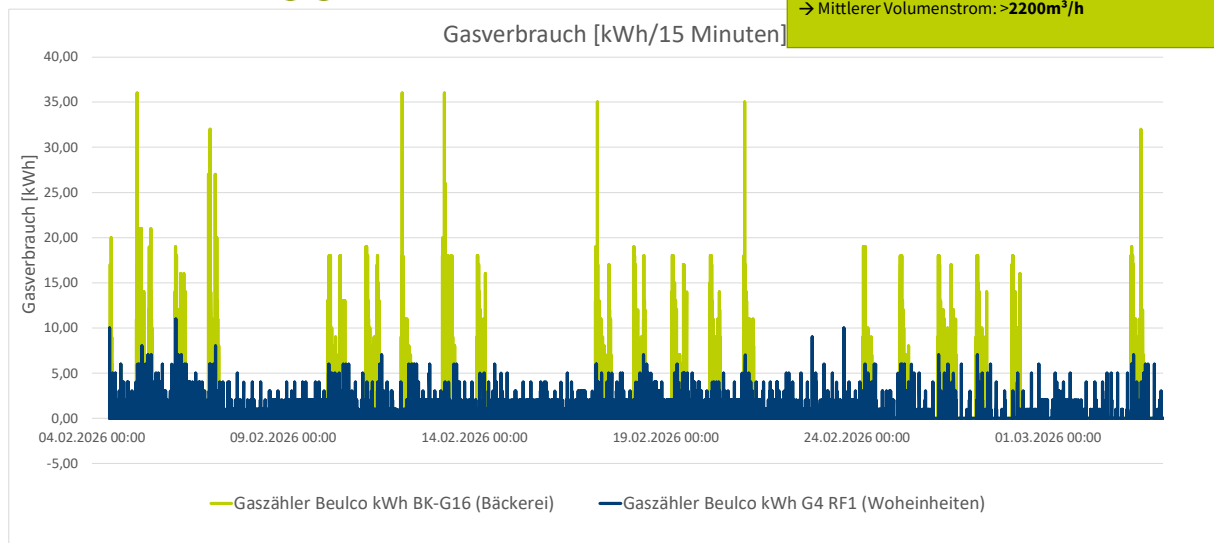


Abbildung 7: Gasverbrauch der Zentralheizung und des Backofens links

Ein weiteres Potenzial liegt in der Nutzung der Abwärme zur **Vorwärmung der Zentralheizung** der fünf Wohnungen. Hierfür müsste die Wärme in den Heizungskreislauf eingekoppelt werden. Der mittlere Rücklauf der Zentralheizung betrug ca. 32 °C. Mit einer Differenztemperatur von neun Kelvin (9K) ließe sich ein Teil der Abwärme **über einen Luft/Wasser Wärmetauscher** nutzen. Dies entspricht einem potenziellen Anteil von 42 %. Vergleicht man jedoch die Gasverbräuche des Backofens und der Zentralheizung, sinkt der tatsächlich nutzbare Anteil auf unter 19 %, da die Zentralheizung nur 45 % des Gasverbrauchs des Backofens ausmacht.

Abbildungen 8 bis 10 zeigen die Temperaturmessungen, Gasverbräuche und den direkt nutzbaren Anteil der Abwärme.

Temperaturmessung

4 Zentralheizung

- Mittlere Vorlauftemperatur: Ca. **41°C**
- Mittlere Rücklauftemperatur: Ca. **32°C**
- Mittlere Außentemperatur: Ca. **12°C**
- Ankopplung der Abgasenergie in den Rücklauf der Heizungsanlage theoretisch direkt möglich.
- ABER...

