

Sachbericht

**Anlage zum Verwendungsnachweis Bundesförderung für das Pilotprogramm
Einsparzähler**

Inhalt

Inhalt	2
1 Energetische Ausgangsbasis (Baseline) und Energiesparungen.....	3
1.1 Schnellrestaurant Nr. PLZ-94_S1 (PLZ Gebiet 94, Bayern) – Erreichte Einsparung.....	3
1.2 Schnellrestaurant Nr. PLZ-89_S1 (PLZ Gebiet 89, Baden-Württemberg) – Erreichte Einsparung.....	6
1.3 Schnellrestaurant Nr. PLZ-97_S1 (PLZ Gebiet, Bayern) – Erreichte Einsparung.....	10
1.4 Schnellrestaurant Nr. PLZ-66_S1 (PLZ Gebiet 66, Saarland) – Korrigierte Baseline & Einsparberechnung.....	14
1.4.1 Strom-Baseline – Korrektur nach BAFA-Förderreduktionen in ZVN2-Prüfung	16
1.4.2 Validierung des Strom-Baseline-Modells.....	20
1.4.3 Strom- Einsparberechnung für Einsparzeiträume VN2 und VN3.....	21
1.4.4 Flüssiggas: korrigierte Baseline sowie Einsparung für Zeiträume ZVN2 und ZVN3.....	23
1.5 Schnellrestaurant Nr. PLZ-84_S1 (PLZ Gebiet 84, Bayern) – Baseline und erreichte Einsparung.....	26
1.5.1 Baseline (Strom).....	26
1.5.2 Erreichte Einsparung in PLZ-84_S1 (Strom).....	28
1.6 Zusammenfassung: Erreichte Einsparung für alle Projekte aus VN2 und VN3	30

1 Energetische Ausgangsbasis (Baseline) und Energieeinsparungen

Bitte führen Sie aus, wie Sie bei Ihren Endkunden die energetische Ausgangsbasis bestimmen. Gehen Sie dabei insbesondere darauf ein, über welchen Zeitraum Sie die Baseline bilden, welche relevanten Variablen (Einflussfaktoren und Nutzen) Sie hierbei identifiziert haben, wie Sie diese (messtechnisch) erfassen und mit welchem Verfahren Sie den Einfluss dieser Größe quantifizieren (beispielsweise mittels linearer Regression).

Die energetische Ausgangsbasis ist wegen der Heterogenität von Lüftungsanlagen und der unterschiedlichen (Wärme-)Energieträger je Endkunde projektspezifisch zu definieren.

Wegen der komplexen Endkunden-spezifischen Modellbildung beschränken wir uns in den nachfolgenden Ausführungen darauf, die Baseline nur für diejenigen Endkundenprojekte zu beschreiben, für welche wir in diesem Zwischenverwendungsnachweis Einsparungen für die Leistungskomponente geltend machen. Einsparungen werden in diesem ZVN für die in den nachfolgenden Kapiteln dargestellten Projekte geltend gemacht.

Hierbei wird die Baseline stets in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und teilweise in Abhängigkeit von der Uhrzeit bzw. den Betriebszeiten modelliert. Bzgl. der Umgebungstemperatur greifen wir stets auf öffentlich verfügbare Umgebungstemperatur-Messdaten des Deutschen Wetterdienstes für die nächstgelegene Wetterstation zurück, üblicherweise in hoher zeitlicher Auflösung (10 Min.). Zwar könnten wir auch eigene Messdaten verwenden, zumal wir die Umgebungstemperatur nahezu immer mit-messen. Wenn wir allerdings Baseline-Messung und Einsparmessung an unterschiedlichen Messpositionen und ggf. mit unterschiedlicher Sensorik messen, was oftmals unvermeidlich ist, können sich leicht Mess-Abweichungen von mehreren Kelvin einstellen, die zu systematischen Verzerrungen bei der Einsparberechnung führen würden.

1.1 Schnellrestaurant Nr. PLZ-94_S1 (PLZ Gebiet 94, Bayern) – Erreichte Einsparung

Beim Schnellrestaurant PLZ-94_S1 handelt es sich um ein im Juli 2019 neu eröffnetes Restaurant einer Fast-Food-Kette. Im Auftrag des Franchisenehmers rüsteten wir hier am 19. Dezember 2019 ein Monitoring-System für die Lüftungsanlage nach. Um aufwändige Abstimmungen zur Datenübergabe mit dem Regelungslieferanten der Lüftungsanlage zu vermeiden, sahen wir hier Messtechnik vor, die es nicht nur ermöglichte, den Energieverbrauch der Lüftung und der insgesamt drei Wärmepumpen zur Raumluftkonditionierung zu erfassen, sondern darüber hinaus wesentliche Temperaturen, um das Betriebsverhalten der Anlage bewerten zu können.

Das einsparrelevante technische System besteht aus einer kombinierten Zu- und Abluft-Anlage mit Wärmerückgewinnung. Die Zuluft kann über zwei Kältemaschinen, welche auch im Wärmepumpenbetrieb heizen können, wunschgemäß temperiert werden. Da die Zulufttemperatur für die Küche mit der hohen Wärmeentwicklung tendenziell für den Gästebereich zu kühl ist und andererseits aber auch nicht unabhängig von der Küche temperiert werden kann, dient für den Gästebereich eine zusätzliche Multisplit-Wärmepumpe (und -Kältemaschine) über drei Decken-Umluft-Kassetten der Raumlufttemperierung. Die Umluftkassetten werden durch das Restaurant-Personal per Fernbedienung händisch ein- und ausgeschaltet. Ebenso kann das Restaurant-Personal die gewünschte Solltemperatur einstellen.

Die Baseline wurde bereits detailliert im Sachbericht des letzten VN dargestellt. Diese hat nach wie Gültigkeit. Nachfolgend werden lediglich die erreichten Einsparungen für den Berichtszeitraum dargestellt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt überblicksartig für den gesamten Berichtszeitraum die Baseline

und die Messwerte als Zeitreihe, also elektrische Leistung in Abhängigkeit von der Zeit, $P_{el}(t)$.

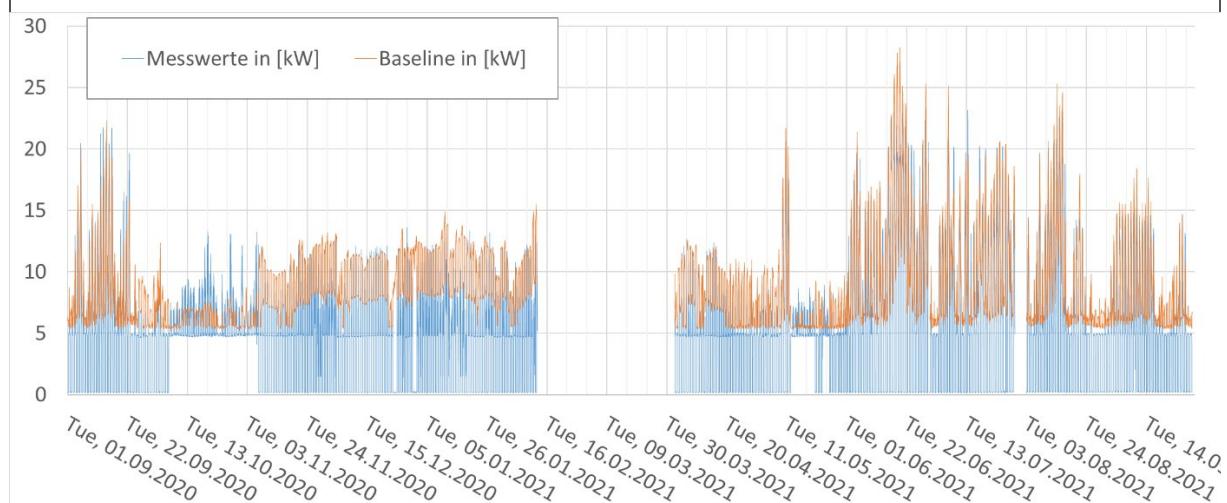


Abbildung 1: Zu erkennen ist, dass im März, aufgrund eines Speicherausfalls keine Messdaten vorhanden sind. Außerdem Nachtabschaltung im Oktober 2020 für einen Monat ausgefallen, ebenso Ende Mai / Anf. Juni für einige Tage.

Vom 12.02-31.03.2021 liegt eine Datenlücke im Monitoring für PLZ-94_S1 vor. Es dauerte einige Zeit, bis wir eine geeignete Person dafür gewinnen konnten, remote mit unserer Unterstützung nach der Ursache zu suchen. Dabei zeigte sich, dass die Datenlücke durch ein fehlendes Speichermedium im Datensatz entstanden war, das sodann wieder eingebracht wurde. Deutlich ist auch, dass teilweise über längere Zeiträume die Lüftungsanlage nachts nicht abgeschaltet wurde, im Oktober 2020 und im Mai/Juni 2021. Problem bei dieser Anlage ist, dass wir mit unserem Monitoring zwar Fehlzustände erkennen, diese aber mangels Zugriffs auf die Steuerung nicht abstellen können. Teilweise dauert es, trotz unserer Meldung, lange bis die Fehlzustände beseitigt werden. Ein solches Schnittstellen-Problem bleibt aus, wenn auch wir für die Anlagenregelung zuständig sind wie bei den Projekten PLZ-89_S1 und PLZ-97_S1, siehe nachfolgende Kapitel.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Baselines und die Messwerte als elektrische Leistungswerte in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur, einmal für die Nacht und einmal für den Tag.

Tag und Nacht Baseline in PLZ-94_S1

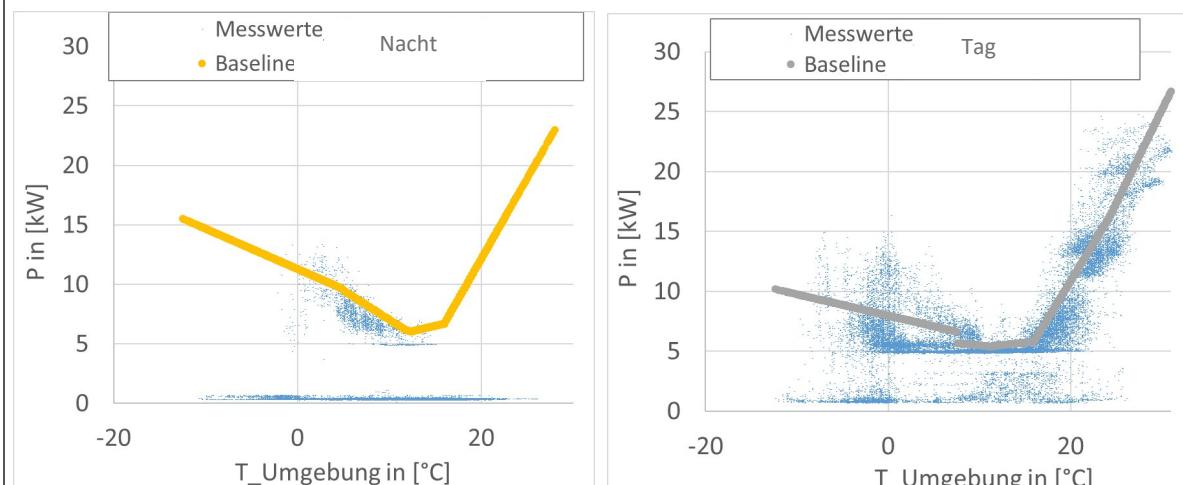


Abbildung 3: Aufgrund des Ausfalls der Nachtabschaltung gibt es Energieverbräuche die nahe der Nacht-Baseline liegen. Diese heben sich deutlich von den sonst niedrigen Verbräuchen (nahe 0 kW) in der Nacht ab.

Abbildung 2: tagsüber liegen die Verbräuche in etwa im Bereich der Baseline

Die nachfolgende Tabelle stellt die erreichten Einsparungen monatsweise für den gesamten Berichtszeitraum dar.

Tabelle 1: eingesparte Energiemengen in PLZ-94_S1, nach Monaten

	Gemessen Umluftkassette + Kältemaschine	Baseline Umluftkassette + Kältemaschine	Einsparung	Einsparung	Einsparung
Zeitraum	Summe [kWh]	Summe [kWh]	[kWh]	relativ	€ bei 17 ct/kWh
Oct/2020	4.179	5.266	1.088	20,6%	184,90 €
Nov/2020	2.888	6.021	3.134	52,0%	532,71 €
Dec/2020	2.756	6.520	3.765	57,7%	640,01 €
Jan/2021	3.078	6.771	3.693	54,5%	627,75 €
Feb/2021	1.078	2.421	1.343	55,5%	228,37 €
Mar/2021	-	-	-	-	- €
Apr/2021	2.379	5.538	3.159	57,0%	537,04 €
May/2021	3.300	5.161	1.861	36,1%	316,44 €
Jun/2021	5.508	8.151	2.643	32,4%	449,29 €
Jul/2021	4.343	6.978	2.635	37,8%	447,94 €
Aug/2021	3.636	6.059	2.424	40,0%	412,06 €
Sep/2021	3.244	5.639	2.395	42,5%	407,15 €
Total	36.389	64.525	28.136	43,6%	4.783,66 €

In der Summe konnten also im VN-Zeitraum 28.136 kWh eingespart werden. Dies entspricht einer relativen Einsparung um 43,6% bzw. um 4.783,66 € bei einem Strompreis von 17 ct/kWh (=15 ct + 2 ct open-source Zuschlag).

1.2 Schnellrestaurant Nr. PLZ-89_S1 (PLZ Gebiet 89, Baden-Württemberg) – Erreichte Einsparung

Allgemeines

Beim Schnellrestaurant in PLZ-89_S1 handelt es sich um ein am 17. Dezember 2020 neu eröffnetes Restaurant. Im Auftrag des Lieferanten für die Lüftungsanlage stattete die messeffekt GmbH die Lüftungsanlage direkt zur Eröffnung mit einem Monitoring-System aus. Dieses Monitoring-System war integriert in die komplette Mess-, Steuer-, und Regelungstechnik (MSR-Technik) der Lüftungsanlage, die messeffekt ebenfalls lieferte.

Das einsparrelevante technische System ist identisch wie im Projekt PLZ-94_S1. Es besteht aus einer kombinierten Zu- und Abluft-Anlage mit Wärmerückgewinnung. Die Raumtemperatur wird indirekt über die Zuluft temperiert, und zwar über zwei Kältemaschinen, welche auch im Wärmepumpenbetrieb heizen können. Dies erfolgt über die in der Regelungssoftware eingestellten

Soll-Temperaturen. Da die Zulufttemperatur für die Küche mit der hohen Wärmeentwicklung tendenziell für den Gästebereich zu kühl ist und andererseits aber auch nicht unabhängig von der Küche temperiert werden kann, dient für den Gästebereich eine zusätzliche und dritte Multisplit-Wärmepumpe (und -Kältemaschine) über drei Decken-Umluft-Kassetten der Raumlufttemperierung.

