

## Schlussbericht

Projekttitel: Entwicklung und Marktdemonstration eines mobilen Mess- und Analysesystems zur Effizienz-Optimierung von Raum-Luft-technischen Anlagen (OptiLuft)



Projektrahmen: Förderung durch den badenova Innovationsfonds (Proj.Nr. 2018-05)  
Projektpartner: messeffekt GmbH (Projektleitung), badenova AG & Co. KG  
Berichtsdatum: 31.03.2020  
Projektlaufzeit: 01.05.2018 – 15.03.2020  
Verfasser des Berichts: Dr.-Ing. Gabriel Morin, Dr.-Ing. Anton Neuhäuser (messeffekt),  
Dipl.-Ing. Michael Schmid (badenova)

## **Inhaltsverzeichnis:**

<b>1</b>	<b>Ausgangssituation, Motivation für das Projekt und Projektziele</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Projektverlauf</b> .....	<b>3</b>
2.1	Neu hinzugekommener Projektpartner: badenova Energiedienstleistungen .....	3
2.2	Umgesetzte Kundenprojekte und Geschäftsmodelle .....	4
<b>3</b>	<b>Technologieentwicklung im Projekt</b> .....	<b>7</b>
3.1	Datenspeicherung und -visualisierung in einer Cloud-Datenbank .....	7
3.2	Lüftungsmessboxen (Temperatur, Druck, Feuchte) .....	8
3.3	Lüftungs-Messsystem .....	9
<b>4</b>	<b>Verwendungsnachweis</b> .....	<b>10</b>
4.1	Kofinanzierung eines Teils der Arbeiten durch eine Bundesförderung .....	10
4.2	Darstellung der Kosten im Abgleich zur Förderbewilligung .....	10
<b>5</b>	<b>Anhang – Beispielbericht Messanalyse Lüftungsanlage mit Handlungsempfehlungen</b> .....	<b>11</b>

# 1 Ausgangssituation, Motivation für das Projekt und Projektziele

Motiviert durch einen Bedarf für eigene Mess-Aufgaben und die „Notlage“, dass kein Mess-System für zeiteffiziente Energieverbrauchsmessungen am Markt verfügbar war, entschlossen sich 2015 die beiden Gründer der messeffekt GmbH, Dr.-Ing. Anton Neuhäuser und Dr.-Ing. Gabriel Morin, diese Marktlücke durch eine eigene Technologieentwicklung zu schließen. Nach einer Initialförderung der Geschäftsidee durch die Fraunhofer-Gesellschaft, dem früheren Arbeitgeber der beiden Gründer, wurde 2017 die messeffekt GmbH gegründet. Geschäft der messeffekt GmbH ist es, mit der eigens entwickelten Messtechnik Mess-Dienstleistungen für Industrie und Gewerbe anzubieten. Weiterführende Beratungen runden die Dienstleistung ab. Zudem ist die Lieferung von Messsystemen – unter anderem auch in Verbindung mit eigenen Steuerungslösungen – ein weiteres Geschäftsfeld der messeffekt GmbH. Der technologische Fokus der messeffekt GmbH hat sich früh auf die Lüftungstechnik konzentriert, da hier große Einsparpotenziale liegen, die aber nur mit geeigneten und bislang am Markt nicht verfügbaren Messmethoden aufgedeckt werden können.

Zu Beginn des Projekts hatte messeffekt zwar bereits Methoden zu messtechnischen Analyse von Lüftungsanlagen entwickelt. Allerdings waren diese sehr zeitaufwändig. Die Auswertung von Messdaten, deren Extrapolation zur Generierung von Aussagen zu Langzeit-Energieverbräuchen sowie die Entwicklung und die betriebswirtschaftliche Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen waren sehr zeitaufwändig und somit nicht zu attraktiven Preisen als Dienstleistung anzubieten.