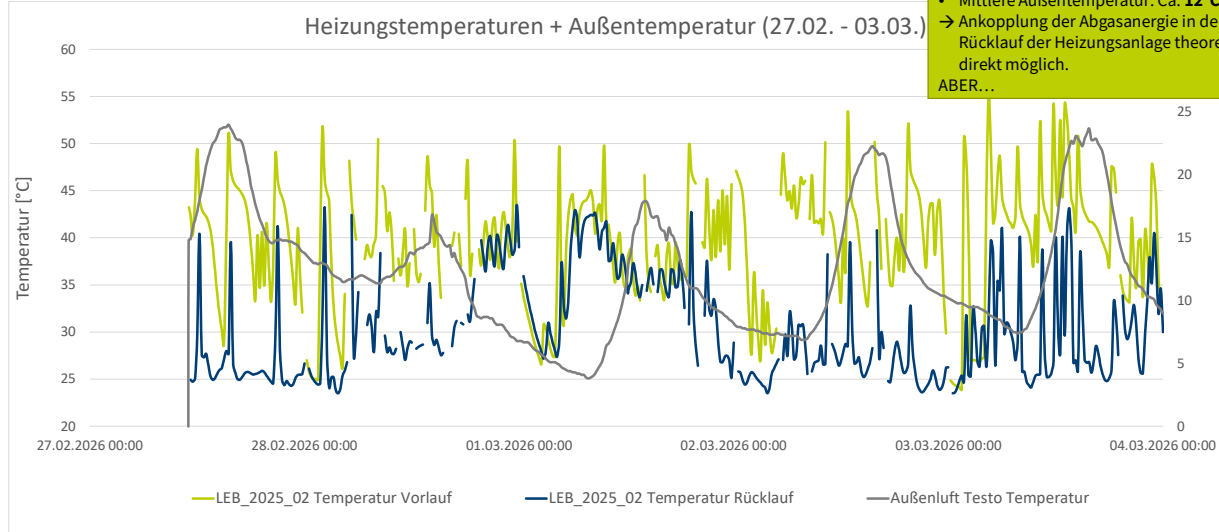
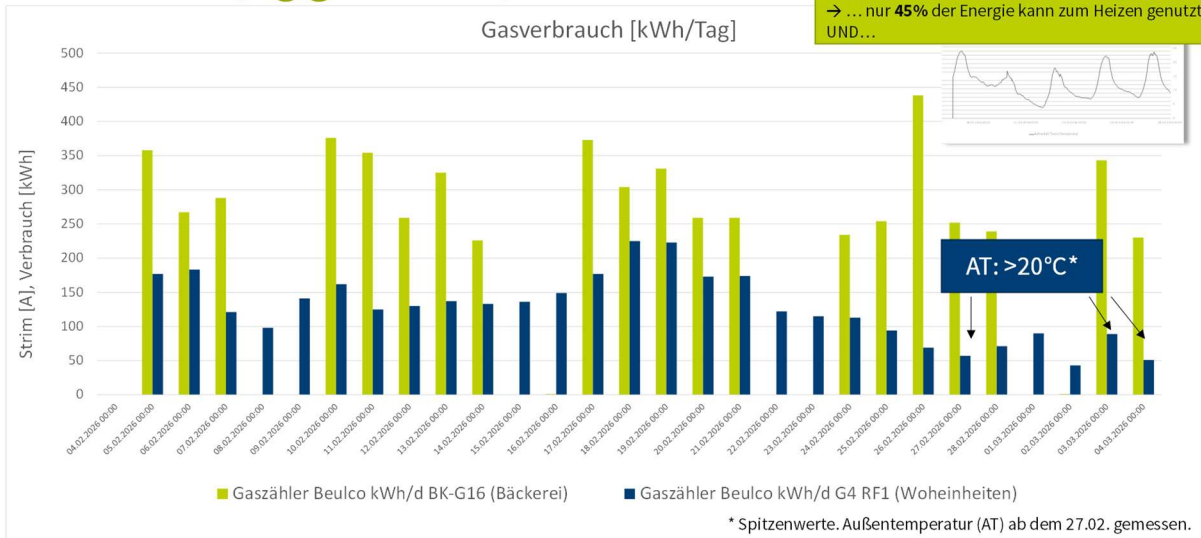


Abbildung 8: Temperaturmessung an der Zentralheizung

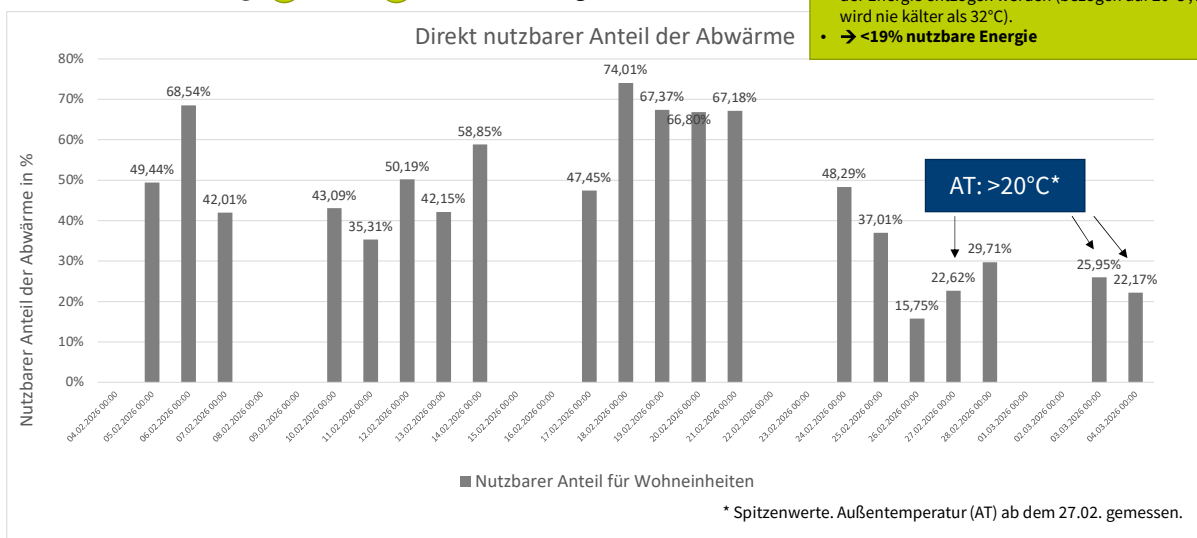
Gasverbrauch / Tag 4 5 Zentralheizung + Backofen links



