

WERKBANK

Sektorenkopplung

Abschlussbericht

Optimierung der Energiesituation am Beispiel Landgasthof Spletter



Abbildung 1 Fotografie WBSK - Montage

 HOCHSCHULE
HAMM-LIPPSTADT

 IfSK Institut für Sektorenkopplung
in der Energiewende

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

5-StandorteProgramm



Gefördert durch:

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



Bitte zitieren als:

Hochschule Hamm-Lippstadt | Werkbank Sektorenkopplung (2026): Abschlussbericht Landgasthof Splietker
Autoren: Johanna Kleipaß - M.Sc. , 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 in diesem Bericht getätigten Aussagen basieren auf Messdaten und deren Weiterverarbeitung mittels mathematischer Modelle. Bei der Aufzeichnung der Messdaten kann es aufgrund der Messmethode zu Abweichungen kommen; diese können sich durch die Weiterverarbeitung erhöhen. Der Energieverbrauch ist stark abhängig vom Nutzungsverhalten, z.B. durch Erhöhung der Raumtemperatur, vermehrtes Duschen, Baden und Lüften .

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. EXECUTIVE SUMMARY	5
2. EINLEITUNG	7
2.1. BESCHREIBUNG DES GASTHOFS	7
2.2. BESCHREIBUNG DES BESTEHENDEN SYSTEMS	8
2.3. MESSUNGEN	9
2.3.1. STROMMESSUNGEN	10
2.3.2. TEMPERATURMESSUNG KÜCHE	11
2.3.3. TEMPERATURMESSUNGEN HEIZKÖRPER	12
2.3.4. TEMPERATURMESSUNG VORLAUF / RÜCKLAUF HEIZUNG	15
2.4. POTENZIALE	17
3. BETRACHTUNG VIELVERSPRECHENDER SZENARIEN	19
3.1. SZENARIO 1: EINSATZ EINER PV-ANLAGE	19
3.2. SZENARIO 1.B: PV MIT HEIZSTAB	20
3.3. SZENARIO 1.C: PV MIT LUFT/WASSER-WÄRMEPUMPE	21
3.4. SZENARIO 1.D: PRECOOLING DER KÜHHÄUSER	21
4. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN & ZUSAMMENFASSUNG	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Fotografie WBSK - Montage.....	1
Abbildung 2 Skizze des Gasthofs.	7
Abbildung 3 Sankey-Diagramm der durchschnittlichen jährlichen Energieflüsse innerhalb des Gasthofs.....	8
Abbildung 4 Sankey-Diagramm der erzeugten CO ₂ -Emissionen.....	9
Abbildung 5 Lastgang und Energieverbrauch über eine Woche des Gasthofs.....	10
Abbildung 6 Temperaturmessung Küche.....	11
Abbildung 7 Temperaturverlauf in der Küche II.....	11
Abbildung 8 Quantitative Luftgeschwindigkeit und Ablufttemperatur am Abluftkanal	12
Abbildung 9 Wochenbetrachtung Heizkörper Gastraum – Tageweise simultan	12
Abbildung 10 Temperaturmessungen am Heizkörper im Gastraum.....	13
Abbildung 11 Vorlauftemperatur der Heizung im Gastraum u. Temperaturen Küche – Sonntag 30.3.25	13
Abbildung 12 Temperaturen Heizkörper Remise.....	14
Abbildung 13 Temperaturen Heizkörper Remise Tageweise.....	14
Abbildung 14 Temperaturmessungen an Vor- und Rücklauf des BHKWs	15
Abbildung 15 Tageweise Betrachtung Temperaturverlauf Vorlauf des BHKWs.....	15
Abbildung 16 Temperaturmessungen an Vor- und Rücklauf der Ölheizung.....	16
Abbildung 17 Wochenbetrachtung Temperaturverlauf Vorlauf Ölheizung	16
Abbildung 18 PreCooling - Ki generiert - WBSK.....	17
Abbildung 19: Darstellung der simulierten PV-Anlagen.....	20
Abbildung 20: Sankey-Diagramm des Energieflusses mit berechneter PV-Anlage und Heizstab	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht durchgeführter Messungen.....	9
Tabelle 2 Übersicht der PV-Simulationen und Ergebnisse	19

1. Executive Summary

Im Rahmen des Projekts „Werkbank Sektorenkopplung“ der Hochschule Hamm-Lippstadt wurde das Energiesystem eines familiengeführten Landgasthofs analysiert und hinsichtlich möglicher Transformationspfade bewertet. Ziel der Untersuchung war die Identifikation investitionsarmer Maßnahmen, um die laufenden Energiekosten sowie die aktuellen Emissionen von ca. 124 t CO₂/a nachhaltig zu senken.

Grundlage der Analyse bildeten die Auswertung der Energierechnungen sowie Vor-Ort-Messkampagnen. Erfasst wurden elektrische Lastgänge, Raumtemperaturen, Heizkreistemperaturen sowie Betriebsdaten des vorhandenen Blockheizkraftwerks (BHKW). Die energetischen Flüsse des Gesamtsystems wurden mittels Sankey-Diagrammen visualisiert und verschiedene Transformationsoptionen technisch sowie wirtschaftlich vorbewertet.

Die Ergebnisse zeigen einen hohen Strombedarf mit deutlicher Grundlast abhängig von der Tageszeit und der Lage in der Woche. Da geeignete Dachflächen für PV-Anlagen zur Verfügung stehen, kann ein erheblicher Teil dieses Grundlastbedarfs durch Eigenstromerzeugung gedeckt werden.

Als besonders wirtschaftlich wurde die Kombination einer 22,4 kWp Photovoltaikanlage mit einem elektrischen Heizstab zur Warmwasserbereitung identifiziert. Durch die Nutzung von PV-Überschüssen lässt sich der Einsatz fossiler Energieträger im Sommer – insbesondere zur Substitution der veralteten Ölheizung – signifikant reduzieren. [1] Unter den gegebenen Randbedingungen sind jährliche Einsparungen im Bereich mehrerer tausend Euro bei moderater Investition (mittlerer vier- bis unterer fünfstelliger Bereich) realistisch.

Weitere untersuchte Optionen umfassten Batteriespeicher, Küchenabwärmenutzung, Pre-Cooling-Strategien für Kühllhäuser (Flexibilisierung der Kühlung durch Absenkung der Basis-Lagertemperatur von -18 °C auf bis zu -24 °C) [2] [3] [4] sowie die langfristige Integration einer Wärmepumpe in Kombination mit einem zweiten BHKW (auch zur Deckung des Strombedarfs der Wärmepumpe, nachts oder in Dunkelphasen).

Während einige Maßnahmen aktuell wirtschaftliche oder technische Hürden aufweisen, bilden sie wertvolle Perspektiven für die weitere Dekarbonisierung des Betriebs.

Zusammenfassend ermöglicht die empfohlene Installation einer Photovoltaikanlage zur Eigenversorgung und Warmwasserpufferung eine sofortige Steigerung der Energieeffizienz bei gleichzeitig hoher Wirtschaftlichkeit.

Praxisnahe Handlungsempfehlungen

1. Installation einer PV-Anlage zur Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils (in Kombination mit dem bestehenden BHKW das bis zu 5,5 kW Strom bereit stellt)
2. Energiemanagement: Einführung eines Energiemanagementsystems (EMS), um flexible Verbraucher wie die Kühlung oder E-Mobilität intelligent zu steuern und Lastspitzen zu glätten beziehungsweise

zu vermeiden. Gleichfalls sollen die bestehenden Heizsysteme durch das System bedarfsgerecht gesteuert werden.

3. BHKW-Optimierung: Fortführung des BHKW-Betriebs zur Unterstützung der Grundlast in der Stromversorgung sowie im Warmwasserbedarf; Prüfung eines Brennstoffwechsels hin zu Biogas zur Dekarbonisierung.
4. Ölheizung: Perspektivische Substitution der alten Ölheizung durch eine Luft/Wasser-Wärmepumpe alternativ kombiniert mit einem weiteren BHKW die ggf. notwendige Energie für die WP in Dunkelflauten und nachts bereitstellen um den Hauptanschluss des Gastbetriebs und die Wirtschaftlichkeit zu entlasten.
5. Intelligente Kühlung: Konsequente Umsetzung von Pre-Cooling-Strategien im Kühlhaus, um die thermische Trägheit der Kühlhäuser als „Energiespeicher“ für PV-Spitzen in Schönwetterperioden zu nutzen.
6. Effizienz vor Speicher: Priorisierung von investitionsarmen Effizienzmaßnahmen und Lastverschiebungen gegenüber der Anschaffung teurer Batteriespeichersysteme.
7. Energy Sharing gemäß § 42c EnWG: Die Umsetzung einer Energiegemeinschaft sollte aufgrund der geänderten gesetzlichen Rahmenbedingungen ab Juni 2026 erneut geprüft und bei Vorliegen praktikabler technischer, abrechnungstechnischer und vertraglicher Lösungen konkret angegangen werden.

2. Einleitung

In dem vorliegenden Projekt hat die „Werkbank Sektorenkopplung“ gemeinsam mit einem Hammer Gasthofbetreiber aus dem Gewerbe-, Handels- und Dienstleistungssektor das bestehende Energiesystem des Betriebs analysiert sowie mögliche Transformationsszenarien untersucht und bewertet.

Ziel der Untersuchung war es, investitionsarme Optionen für die Strom- und Wärmeerzeugung zu identifizieren, die sowohl eine deutliche Reduzierung der laufenden Energiekosten als auch eine möglichst umfassende Minderung der Treibhausgasemissionen ermöglichen.

Angesichts stark gestiegener Energiepreise [5] [6] gewinnt dieses Thema insbesondere in der Gastronomie an Bedeutung, da Energiekosten neben den Personalkosten einen der größten Einflussfaktoren auf die wirtschaftliche Situation der Betriebe darstellen. [7]

2.1. Beschreibung des Gasthofs

Bei dem untersuchten Objekt handelt es sich um einen rund 150 Jahre alten, familiengeführten Landgasthof. Der Betrieb umfasst eine Küche mit angeschlossenem Restaurantbereich sowie mehrere Räumlichkeiten für Veranstaltungen unterschiedlicher Größe, darunter eine Festhalle und eine ausgebauta Remise.

Abbildung 2 zeigt einen Lageplan des Gasthofs. Zwischen Restaurantbereich und Remise befindet sich das Wohnhaus des Gastwirts. Die gegenüberliegende Freifläche vor Remise und Wohnhaus dient als Parkplatz. Im Innenhof zwischen Wohnhaus und Gaststätte befindet sich ein Biergarten; ein weiterer Außenbereich liegt zwischen Küche und Festhalle. Zusätzlich wurde eine Außenküche eingerichtet, die allerdings nur unregelmäßig in Betrieb ist. Sowohl das Wohnhaus als auch die Gaststätte verfügen über eine zweite Etage, die als Lagerfläche und Büro genutzt wird.