Die Lüftungsanlage des Schnellrestaurant Restaurants in PLZ-89_S1 ist baugleich wie die des Projekts PLZ-94_S1, das wir bereits im letzten Zwischenverwendungsnachweis dargestellt hatten. Die Lüftungsanlage deckt die komplette Gebäudeklimatisierung incl. Heizung und Kühlung ab. Einziger Unterschied zwischen beiden Anlagen ist, dass die Regelungssoftware in beiden Projekten abweicht.

So werden die Umluftkassetten, die in PLZ-94_S1 händisch per Fernsteuerung vom Kassenpersonal bedient wurden, in PLZ-89_S1 nun ebenfalls automatisch geregelt, um ein Gegeneinanderspiel (gleichzeitiges Heizen und Kühlen) der beiden Klimatisierungsfunktionen von Zuluft-Temperierung und Umluftkassetten zu unterbinden.

Das Restaurant ist Montag, Mittwoch und Donnerstag von 10:00 bis 23:00, Dienstag bis 01:00 und Freitag bis Sonntag von 10:00-00:00 (Stand: 17.02.2022) geöffnet.

Aussonderung ungültiger Datenpunkte:

Daten erklären wir dann für die Einsparberechnung ungültig, wenn elektrischen Strommesswerte oder DWD-Temperaturdaten im jeweiligen Zeitschritt nicht vorliegen oder wenn die Lüftungsanlage über mehrere Tage nicht betrieben wurde. Diese Daten wurden vor der Berechnung der Einsparung aussortiert und werden aus Transparenzgründen unten – (gemeinsam mit der jeweiligen Ursache der Aussonderung) - graphisch dargestellt. Durch die Aussonderung wurde verhindert, dass die berechneten Einsparungen überschätzt werden.

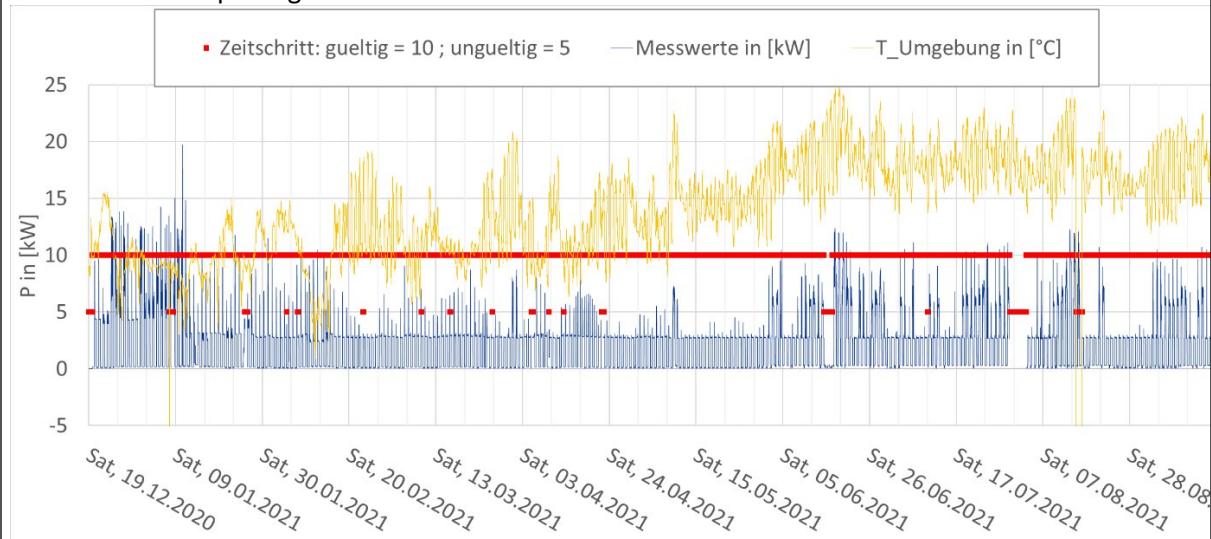


Abbildung 4: elektrische Leistung, Umgebungstemperatur, sowie gültige/ungültige Zeitschritte im Berichtszeitraum (zwischen Anlageninbetriebnahme am 16.12.2020 bis Ende VN-Zeitraum am 30.09.2021). Bis Ende Dezember 2020 wurde noch der Betrieb optimiert, danach sind die Energieverbräuche weiter abgesunken

Abbildung 4 zeigt die Messwerte in [kW] und Temperatur in [°C] im Zeitraum vom 15.12.20 (Tag der Anlageninbetriebnahme war am Tag vor der Restaurant-Eröffnung) bis 30.09.21, sowie rote Datenpunkte, die die Gültigkeit der Messwerte angeben. Hierbei beschreibt „5“ einen ungültigen und „10“ auf der kW-Achse einen gültigen Messpunkt. Hin und wieder treten kurze Verluste in unserem Monitoring-System auf, die sich zwischen 10-60 Minuten bewegen. Das

Datenaufzeichnungsintervall beträgt 10 Minuten. Wenn der DWD-Station keine Daten vorliegen, werden diese mit -999°C gekennzeichnet, die entsprechenden Ausschläge nach unten sind deutlich in der Grafik zu sehen. Außerdem gab es zwei Tage im Juni (15. und 16.06.), an denen die Lüftungsanlage nicht im Betrieb war. Vom 29.07. bis einschließlich 02.08. lieferte unser Monitoring keine Daten. Die Ursache ist zwar nicht bekannt. Da wir allerdings für die Datenübertragung das vorhandene Internet verwenden, führen vorübergehende Verbindungsprobleme auch zu Datenverlust.

Baseline

Da nicht nur die Lüftungsanlage, sondern sogar das Gebäude und die komplette Küchentechnik in PLZ-94_S1 und in PLZ-89_S1 baugleich ist, setzen wir die Baseline von PLZ-94_S1 auch für PLZ-89_S1 an. Nur durch eine vorab eingeholte Zusage für dieses Vorgehen des BAFA-ESZ-Mitarbeiters Herrn Alt, war es uns möglich, diesen Auftrag zu akquirieren, indem wir einen Rabatt geben konnten, um – bei höherwertigem MSR-System – einen dennoch wettbewerbsfähigen Preis anbieten zu können. Das Baseline-Modell unterscheidet zwischen Restaurant-Betrieb (ja/nein) und modelliert die Stromverbräuche abhängig von der Umgebungstemperatur. Der Gesamtverbrauch von Lüftungsanlage incl. Zuluft-Wärmepumpen sowie Umluftkassetten wurde von uns in PLZ-89_S1 mit einem einzelnen Messgerät erfasst. Deshalb wurden – mit Verweis auf unseren letztjährigen Sachbericht (Kapitel 7, Berichtsdatum: 19.01.2021) die beiden Tag-Baseline-Werte aus PLZ-94_S1 für Umluftkassette und Lüftungsanlage addiert, dasselbe auch bei den beiden Nacht-Baselinsen. Die orange Linie in der nachfolgenden Darstellung zeigt also:

Baseline_{Grafik}=Baseline_{Umluftkassette}+Baseline_{Kältemaschine}

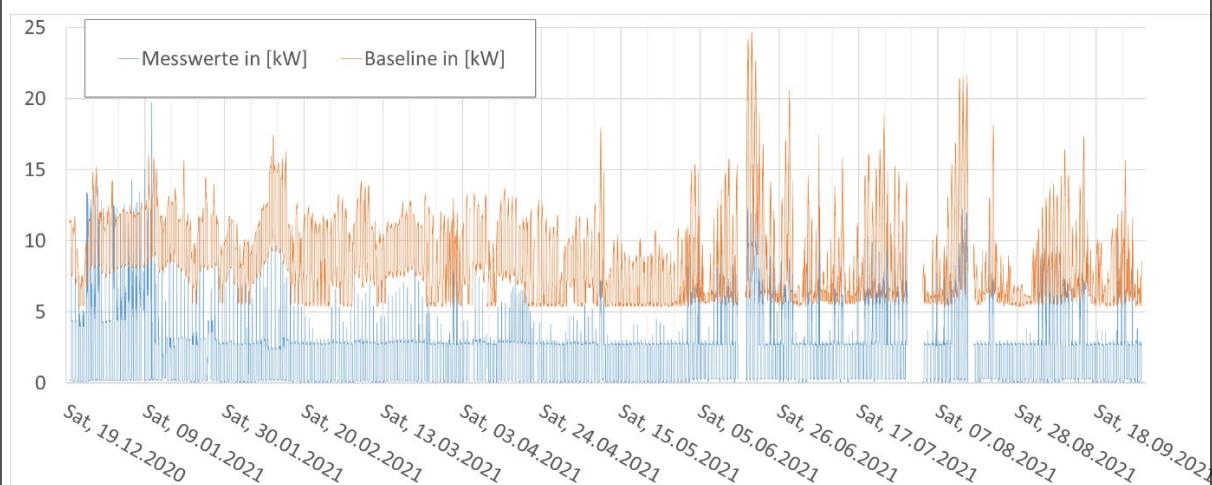


Abbildung 5: Elektrischer Verbrauch und Baseline-Prognose im VN-Zeitraum im Überblick

Um zu bestimmen, welches Baseline Modell verwendet wird, also das Tag- oder Nacht-Modell, haben wir einen Grenzwert (Messwert) von 0,7 kW festgelegt. Alle Verbräuche unterhalb dieser Grenze werden mit dem Nacht-Baseline-Modell verglichen, alle Verbräuche darüber mit dem Tag-Baseline-Modell. Dieses Vorgehen ist insbesondere für Schnellrestaurant PLZ-89_S1 deswegen zulässig, weil im Berichtszeitraum unbeabsichtigter Nachtbetrieb nicht vorkam, Tagbetrieb dagegen ausnahmslos täglich.

Folgende Maßnahmen zur Energieeinsparung beigetragen:

- Vermeidung gleichzeitigen Heizens und Kühlens durch entsprechende Regelungsinterlocks und Alarmmeldungen aus dem Monitoring
- Anpassung der Luftmenge an den Bedarf: Geringfügige Reduzierung der Luftmenge bei

Beibehaltung der Raumluftqualität

- Sicherstellung des energieeffizienten Anlagenbetriebs durch Monitoring, das eine Vielzahl an Regeln enthält, die bei Nichteinhaltung Alarne produzieren und uns auf Korrekturbedarf hinweisen. Beispiele sind: kühle Küchen-Ablufttemperatur sprechen für verkürzte Öffnungszeiten (was wegen Corona mehrfach vorkam), Erinnerung an Reinigungsmaßnahmen durch Differenzdrucküberwachung der Filter und der Wärmerückgewinnung.

Auf den nachfolgenden Abbildungen ist die im Berichtszeitraum gemessene Leistung im Abgleich mit der Baseline-Leistung (aus dem PLZ-94_S1-Projekt) dargestellt. Die Wetterdaten stammen aus der DWD-Wetterstation in PLZ-89_S1.

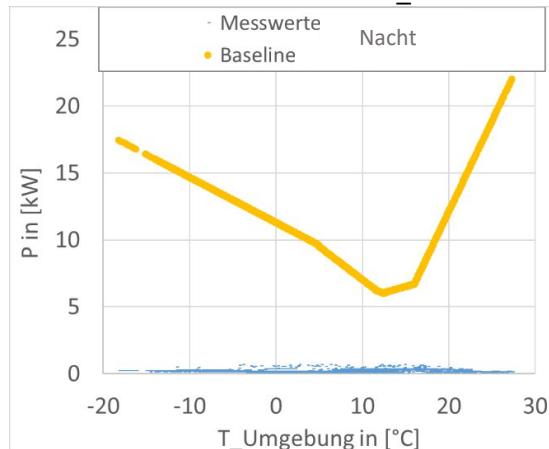


Abbildung 6: Nachtverbräuche: Baseline für die Nachtverbräuche in Gelb, Messwerte für den elektrischen Energiebedarf in Blau. Durch Nachtabschaltung der Lüftungsanlage hohe Differenz zwischen Baseline und Messwerten.

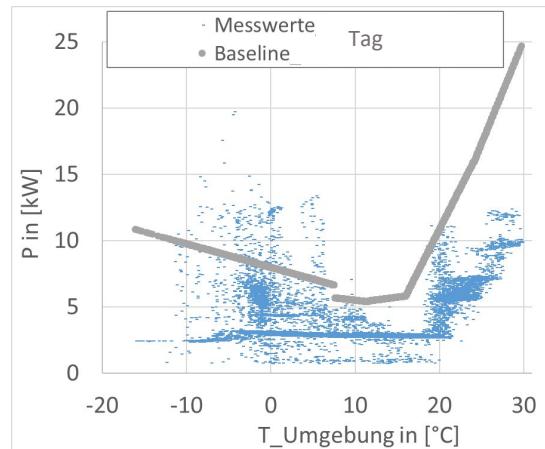


Abbildung 7: Tagverbräuche: in grau dargestellt ist die Baseline für den elektrischen Energiebedarf in Abhängigkeit von Umgebungstemperatur (übernommen aus letztem ZVN für PLZ-94_S1), blau: Messwerte aus dem Berichtszeitraum.