- Mittlerer Gasverbrauch Backofen: Ca. **215 kWh/Tag** bzw. **300 kWh/Tag (nur Arbeitstage)**
- Mittlerer Gasverbrauch Zentralheizung: Ca. **130 kWh/Tag**
- ... nur **45%** der Energie kann zum Heizen genutzt werden. UND...

Abbildung 9: Gemessener Gasverbrauch pro Tag

Direkt nutzbar / Tag 4 5 Zentralheizung + Backofen links



- ... bei **9K Differenztemperatur** können nur maximal **42%** der Energie entzogen werden (bezogen auf 20°C, Abgas wird nie kälter als 32°C).
- → **<19% nutzbare Energie**

Abbildung 10: Direkt nutzbarer Anteil der Abwärme

Bewertung der Maßnahmen zur Abwärmenutzung

Es wurden zwei Nutzungsarten identifiziert:

- 1.) Direkte Nutzung der Abwärme zum Heizen der Backstube (Luft/Luft Wärmetaucher)
- 2.) Vorerwärmung des Heizungsrücklaufs der Zentralheizung (Luft/Wasser Wärmetaucher)

Tabelle 1: Vergleich der beiden Maßnahmen zur Abwärmenutzung

Maßnahme	PRO	CONS	Fazit
Direkte Nutzung der Abwärme zum Heizen der Backstube	Technisch einfach und relativ günstig umzusetzen. Möglichkeit der Zuluftvorerwärmung der Backöfen für einen effizienteren Betrieb.	Hauptsächliche Nutzung während der Heizperiode (Oktober – April). Geringer Wärmebedarf durch ausschließliche Nutzung in der Backstube.	Die Wirtschaftlichkeit ist abhängig vom Heizbedarf der Backstube und den Investitionskosten.
Vorerwärmung des Heizungsrücklaufs der Zentralheizung	Hoher Wärmebedarf durch 5 Wohneinheiten. Die nicht vom Rücklauf aufgenommene Temperatur kann im 2. Schritt zur Heizung für die Backstube benutzt werden.	Geringe Temperaturdifferenz / Effizienz. Deutlich komplexer in der Umsetzung. Abrechnung mit Mietern erforderlich. Nur in der Heizperiode nutzbar (da Warmwasserbereitung über Durchlauerhitzer).	Ist aufgrund der geringen Effizienz und deutlich höheren Komplexität (Kosten) voraussichtlich nicht wirtschaftlich.

Zur vereinfachten Bewertung der Wirtschaftlichkeit basierend auf konkreten Angeboten (z. B. für einen Luft-Luft-Wärmetaucher inkl. Einbau) wurde den Eigentümern ein Excel-Tool zur Berechnung der statischen und dynamischen Amortisationsdauer bereitgestellt. Durch Eingabe der erwarteten Energieeinsparungen, Investitionskosten, des Zinssatzes und der Nutzungsdauer lässt sich eine fundierte Entscheidungsgrundlage erstellen, ab wann sich eine Investition amortisiert.

Abbildung 11 zeigt das Excel-Tool zur Berechnung der Amortisationsdauer.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														

Abbildung 11: Excel Tool zur Berechnung der statischen und dynamischen Amortisationsdauer

4. Strommanagement

Lastprofil & Sicherungsproblem

Für das zweite Arbeitspaket wurden ausschließlich eigene Messsysteme eingesetzt. Anhand der Messdaten einer kompletten Woche lassen sich die Betriebszeiten der Backstube (ca. 04:00–13:00 Uhr) klar identifizieren. Zudem wird deutlich, dass der Leistungsbezug am Netzanschlusspunkt an einzelnen Tagen die 50-kW-Marke überschreitet. Dies erklärt das wiederkehrende Auslösen der Sicherung am Netzanschlusspunkt, deren Bemessung lediglich bei 63 A je Phase bzw. ca. 43,5 kW (Drehstrom) liegt.

Diese Verbrauchsspitzen treten hauptsächlich in den frühen Morgenstunden auf, weshalb die PV-Anlage zu diesem Zeitpunkt noch keine eigene Erzeugung beisteuern kann. Ursachen sind diverse leistungsstarke Geräte in der Backstube wie Teigknetter, Gärunterbrecher und Anschlagmaschine.