Die Draufsicht zeigt die Lage der wichtigsten Räume, sowie des Stromzählers am Netzanschlusspunkt, der Ölheizung und des BHKWs.

Abbildung 2 Skizze des Gasthofs.

2.2. Beschreibung des bestehenden Systems

Die Energieflüsse innerhalb des Gasthofes sind in Abbildung 3 in Form eines Sankey-Diagramms dargestellt.

Das Gebäude nutzt als Energiequellen neben Strom, Heizöl auch Gas (LPG - Liquefied Petroleum Gas). Im fortlaufenden Text sprechen wir beim LPG Gas von Gas.

Die Strom-, Gas- und Ölverbräuche wurden seitens des Gasthofs als durchschnittlicher Jahresverbrauch genannt. Mithilfe der Betriebsdaten des BHKWs wurde der Gasverbrauch sowie die erzeugten Mengen an Strom und Wärme ermittelt.

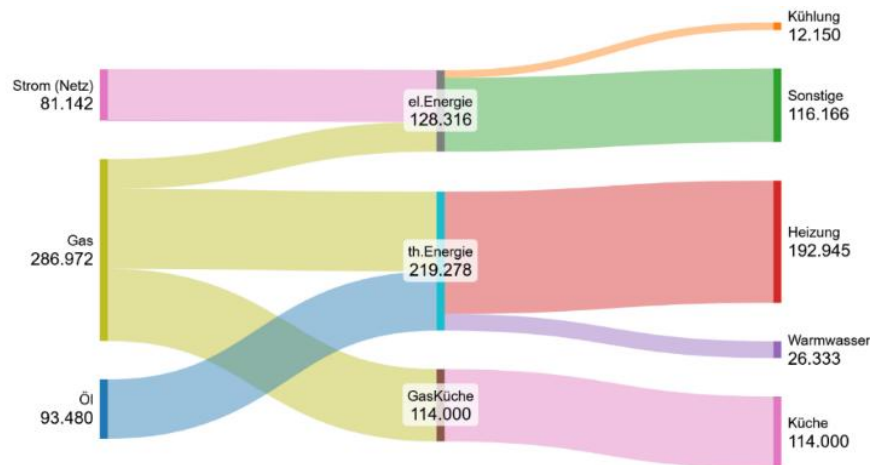


Abbildung 3 Sankey-Diagramm der durchschnittlichen jährlichen Energieflüsse innerhalb des Gasthofs

Das Diagramm zeigt die Menge an durchschnittlicher jährlich verbrauchter Energie an. Alle Werte sind in kWh pro Jahr angegeben. Auf der linken Seite sind die Energiequellen (Netzstrom, Gas für das BHKW und Öl für die Ölheizung) angegeben. Diese werden in thermische und elektrische Energie umgewandelt und dann im Gasthof für Kühlgeräte, sonstige Stromverbraucher, Heizung und Warmwasser benutzt. In der Küche wird Gas direkt in Gasherden verbraucht.

Die Differenz zwischen dem im BHKW eingesetzten Flüssiggas und der insgesamt eingekauften Gasmenge wird in der Küche für die Gasherde genutzt. Dies entspricht etwa 114 MWh pro Jahr. Der jährliche Gesamtenergiebedarf des Gasthofs beträgt etwa 463 MWh.

In Abbildung 4 sind die Energieverbräuche sowie die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen dargestellt. Die Werte sind in kg CO₂ angegeben.

Dieser ergibt sich aus dem Mittelwert der vom Gasthof bezogenen Tages- und Nachttarife. Der angenommene Gaspreis entspricht dem tatsächlichen Einkaufspreis des Betriebs und beträgt 10,18 ct/kWh (2024). Der Ölpreis wurde auf Basis aktueller Internetrecherchen mit 10,2 ct/kWh angesetzt (2024).

Für die Bestimmung der Emissionen in Abbildung 4 wurde für den deutschen Strommix ein Emissionsfaktor von 372 Gramm CO₂ pro kWh [8] angenommen. Für Gas wurden 239 Gramm CO₂ pro kWh [9] und für Öl 266 Gramm CO₂ pro kWh [10] verwendet. Alle Werte sind in kg-CO₂-Äquivalent angegeben. Insgesamt entstehen pro Jahr 124 Tonnen CO₂ durch die Energieversorgung des Gasthofs. Im Vergleich produzierte Deutschland 2024 insgesamt 669 Millionen Tonnen CO_{2-äq} [11] und der Pro-Kopf-Wert liegt bei etwa 8,0 Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr.

Unberücksichtigt sind dabei Effekte aus Import / Export - für 2026 waren das dann aufsummiert laut Bundesumweltministerium 9,8 t CO₂-äq [12]

Durch den Bezug von Strom aus dem Stromnetz entstehen etwa 24 Prozent der Emissionen (30,18 t CO₂-äq), durch das verwendete Gas 57 % (68,59 t CO₂-äq) und durch das Öl etwa 20 % der Emissionen (24,86 t CO₂-äq). Der Gasverbrauch in der Küche erzeugt etwa 25 Prozent der gesamten Emissionen.

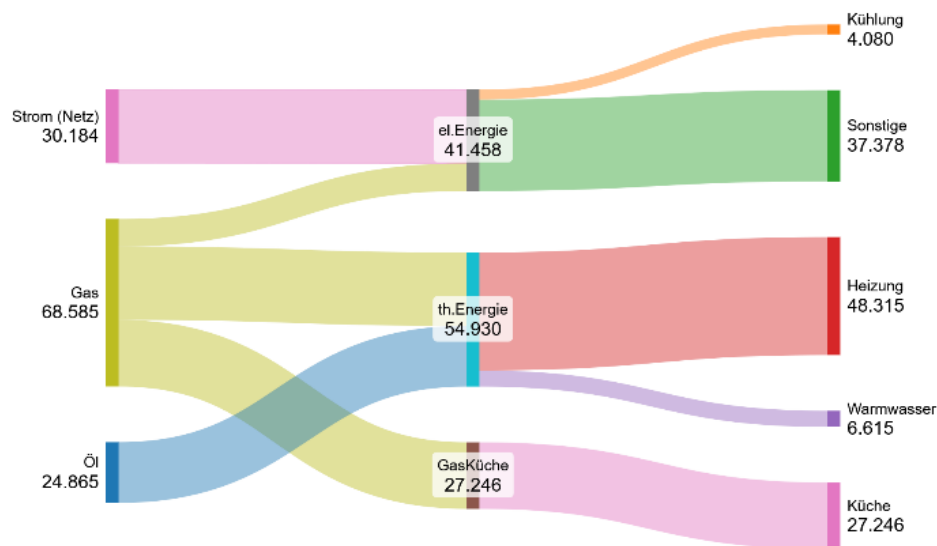


Abbildung 4 Sankey-Diagramm der erzeugten CO₂-Emissionen

Alle Werte sind in kg-CO₂ angegeben.

2.3. Messungen

Tabelle 1: Übersicht durchgeführter Messungen

Messwert	Position	Messzeitraum	Beschreibung
T	Küche	07.03 – 16.04	Messung der Temperaturen in der Küche
T	Remise	12.03 – 14.04	Messung der Temperaturen an Vor- und Rücklauf eines Heizkörpers in der Remise
T	Gastraum	12.03 – 14.04	Messung der Temperaturen an Vor- und Rücklauf eines Heizkörpers im Gastraum
T	BHKW	27.03 – 15.04	Messung von Vor- und Rücklauftemperatur am BHKW
T	Warmwasser	07.03 – 25.05	Messung von Vor- und Rücklauftemperatur an der Warmwasserleitung
T, v	Abluftkanal	06.05 – 22.06	Messung der Temperatur der Küchenabluft im Abluftkanal auf dem Dach – sowie die Windgeschwindigkeit
P	Remise	06.05 – 12.05	Strom- und Spannungsmessung am Netzanschlusspunkt (NAP)

2.3.1. Strommessungen

Der jährliche Gesamtstromverbrauch des Gasthauses beträgt rund 128 MWh. Davon werden etwa 47 MWh durch das BHKW vor Ort erzeugt. Für den verbleibenden Strombezug vom Energieversorger entstehen jährliche Kosten von rund 25.000 €. Zur Erfassung und Auswertung der elektrischen Energieflüsse wurde am Netzanschlusspunkt des Gasthauses ein Strommessgerät installiert.

Der so aufgezeichnete Lastgang ist exemplarisch für eine Woche vom 6. Mai bis 12. Mai 2025 in Abbildung 5 dargestellt. Es ging im Wesentlichen darum, herauszufinden, welche Spitzenlast und welche Lastverteilung über eine Woche zu beobachten ist.