Die Einsparungen in der Nacht sind, wie in Abbildung 10 zu sehen, durch die Nachtabschaltung der Lüftungsanlage sowie durch die Nachtabschaltung der Umluftkassetten wesentlich höher als Tagsüber. Hinzu kommt, dass die Nachtverbräuche der Baseline bei kalten Temperaturen höher sind als tags, da dann die Küchenabwärme fehlt, die tags in der Wärmerückgewinnung genutzt wird. In PLZ-89_S1 wird dagegen die Nachtauskühlung des Gebäudes durch die nachts abgeschaltete Heizung bzw. Lüftung bewusst in Kauf genommen, siehe Abbildung 7. In Abbildung 7 wird anhand der hohen Punktdichte im Bereich nahezu konstanter Leistungswerte in Bereich von 2,4-2,8 kW über das gesamte Temperaturspektrum von -18°C bis +18,5°C deutlich, dass der Heizbedarf tagsüber vollständig durch die Wärmerückgewinnung gewährleistet wird. Selbst bei Umgebungstemperaturen von -15°C ist eine Zuluftbeheizung ausschließlich über die Wärmerückgewinnung möglich, sofern dann die Küche in Betrieb ist. Die dann verbrauchte Leistung ist vollständig den Ventilatoren zuzurechnen. Einzig in den frühen Morgenstunden und den späten Abendstunden, wenn die Küchenabwärme nicht zur Verfügung steht, wird, zusätzliche Heizwärme benötigt, wie auch anhand der blauen Linie in den nachfolgend abgebildeten sehr kalten Winter-Beispieltagen ersichtlich wird:

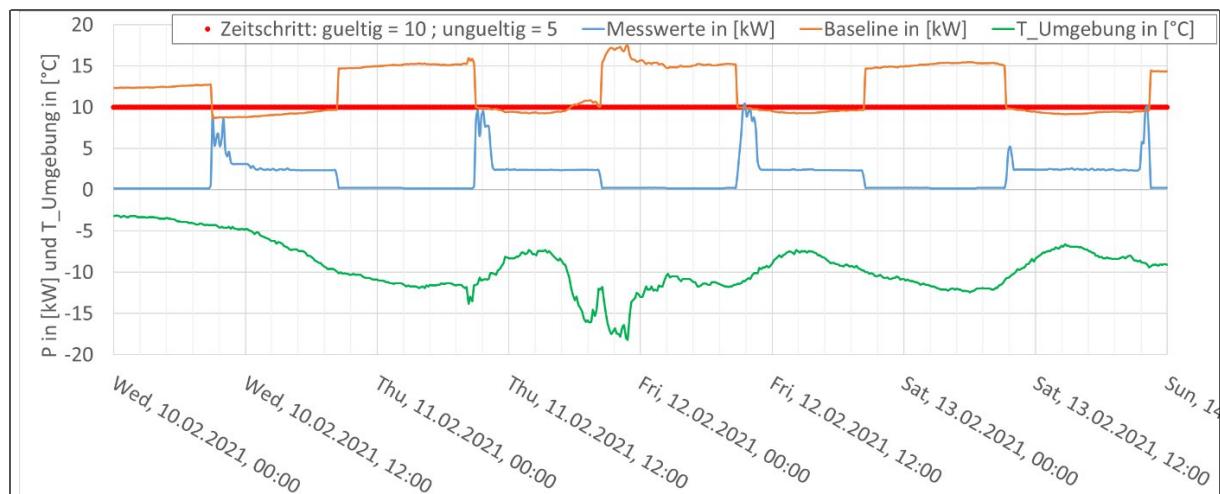


Abbildung 8: Kälteste Tage im Jahr 2021. Ausschläge bei Tagesbeginn zeigen höheren Energiebedarf mangels Küchenabwärme – diesen zusätzlichen Bedarf gibt es während der Heizperiode täglich. Erhöhten Energiebedarf am Tagesende gibt es nur, wenn die Küchenabwärme nach Restaurantschließung nicht mehr zur Verfügung steht, aber noch Lüftungsbedarf besteht (zur Reinigung).

Erreichte Einsparung in PLZ-89_S1

In der nachfolgenden Tabelle sind die Einsparungen für den gesamten VN-Zeitraum in PLZ-89_S1 dargestellt.

Tabelle 2: eingesparte Energiemengen in PLZ-89_S1, nach Monaten

	Gemessen Umluftkassette + Kältemaschine	Baseline Umluftkassette + Kältemaschine	Einsparung	Einsparung	Einsparung
Zeitraum	Summe [kWh]	Summe [kWh]	[kWh]	relativ	in € bei 17 ct/kWh
16.12.20- 31.12.20	803	2.755	1.952	70,86%	331,86 €
Jan/2021	1.541	7.194	5.654	78,59%	961,16 €
Feb/2021	1.055	6.278	5.223	83,19%	887,90 €
Mar/2021	1.227	6.698	5.471	81,68%	930,05 €
Apr/2021	1.249	5.905	4.657	78,86%	791,65 €
May/2021	1.209	5.531	4.323	78,15%	734,86 €
Jun/2021	1.919	6.253	4.334	69,31%	736,78 €
Jul/2021	1.681	5.629	3.948	70,13%	671,13 €
Aug/2021	1.374	5.134	3.761	73,25%	639,30 €
Sep/2021	1.297	5.668	4.371	77,12%	743,11 €
Total	13.354	57.047	43.693	76,59%	7.427,81 €

In der Summe konnten also im VN-Zeitraum 43'693 kWh eingespart werden. Dies entspricht einer relativen Einsparung um 76,59% bzw. um 7'427,81 € bei einem Strompreis von 17 ct/kWh (=15 ct + 2 ct open-source Zuschlag).

1.3 Schnellrestaurant Nr. PLZ-97_S1 (PLZ Gebiet, Bayern) – Erreichte Einsparung

Allgemeines

Beim Schnellrestaurant in PLZ-97_S1 handelt es sich um ein am 04. März 2021 neu eröffnetes Restaurant. Im Auftrag des Lieferanten für die Lüftungsanlage stattete die messeffekt GmbH die Lüftungsanlage direkt zur Eröffnung mit einem Monitoring-System aus. Dieses Monitoring-System war integriert in die komplette Mess-, Steuer-, und Regelungstechnik (MSR-Technik) der Lüftungsanlage, die messeffekt ebenfalls lieferte.

Das einsparrelevante technische System ist identisch mit PLZ-94_S1 und PLZ-89_S1 und wird hier daher nicht näher beschrieben. Einziger Unterschied zwischen den Anlagen in PLZ-94_S1 und PLZ-97_S1 ist, dass die Regelungssoftware in beiden Projekten abweicht. In PLZ-89_S1 und PLZ-97_S1 wird dieselbe Regelungstechnik verwendet.

Das Restaurant ist Montag bis Sonntag von 11:00 bis 22:00 (Stand: 23.02.2022) geöffnet.

Da nicht nur die Lüftungsanlage, sondern sogar das Gebäude und die komplette Küchentechnik in PLZ-94_S1 und in PLZ-97_S1 baugleich ist, setzen wir die Baseline von PLZ-94_S1 auch für PLZ-97_S1 an. Der Gesamtverbrauch von Lüftungsanlage incl. Zuluft-Wärmepumpen sowie Umluftkassetten wurde von uns in PLZ-97_S1 mit einem einzelnen Messgerät erfasst.

Aussonderung ungültiger Datenpunkte:

Daten erklären wir – analog zu PLZ-89_S1 – dann für die Einsparberechnung ungültig, wenn elektrische Strommesswerte oder DWD-Temperaturdaten im jeweiligen Zeitschritt nicht vorliegen oder wenn die Lüftungsanlage über mehrere Tage nicht betrieben wurde. Diese Daten wurden vor der Berechnung der Einsparung aussortiert und werden aus Transparenzgründen unten – (gemeinsam mit der jeweiligen Ursache der Aussonderung) - graphisch dargestellt. Durch die Aussonderung wurde verhindert, dass die berechneten Einsparungen überschätzt werden.

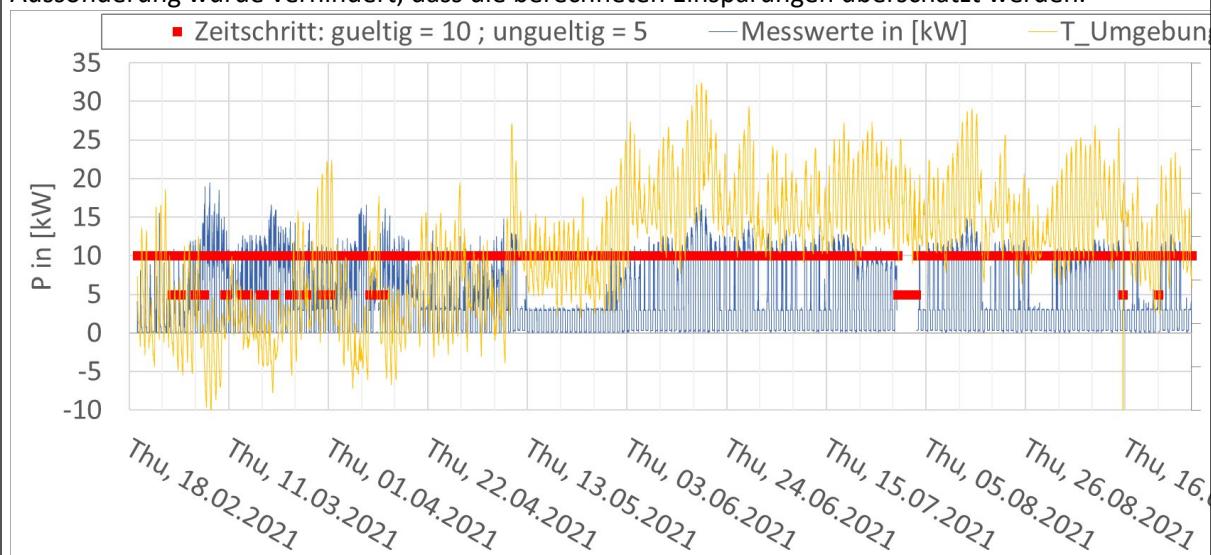


Abbildung 9: elektrische Leistung, Umgebungstemperatur, sowie gültige/ungültige Zeitschritte im Berichtszeitraum (zwischen Anlageninbetriebnahme am 19.02.2021 bis Ende VN-Zeitraum am 30.09.2021).

Baseline

Die orange Linie in der der nachfolgenden Darstellung zeigt also:

$$\text{Baseline}_{\text{Grafik}} = \text{Baseline}_{\text{Umluftkassette}} + \text{Baseline}_{\text{Kältemaschine}}$$

Um zu bestimmen, welches Baseline Modell verwendet wird, also das Tag- oder Nacht-Modell, haben wir einen Grenzwert von 0,7 kW festgelegt. Alle Verbräuche unterhalb dieser Grenze werden mit dem Nacht-Baseline-Modell verglichen, alle Verbräuche darüber mit dem Tag-Baseline-Modell. Nachfolgend ist der gesamte ZVN3-Einsparzeitraum grafisch dargestellt, Baseline und gemessene Verbräuche:

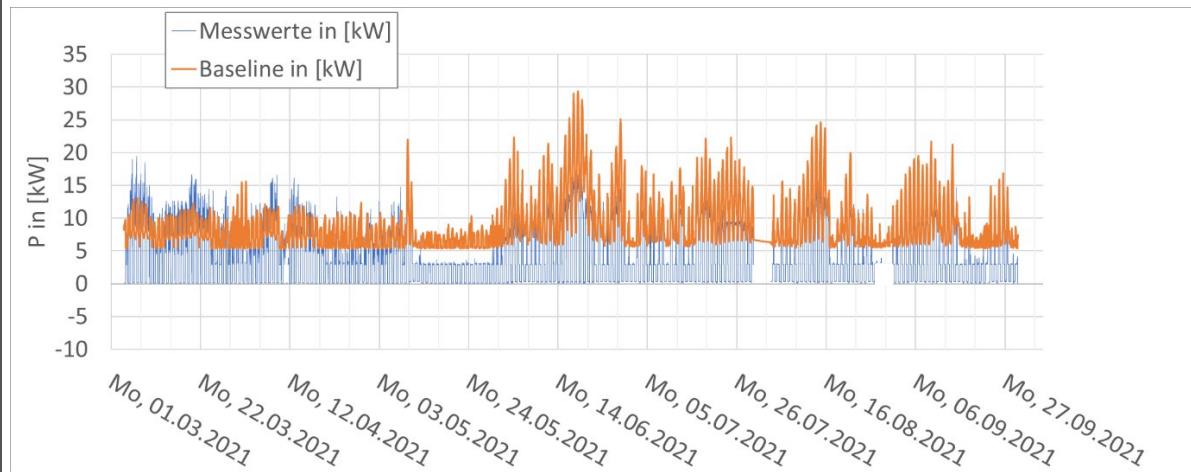


Abbildung 10: Elektrischer Verbrauch und Baseline im VN-Zeitraum.

Zu erkennen ist in Abbildung 10, dass zu Beginn des Betriebs Mitte Mai die Tag-Verbräuche hoch, teils sogar über der Baseline, waren, bis wir diesen Fehlzustand anhand des Monitorings aufdecken und sodann verbessern konnten. Dem hier gefundenen Betriebsfehler lag ein Vertauschen von zwei elektrischen Signalen im Schaltschrank zugrunde, was zu invertiertem Wärmerückgewinnungsbetrieb führte. Solche Fehler sind keine Seltenheit (siehe auch Lastgangbeispiel oben und Projekt PLZ-84_S1 unten) und bleiben selbst in heutigen Neubauten üblicherweise unentdeckt, weil ein Datenmonitoring des Lüftungsbetriebs noch immer unüblich ist. Diesen Betriebsfehler der invertierten Wärmerückgewinnung stellten wir durch Datenanalyse fest. Ein entsprechender Alarm für die den fehlerhaften WRG-Betrieb war zwar aktiv, schlug aber nicht an, da er auf den falschen Signalen basierte. Entsprechend haben wir die Betriebsregel in der Folge angepasst.

Auf den nachfolgenden Abbildungen ist die im Berichtszeitraum gemessene Leistung im Abgleich mit der Baseline-Leistung (aus dem PLZ-94_S1-Projekt) dargestellt. Die Wetterdaten stammen aus der DWD-Wetterstation in PLZ-97_S1.

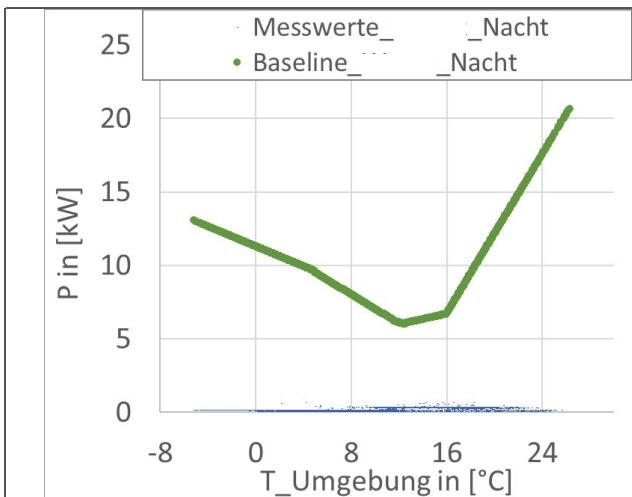


Abbildung 11: Nachtverbräuche: Baseline für die Nachtverbräuche in grün, Messwerte für den elektrischen Energiebedarf in Blau.