Am Dienstag und Donnerstag wird die höchsten Verbräuche gemessen. Die durchschnittliche Leistung beträgt dabei bis zu 13 kW. Ab ca. 04:00 Uhr steigt der Verbrauch an, zwischen 13:00 und 15:00 Uhr nähert er sich wieder der Grundlast von ca. 6 kW. An Ruhetagen ist der Verbrauch erwartungsgemäß deutlich geringer. Trotz Stillstands des Backbetriebs liegt die mittlere Leistung bei ca. 3,3 kW, was vermutlich auf Kühl- und Gefriergeräte zurückzuführen ist.

Abbildungen 12 bis 14 zeigen die Strommessungen über eine Woche, dienstags und sonntags.

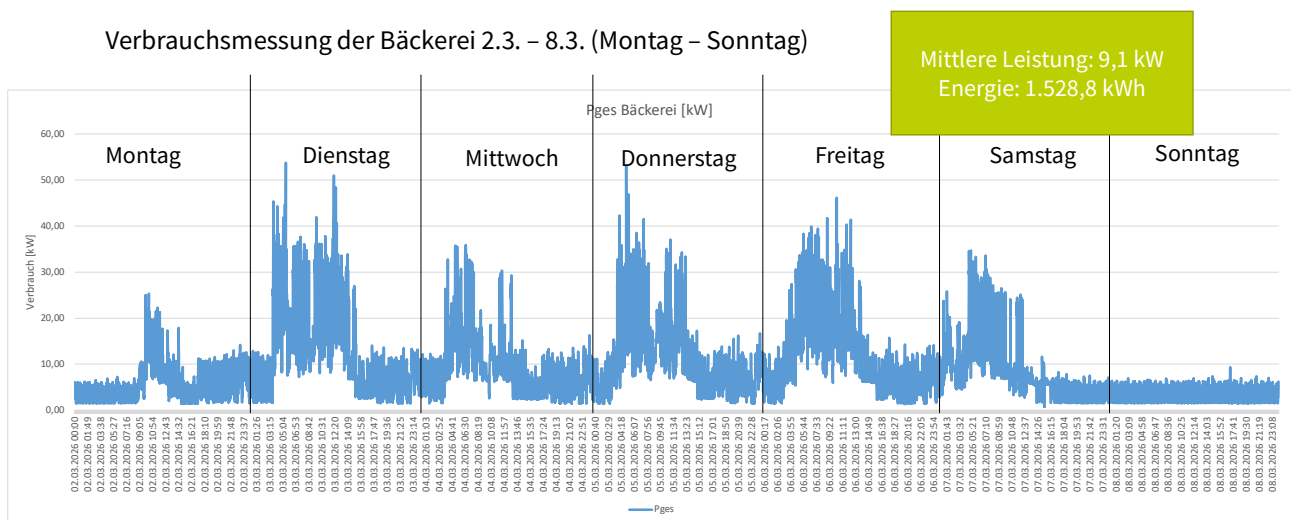


Abbildung 12: Strommessung über eine Woche.

Verbrauchsmessung der Bäckerei 3.3. (Dienstag)

Mittlere Leistung: 12,98 kW
Energie: 311,5 kWh

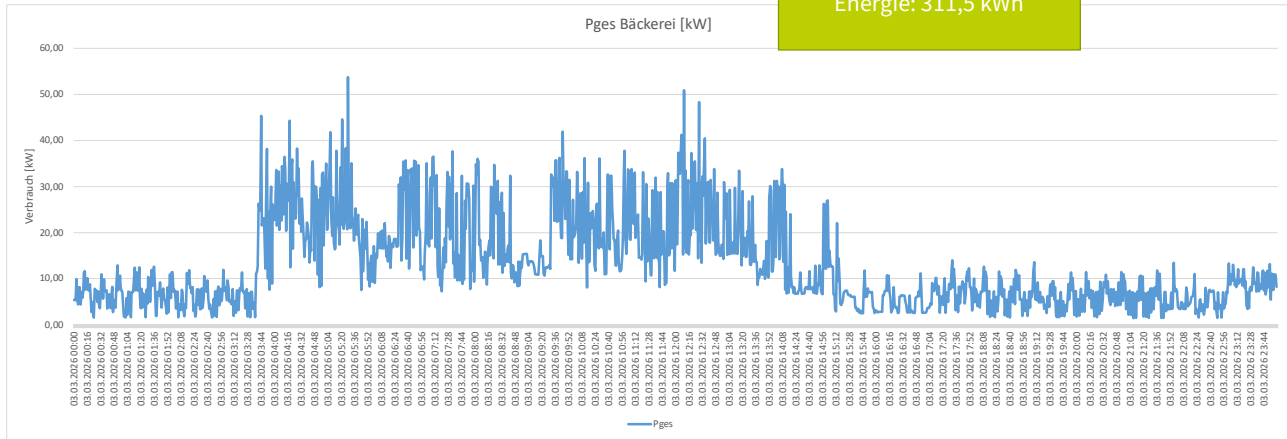


Abbildung 13: Strommessung Dienstag 3.3.2026

Verbrauchsmessung der Bäckerei 8.3. (Sonntag)