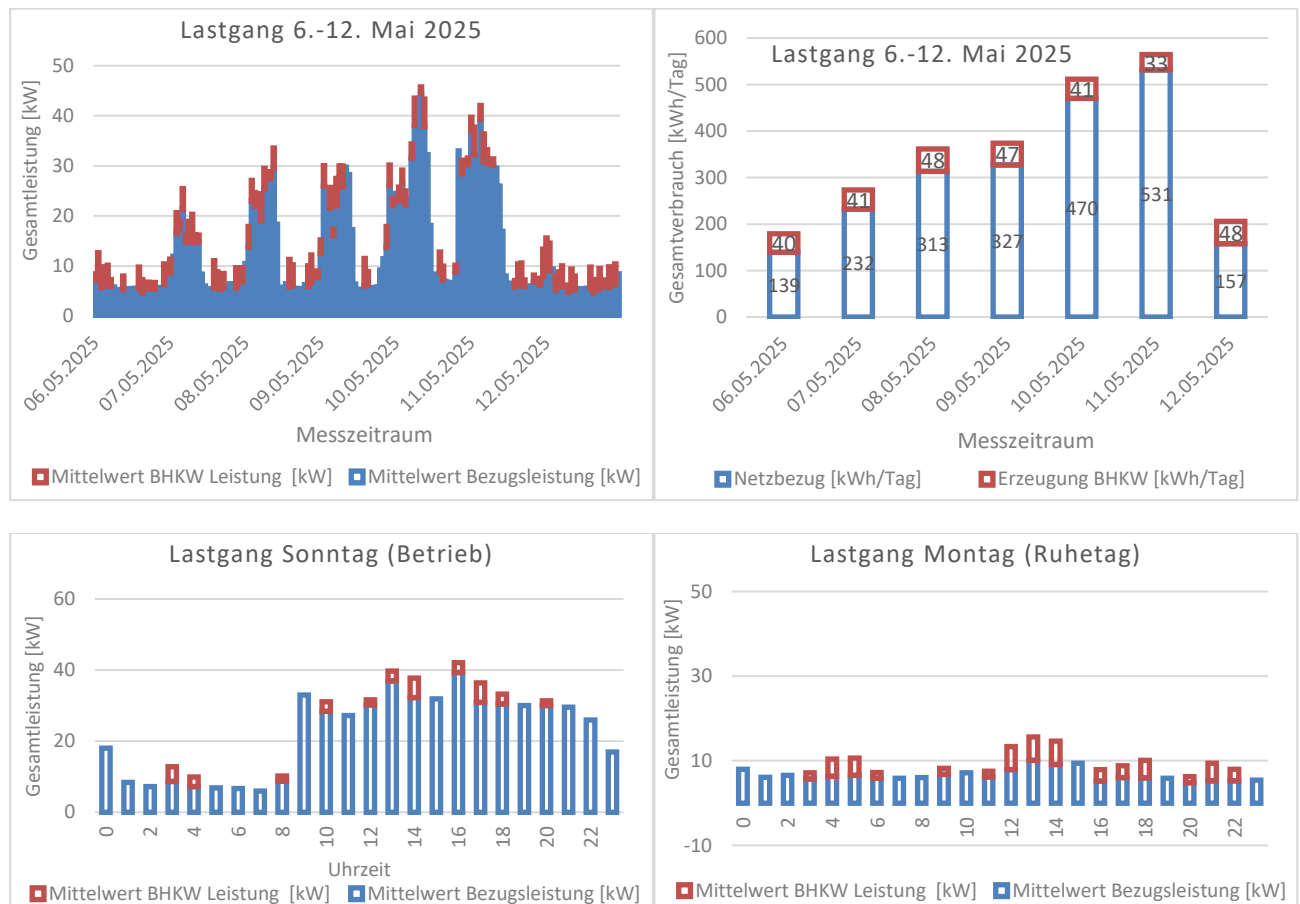


Abbildung 5 Lastgang und Energieverbrauch über eine Woche des Gasthofs

Für eine Woche (06.05-12.05), sowie für einen Arbeitstag (Sonntag) und einen Ruhetag (Montag) aus dieser Woche.

In Abbildung 5 ist oben links die am Netzanschlusspunkt bezogene elektrische Leistung über eine Woche hinweg in Blau dargestellt. Oben rechts zeigt die blaue Linie den täglichen kumulierten Energieverbrauch aus dem Stromnetz in kWh. Die beiden unteren Diagramme veranschaulichen den stündlichen Leistungsverlauf einzelner Tage: links für einen Arbeitstag (Sonntag) und rechts für einen Ruhetag (Montag).

In allen Diagrammen wurde die elektrische Leistung bzw. die Erträge des BHKW zusätzlich in Rot eingezeichnet.

Grundlage der Darstellung ist die Annahme dass das BHKW sich temperaturgeführt „zu“ und

„abschaltet“. Das BHKW kann bis zu einer elektrischen Leistung von 5,5 kW (Herstellerangabe) beitragen.

- Die Grundlast des Gasthofs beträgt etwa 10 kW. Diese wird durch Gefrier- und Kühlgeräte, sowie Geräten im Stand-by-Modus verursacht.
- Die Zeiten hohen Energieverbrauchs mit Spitzen bis 50 kW sind im Wochenendbetrieb zu sehen.
- An Arbeitstagen wird besonders viel Strom ab Mittag oder sonntags ab Vormittag und somit mit Start des Küchenbetriebs benötigt.

2.3.2. Temperaturmessung Küche

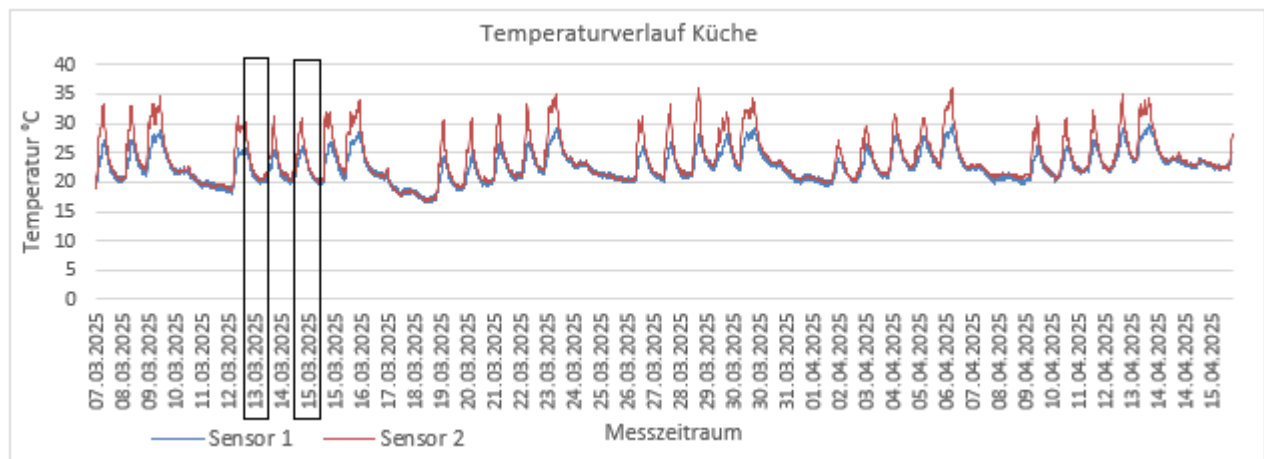


Abbildung 6 Temperaturmessung Küche

Mithilfe von zwei in der Küche angebrachten Sensoren wurde die Temperaturen gemessen. Sensor 1 wurde im hinteren Teil und Sensor 2 im vorderen Teil der Küche installiert. Die Messung erfolgte über etwa einen Monat.

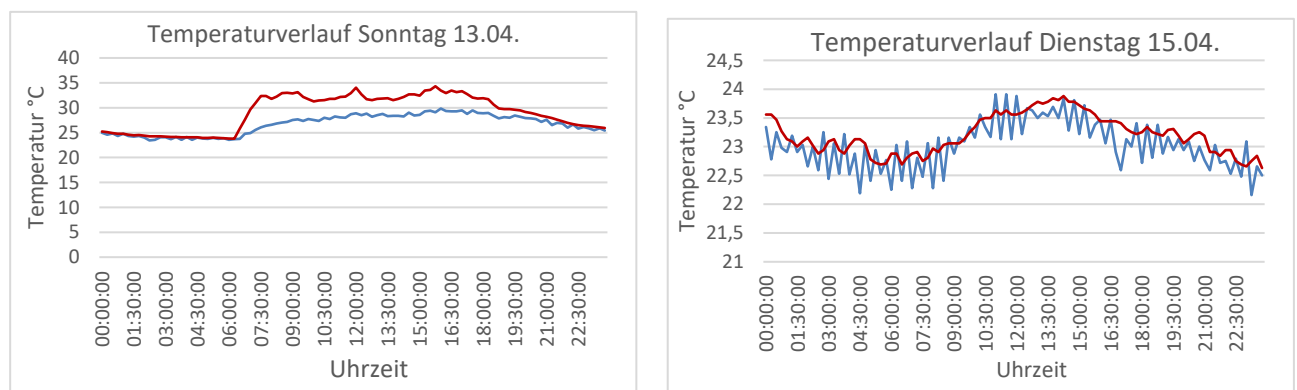


Abbildung 7 Temperaturverlauf in der Küche II

Über den Gesamtzeitraum (Abb 6). Links ist der Temperaturverlauf an einem Arbeitstag (hier: Sonntag 13.04.) und rechts an einem Ruhetag (hier: Dienstag 15.04.) angegeben.

Fünf Betriebstage entsprechen Mittwoch bis Sonntag, Ruhetage sind Montag und Dienstag.

Um das Potenzial für eine mögliche Abwärmerückgewinnung aus der Küchenabluft abzuschätzen, wurde ein zusätzlicher Temperatursensor am Ausgang des Abzugs installiert. Dieser führt auf das Dach, wo die

Anbringung einer Wärmerückgewinnungsanlage generell möglich wäre.

Aufgrund der baulichen Geometrie des Luftkanals konnte keine normgerechte Messung der Luftgeschwindigkeit durchgeführt werden. Die zugänglichen Kanalabschnitte sind zu kurz, um eine ausreichend beruhigte, wirbelfreie Strömung für exakte Punktmessungen zu gewährleisten. Es wurde kurz vor der Austrittsöffnung gemessen. Dennoch lassen sich im Strömungsprofil deutlich drei Geschwindigkeitsbereiche unterscheiden, die in der Abbildung durch gestrichelte Linien markiert sind.

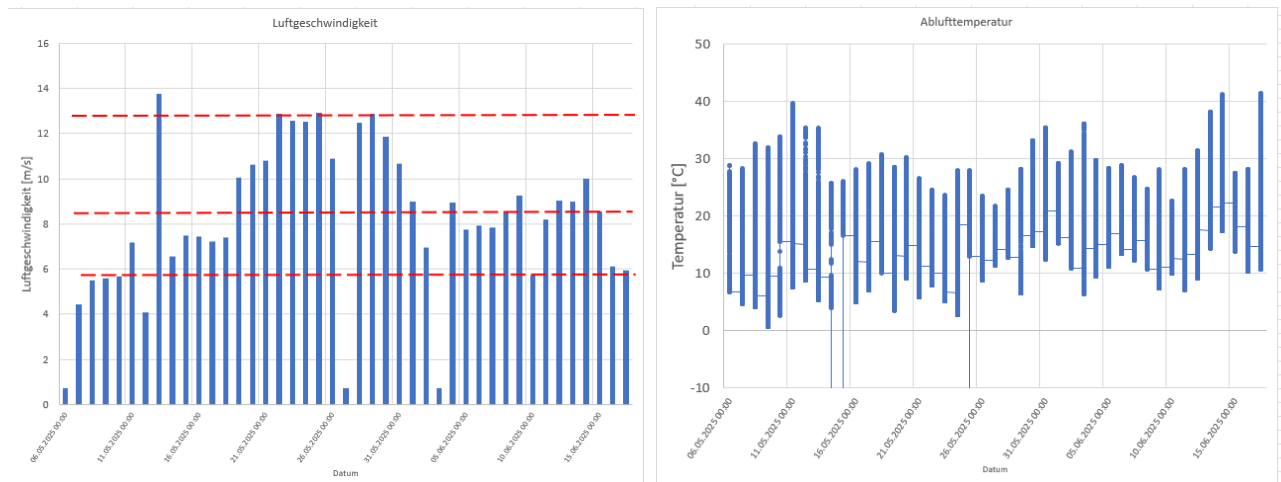


Abbildung 8 Quantitative Luftgeschwindigkeit und Ablufttemperatur am Abluftkanal

Im rechten Diagramm ist die Temperatur der Abluft dargestellt. Die Temperatur ist nur für Zeitpunkte dargestellt, an denen der Abzug in Betrieb war (Luftgeschwindigkeit > 1 m/s). Durchschnittlich liegt die Temperatur bei 25 bis 27 Grad Celsius.