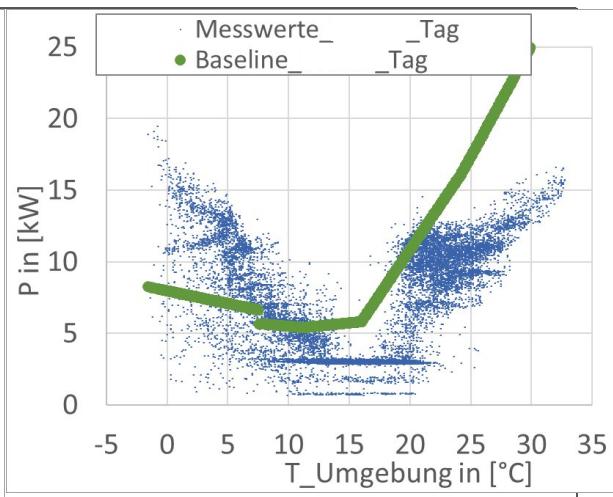


Abbildung 12: Tagverbräuche: in grün dargestellt ist die Baseline für den elektrischen Energiebedarf in Abhängigkeit von Umgebungstemperatur (übernommen aus letztem ZVN für PLZ-94_S1), blau: Messwerte aus dem Berichtszeitraum

Die Einspareffekte sind dieselben wie in PLZ-89_S1, diese wiederholen wir hier folglich nicht. In Abbildung 16 ist im Temperaturbereich 20°C-35°C zu sehen, dass die Kältemaschinen deutlich weniger Energie benötigen als durch die Baseline prognostiziert. Der Grund hierfür ist die Reduktion der Frischluftmengen. Möglicherweise lag im Baseline-Fall auch ein gleichzeitiges Heizen und Kühlen der insgesamt drei Kombi-Kältemaschinen-Wärmepumpen vor, was durch die Nutzereinstellungen der Deckenkassetten ermöglicht wird. Da die „Startphase“ unserer Steuerung in PLZ-97_S1 länger ausfiel als in PLZ-89_S1, sind die Tag-Verbräuche bei kalten Temperaturen höher als die Baseline, da die Wärmerückgewinnung invertiert funktionierte, das heißt, dass sie bei Heizbedarf nicht aktiv war. Aktiv war sie dagegen, wenn sie nicht benötigt war. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Zeitraum vor und nach der Umstellung der WRG am Montag, den 10.05.2021:

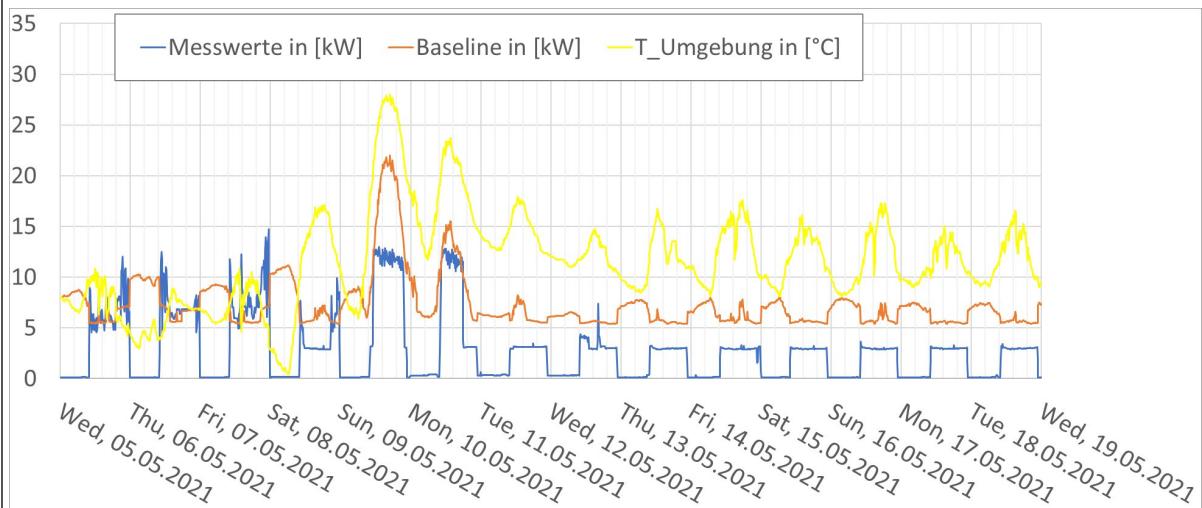


Abbildung 13: Am 10.05 haben wir die WRG-Einbindung korrigiert. Nach dieser Anpassung bleibt der Energiebedarf der Lüftungsanlage tagsüber stets unter der Baseline.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den temperaturabhängigen Leistungsbedarf vor und nach der WRG-Umstellung.

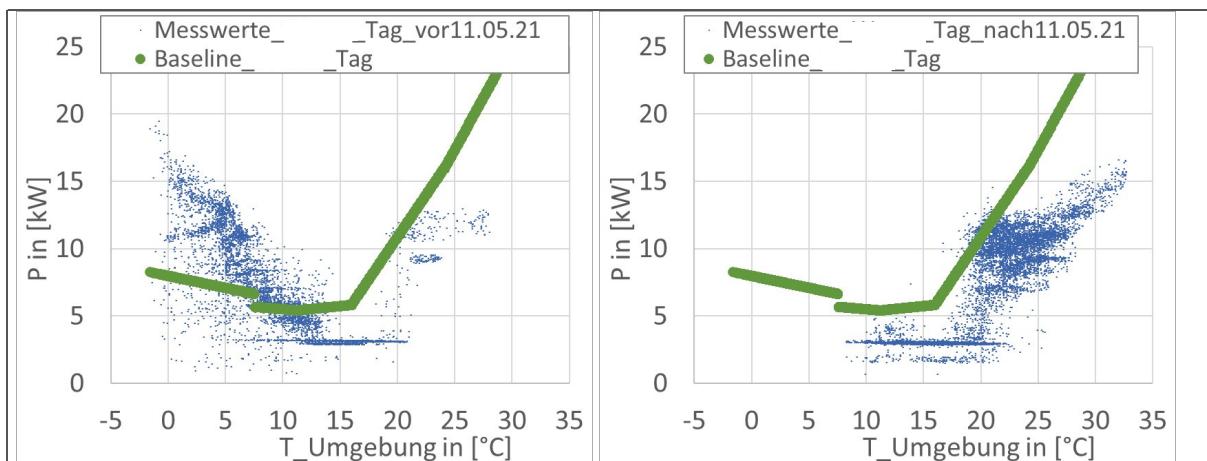


Abbildung 14: Links temperaturabhängiger elektrische Tag-Leistungsbedarf vor der WRG-Umstellung, rechts danach.

Aus Abbildung 14 wird deutlich, dass vor der Korrektur des WRG-Fehlers bereits ein Wärmepumpenheizen ab Temperaturen unterhalb von ca. 13°C nötig wurde. Nach der Umstellung trat ein Heizbedarf bei Temperaturen unterhalb von 13°C nicht mehr auf.

Heizen-wenn-Kühlbedarf-Betriebspunkte kamen aufgrund der kühlen Umgebungstemperaturen aber in der betroffenen Winterperiode kaum vor, so dass übermäßiger Kühlbedarf durch diesen Fehlbetrieb ausblieb. Jedoch überwog der Einspareffekt durch die Nachtabschaltung deutlich, so dass insgesamt in allen Monaten Energie eingespart wurde, wie die nachfolgende Tabelle zeigt.

Tabelle 3: eingesparte Energiemengen in PLZ-97_S1, nach Monaten

	Gemessen Umluftkassette + Kältemaschine	Baseline Umluftkassette + Kältemaschine	Einsparung	Einsparung	Einsparung
Zeitraum	Summe [kWh]	Summe [kWh]	[kWh]	relativ	€ bei 17 ct/kWh
04.03.2021- 31.03.2021	3.431	5.458	2.027	37,1%	344,67 €
Apr/2021	2.693	5.552	2.859	51,5%	486,11 €
May/2021	1.771	5.290	3.519	66,5%	598,17 €
Jun/2021	3.331	8.631	5.300	61,4%	900,99 €
Jul/2021	2.909	7.045	4.135	58,7%	702,99 €
Aug/2021	2.529	6.289	3.760	59,8%	639,24 €
Sep/2021	2.375	6.179	3.804	61,6%	646,60 €
Total	19.040	44'444	25'405	57,2%	4'318,77 €

In der Summe konnten also im VN-Zeitraum 27'126 kWh eingespart werden. Dies entspricht einer relativen Einsparung um 58,12% bzw. um 4'611,42 € bei einem Strompreis von 17 ct/kWh (=15 ct + 2 ct open-source Zuschlag).

Im Vergleich der drei Restaurants PLZ-94_S1, PLZ-89_S1 und PLZ-97_S1 fällt auf, dass die Einsparungen bei den Anlagen, die auch mittels messeffekt-Technik geregelt werden (PLZ-89_S1 und PLZ-97_S1) höher ausfallen. Die Ursache liegt darin, dass wir durch die Integration von

Monitoring und Regelung die Anlage direkt optimieren können, was andernfalls von den persönlichen Kommunikationswegen zwischen uns und dem Anlagenbetreiber (z.B. Restaurant-Manager), ggf. auch dem Lüftungsbauer oder dessen Automatisierungstechniker – und nicht zuletzt von der Problemriorisierung bei den jeweiligen Akteuren – abhängt.

Dieser „messeffekt-Vorteil“ gilt sogar, obwohl bei den Berechnungen oben ein weiterer Einspar-Effekt der Systeme PLZ-89_S1 und PLZ-97_S1 unbewertet blieb. Durch eine Überwachung der Ablufttemperatur fällt uns sofort auf, wenn Restaurant-Öffnungszeiten verkürzt werden, was in den Pandemiezeiten öfter vorkam. Die Vor- und Nachlaufzeiten sind in PLZ-89_S1 und PLZ-97_S1 kürzer als in PLZ-94_S1, was weitere Energie spart. Durch die angewendete Tag-Nacht-Unterscheidungsregel „Leistungsschwellwert“ unterschlagen wir diese Einsparwirkung bei der Quantifizierung der Einsparung. Andernfalls würden die Einsparungen noch höher ausfallen.

1.4 Schnellrestaurant Nr. PLZ-66_S1 (PLZ Gebiet 66, Saarland) – Korrigierte Baseline & Einsparberechnung

Nachdem die Baseline-Modellierung für das Projekt PLZ-66_S1 im Zuge der Detail-Prüfung unseres letzten Zwischenverwendungsnachweises als mangelhaft bewertet wurde, sodass die Gaseinsparungen nicht und die Stromeinsparungen nur mit 30% Abschlag anerkannt wurden, hatte sich Herr Dr. Weitemeyer dankenswerterweise die Zeit genommen, mögliche Modellverbesserungen mit uns durchzusprechen und uns angeboten, eine entsprechende Überarbeitung mit diesem ZVN vorzulegen. Dies tun wir nachfolgend. Die Modellverbesserungen betreffen die Anwendung des Gradtagszahlenmodells zur Berücksichtigung des – bislang vernachlässigten – Unterschieds kalter und warmer Jahre sowie die Berücksichtigung von zeitlich höher aufgelösten Stromverbrauchsdaten.

Bereits im Sommer 2017 hatte messeffekt, bei seinem seinerzeit allerersten Kunden PLZ-66_S1 das erste selbst entwickelte Lüftungsmesssystem zur Identifizierung von Lüftungseinsparpotenzial, eingesetzt und enorme Fehlbetriebszustände und Einsparpotenziale von über 20 tEUR/a identifiziert, bei Interesse, siehe dazu auch Hintergrund-Informationen im Förderantrag zu diesem Projekt. Erste von messeffekt empfohlene Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich der Steuerungsoptimierung wurden Ende 2017 mit mäßigem Erfolg durch einen Wartungsbetrieb für Lüftungsanlagen, umgesetzt. Weder stellten sich nennenswerte Energieeinsparungen aus dem vermeintlich abgestellten gleichzeitigen Heizen und Kühlen ein. Noch hatten sich die Raumklimaverhältnisse wesentlich verbessert. Das Verhältnis aus hohem Kommunikationsaufwand unsererseits und sehr überschaubarem Erfolg andererseits motivierte uns dazu, vom reinen Messsystem-Hersteller (und Anbieter zugehöriger Mess- und Beratungsleistungen) unser Portfolio auf die Steuerungsentwicklung für Lüftungsanlagen zu erweitern, zumal der Restaurant-Betreiber unsere Datenanalysen auch zur Dauerüberwachung wünschte. 2019 beauftragte dann der Restaurantbetreiber messeffekt damit, eine neue Steuerung mit Monitoring für die Lüftungsanlage zu liefern. Neben den Energieeinsparung war ein durchaus wesentliches Motiv des Restaurant-Betreibers, auch eine Lösung für die Sommers zu heißen und Winters zu kühlen Raum-Temperaturen zu finden. Dies wurde mit unserer Reglererneuerung im Mai 2019 erreicht. Weiterhin wurden durch unsere neue Steuerung Energieeinsparpotenziale umgesetzt, dadurch dass das gleichzeitige Heizen und Kühlen abgestellt wurde, dass Luftvolumenströme reduziert wurden sowie durch die Implementierung einer Nachtauskühlung mit geringem Luftstrom (v.a. sommers),

zur Reduzierung teurer Kompressionskälte.

Die Sanierung wurde im Mai 2019 umgesetzt. Die nachfolgende Abbildung zeigt die monatlichen Gesamt-Stromverbräuche des Restaurants für die Jahre 2012-2020, woraus ab Mai 2019 eine deutliche Reduktion der Stromverbräuche ersichtlich ist.

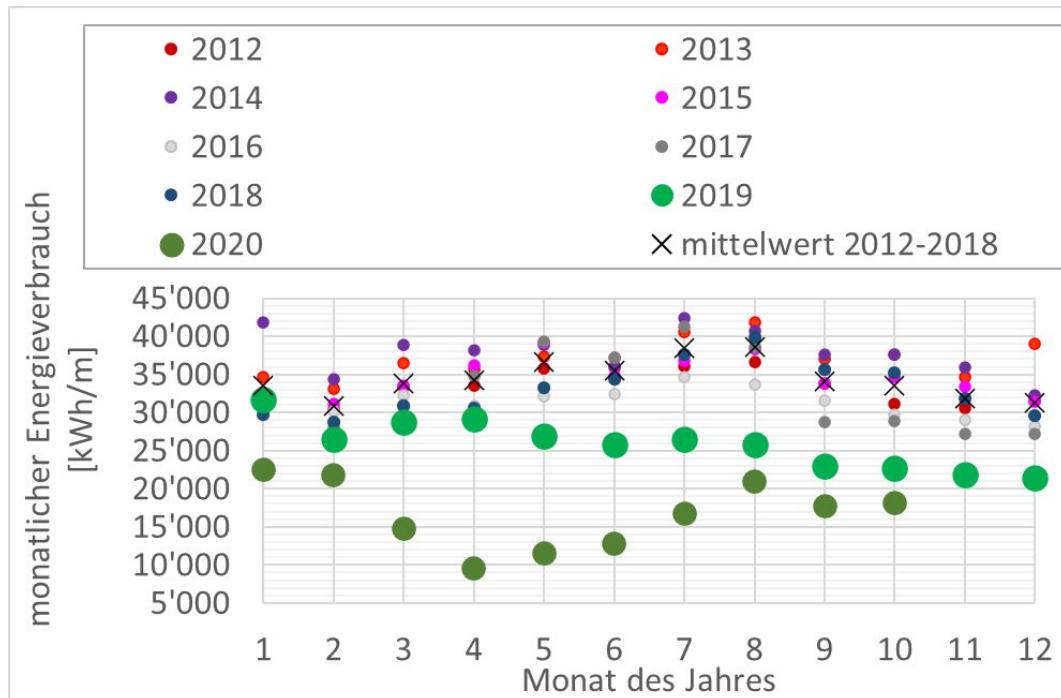


Abbildung 15: monatlicher Elektroenergieverbrauch des Schnell-Restaurants in PLZ-66_S1. Neben der deutlichen Energieeinsparungen nach der Sanierung im Mai 2019 sind auch die Auswirkungen von Corona deutlich sichtbar (Im Frühjahr 2020 war das Restaurant teilweise komplett geschlossen).