Mittlere Leistung: 3,32 kW
Energie: 79,68 kWh

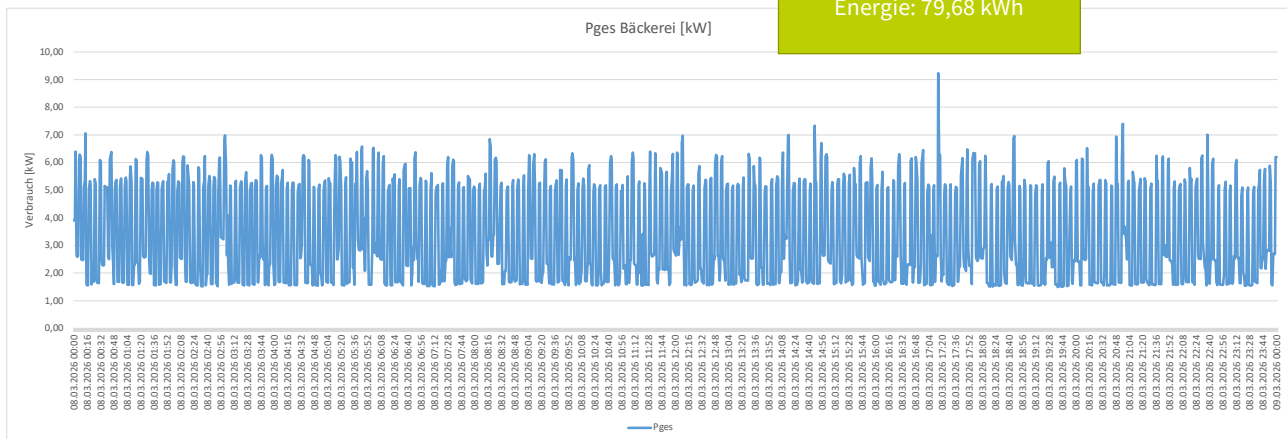


Abbildung 14: Strommessung Sonntag 8.3.2026

PV- Anlage & Simulation

Die direkte Messung der PV-Leistung gestaltete sich schwierig, da die eigenen Messsysteme keine Stromrichtung erfassen, sondern nur den Betrag des Stromflusses. Für eine eindeutige Zuordnung müssten reine Verbraucher und Erzeuger separat gemessen werden. Da an der entsprechenden Unterverteilung auch die Wallbox und ein nicht weiter definierter Verbraucher abgeleitet waren, ergab die Messung keine verwertbaren Werte. Daher wurden die erforderlichen Erzeugungswerte durch eine Simulation generiert.

Als Simulationssoftware wurde PV*Sol Premium 2026 eingesetzt. Der Jahresstromverbrauch wurde basierend auf den Messwerten und den Jahresenergieverbräuchen interpoliert. Das Programm gibt u. a. Erzeugung, Eigenverbrauchsanteil und Netzeinspeisung aus.

Der Eigenverbrauchsanteil liegt aufgrund des hohen Betriebsverbrauchs bereits bei über 70 %. Lediglich 6.361 kWh werden demnach pro Jahr ins Netz eingespeist. Bei genauerer Analyse des zeitlichen Verlaufs zeigt sich, dass an 7.321 Stunden im Jahr praktisch keine Netzeinspeisung (im Intervall zwischen 0 und 1 kW) stattfindet. Im Jahresverlauf weisen Mai (1.430 kWh) und Juli (1.269 kWh) die höchsten Einspeisewerte auf, im Dezember weniger als 10 kWh.

Die vermehrte Einspeisung am Nachmittag ist auf den primären Verbrauch am Vormittag sowie die erhöhte Erzeugung am Nachmittag durch die leichte Südausrichtung der Westseite des Daches (bzw. Nordausrichtung der Ostseite) zurückzuführen.

Abbildungen 15 bis 18 zeigen die Simulationsergebnisse zur PV-Erzeugung, Netzeinspeisung und deren zeitlicher Verlauf.