2.3.3. Temperaturmessungen Heizkörper

Damit Abwärme aus der Küche genutzt werden kann, soll der zeitliche Rahmen der Leistungsanforderung aus dem Gastraum ermittelt werden. Dazu wurde die Vor- und Rücklauftemperatur an zwei Heizkörpern im Gasthaus und in der Remise gemessen. Beide Heizkörper (Typ 22) sind in unterschiedlichen Heizkreisläufen integriert. Für die Versorgung mit Küchenabwärme käme nur der Gastraum im Haupthaus in Frage.

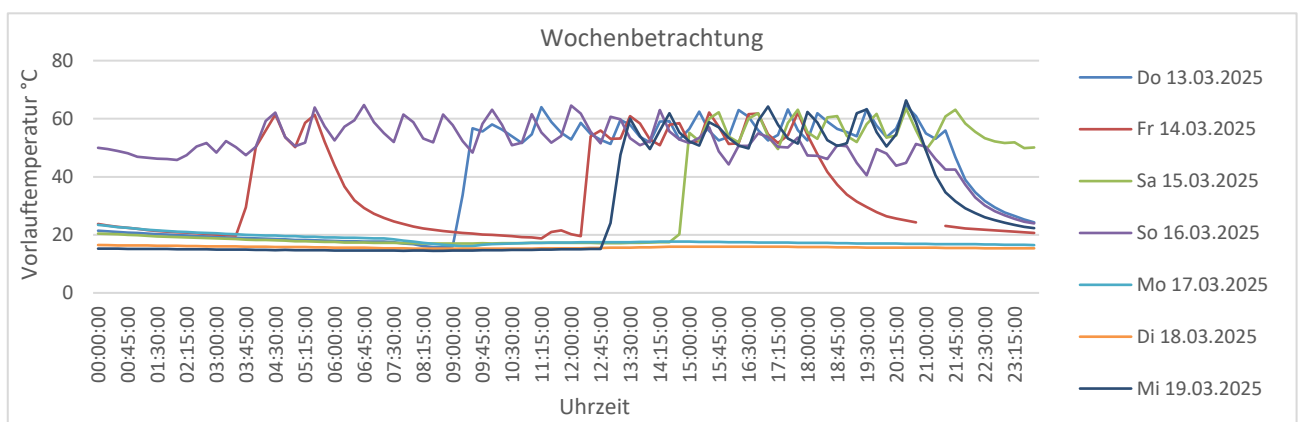


Abbildung 9 Wochenbetrachtung Heizkörper Gastraum – Tageweise simultan

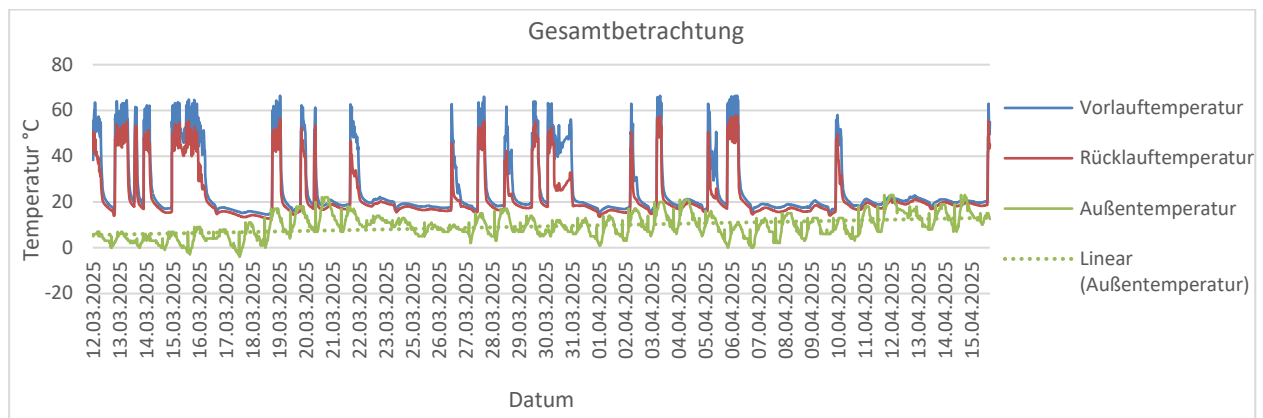


Abbildung 10 Temperaturmessungen am Heizkörper im Gastraum

In der Abbildung 10 ist die Vor- und Rücklauftemperatur an einem Heizkörper im Gastraum und die Außentemperatur über den gesamten Messzeitraum dargestellt. Auf der vorherigen Seite in Abbildung 9 ist die Vorlauftemperatur für alle Tage einer Woche über die Uhrzeit abgebildet.

Die Vorlauftemperatur des Heizkörpers im Gastraum schwankt zwischen etwa 65 und 15 Grad Celsius, die Rücklauftemperatur liegt zwischen 55 und 12 Grad Celsius.

Das 95 Prozent-Quantil der Spreizung der Messdaten aus Vorlauf und Rücklauftemperatur liegt bei 11,4 K. Allerdings ist das 95 Prozent-Quantil der Vorlauftemperatur bei 53,8°C und beim Rücklauf bei 45°C. Dies weist darauf hin, dass ein Überangebot besteht – die Energie wird woanders abgerufen.

Die Heizung wird phasenweise für mehrere Tage eingeschaltet und anschließend für mehrere Tage ausgeschaltet, was mit den Ruhetagen korreliert. Insgesamt wurde die Heizung im Messzeitraum von 36 Tagen an 18 Tagen benutzt.

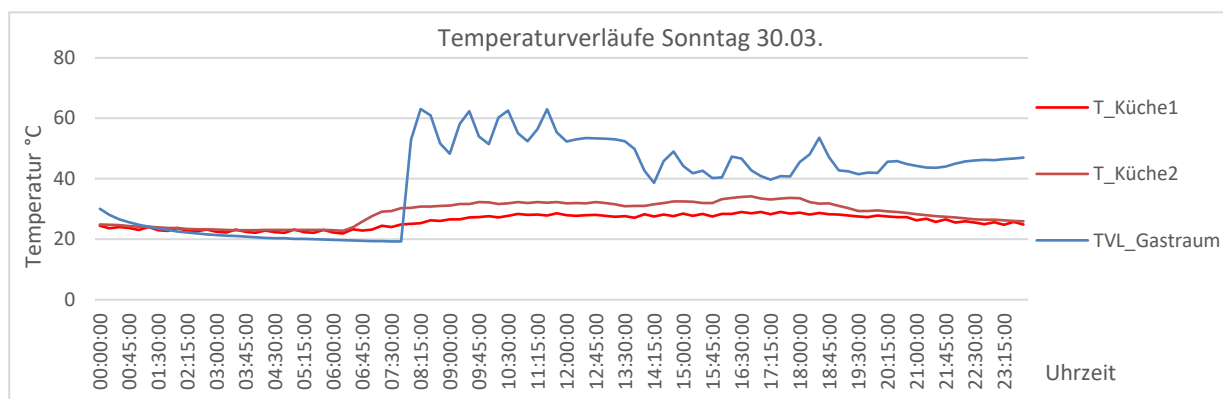


Abbildung 11 Vorlauftemperatur der Heizung im Gastraum u. Temperaturen Küche – Sonntag 30.3.25

Am Heizkörper in der Remise, siehe Abbildung 12 und 13 (beide auf der folgenden Seite), wird maximal eine Vorlauftemperatur von etwa 65 Grad Celsius erreicht. Die Heizung wurde an insgesamt 21 Tagen innerhalb der Messperiode von 36 Tagen eingeschaltet. Im Gegensatz zum Gastraum wird in der Remise nicht nur tagsüber Wärme benötigt, sondern auch nachts. Zwischen 0:00 und 4:30 Uhr wurde die Remise an jedem Tag der abgebildeten Woche beheizt. Auch am Tag wurde die Remise unregelmäßig beheizt.

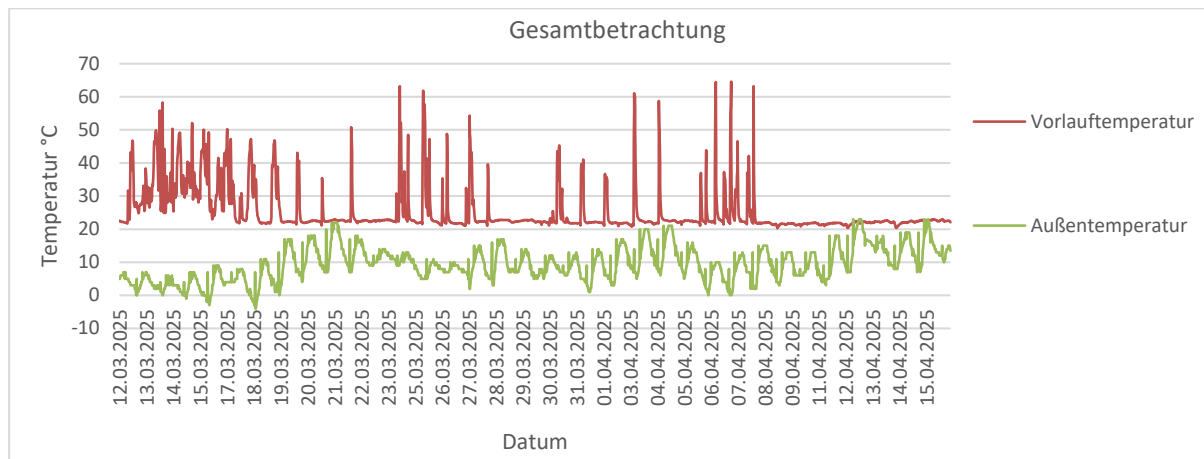


Abbildung 12 Temperaturen Heizkörper Remise

Nachdem die Nichtnutzungszeiten gefiltert wurden, (Rücklauf $>25^{\circ}\text{C}$) wurde das 95 %-Quantil der Spreizung aus Vorlauf und Rücklauftemperatur gebildet. Die Spreizung liegt mit dieser Filterung bei 14 - 16 $^{\circ}\text{C}$. Das 95% Quantil der Vorlauftemperatur liegt bei 39,6 $^{\circ}\text{C}$ und beim Rücklauf bei 25,1 $^{\circ}\text{C}$.