Die Raumwärme wird über die Zuluftterwärmung und diese wiederum über Flüssiggas (Propan) gewährleistet.

Auf Rückfrage bestätigte der Restaurant-Betreiber, dass zwischen den Jahren 2017 und 2019 außer der Änderung der Lüftungssteuerung keine den Energieverbrauch beeinflussenden Änderungen erfolgt sind. Insbesondere gab es keine Änderung bei der Küchenausstattung (elektrische Hauptverbraucher), keine Änderung bei den sonstigen Geräten bzw. Energieverbrauchern, keine Änderungen der Öffnungszeiten. Auch der Umsatz blieb in dieser Zeit konstant.

Als Baseline wird daher das Jahr 2018 gewählt.

Zunächst werden nachfolgend die Strom-Baseline und -einsparungen dargestellt. Die Baseline sowie die Einsparungen an Flüssiggas werden sodann im nachfolgenden Abschnitt dargestellt.

1.4.1 Strom-Baseline – Korrektur nach BAFA-Förderreduktionen in ZVN2-Prüfung

Die 15Minuten-Lastgangdaten, die ein Stromversorger auf Nachfrage seinen Kunden zur Verfügung stellen muss, hatten wir zwar bereits früher beim Restaurant-Betreiber angefragt. Da der Strombezug allerdings über den Gebäude-Mietvertrag geregelt ist, besteht hier kein direktes Vertragsverhältnis zum Stromversorger. Allerdings stellte sich im Zusammenhang mit den höheren

Baseline-Anforderungen auf Nachfrage beim Vermieter heraus, dass dieser ein Energiemonitoring-System der Firma Econ Solutions betreibt, das die Gesamtstromverbräuche des Restaurants in 15 Minuten-Intervallen erfasst. Die nachfolgende Abbildung zeigt diese 15 Minutenwerte des Stromverbrauchs für das Jahr 2018.

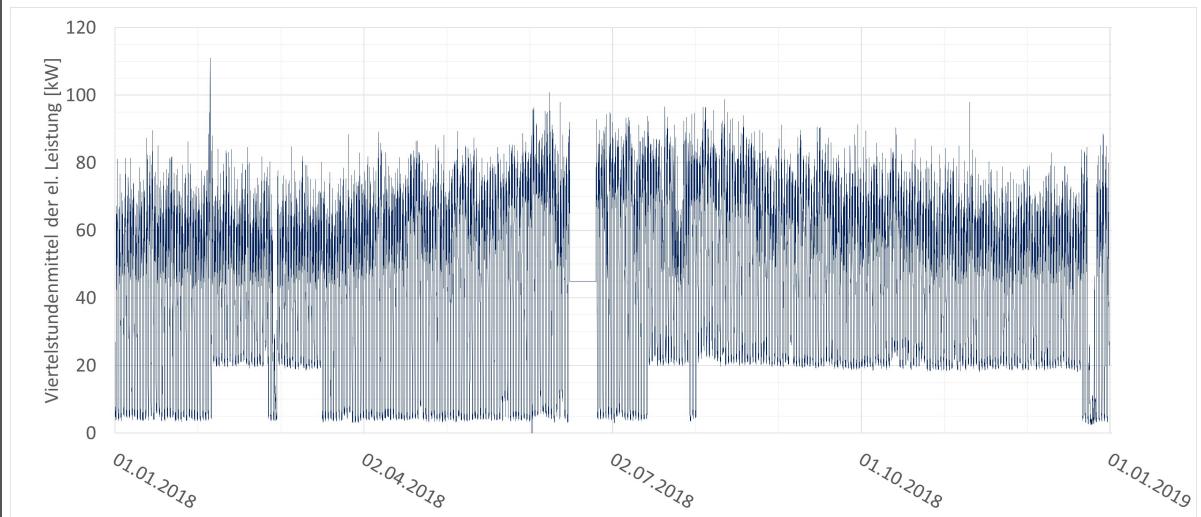


Abbildung 16: 15 Minuten Stromverbrauchswerte des Schnellrestaurants PLZ-66_S1 im Jahr 2018 vor der Lüftungsanierung

Auffällig in Abbildung 16 ist ein Zeitraum konstanter Leistung von mehreren Tagen im Juni. Hier scheint ein Messwertausfall vorzuliegen. Daher haben wir diesen Zeitraum aus der Baseline-Erstellung herausgenommen. Weiterhin fällt auf, dass die täglichen (bzw. nächtlichen) Mindestverbräuche entweder bei ca. 5 kW liegen oder aber bei ca. 20 kW. Angesichts der Tatsache, dass wir 2017 den elektrischen Verbrauch der beiden Ventilatoren zu 15 kW – übrigens im 24-Stundenbetrieb – bestimmt haben und uns zudem der Restaurant-Betreiber bestätigt hat, dass die Lüftungsanlage teils im Handbetrieb (24h-Konstantbetrieb) und teils im Automatikbetrieb (mit Nachtabschaltung) betrieben wird, dürfte diese Differenz (20-5=15) wahrscheinlich auf den nächtlichen Betrieb der Lüftungsanlage zurückzuführen sein. Dieser 24h-Betrieb war, gemäß Aussage vom Restaurant-Betreiber, nur an sehr kalten und sehr warmen Tagen beabsichtigt. Offensichtlich läuft die Anlage an deutlich mehr Tagen im 24-Stundenbetrieb als beabsichtigt, was wir bei vielen Lüftungsanlagen aller Art, insbesondere auch in der Systemgastronomie, mit einer Dauermessung feststellen müssen.

Die These, dass der um ca. 15 kW erhöhte Nachbedarf vom Lüftungsanlagenbetrieb resultiert, wird auch bei Betrachtung der Lastgangdaten 2019 untermauert, zumal wir anhand der Lüftungsmessdaten ausschließen konnten, dass ab Juni die Lüftungsanlage nachts im Betrieb war, siehe nachfolgende Abbildung.

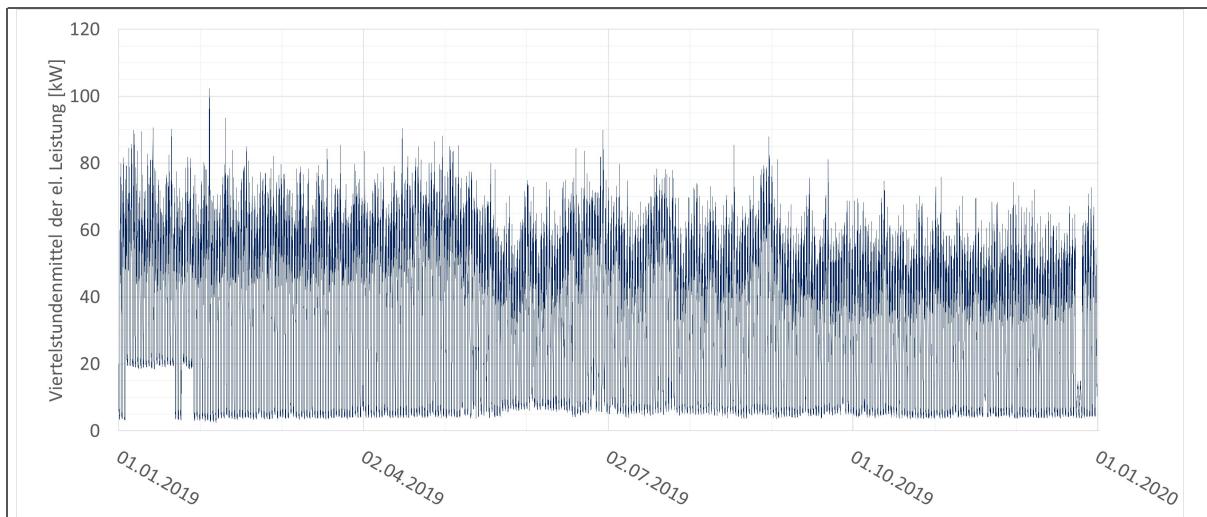


Abbildung 17: 15-Minuten-Stromverbrauchswerte des Schnellrestaurants PLZ-66_S1 im Jahr 2019. Sanierung begann am 2.5.2019.

Aus Abbildung 16 wird u.a. anhand der Tages-Spitzenlasten deutlich, dass die Stromverbräuche saisonal variieren. Insofern liegt es auch hier nahe, ein Baseline-Modell zu wählen, das die Umgebungstemperatur als Einflussgröße einbezieht.

Da sich zwischen 2018 und 2019 die Restaurant-Öffnungszeiten nicht geändert haben, erscheint es naheliegend, die Energieverbräuche abhängig von Tagesdurchschnittswerten für Temperatur und Leistung zu modellieren. Die nachfolgende Grafik stellt den in Abbildung 15 dargestellten Stromverbrauch aus 2018 in Abhängigkeit der tagesdurchschnittlichen Umgebungstemperatur (DWD für PLZ-66_S1) dar, siehe blaue Punkte.

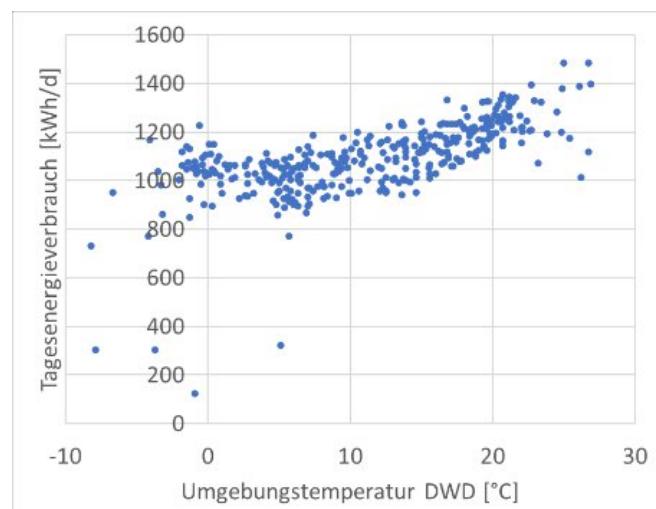


Abbildung 18: Elektrischer Gesamtbedarf des Restaurants pro Tag in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur.

Um jedoch den Einfluss der durch Corona stark variablen Öffnungszeiten adäquat abzubilden, ist es notwendig, den Blick konkreter auf das optimierte System, nämlich Lüftung + Klimatisierung, zu lenken: Seit Juni 2019 messen wir die elektrischen Verbräuche der Lüftungstechnik incl. der Kältemaschinen. Insofern kann durch die Bildung der Differenz der Gesamtstromverbräuche und der Lüftungsverbräuche der Verbrauch der „Restlichen Verbraucher“ errechnet werden. Dies ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

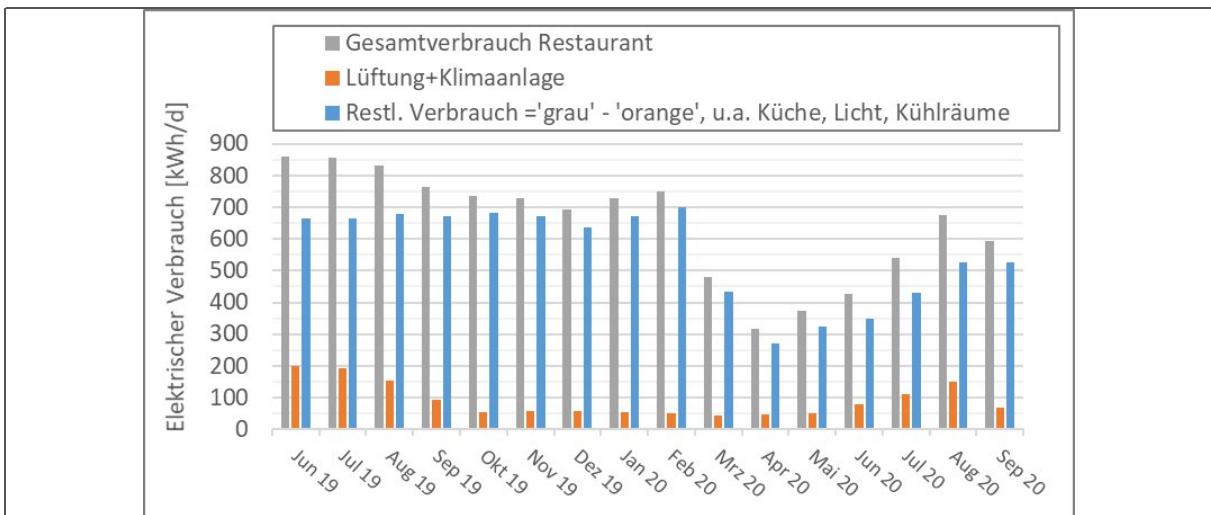


Abbildung 19: Aufteilung des elektrischen Verbrauchs im Schnell-Restaurant PLZ-66_S1

Aus Abbildung 19 wird deutlich, dass nur die Lüftung (mit Klimatechnik) im Zeitraum Juni 2019 bis Februar 2020 saisonalen Schwankungen unterworfen ist. Die sonstigen Verbräuche (blaue Balken) liegen in den genannten Monaten weitgehend konstant bei durchschnittlich 671 kWh/d (min: 637, max: 699). Deutlich wird aus Abbildung 19 auch, dass erst im Zuge der Corona-Beschränkungen (ab März 2020) die sonstigen Verbräuche deutlich reduziert wurden. Aufgrund der saisonalen Konstanz der sonstigen Verbraucher sowie der sonstigen unveränderten Randbedingungen wurde zur Ermittlung der Baseline für die Lüftung (mit Klimatechnik) von den 2018er Gesamtstromverbräuchen der Durchschnittswert 671 kWh/d abgezogen, um die Baseline-Verbräuche für Lüftung und Klimatisierung zu ermitteln. D.h. zur Ermittlung der Lüftungs-Baseline wurden die in Abbildung 18 dargestellten Tagesverbräuche um 671 kWh/d reduziert, siehe blaue Punkte in der nachfolgenden Abbildung und sodann – entsprechend der physikalischen Zusammenhänge – ein bilinearer Fit (rote Geraden) angewendet.