Überblick

 **28,44 kWp**
PV-Generatorleistung

 **21.622 kWh**
PV-Energie pro Jahr

 **25,3 %**
Autarkiegrad

 **70,6 %**
Eigenverbrauchsanteil

 **8,29 %**
Gesamtkapitalrendite

 **9.375 kg/Jahr**
Vermiedene CO₂-Emissionen



Seite 2

Erstellt mit PV*SOL premium 2026 (R3) Nicht gewerblich – Valentin Software GmbH



Abbildung 15: Ergebnisse der PV-Anlagen Simulation mit PV*Sol mit PV-Energie pro Jahr

PV-Anlage



 **70,6 %**
Eigenverbrauchsanteil
Der Eigenverbrauchsanteil gibt an, wie viel des erzeugten Solarstroms selbst genutzt und nicht ins Netz eingespeist wird.

 **89,4 %**
Anlagennutzungsgrad (PR)
Der Anlagennutzungsgrad beschreibt das Verhältnis zwischen der tatsächlich erzeugten und der theoretisch möglichen Energie einer PV-Anlage.

Seite 4

Erstellt mit PV*SOL premium 2026 (R3) Nicht gewerblich – Valentin Software GmbH



Abbildung 16: Ergebnisse der PV-Anlagen Simulation mit PV*Sol mit zugehöriger Netzeinspeisung

Zeitlicher Verlauf der Netzeinspeisung (6361 kWh)

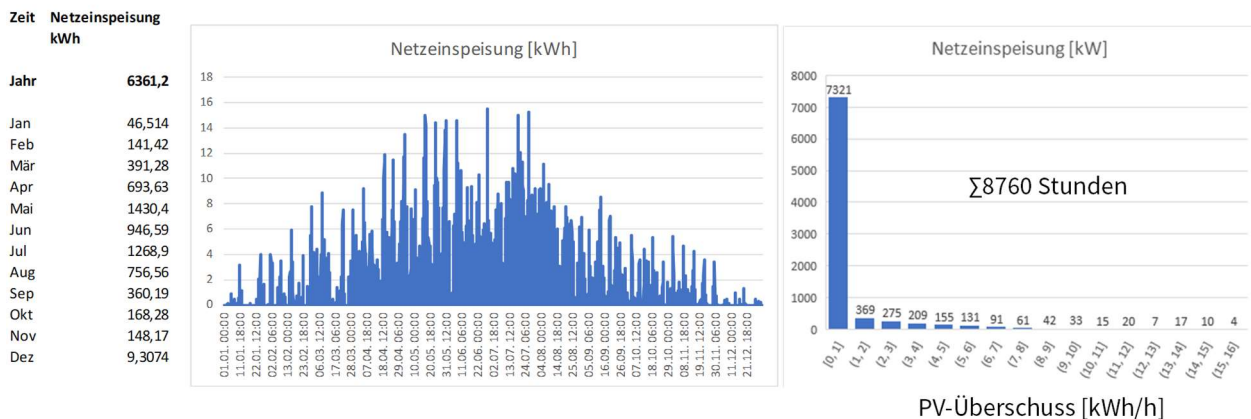


Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der Netzeinspeisung simuliert durch PV*Sol

Netzeinspeisung (Energie)

- Vermehrt Netzeinspeisung am Nachmittag zeigt sich auch anhand der Energiemengen
- Das Elektroauto befindet sich in diesem Zeitraum nicht an der Bäckerei.

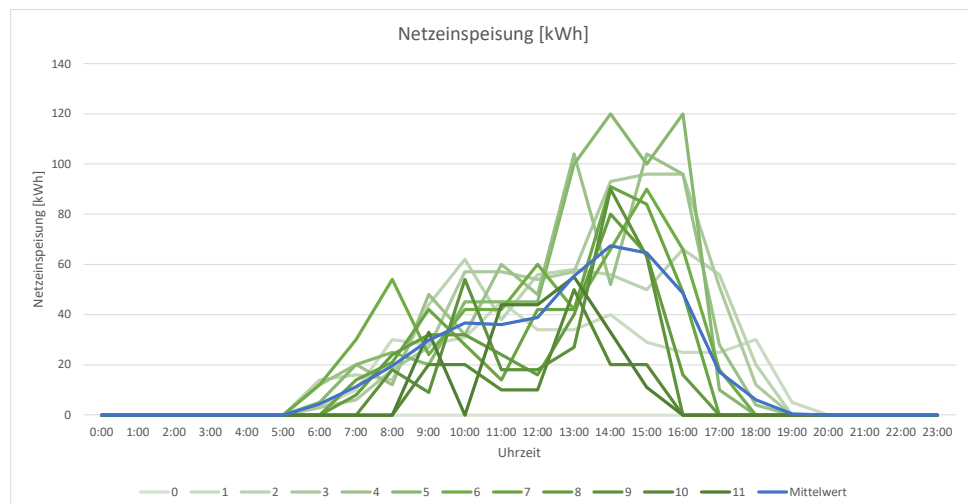


Abbildung 18: Netzeinspeisung (Energie) im Tagesverlauf simuliert durch PV*Sol

Optimierung durch Elektroauto-Ladung

Die Eigentümer fahren an den Betriebstagen mit dem Elektroauto zur Bäckerei. Die Standzeit vor Ort beträgt typischerweise von 04:00 bis 13:00 Uhr. Zum Zeitpunkt der Untersuchung wurde das Fahrzeug sofort an die Wallbox angeschlossen und lud mit 3,1 kW bis zum Erreichen des Ladezustands 100 %.