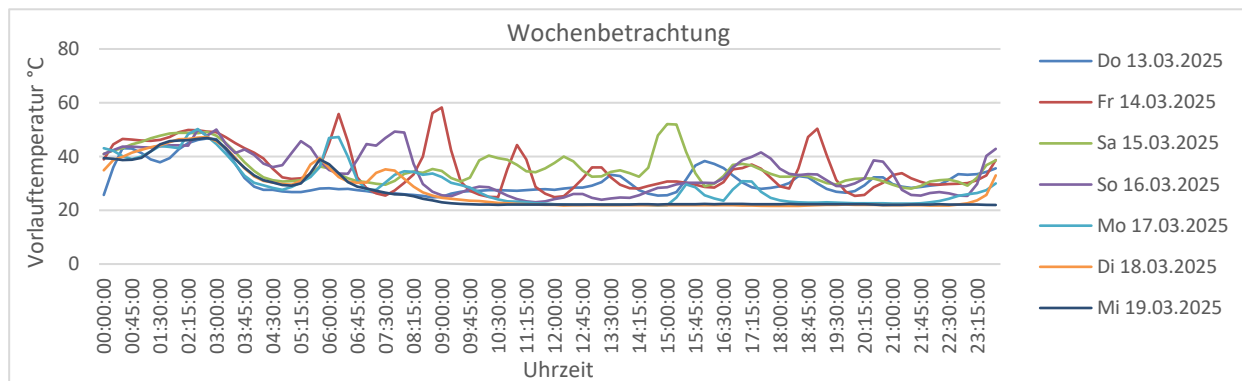


Abbildung 13 Temperaturen Heizkörper Remise Tageweise

Oben ist die Vorlauftemperatur an einem Heizkörper in der Remise und die Außentemperatur über den gesamten Messzeitraum dargestellt. Unten ist die Vorlauftemperatur für alle Tage einer Woche über der Uhrzeit abgebildet.

Das Heizverhalten in der Remise unterscheidet sich dementsprechend von dem im Gastraum. Ob der Wärmebedarf zwischen Mitternacht und 4:00 Uhr morgens notwendig ist oder dadurch entsteht, dass das Ausschalten der Heizung vergessen wurde, sollte im Betrieb untersucht und überprüft werden.

Insgesamt lässt sich aus der Betrachtung der Vorlauftemperaturen zweier Heizkörper im Gastraum und der Remise schlussfolgern:

- Der Wärmebedarf des Gasthofs beginnt am Vormittag und erstreckt sich bis zum Abend.
- Die Erzeugung von Abwärme in der Küche ist zeitlich gut auf den Bedarf von Wärme im Gastraum angepasst, sodass ein Potenzial für Abwärmenutzung existiert.
- Die Temperaturmessungen in der Remise ergeben Auffälligkeiten im Heizverhalten. Es sollte geprüft werden, ob die Remise in den frühen Morgenstunden beheizt werden muss. Ansonsten ergibt sich hier ein Potenzial für Energieeinsparungen.

2.3.4. Temperaturmessung Vorlauf / Rücklauf Heizung

Aktuell wird der Gasthof mithilfe einer Ölheizung und eines BHKWs beheizt, die gemeinsam einen Pufferspeicher bedienen. Am BHKW-Heizkreislauf und am Warmwasser-Kreislauf wurde Vor- und Rücklauf-temperatur gemessen.

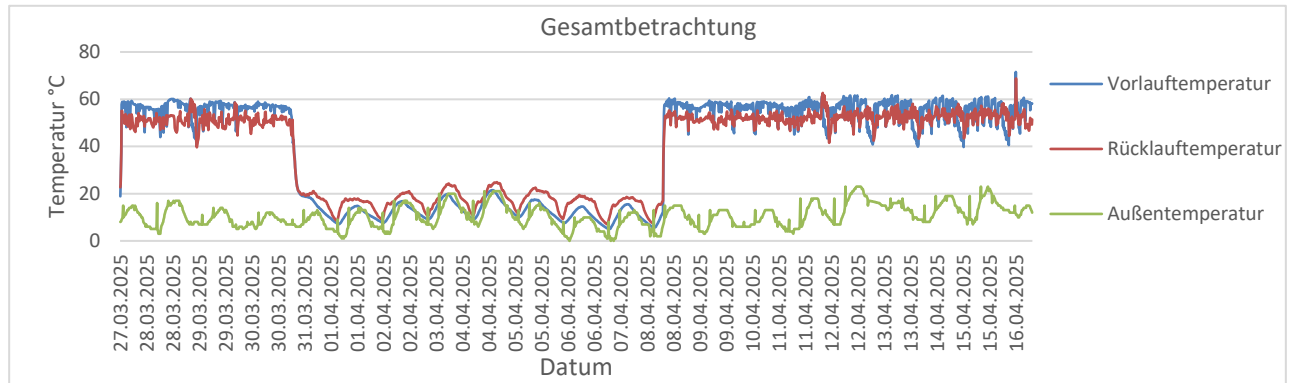


Abbildung 14 Temperaturmessungen an Vor- und Rücklauf des BHKWs

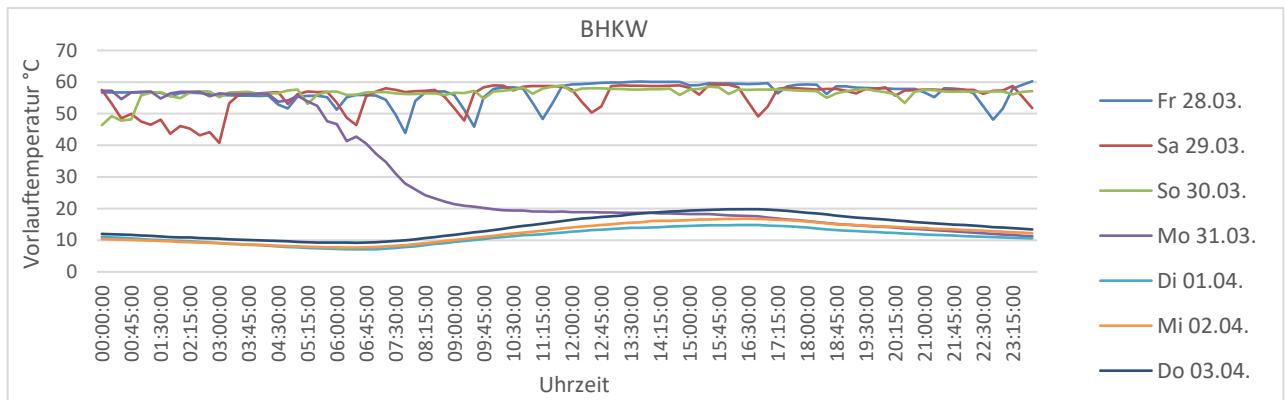


Abbildung 15 Tageweise Betrachtung Temperaturverlauf Vorlauf des BHKWs

Oben in Abbildung 14 sind die Vor- und Rücklauftemperaturen am BHKW und die Außentemperatur über den gesamten Messzeitraum dargestellt. Unten in Abbildung 15 ist die Vorlauftemperatur für alle Tage einer Woche abgebildet.

Das 95 %-Quantil der Spreizung der Messdaten aus Vorlauf und Rücklauftemperatur liegt bei 19,9 °C – was ein hoher Wert ist. Dieser hohe Wert deutet auf hydraulische Probleme hin, dürfte jedoch auch auf das alte und sehr lange Rohrleitungssystem des Gebäudes zurückzuführen sein. Das 95% Quantil der Heizung liegt im Vorlauf bei 70,4 °C und im Rücklauf bei 52,9°C.

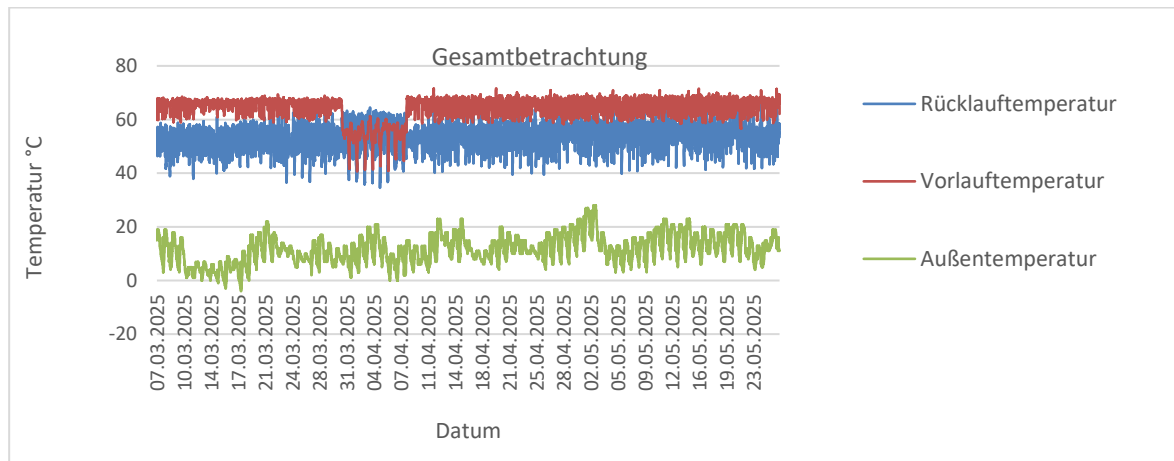


Abbildung 16 Temperaturmessungen an Vor- und Rücklauf der Ölheizung

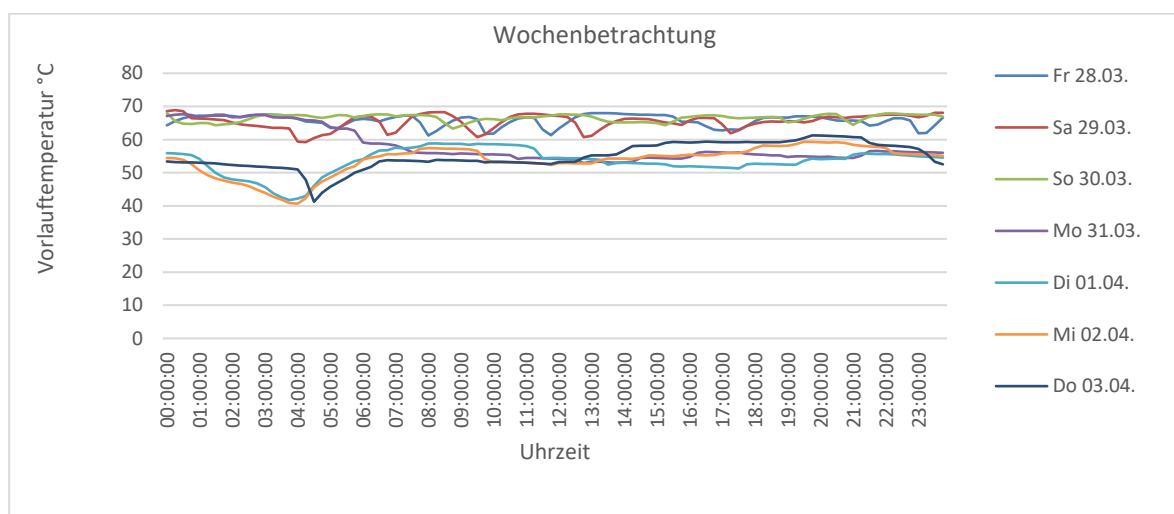


Abbildung 17 Wochenbetrachtung Temperaturverlauf Vorlauf Ölheizung

Das Diagramm in Abbildung 17 zeigt die Vorlauftemperatur der Ölheizung jeweils an einzelnen Arbeitstagen. Das Wochenprofil ist wiederkehrend.