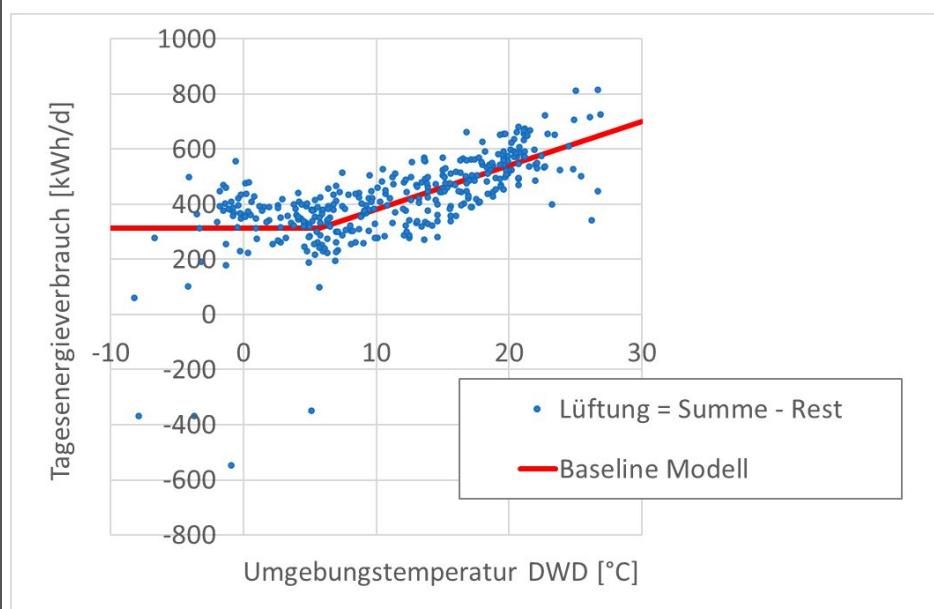


Abbildung 20: Baseline-Modell für die Lüftung + Klima incl. Datengrundlage zur Baseline-Erstellung

Erwähnenswert in Bezug auf Abbildung 20 ist, dass es von den insgesamt 365 Datenpunkten vier im Bereich negativer Leistungen liegen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass an diesen Tagen kein

normaler Restaurant-Betrieb stattgefunden haben dürfte. Obwohl negative Verbraucherleistungen technisch nicht möglich sind, haben wir diese Datenpunkte dennoch mit in die Baseline-Berechnung einbezogen, was in der Tendenz die Baseline unterschätzt. Auffällig ist auch, dass im Bereich sehr kalter und sehr warmer Temperaturen die „Ausreißer“ liegen. Wahrscheinlich ist, dass dies im Zusammenhang mit Totalausfällen der Klima- und Lüftungstechnik und in der Folge spontan notwendigen Restaurant-Schließungen steht. Denn von Problemen bei extremen Temperaturen hatte uns der Restaurant-Betreiber und auch die Restaurant-Managerin berichtet. Einen solchen Fall haben wir 2017 auch messtechnisch erfassen können, als wir an einem heißen Juli-tag Heizbetrieb vorfanden bei Raumlufttemperaturen von über 35°C und Zulufttemperaturen von dauerhaft über 40°C gemessen haben. Solche Extremereignisse sowie der „stochastische“ Nachlüftungsbetrieb, siehe Abbildung 16, führen in der Folge zu einer Limitation des erreichbaren Bestimmtheitsmaßes, das hier zu 44% ermittelt wurde.

Die Gleichung der Baseline-Geraden aus Abbildung 20 lautet:

- Für Umgebungstemperaturen unter 5,7°C: $P_{el(Baseline)} = 314,9 \text{ kWh/d}$
- Für Umgebungstemperaturen T ab 5,7°C: $P_{el(Baseline)} = 15,86*T + 224,52 \text{ kWh/d}$

1.4.2 Validierung des Strom-Baseline-Modells

Zur Validierung des Baseline-Modells werden in der nachfolgenden Tabelle die Monatssummen sowie die Jahressumme von 2018 dargestellt, einmal alle gemessenen Leistungswerte aus Abbildung 22 aufsummiert (blaue Punkte) sowie die Baseline, die auf der Basis dieser Punkte ermittelt wurde, berechnet mit der jeweils vorliegenden Tagesmitteltemperatur.

Tabelle 4: Vergleich von Baseline und den Messwerten, auf denen die Baseline basiert

	MWh Messw.	MWh Fit (Baseline)	Fit ü. Messw.
Jahressumme 2018	148,5	148,5	0,02%
Jan 2018	9,0	10,0	11,5%
Feb 2018	10,0	8,8	-11,5%
Mrz 2018	10,1	10,1	-0,2%
Apr 2018	10,5	12,8	22,2%
Mai 2018	12,5	14,7	17,9%
Jun 2018	10,0	10,5	5,4%
Jul 2018	16,9	17,4	2,8%
Aug 2018	19,1	16,7	-12,5%
Sep 2018	15,5	14,2	-8,6%
Okt 2018	14,5	12,7	-12,3%
Nov 2018	11,8	10,4	-11,6%
Dez 2018	8,8	10,2	16,5%

In der Jahressumme gibt es praktisch keine Abweichungen (nur 0,02%) zwischen der Baseline und den Messwerten, auf denen die Baseline basiert. Allerdings sind die monatlichen Abweichungen mit bis zu 22% nicht unerheblich. Beim Abgleich von Tabelle 4 mit Abbildung 16 fällt jedoch die

Systematik der Abweichung auf: In den Monaten, in denen die Lüftungsanlage nachts überwiegend lief, unterschätzt die Baseline die Realität. Zu den Zeitpunkten, zu denen die Lüftungsanlage nachts ausgeschaltet war, überschätzt die Baseline die Realität. Alles in allem sehen wir dies als Bestätigung für die Wirklichkeitsnachbildung unseres Modells an.

1.4.3 Strom- Einsparberechnung für Einsparzeiträume VN2 und VN3

Die nachfolgende Abbildung zeigt die gemessene Kälteleistung und die gemessene Ventilatorleistung über den gesamten Verlauf des ZVN2-Zeitraums (01.06.2019-30.09.2020).

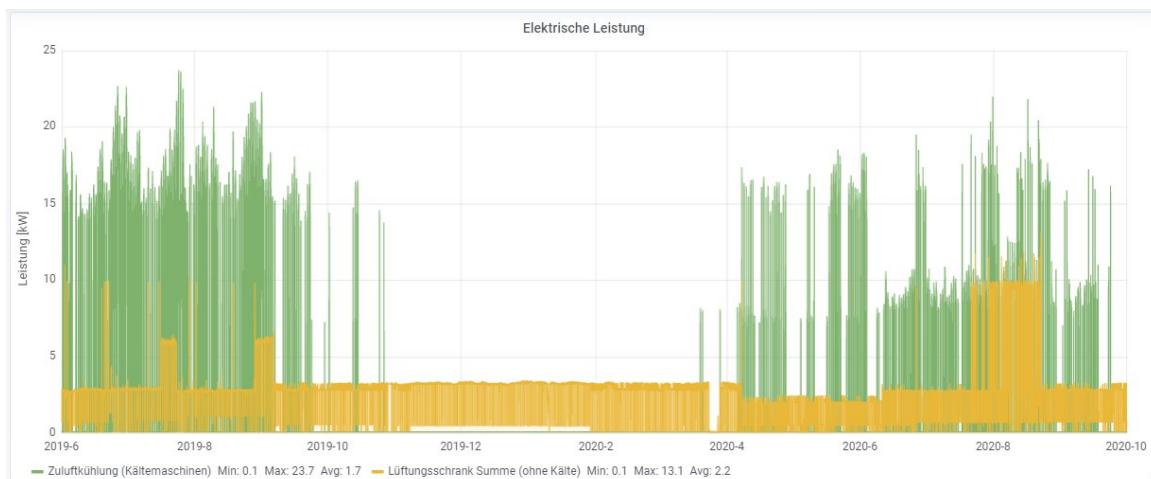


Abbildung 21: elektrische Ventilator- und Klimaanlagenleistung im ersten VN-Zeitraum (gelb: Ventilatoren, grün: Kälteleistung elektrisch)

In Abbildung 21 wird deutlich, dass die Ventilatoren nachts immer abgeschaltet waren oder aber auf Minimalbetrieb liefen, z.B. zur Nachtauskühlung. Nächtlicher Vollastbetrieb wie während der Baseline-Phase kam nicht mehr vor. Zudem konnten während der meisten Betriebspunkte die Luftmengen in etwa halbiert werden, wodurch sich auch der Tagverbrauch der Ventilatoren von 15 kW auf ca. 3 kW reduzierte (in erster Näherung wirkt sich eine Änderung der Luftmenge mit der dritten Potenz auf den elektrischen Leistungsbedarf der Ventilatoren aus). Dies erfolgte selbstverständlich unter Einhaltung aller Normen und Regularien wie z.B. Arbeitsstättenrichtlinien (insbesondere Küchentemperatur), Gaststättenbauverordnung (Luftwechsel) und VDI-Richtlinie 6022 (Küchenlufthygiene wie Überdruck und Luft-Abzug).

Die nachfolgende Darstellung zeigt den IST-Verbrauch und den Baseline-Verbrauch für den Einsparzeitraum 1.6.2019 bis 30.9.2020 (ZVN1), in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur.

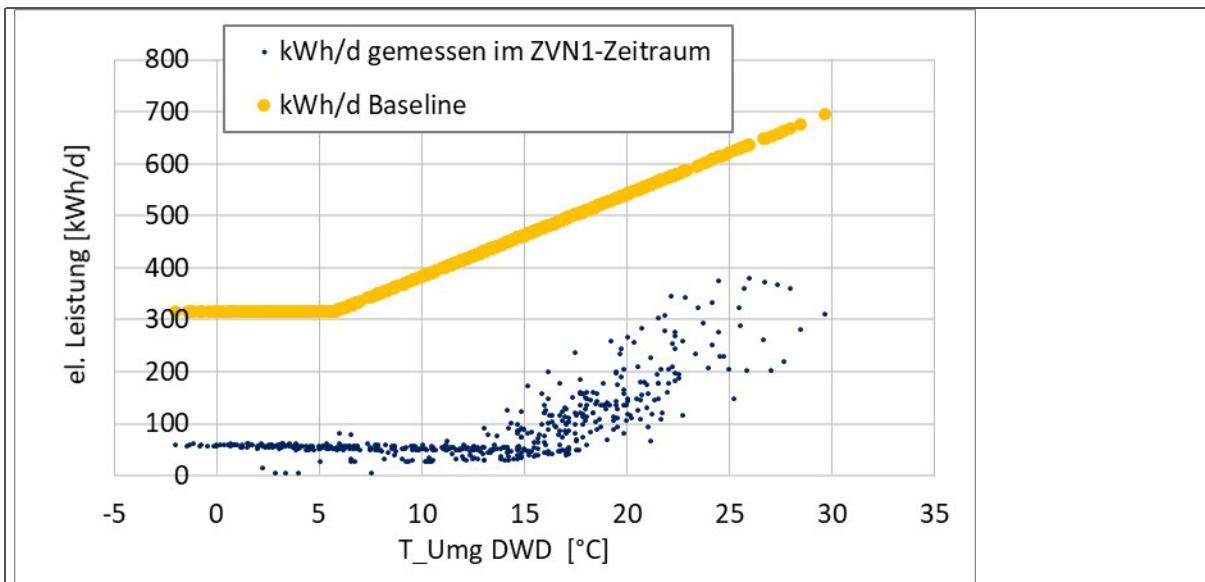


Abbildung 22: Baseline und Ist-Verbrauch für die ersten 15 Betriebsmonate nach Umsetzung der Effizienzmaßnahme

Aus Abbildung 22 wird deutlich, dass die Kühlflanke erst ab einer deutlich höheren Tagesdurchschnittstemperatur (ca. 13°C statt 6°C) ansteigt. Der Grund hierfür dürfte vorliegendes gleichzeitiges Heizen und Kühlen vor der Reglererneuerung sein. Auch in Abbildung 23 wird weiterhin die große Auswirkung der Reduktion der Luftmengen deutlich.

Die nachfolgende Tabelle stellt die Einsparungen für die ersten 15 Betriebsmonate (Einsparzeitraum ZVN2) dar.