Um den Eigenverbrauch der PV-Anlage zu maximieren, wurde der optimale Ladestartzeitpunkt unter Berücksichtigung der Fahrleistung und des Energieverbrauchs ermittelt. Ein Start der Ladung um 06:30 Uhr erhöht den Eigenverbrauchsanteil, da das Fahrzeug rechnerisch zum geplanten Abfahrzeitpunkt voll geladen ist.

Abbildung 19 zeigt die Ermittlung der optimalen Ladestrategie. Der Graph verdeutlicht zudem die Schwierigkeit der Messung bei gleichzeitiger Erzeugung und Verbrauch: Nach dem Ladebeginn (Netzbezug) sinkt der gemessene Stromwert ab ca. 06:30–07:00 Uhr, da die PV-Erzeugung zunimmt. Da die Wallbox weiterhin mit 3,1 kW lädt, nähert sich der Netzbezug null, sobald Erzeugung und Verbrauch sich die Waage

halten. Steigt die PV-Leistung über die Ladeleistung, wird überschüssige Energie eingespeist. Die Spitzenwerte der PV-Erzeugung treten zwischen 12:30 und 13:00 Uhr auf.

Ladestrategie zur Maximierung des Eigenverbrauchs

- Elektroauto:
 - Modell: MG4
 - Ladeleistung: Max. 6,6 kW (1-phasig)
 - Verbrauch: 18 kWh / 100 km
 - Standzeit: Montag – Freitag, 4 – 13 Uhr
 - Fahrleistung: 110 km / Tag (Montag – Freitag)
- Wallbox:
 - Modell: Fronius Wattpilot
 - Ladeleistung: 3,1kW (1-phasig, gemessen)
 - Manueller Start mit konstanter Leistung (kein PV-Überschuss)

→ Benötigte Energie: 20 kWh / Tag

→ Ladedauer: 6,5 Stunden

→ **Optimaler Start des Ladevorgangs: 6:30 Uhr**

Start der Ladung: 4 Uhr (Netzbezug)
Start der PV-Erzeugung: 6:30 - 7 Uhr

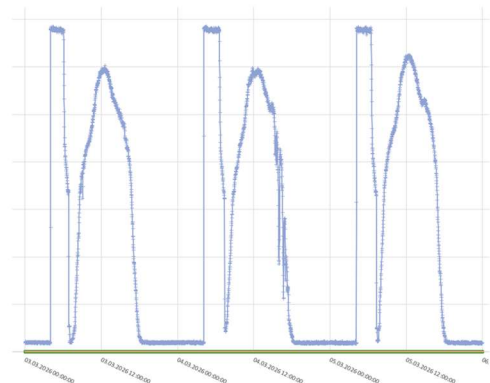


Abbildung 19: Ermittlung der optimalen Ladestrategie für das Elektroauto

Integration eines Batteriespeichers

Abschließend wurde die Integration eines Batteriespeichers zur Erhöhung des Eigenverbrauchs analysiert. Es wurden vier Konfigurationen stichprobenartig untersucht (3 kW/5 kWh bis 6 kW/11 kWh), basierend auf einer Recherche zu aktuell verfügbaren Marktsystemen.

Abbildung 20 zeigt die Erweiterung der PV*Sol-Simulation um einen Batteriespeicher. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Konfiguration mit 6 kW und 11 kWh bei den angenommenen Investitionskosten mit einer Amortisationsdauer von ca. 11,5 Jahren voraussichtlich am wirtschaftlichsten betrieben werden kann. Die Netzeinspeisung reduziert sich dabei auf unter 4.000 kWh pro Jahr bei gleichzeitiger Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils auf über 81 %.