Aus der Betrachtung der vorliegenden Messdaten der Vorlauftemperaturen lässt sich Folgendes schlussfolgern:

- Die Auswertung deutet auf einen hohen Betriebsanteil des BHKW hin. Das BHKW wird sowohl zur Ergänzung der Stromversorgung als auch zur Grundversorgung mit Warmwasser genutzt.
- Die Ölheizung läuft auf einem für ein altes Gebäude üblichen Niveau von ca. 70°C. Hier müsste bevor man eine Wärmepumpe in Betracht ziehen kann, eine Senkung der Heizkennlinie vorgenommen werden, damit die Vorlauftemperatur synchron mit dem BHKW zu keiner Zeit 60 °C überschreitet.
- Auffällig ist der geringe Temperaturgang zwischen Außentemperatur und Heizung. Hier stellen sich Fragen hinsichtlich der Effizienz der Heizungseinstellung der Ölheizung.

2.4. Potenziale

Insgesamt lassen sich aufgrund der gesammelten und vorgestellten Daten folgende Ideen für ein potenziell kostengünstigeres und emissionsärmeres Energiesystem für den Gasthof festhalten:

1. **Stromproduktion:** Der Gasthof weist einen hohen Strombedarf auf, während der vorhandene Netzanschlusspunkt bereits stark ausgelastet ist (Aussage Hauselektriker). Eine stärkere Eigenstromversorgung (z.B. durch ein weiteres Blockheizkraftwerk (BHKW) oder durch eine PV Anlage mit Batteriespeicher) könnte daher sowohl die laufenden Stromkosten senken als auch zusätzliche Flexibilität im Stromverbrauch ermöglichen.

Eine Erweiterung des Netzanschlusses wäre voraussichtlich mit erheblichem technischen und wirtschaftlichen Aufwand verbunden. Der Ausbau der Eigenstromerzeugung stellt daher eine sinnvolle Alternative dar. Eine Photovoltaikanlage mit Süd-/West-Ausrichtung könnte insbesondere den tagsüber bestehenden Strombedarf gut decken. Geeignete Dachflächen sind am Standort vorhanden, sodass eine Ergänzung der bestehenden Eigenstromversorgung durch das BHKW um eine PV-Anlage naheliegend erscheint.

Zusätzlich sollte die Möglichkeit der Installation eines zweiten BHKW zur Eigenstromproduktion geprüft werden, da auch in den Abendstunden ein kontinuierlicher Strombedarf besteht. Damit könnte der Grundbedarf gedeckt werden. (Siehe auch Potential 3 - Wärmeversorgung verbessern)

Überschüssiger Strom kann in einem Batteriespeicher gespeichert oder durch gezieltes Pre-Cooling (Vorkühlen) thermisch genutzt werden.

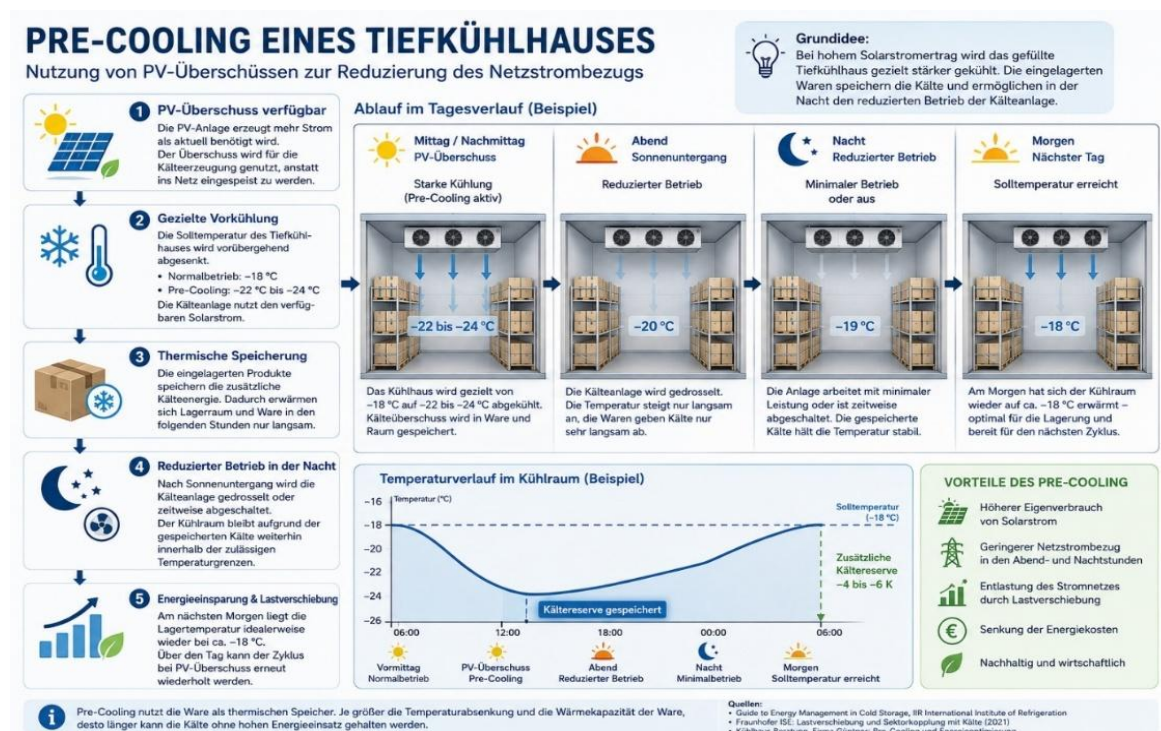


Abbildung 18 PreCooling - Ki generiert - WBSK

Küchenabwärme. Die Temperaturmessungen in der Küche zeigen, dass während des Kochbetriebs die für gewerbliche Küchen typischen erhöhten Temperaturen auftreten, ohne dass die entstehende Wärme derzeit energetisch genutzt wird. Zeitlich fällt diese Abwärme jedoch überwiegend während der Betriebszeiten des Gastraums an und könnte daher grundsätzlich zur Beheizung angrenzender Räume genutzt werden. [13]

Die durchgeführten energetischen Abschätzungen zur möglichen Wärmerückgewinnung aus Abluft und Abwasser zeigen jedoch, dass das verfügbare Potenzial für den Einsatz eines Wärmetauschers derzeit zu gering ist, um eine größere Investition wirtschaftlich zu rechtfertigen. Die vergleichsweise kleine Küchenanlage sowie die nur sporadisch anfallende Abwärme begrenzen das nutzbare Energiepotenzial. Zudem werden im Abluftkamin teilweise Temperaturen von unter 40 °C gemessen. [14]

Eine technisch einfachere Lösung könnte darin bestehen, die warme Abluft mit überschaubarem Aufwand über einen Wärmetauscher oder Radiator in den Gastraum zu führen und dort zur unterstützenden Raumheizung zu nutzen. Dabei müsste aber eine Entfettung vorgeschaltet werden.

2. **Wärmeversorgung verbessern.** Die Ölheizung des Gasthofs ist rund 28 Jahre alt, sodass grundsätzlich davon auszugehen ist, dass sie in absehbarer Zeit ersetzt werden muss. Die Anlage wird derzeit im Tandembetrieb mit dem Blockheizkraftwerk (BHKW) betrieben und speist gemeinsam mit diesem in einen zentralen Pufferspeicher ein.

Aktuell wird die Ölheizung auch in den Sommermonaten zur Warmwasserbereitung genutzt. Diese Aufgabe könnte jedoch künftig vollständig durch das BHKW sowie (da es offenkundig nicht reicht) durch eine zusätzliche regenerative Wärmequelle übernommen werden. Aufgrund der großen verfügbaren Dachflächen bietet sich hierfür insbesondere der Einsatz einer PV-Anlage an, bei der überschüssiger PV-Strom über einen Heizstab oder ein entsprechendes System zur Warmwasserbereitung eingesetzt wird.

Zur weiteren Reduzierung der CO₂-Emissionen erscheint es sinnvoll, die bestehende Ölheizung perspektivisch durch eine Wärmepumpe oder ein zusätzliches, CO₂-neutrales BHKW als Spitzenlastsystem auf Basis von Biogas zu ersetzen. Beim Einsatz einer Wärmepumpe ist jedoch vorab sicherzustellen, dass ein ausreichend dimensionierter elektrischer Hausanschluss vorhanden ist – das ist derzeit nicht der Fall. Alternativ würde es sich anbieten ein weiteres BHKW einzusetzen, mit dem dann der Strom für die Wärmepumpe hergestellt werden kann. Die Wärmepumpe sollte dann in Reihe mit dem BHKW geschaltet werden, so dass die Wärmepumpe mit der Abwärme des BHKW als Eingangstemperatur einen entsprechend günstigeren Betriebsmodus fährt, der dann höhere COP Werte ermöglicht

3. **Induktionsherde.** Etwa 40 % des jährlich verbrauchten Gases werden in der Küche zum Kochen eingesetzt. Damit stellt dieser Bereich einen signifikanten Anteil an den gesamten Energiekosten des Betriebs dar. Durch den Einsatz von Induktionsherden anstelle von gasbetriebenen Kochgeräten könnte der Energieeinsatz reduziert werden. Bei Verwendung von regenerativ

erzeugtem Strom ließen sich zudem die mit dem Gasverbrauch verbundenen CO₂-Emissionen vollständig vermeiden.