Tabelle 5: Darstellung der Einsparungen für den Zeitraum des letzten ZVN (ZVN2) nach Korrektur des Baseline-Modells

	kWh/m gemessen	kWh/m Baseline	kWh Einsparung	% Einsparung	€ Einsparung
Jun. 19	6.089	16.063	9.974	62%	1'696 €
Jul. 19	5.899	16.841	10.942	65%	1'860 €
Aug. 19	4.996	16.610	11.614	70%	1'974 €
Sep. 19	2.758	13.685	10.927	80%	1'858 €
Okt. 19	1.720	12.653	10.934	86%	1'859 €
Nov. 19	1.671	9.994	8.323	83%	1'415 €
Dez. 19	1.775	10.160	8.385	83%	1'425 €
Jan. 20	1.768	10.058	8.291	82%	1'409 €
Feb. 20	1.494	9.684	8.189	85%	1'392 €
Mrz. 20	1.374	10.561	9.187	87%	1'562 €
Apr. 20	1.394	12.676	11.283	89%	1'918 €
Mai. 20	1.629	13.553	11.924	88%	2'027 €
Jun. 20	2.462	14.683	12.221	83%	2'078 €
Jul. 20	3.747	16.365	12.618	77%	2'145 €
Aug. 20	4.823	17.181	12.358	72%	2'101 €
Sep. 20	1.990	14.393	12.402	86%	2'108 €
Summe	45.588	215.159	169.571	79%	28'827 €

Analog errechnet sich die Stromeinsparung für das darauffolgende Förderjahr, also Okt. 2020 bis Sep. 2021. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

	kWh/m gemessen	kWh/m Baseline	kWh Einsparung	% Einsparung	€ Einsparung
Okt. 20	1.326	12.036	10.710	89%	1'821 €
Nov. 20	1.332	10.519	9.187	87%	1'562 €
Dez. 20	1.366	10.204	8.838	87%	1'502 €
Jan. 21	1.720	9.871	8.151	83%	1'386 €
Feb. 21	1.248	9.597	8.349	87%	1'419 €
Mrz. 21	1.455	10.501	9.046	86%	1'538 €
Apr. 21	1.376	10.617	9.242	87%	1'571 €
Mai. 21	1.520	12.173	10.653	88%	1'811 €
Jun. 21	3.762	15.887	12.125	76%	2'061 €
Jul. 21	1.535	14.685	13.150	90%	2'236 €
Aug. 21	1.284	14.225	12.941	91%	2'200 €
Sep. 21	1.296	14.247	12.951	91%	2'202 €
Summe	19.218	144.563	125.344	87%	21'309 €

1.4.4 Flüssiggas: korrigierte Baseline sowie Einsparung für Zeiträume ZVN2 und ZVN3

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Tankzeitpunkte und die Tankmengen für das Schnellrestaurant PLZ-66_S1 für die Jahre 2015 bis 2021. Auch bzgl. der benötigten Gasmengen zeigte sich eine erhebliche Energieeinsparung nach der Sanierung der Lüftungsanlage: Der Gasverbrauch reduziert sich von 39.000-48.000 Liter pro Jahr (2015-2018) auf 6.000-12.000 l/a (2020-2021). Hierbei ist zu erwähnen, dass für die Jahre 2015-2018 der Gasverbrauch für Warmwasser (also nicht Luftbeheizung) mit weniger als 1% des Gesamtverbrauchs abgeschätzt wurde, weswegen die Gas-Einsparungen vollständig dem optimierten Lüftungsbetrieb zugerechnet wurden.

Tabelle 6: Gasverbräuche des Schnellrestaurants von 2015 bis Okt. 2021

2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Tankdatum	Propan [l]	Tankdatum	Propan [l]	Tankdatum	Propan [l]	Tankdatum
06. Jan.	4'908	15. Jan.	4'408	18. Jan.	4'618	15. Jan.
26. Jan.	3'913	04. Feb.	3'922	03. Feb.	3'706	07. Feb.
20. Feb.	4'525	01. Mrz.	5'142	24. Feb.	4'296	01. Mrz.
17. Mrz.	4'511	01. Apr.	4'217	21. Mrz.	4'243	23. Mrz.
16. Apr.	3'626	24. Apr.	3'707	25. Apr.	5'540	04. Mai.
12. Mai.	2'480	01. Jun.	2'822	13. Jun.	5'015	14. Sep.
10. Jun.	2'988	04. Nov.	4'990	14. Jul.	3'095	18. Okt.
14. Aug.	1'812	02. Dez.	5'091	29. Aug.	5'101	09. Nov.
16. Sep.	2'043	30. Dez.	5'695	17. Okt.	2'769	28. Nov.
12. Okt.	3'209			20. Nov.	4'373	
10. Nov.	3'562			21. Dez.	5'404	
03. Dez.	2'973					
21. Dez.	3'036					
Liter / a	43'586	Liter / a	39'994	Liter / a	48'160	Liter / a
					39'297	Liter / a
					26'716	Liter / a
					5'619	Liter / a
						12'394

Der Baseline-Gasverbrauch wurde aus Tabelle 6 abgeleitet, indem jeweils der gemittelte Tagesverbrauch aus den abgerechneten Propan-Gas-Füllmengen und den jeweiligen Zeitintervallen zwischen zwei Betankungen für das Jahr 2018 ermittelt wurde. Dieser Tagesverbrauch in Litern wurde – aufgrund der installierten Brennwertheizung – mit dem oberen Heizwert von Butangas 50,33 MJ/kg sowie der Dichte 0,54 kg/l in einen energetischen Tagesverbrauch in kWh/d

umgerechnet. Dieser ist für die Baseline 2018 sowie den Einsparzeitraum (24.04.2019-3.12.2021) in der nachfolgenden Grafik abgebildet.

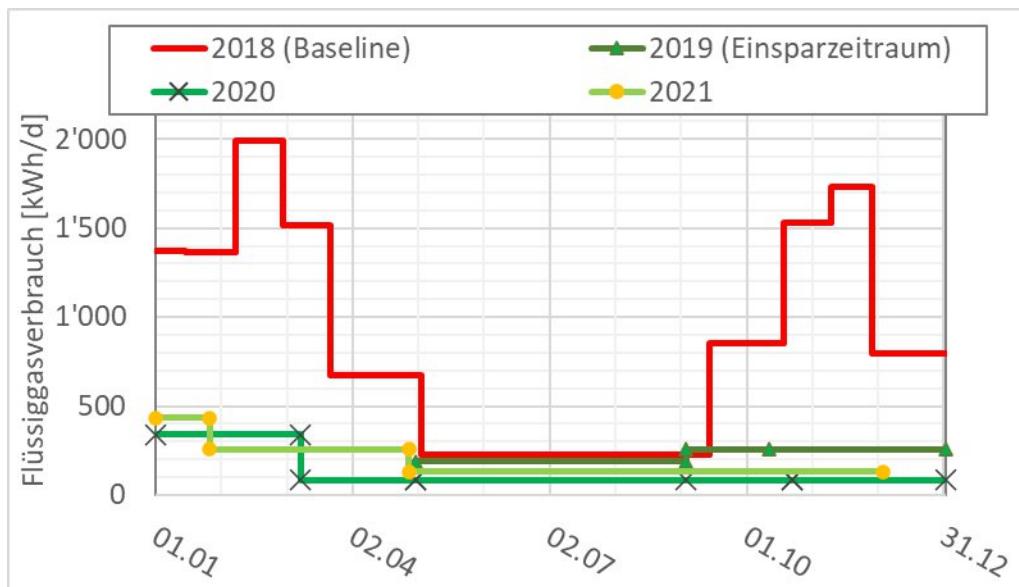


Abbildung 23: Baseline-Gasverbrauch (rot) und Verbräuche in der Einsparphase (grün) in kWh pro Tag

Technisch wurde die immense Reduktion des Gasverbrauchs durch ein Abstellen des gleichzeitigen Heizens und Kühlens, einen verbesserten Betrieb der Wärmerückgewinnung und die Reduktion der Luftmengen erreicht. Während der Corona-Zeit wurde zudem der Lüftungsbetrieb an die sich mehrfach ändernden Öffnungszeiten angepasst, was in Lüftungsanlagen von Schnellrestaurants nur selten vollzogen wurde und daher auch den Digitalisierungsmaßnahmen dieses Fördervorhabens zuzuschreiben ist.

Um die klimatischen Einflüsse auf den Heizbedarf detaillierter abzubilden, wurde nun, in diesem ZVN, das Gradtagszahlenmodell $G_{t20/15}$ nach VDI 2067 in Verwendung der Tagesdurchschnittstemperatur des DWD für die nächst gelegene DWD-Wetterstation in PLZ-66_S1 verwendet.

Dadurch verändert sich die Darstellung des Vergleichszustands aus Abbildung 23 folgendermaßen:

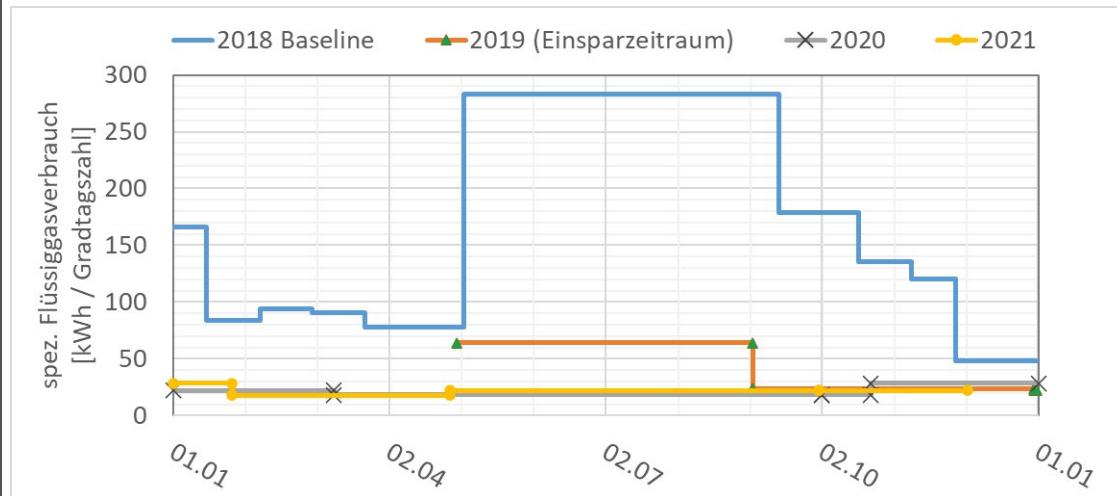


Abbildung 24: Baseline-Gasverbrauch (blau) und Verbräuche in der Einsparphase (gelb, orange, grau) in kWh pro

Gradtagszahl G_{t20/15} nach VDI 2067

Während in Abbildung 23 in der Baseline noch der jahreszeitlich typische geringere Sommerverbrauch ersichtlich ist, so zeigt sich in Abbildung 24, dass die saisontypische Sommerabsenkung nicht so deutlich ist, wie das Gradtagszahlenmodell dies unterstellt. Der Grund hierfür liegt darin, dass wir auch kurz vor Sanierung noch ein intensives gleichzeitiges Heizen und Kühlen feststellen mussten. Dagegen nach der Sanierung ist tatsächlich der Flüssiggasverbrauch relativ konstant bei 18-28 kWh/Gradtagszahl, was für die Eignung dieses Modells spricht.

Die Baseline für den Messzeitraum wird nun errechnet, indem der Gasverbrauch aus dem Jahr 2019 durch die Gradtagszahl des Jahres 2019 geteilt wird und mit der Gradtagszahl des Messzeitraums multipliziert wird. Die Einsparung ergibt sich sodann durch Differenzbildung zwischen der so errechneten Messzeitraum-Baseline und den Messwerten.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Gas-Einsparungen tabellarisch dargestellt.

Tabelle 7: Einsparungen im Gasverbrauch im Einsparzeitraum dieses Zwischenverwendungs nachweises (Mai 2019 – September 2020)

	Baseline-Zeitraum	Einsparzeitraum VN2	Einsparzeitraum VN3
Messzeitraum	01.01.2018 00:00	01.06.2019 00:00	01.10.2020 00:00
Messzeitraum Ende	31.12.2018 23:59	30.09.2020 23:59	30.09.2021 23:59
Dauer Messzeitraum [d]	365,0	519,0	365,0
Gradtagszahl G _{t20/15}	3130,1	3670,9	3786,2
Verbrauch [kWh/Messzeitraum]	308'591	95'212	87'151
Baseline [kWh/Messzeitraum]	308'591	361'917	373'280
Einsparung [kWh/Messzeitraum]	-	266'706	286'129
Gaspreis ESZ [ct/kWh]	7,00	7,00	7,00
Einsparung [€/Messzeitraum]	- €	18'669 €	20'029 €
Einsparung [%]	0%	74%	77%

1.5 Schnellrestaurant Nr. PLZ-84_S1 (PLZ Gebiet 84, Bayern) – Baseline und erreichte Einsparung

Im Schnellrestaurant PLZ-84_S1 lieferte messeffekt ein Energiemonitoring-System für eine Lüftungsanlage. Die Regelung der Anlage war von einem Dritten (Automatisierungstechniker) geliefert worden. Das Monitoring System wurde am 09.10.2019 in Betrieb gesetzt.

1.5.1 Baseline (Strom)

Bereits nach kurzer Betriebszeit fiel auf, dass die Lüftungsanlage bei untypisch kühlen (statt kalten) Temperaturen einen hohen elektrischen Bedarf hat, den wir auf Heizen zurückführen (ab etwa 9°C). Ebenso schien die Anlage bereits ab einer Umgebungstemperatur von 12°C zu kühlen, wie aus der nachfolgenden Abbildung ersichtlich wird.

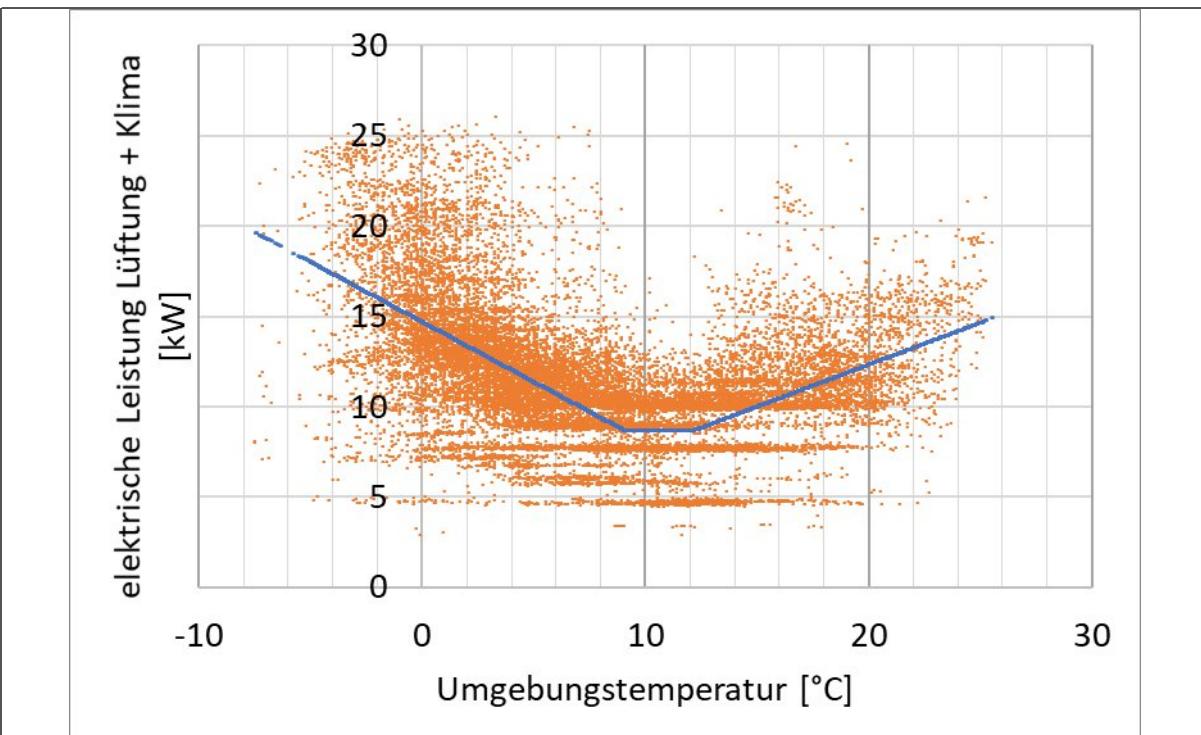


Abbildung 25: Tagleistungsverbrauch des System (Lüftungsanlage incl. zughörigen Luft-Luft-Wärmepumpen zum Heizen&Kühlen der Zuluft. Einzelmesswerte (orange Punkte) und abgeleitetes Baseline-Modell (blaue Linie), das durch die Einteilung in drei Geradenabschnitte 1.) Heizen, 2.) Kühlen und 3.) Weder-Heizen-Noch-Kühlen die zugrundeliegende Physik abbildet. Messzeitraum war 09.10.2019 bis 15.06.2020. Das Bestimmtheitsmaß R² beträgt 36%.