Einfluss eines Batteriespeichers

- Beispiel (3kW, 5kWh):
- Erweiterung der Simulation

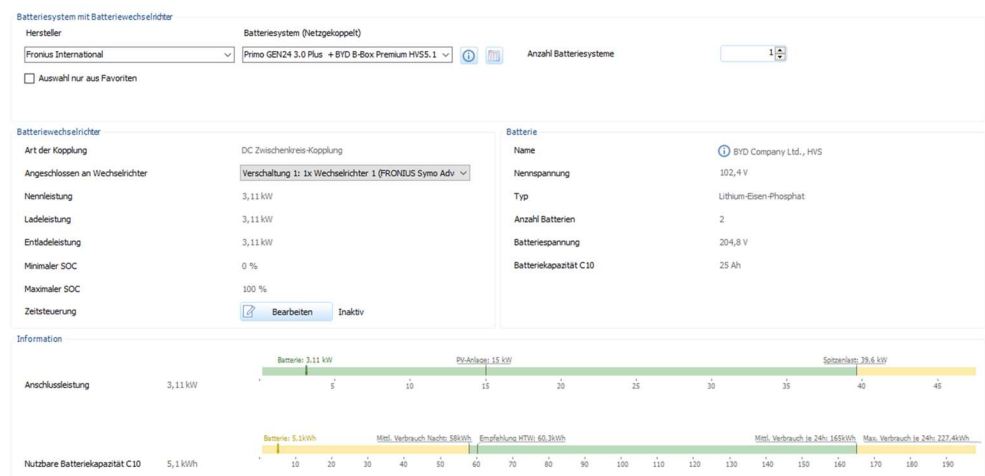


Abbildung 20: Erweiterung der Simulation in PV*Sol um einen Batteriespeicher

Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse verschiedener Batteriespeichergößen

	Ohne Speicher	Batteriespeicher 3kW, 5kWh	Batteriespeicher 3kW, 11kWh	Batteriespeicher 6kW, 5kWh	Batteriespeicher 6kW, 11kWh
Eigenverbrauchsanteil	70,6%	77,3%	77,8%	80,6%	81,5%
Netzeinspeisung [kWh]	6.361	4.887	4.756	4.173	3.975
Investitionskosten ² [Euro]	n/a	3.800	Nicht berechnet		5.800
Amortisationsdauer [Jahre]	n/a	12,3			11,5

² Quelle: [Beispielhändler](#)

Zusammenfassung Strommanagement

Aus den Betrachtungen zum Strommanagement ergeben sich folgende zentrale Werte und Empfehlungen:

Messwerte Bäckerei:

- Spitzenlast: ca. 50 kW (Dienstag & Donnerstag)
- Grundlast: ca. 3 kW (Sonntag)

PV-Simulation (ohne Speicher):

- Simulierter Jahresertrag: 21.601 kWh
- Netzeinspeisung: 6.361 kWh
- Eigenverbrauchsanteil: 70,6 %
- Die Netzeinspeisung findet vermehrt am Nachmittag statt, wenn der Betrieb geschlossen ist und das Elektroauto nicht mehr vor Ort ist.

Empfehlungen zur Eigenverbrauchsoptimierung:

- Elektroauto: Der optimale Ladebeginn ist **06:30 Uhr**.
- Batteriespeicher: Ein Speicher mit **6 kW Leistung und 11 kWh Kapazität** senkt die Netzeinspeisung auf unter 4.000 kWh, erhöht den **Eigenverbrauch auf 81,5 %** und amortisiert sich nach ca. **11,5 Jahren**.

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Sektoren der Energiewirtschaft	4
Abbildung 2: Gebäude des Bäckereibetriebs in Dortmund (Quelle: Google Maps).....	5
Abbildung 3: Installierte PV-Anlage (Quelle: Google Maps, abgerufen am 01.06.2026)	5
Abbildung 4: Grundriss des Kellers mit Backstube, Gaszähler und Öfen	6
Abbildung 5: Grundriss des Erdgeschosses mit Verkaufsraum und einer Mietwohnung	6
Abbildung 6: Temperaturmessung am Abgasrohr am Backofen links	7
Abbildung 7: Gasverbrauch der Zentralheizung und des Backofens links	8
Abbildung 8: Temperaturmessung an der Zentralheizung.....	8
Abbildung 9: Gemessener Gasverbrauch pro Tag	9
Abbildung 10: Direkt nutzbarer Anteil der Abwärme.....	9
Abbildung 11: Excel Tool zur Berechnung der statischen und dynamischen Amortisationsdauer	10
Abbildung 12: Strommessung über eine Woche.....	11
Abbildung 13: Strommessung Mittwoch 3.3.2026.....	12
Abbildung 14: Strommessung Sonntag 8.3.2026	12
Abbildung 15: Ergebnisse der PV-Anlagen Simulation mit PV*Sol mit PV-Energie pro Jahr.....	13
Abbildung 16: Ergebnisse der PV-Anlagen Simulation mit PV*Sol mit zugehöriger Netzeinspeisung.....	13
Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der Netzeinspeisung simuliert durch PV*Sol	14
Abbildung 18: Netzeinspeisung (Energie) im Tagesverlauf simuliert durch PV*Sol	14
Abbildung 19: Ermittlung der optimalen Ladestrategie für das Elektroauto.....	15
Abbildung 20: Erweiterung der Simulation in PV*Sol um einen Batteriespeicher	16

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Vergleich der beiden Maßnahmen zur Abwärmenutzung	10
Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse verschiedener Batteriespeichergrößen.....	16