Auf Basis aktueller Induktionsherdtypen wurde eine wirtschaftliche Bewertung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich eine Umstellung unter den derzeitigen Rahmenbedingungen nur mit vergleichsweise langen Amortisationszeiten rechnet. Im Zuge einer ohnehin anstehenden Erneuerung der Küchengeräte ist der Einsatz von Induktionsherden jedoch empfehlenswert. Vor allem im Sommer bei - PV Strom Überschuss – ist dies vorteilhaft.

4. **Energiegemeinschaft.** Der an den Gasthof angrenzende landwirtschaftliche Betrieb betreibt eine Photovoltaikanlage, deren Strom derzeit vollständig in das öffentliche Netz eingespeist wird. Da die Förderphase der Anlage in absehbarer Zeit endet, könnte ein Konzept zur gemeinsamen Nutzung des erzeugten Stroms entwickelt werden. Die Möglichkeit zur Errichtung einer Stickleitung zwischen den beiden Betrieben ist grundsätzlich gegeben.

Eine teilweise Direktversorgung des Gasthofs mit lokal erzeugtem PV-Strom würde sowohl die laufenden Energiekosten als auch die damit verbundenen Treibhausgasemissionen reduzieren. Gleichzeitig würde eine solche Lösung den Netzanschlusspunkt des Gasthofs entlasten.

3. Betrachtung vielversprechender Szenarien

3.1. Szenario 1: Einsatz einer PV-Anlage

Auf Basis der Grobbewertung in Kapitel 2.4 wurde eine PV-Anlage in verschiedenen Konfigurationen simuliert und deren Ergebnisse in einer Übersicht tabellarisch dargestellt. Berechnungsgrundlage dabei sind jeweils 20 Jahre, 1% Kapitalverzinsung und 2% Preisänderungsfaktor für Strom und Heizöl.

Tabelle 2 Übersicht der PV-Simulationen und Ergebnisse

Variante	PV-Leistung [kWp]	Batteriekapazität [kWh]	Heizstab bzw. Wärmepumpe [kWp]	PV-Ertrag [MWh/a]	Eigenverbrauch [MWh/a]	Überschussverbrauch [MWh/a]	Netzeinspeisung [MWh/a]	Eigenverbrauchsanteil [%]	CO ₂ -Einsparung [t/a]	Investition [TEUR]*	Ersparnis im ersten Jahr [TEUR/a]*	Amortisation [Jahre]*
6kW Süd	6,0	0,0	0,0	5,7	5,7	0	0,0	100,0%	2,4	3,9	1,2	3,2
10kW Süd	12,0	0,0	0,0	10,9	10,3	0	0,5	95,0%	4,6	7,8	2,2	3,4
22,4kW Süd + Heizstab**	22,4	0,0	3,7	20,8	16,9	2,3	1,6	92,1%	8,9	15,1	4,0	3,6
22,4kW Süd	22,4	0,0	0,0	20,8	16,9	0	3,9	80,9%	8,9	14,6	3,7	3,7
22,4kW Süd + Wärmepumpe**	22,4	0,0	3,0	20,8	16,9	0,5	3,4	83,3%	8,9	16,6	4,0	3,9
10kW Süd + 5kWh Batterie	12,0	5,0	0,0	10,8	10,6	0	0,2	98,0%	4,6	10,2	2,3	4,3
22,4kW Süd + 10kWh Batterie	22,4	10,0	0,0	20,6	18,0	0	2,6	87,1%	8,7	17,9	3,9	4,3
10kW Süd + 10kWh Batterie	12,0	10,0	0,0	10,9	10,8	0	0,1	99,4%	4,6	12,0	2,4	5,0
22,4kW Süd + 22kWh Batterie	22,4	22,0	0,0	20,6	19,0	0	1,6	92,0%	8,6	22,4	4,1	5,3
22,4kW Süd + 44kWh Batterie	22,4	44,0	0,0	20,5	19,7	0	0,8	96,2%	8,5	30,2	4,3	6,8

Übersicht der PV-Simulationen und Ergebnisse – die angenommenen CAPEX Kosten basieren auf Nutzerangaben (siehe unten). Die angenommene Substitution von Heizöl wurde auf Basis des Heizspiegels (2023) [15]

Bei gegebenen Strombezugskosten von ca. 25 Cent und aktueller Einspeisevergütung ist es sinnvoll, möglichst viel Strom selbst zu verbrauchen. Bei gegebener Grundlast wurden deshalb zwei kleine Anlagen mit 6 bzw. 10kW auf einem der Dächer mit Süd-West-Ausrichtung simuliert. Diese Varianten weisen mit über 95 % Eigenverbrauchsanteil die besten Amortisationszeiten auf. Jede größere PV-Anlage führt zu erhöhter Netzeinspeisung bei relativ geringer EEG-Vergütung. Dies ist wirtschaftlich nicht

lohnenswert da die Amortisation sehr lange wird.

Die angegebenen CAPEX Kosten sind Materialkosten, da die Anlage in Eigenleistung aufgebaut wird.

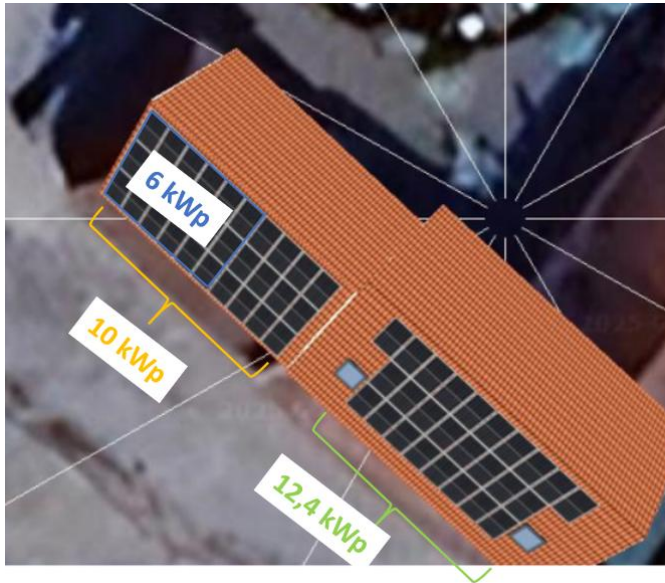


Abbildung 19: Darstellung der simulierten PV-Anlagen.

Szenario 1.a: PV mit Batterie

Eine Batterie verursacht zusätzliche Kosten, erzeugt aber keine zusätzliche Energie. Sie nutzt vielmehr die überschüssige, ungenutzte Erzeugung für die Abendstunden bzw. Nacht. Eine Batterie kann wirtschaftlich sein, wenn ausreichend Energie gespeichert werden kann und der Preisunterschied zwischen Strombezugskosten und Einspeisevergütung groß genug ist, dass sich die zusätzlichen Kosten über die Lebensdauer amortisieren.

Aktuell sind Batteriesysteme noch vergleichsweise teuer, und die Differenz zwischen Strompreis und Einspeisevergütung ist zu gering, weshalb sich die Amortisation mit einem zusätzlichen Batteriesystem verschlechtert, obwohl der Eigenverbrauch steigt. Zusätzlich führen Verluste im Speicherbetrieb zu einem geringeren Anteil an Nutzenergie und einer reduzierten CO₂-Einsparung. Tabelle 2 erläutert diese Problematik. Eine kleine Batterie kann trotz der derzeit eingeschränkten Wirtschaftlichkeit als Option geprüft werden – der Verfall der Marktpreise wirkt sich hier positiv aus.

Zwischenfazit:

Unter den gegebenen Randbedingungen – insbesondere hinsichtlich verfügbarer Dachflächen, Dachneigung, Verbrauchsstruktur sowie der angenommenen Investitionskosten (Tabelle 2) – erweisen sich eine kleinere Photovoltaikanlage ohne Speicher beziehungsweise eine mittelgroße Anlage mit zusätzlichem Heizstab als die wirtschaftlichsten Optionen.

Bei einer Anlage mit etwa 22,4 kWp installierter Leistung können Einsparungen im Bereich mehrerer Tausend Euro pro Jahr erzielt werden, während die erforderliche Investition im moderaten Bereich zwischen mittleren vierstelligen und unteren fünfstelligen Beträgen liegt.

Die angesetzte Investitionssumme basiert dabei auf der Annahme, dass ein Teil der Installationsarbeiten in Eigenleistung erbracht wird.

3.2. Szenario 1.b: PV mit Heizstab

Statt einer Batterie kann überschüssige PV-Erzeugung auch für die Warmwasserbereitung genutzt werden. Dadurch wird der Einsatz fossiler Brennstoffe (Heizöl bzw. Gas) reduziert, die im BHKW und der Ölheizung anfallen. Diese Nutzung stellt ein Beispiel für Sektorenkopplung dar, bei der elektrische

Energie zur Substitution fossiler Wärmebereitstellung eingesetzt wird.

Ein Heizstabsystem ist vergleichsweise kostengünstig und liegt typischerweise im unteren vierstelligen Investitionsbereich. Im direkten Vergleich einer 22,4 kWp-PV-Anlage mit und ohne Heizstab erhöht sich der Eigenverbrauchsanteil deutlich, da PV-Überschüsse zur Wärmeerzeugung genutzt werden können.

Vor dem Hintergrund typischer Heizkosten von etwa 12 – 26 €/m²·a bei fossilen Heizsystemen [16] kann eine teilweise Substitution der Warmwassererzeugung durch PV-Strom zu einer spürbaren Reduktion der Betriebskosten führen. Gleichzeitig wird der Bezug fossiler Energie reduziert und die CO₂-Bilanz verbessert.

Bei den angenommenen Kosten und simulierten Einsparungen erweist sich diese Kombination als die wirtschaftlichste Option unter den betrachteten Varianten. Die Warmwasserbereitung erfolgt bisher überwiegend über die zusätzlich installierte Gasheizung, sodass hier ein unmittelbares Substitutionspotenzial besteht.

3.3. Szenario 1.c: PV mit Luft/Wasser-Wärmepumpe

Ein weiteres Beispiel für Sektorenkopplung ist die Kombination von PV-Anlage und Wärmepumpe. Die Wärmepumpe nutzt elektrische Energie zur Bereitstellung von Wärme und kann dadurch einen Teil der fossilen Energie ersetzen.

Besonders in den Übergangszeiten kann eine Wärmepumpe effizient betrieben werden, da die erforderlichen Vorlauftemperaturen vergleichsweise niedrig sind. Moderne Wärmepumpensysteme erreichen dabei hohe Leistungszahlen und können ein Mehrfaches der eingesetzten elektrischen Energie als Wärme bereitstellen.