Bei näherer Analyse der Ursache für das intensive Heizen und Kühlen wurde auch hier ein Vertauschen der Wärmerückgewinnungsklappe (bzw. deren Antrieb) – perfekt analog zu oben beschriebenem PLZ-97_S1-Projekt – festgestellt. Dieser Fehler wurde am 16.06.2022 durch Signalaus tausch behoben.

Nachts war die Lüftungsanlage in der Baseline-Messungsphase abgeschaltet und wies Verbräuche von ca. 0,1 kW auf.

Nachfolgend ist das Baseline-Modell mathematisch beschrieben.

Wenn $P_{el_gemessen} < 1 \text{ kW}$ dann $P_{el_Baseline} = P_{el_gemessen}$

Wenn $P_{el_gemessen} \geq 1 \text{ kW}$, dann gilt:

$$\text{Für } T_{Umg} < 9,01^\circ\text{C}: \quad P_{el_Baseline} = -0,6636 * T_{Umg} + 14,696$$

$$\text{Für } 9,01^\circ\text{C} \leq T_{Umg} \leq 12,10^\circ\text{C}: \quad P_{el_Baseline} = 8,717 \text{ kW}$$

$$\text{Für } T_{Umg} > 12,10^\circ\text{C}: \quad P_{el_Baseline} = 0,4648 * T_{Umg} + 3,093$$

Angesichts der großen Streubreite in Abbildung 25 stellt sich natürlich die Frage, wie gut das Modell die Wirklichkeit abbildet. In der nachfolgenden Abbildung wurde ein Zeitintervall mit einer relativ großen Temperaturspreizung, insbesondere über die 3 Umgebungs-Temperaturbereiche (Heizen/Kühlen/WederNoch), gewählt, das aufzeigt, dass die Temperatur- und Tageszeitabhängigkeiten durch das Baseline-Modell gut abgebildet werden.

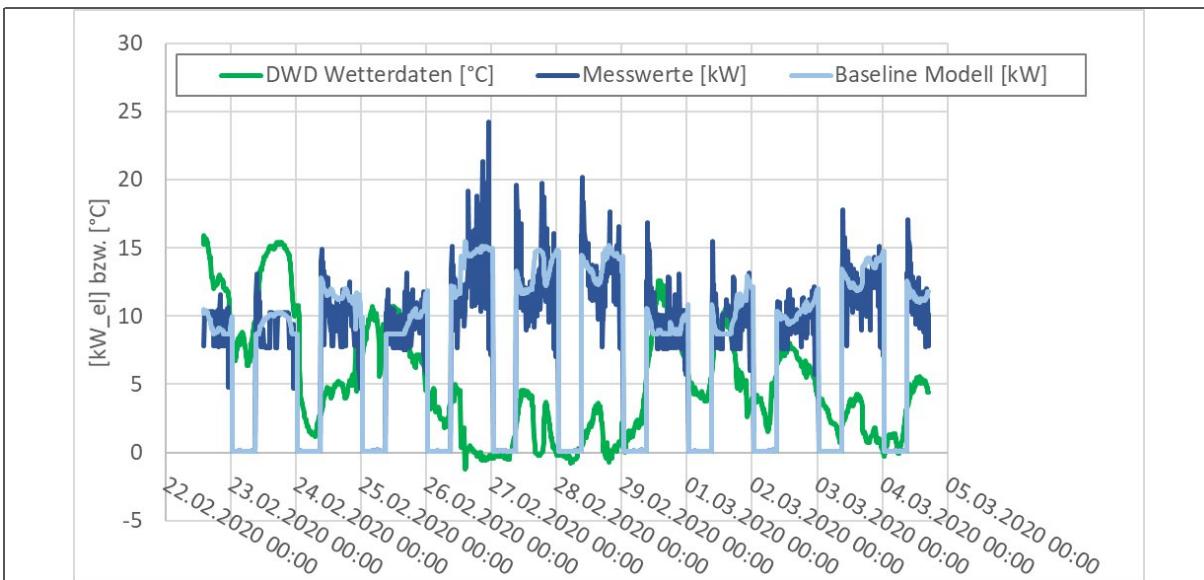


Abbildung 26: Baseline-Modell (hellblau) und zugrundeliegende Messwerte sowie Umgebungstemperatur (grün) als Zeitreihen

Aus der nachfolgenden Tabelle wird ersichtlich, dass die Abweichungen des Baseline-Modells von den zugrundeliegenden Messwerten je nach Monat zwischen -8% und +11% schwanken. Jedoch für den Gesamtzeitraum betragen die Abweichungen für den gesamten Baseline-Zeitraum lediglich 0,0001%, was wir als Bestätigung des Modells werten.

Tabelle 8: Gemessene Leistungen und Baselinewerte im Vergleich, nach Monaten

Zeitraum	kWh gemessen	kWh Baseline	Relative Abweichung Baseline von Messung
09.-31.10.2019	20'416	19'934	-2,4%
Nov 19	32'001	33'004	3,1%
Dez 19	38'451	36'473	-5,1%
Jan 20	41'074	37'849	-7,9%
Feb 20	30'575	31'818	4,1%
Mrz 20	32'585	33'309	2,2%
Apr 20	28'381	29'157	2,7%
Mai 20	29'426	29'596	0,6%
01.-15.06.2020	16'140	17'908	11,0%
Summe (09.10.2019- 15.06.2020)	269'050	269'048	-0,001%

1.5.2 Erreichte Einsparung in PLZ-84_S1 (Strom)

Zunächst stellen wir für den Einsparzeitraum (16.06.2020 bis 30.09.2021) nachfolgend die Temperaturabhängigen Leistungswerte im Abgleich mit der Baseline dar.

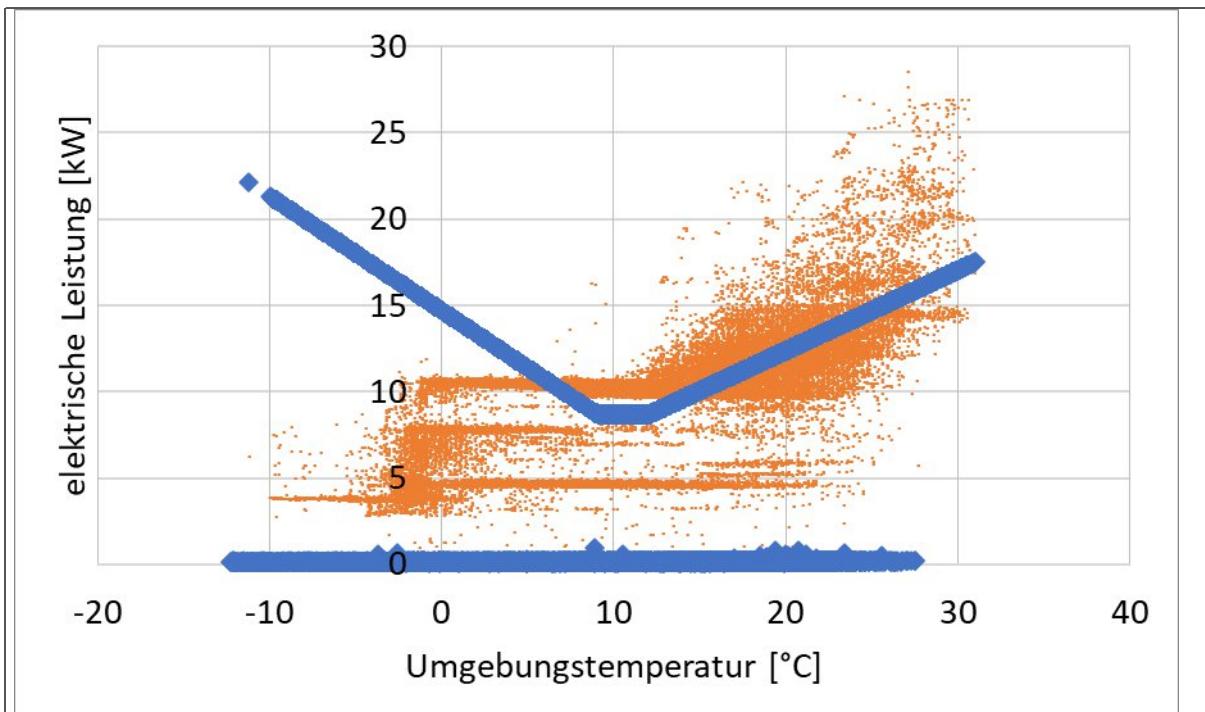


Abbildung 27: gemessene elektrische Leistungen im Einsparzeitraum (orange) im Abgleich mit der Baseline (blau)

Aus Abbildung 27 wird deutlich, dass nach der Korrektur der Wärmerückgewinnungsfunktion praktisch kein Wärmebedarf mehr von der Wärmepumpe benötigt wird, da die Wärmerückgewinnung die entsprechende Funktion übernimmt.

Nachfolgend wird die eingesparte Energiemenge nach Monaten dargestellt.

Tabelle 9: Erreichte Energieeinsparung in PLZ-84_S1, nach Monaten

Monat	Jahr	kWh gemessen	kWh Baseline	kWh gespart	EUR gespart	relativ gespart
6	2020	2'739	3'184	445	76 €	14%
7	2020	5'672	5'908	236	40 €	4%
8	2020	6'090	5'956	-	23 €	-2%
9	2020	4'888	5'182	295	50 €	6%
10	2020	4'846	5'012	166	28 €	3%
11	2020	2'691	5'816	3'124	531 €	54%
12	2020	3'202	6'470	3'268	555 €	51%
1	2021	2'684	6'042	3'358	571 €	56%
2	2021	3'125	4'464	1'339	228 €	30%
3	2021	4'309	5'190	881	150 €	17%
4	2021	4'238	4'676	437	74 €	9%
5	2021	4'381	4'252	-	22 €	-3%
6	2021	4'719	5'027	307	52 €	6%
7	2021	4'753	4'858	106	18 €	2%
8	2021	5'172	4'619	-	94 €	-12%
9	2021	4'892	4'655	-	40 €	-5%
Summe		68'401	81'311	12'909	2'195 €	16%

In Summe konnten durch die Korrektur der Wärmerückgewinnung also 16% elektrische Energie eingespart werden. Die höchsten Einsparungen ergeben sich in den heizintensiven kalten Monaten des Jahres. Sommers ergeben sich teils sogar geringfügig negative Einsparungen. Der Grund hierfür dürfte darin liegen, dass der Baseline-Zeitraum keine Temperaturen oberhalb 26°C enthielt und daher den Temperaturbereich warmer Temperaturen nicht adäquat abbildet sondern den Leistungsbedarf hier unterschätzt. Im Einsparzeitraum lagen dagegen die Temperaturen bei bis zu 32°C. Gerade für die Temperaturen oberhalb 20°C zeigt sich sowohl im Einsparzeitraum (Abbildung 27) wie auch im Baseline-Zeitraum (Abbildung 25), dass die Baseline die Leistung bei warmen Temperaturen unterschätzt.

1.6 Zusammenfassung: Erreichte Einsparung für alle Projekte aus VN2 und VN3

Die nachfolgende Tabelle fasst die Ergebnisse dieses Kapitels 7 und die daraus abgeleitete Vergütungshöhe für die Leistungskomponente zusammen:

Tabelle 10: Erreichte Einsparung für alle Endkundenprojekte aus VN2 und VN3 (Gas à 7 ct/kWh, Strom à 17 ct/kWh)

Projekt	Eingesparter Energieträger	Einsparzeitraum	Ergebnis aus:	Einsparung [kWh]	Einsparung [€]
PLZ-66_S1	Strom	ZVN2 (01.06.2019-30.09.2020)	ZVN3	169.571	28.827 €
PLZ-66_S1	Strom	ZVN3 (01.10.2020-30.09.2021)	ZVN3	125.344	21.309 €
PLZ-66_S1	Gas	ZVN2 (01.06.2019-30.09.2020)	ZVN3	266.706	18.669 €
PLZ-66_S1	Gas	ZVN3 (01.10.2020-30.09.2021)	ZVN3	286.129	20.029 €
PLZ-94_S1	Strom	ZVN2 (20.12.2019-30.09.2021)	ZVN2	15.070	2.562 €
BAFA Bescheid	Strom	ZVN2 (BAFA-anerkannt)	ZVN2	- 130.488	- 22.183 €
BAFA Bescheid	Gas	ZVN2 (BAFA-anerkannt)	ZVN2	-	- €
PLZ-94_S1	Strom	ZVN3 (01.10.2020-30.09.2021)	ZVN3	28.136	4.784 €
PLZ-89_S1	Strom	ZVN3 (16.12.2020-30.09.2021)	ZVN3	43.693	7.428 €
PLZ-97_S1	Strom	ZVN3 (19.02.2021-30.09.2021)	ZVN3	25.405	4.319 €
PLZ-84_S1	Strom	ZVN3 (16.06.2020-30.09.2921)	ZVN3	12.909	2.195 €
Summe	alle	ZVN2	ZVN2 + ZVN3		50.058 €
Summe	alle	ZVN3	ZVN3		60.064 €
Summe	Strom	ZVN2 + ZVN3 abzgl. BAFA-Anerkennung-	ZVN2 + ZVN3	289.640	49.241 €
Summe	Gas	ZVN2 + ZVN3 abzgl. BAFA-Anerkennung-	ZVN2 + ZVN3	552.835	38.698 €
Summe	alle	beantragte Leistungs-komponente ZVN3 (=49.805+38.698)	ZVN2 + ZVN3		87.939 €

Folglich ergibt sich aus den obigen Darstellungen incl. der Korrektur der Darstellungen aus dem ZVN2 sowie der bereits erfolgten Teilanerkennung der ZVN2-Einsparungen durch das BAFA ein Auszahlungsanspruch für die Leistungskomponente für diesen Zwischenverwendungsnachweis in Höhe von 87.939 €.