Problematisch sind jedoch die im bestehenden System vorhandenen hohen Vorlauftemperaturen des BHKW-Heizsystems, wodurch eine gewisse Systemasymmetrie entsteht. Wärmepumpen arbeiten besonders effizient bei niedrigen Vorlauftemperaturen, sodass eine Integration in bestehende Hochtemperatur-Heizsysteme sorgfältig geprüft werden muss.

Seitens des beim Kunden eingesetzten Herstellers existiert bereits ein Hybridkonzept aus Wärmepumpe und BHKW. Vor diesem Hintergrund erscheint eine vertiefte technische und wirtschaftliche Analyse sinnvoll, um mögliche Synergien zwischen beiden Technologien zu identifizieren. [17]

3.4. Szenario 1.d: PreCooling der Kühlhäuser

Pre-Cooling in Tiefkühlhäusern bezeichnet die gezielte Absenkung der Lagertemperatur unter den normalen Sollwert, bevor Zeiträume mit hohen Strompreisen oder hoher Netzbelastung eintreten. Bei Tiefkühlslagern mit üblichen Betriebstemperaturen von etwa –18 °C bis –24 °C wird die Temperatur beispielsweise vorübergehend auf einen niedrigeren Wert abgesenkt. [2] („Vorschlag Plattform Energiewende TPEC 2013“ – Helmholtz Zentrum – RIFS)

Die im Lagergut und in der Gebäudestruktur gespeicherte „Kältereserve“ ermöglicht es anschließend, die

Kälteanlagen für einen gewissen Zeitraum mit reduzierter Leistung oder vollständig abgeschaltet zu betreiben, ohne die zulässigen Lagertemperaturen zu überschreiten. Dadurch können Lastspitzen vermieden, Stromkosten gesenkt und die Flexibilität des Energiesystems erhöht werden.

Pre-Cooling stellt somit eine Form der thermischen Energiespeicherung dar und wird zunehmend als Maßnahme zur Lastverschiebung und zur Integration erneuerbarer Energien in industriellen Kälteanwendungen genutzt.

Durch diese thermische Speicherung von Kälte kann der Energiebedarf in den Nachtstunden reduziert werden, wenn keine PV-Erzeugung verfügbar ist. Das Kühlgut fungiert dabei als thermischer Speicher.

Für die Umsetzung ist ein geeignetes Energiemanagementsystem (EMS) erforderlich, das sowohl die PV-Erzeugung als auch Lastprofile und Wetterprognosen berücksichtigt. Eine prädiktive Regelung ermöglicht es, Kühlleistung gezielt in Zeiten hoher PV-Erzeugung zu verschieben und dadurch den Eigenverbrauchsanteil zu erhöhen.

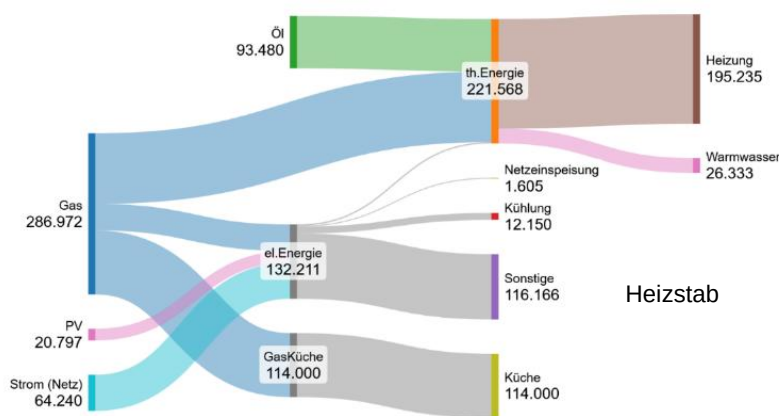


Abbildung 20: Sankey-Diagramm des Energieflusses mit berechneter PV-Anlage und Heizstab

4. Handlungsempfehlungen & Zusammenfassung

Auf Basis der analysierten Verbrauchsdaten wurden energetische Potenziale identifiziert und Transformationsszenarien bewertet. Daraus leiten sich kurzfristig umsetzbare sowie langfristig strategische Entwicklungspfade ab.

Besonders wirtschaftlich erweist sich die Investition in eine 22,4 kWp PV-Anlage mit elektrischem Heizstab. Durch die Nutzung von PV-Überschüssen zur Warmwasserbereitung sinkt der Einsatz fossiler Energieträger signifikant. Angesichts typischer Heizkosten fossiler Systeme (12 – 26 €/m²·a) bietet diese Elektrifizierung hohe Einsparungen im Bereich mehrerer tausend Euro pro Jahr. Die Investition liegt – bei hohem Eigenleistungsanteil – im mittleren vier- bis unteren fünfstelligen Bereich. Aufgrund der moderaten Kosten und schnellen Amortisation wird empfohlen, die Transformation mit dieser Maßnahme zu beginnen.

Die PV Anlage eröffnet zudem die Möglichkeit das im Text unter 2.4 beschriebene Pre-Cooling zu verwenden und damit weiter Energiekosten zu senken.

Langfristig sollten weitere Integrationsschritte wie der Einsatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe und die Erweiterung der Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) geprüft werden. Diese Optionen sind im Hinblick auf die hohen Vorlauftemperaturen relevant, erfordern jedoch höhere Investitionen. Ein größeres BHKW könnte zudem die Lücke zur Strom-Grundlast schließen – wäre auch bei Dunkelflaute oder Nachts einsatzbereit - und könnte helfen, die Last in die relevanten Abendstunden hin mit abzudecken. Eine zusätzliche CO₂-Reduktion ist durch den Wechsel auf erneuerbare Brennstoffe (z. B. Biogas oder Pflanzenöl) im BHKW realisierbar.

Die Umsetzung einer Energiegemeinschaft wurde bislang aufgrund der komplexen regulatorischen Rahmenbedingungen zurückgestellt. Mit der Einführung des Energy Sharing nach § 42c EnWG hat sich die gesetzliche Ausgangslage jedoch grundlegend verändert. Seit dem 1. Juni 2026 sind Verteilnetzbetreiber verpflichtet, die gemeinsame Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien innerhalb des jeweiligen Bilanzierungsgebiets zu ermöglichen.

Das Thema sollte daher nicht mehr nur im Falle zukünftiger Gesetzesänderungen neu bewertet, sondern zeitnah hinsichtlich seiner technischen, wirtschaftlichen und vertraglichen Umsetzbarkeit geprüft werden. Sobald insbesondere die erforderlichen Mess-, Abrechnungs- und Marktkommunikationsprozesse praktisch zur Verfügung stehen, sollte die konkrete Umsetzung einer Energiegemeinschaft beziehungsweise eines Energy-Sharing-Modells angegangen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] „Heizstab mit PV-Überschuss,“ [Online]. Available: <https://www.co2portal.de/heizen/photovoltaik/heizstab-pv-ueberschuss-warmwasser-lohnt/>.
- [2] „Loadshift Potential im Gewerbe,“ [Online]. Available: https://www.4wardenergy.at/fileadmin/user_upload/Loadshift-Potentiale-im-Gewerbe.pdf. [Zugriff am 29 5 2026].
- [3] „BMWK - Flexibilitätspotentiale und Sektorenkopplung,“ Bundeswirtschaftsministerium BMWK, [Online]. Available: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Sinteg/synthesebericht-1-flexibilitatspotenziale-und-sektorkopplung.pdf?__blob=publicationFile&v=1. [Zugriff am 29 5 2026].
- [4] „E-Energy Abschlussbericht der Begleitforschung,“ B.A.U.M. Consult, [Online]. Available: https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/ab-gesamt-begleitforschung.pdf?__blob=publicationFile&v=1. [Zugriff am 29 5 2026].
- [5] „Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2024,“ AGORA, [Online]. Available: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2025/2024-18_DE_JAW24/A-EW_351_JAW24_WEB.pdf?utm_source=chatgpt.com.
- [6] „Datenreihen zur Entwicklung der Energiepreise in Deutschland,“ Bundestag, [Online]. Available: <https://www.bundestag.de/resource/blob/1025898/7eb5cc7f611e05ea05216f088161656d/WD-5-131-24-pdf.pdf>. [Zugriff am 29 5 2026].
- [7] „DEHOGA - Energie-Sparblatt Nr. 25,“ [Online]. Available: https://energiekampagne-gastgewerbe.de/system/files/2024-06/esb_25_klimaneutralitaet_240612.pdf. [Zugriff am 29 5 2026].
- [8] „Strom und Wärmeversorgung in Zahlen,“ [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen#Strommix>. [Zugriff am 29 5 2026].
- [9] „Spezifische Kohlendioxidemissionen verschiedener Brennstoffe,“ Quaschnig Volker, [Online]. Available: <https://volker-quaschnig.de/datserv/CO2-spez/index.php>. [Zugriff am 29 5 2026].
- [10] „Spezifische Kohlendioxidemissionen verschiedener Brennstoffe,“ Quaschnig Volker, [Online]. Available: <https://volker-quaschnig.de/datserv/CO2-spez/index.php>. [Zugriff am 29 5 2026].
- [11] „Treibhausgas-Emissionen in Deutschland,“ Umweltbundesamt, [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung>. [Zugriff am 29 5 2026].
- [12] „Kohlendioxid-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland,“ Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit, [Online]. Available: <https://www.bundesumweltministerium.de/media/kohlenstoffdioxid-fussabdruck-pro-kopf-in->

deutschland. [Zugriff am 18.6.2026].

- [13] Lutters, „Recherche Abluft Nutzung_Großküchen_20250508_003,“ HSHL, Hamm, 2025.
- [14] Lutters, „Recherche Abwasser Nutzung_Großküchen_20250725,“ HSHL, Hamm, 2025.
- [15] „heizspiegel (Hg.) (2024): Heizkosten pro m²: Fernwärme und Zentralheizung. co2online,“ [Online]. Available: <https://www.heizspiegel.de/heizkosten-pruefen/heizkosten-pro-m2-vergleich/>. [Zugriff am 04.06.2026].
- [16] „Typische Heizkosten,“ heizung.de, [Online]. Available: <https://www.heizung.de/finanzielles/wissen/typische-heizkosten-im-einfamilienhaus.html>. [Zugriff am 29.5.2026].
- [17] „Vergleich einer Wärmepumpe mit einem Blockheizkraftwerk,“ [Online]. Available: <https://www.inlibra.com/de/document/view/pdf/uuid/45e9706d-5ea2-36b8-a5f8-aba75c2e5396>. [Zugriff am 29.5.2026].
- [18] „Wie CO₂ produziert ein Mensch?,“ GASAG, [Online]. Available: <https://www.gasag.de/magazin/nachhaltigkeit/co2-ausstoss-mensch>. [Zugriff am 29.5.2026].