Ziel des Projekts war es daher, die Methoden, die Messtechnik (Hard- und Software), sowie die Geschäftsmodelle weiterzuentwickeln. Außerdem sollte, das zu entwickelnde Messsystem für Dritte voll nutzbar gemacht werden, um so einen größeren Anwenderkreis für Kauf oder Miete des Messsystems zu erreichen.

## 2 Projektverlauf

### 2.1 Neu hinzugekommener Projektpartner: badenova Energiedienstleistungen

In der ursprünglichen Projektplanung waren die Firmen PSE AG bzw. dessen Software-Spin-Off-Unternehmen Mondas GmbH sowie solares bauen GmbH als Projektpartner eingeplant. Aufgrund teilweise überlappender Geschäftsfelder haben beide Unternehmen schon vor Projektbeginn bereits das Risiko gesehen, dass die offene Kommunikation, die für eine effiziente Kooperation als notwendig erachtet wurde, aus wettbewerblichen Gründen in unproduktiver Form eingeschränkt werden könnte. Folglich haben sich beide Unternehmen schon zu Projektbeginn entschieden, sich aus dem Vorhaben zurückzuziehen.

Die der PSE AG zugedachte Rolle war die Software-Entwicklung. Da messeffekt softwareseitig eigene Entwicklungspfade eingeschlagen hat und die Software-Entwicklungsziele unternehmensintern bearbeitet, war das Ausscheiden des Partners PSE bzw. mondas verkraftbar. Die Rolle von solares bauen als messeffekt-externen Anwender der Messsystementwicklungen hat – nach einem Wechsel im Projektkonsortium – der Bereich Energiedienstleistungen des badenova-Geschäftsfelds Markt und Energiedienstleistungen übernommen, zumal auch badenova einen großen Bedarf an Expertise und Werkzeugen zur energetischen Analyse und Optimierung von Lüftungsanlagen sieht. Während der ursprüngliche Anwendungspartner solares bauen großen Wert auf die eigenständige Durchführung von Messungen bei seinen Kunden gelegt hatte, so präferieren die Kollegen von badenova, die Messung durch messeffekt als Messdienstleister durchführen zu lassen.

badenova konnten aus ihrem Kundenkreis zwei Projekte zur Betriebsanalyse von Lüftungsanlagen beitragen. Das Innovationsfonds-Projekt hat so als Katalysator gewirkt. Auch zukünftig soll die Zusammenarbeit zwischen der messeffekt GmbH und dem badenova Geschäftsfeld Markt & Energiedienstleistungen fortgesetzt werden.

Da sich messeffekt nicht allein auf die Technologieentwicklung konzentriert, sondern auch eigene Kunden akquiriert, konnte über eine Vielzahl an Kundenprojekten der Anwendungsbezug im Projekt sichergestellt werden.

## 2.2 Umgesetzte Kundenprojekte und Geschäftsmodelle

Projektziel war es, die Messsystem-Technologieentwicklungen des Projekts anhand von 4-5 Endkundenprojekten unter Beweis zu stellen. Dieses Projektziel wurde bei weitem übertroffen, wie die nachfolgende Tabelle zeigt.

Auftrag	Kunde /Branche	Anwendung	Lieferzeitpunkt
Messdienstleistung	Pharmaunternehmen, Müllheim	Reinraumlüftung	Aug.-Sep. 2018
Messdienstleistung	Schnell-Restaurant, Waiblingen	Restaurant-Lüftung	Okt. 2018
Messdienstleistung	Schnell-Restaurant Burger King Beispielbericht im Anhang	Restaurant-Lüftung	Okt.-Nov. 2018
Messdienstleistung	Gemeinde Ebringen	Mehrzweckhalle Lüftung	Nov.-Dez. 2018
Messdienstleistung	Schnellrestaurant, Mannheim	Restaurant-Lüftung	Jan.-Feb. 2019
Messdienstleistung	KFC-Schnellrestaurant, Saarbrücken	Restaurant-Lüftung	Feb.-Mai 2019
Verkauf v. Messsystem	ITG mbH & Co.KG	(beliebig)	März 2019
Messdienstleistung	ITG / ChemCon	Reinraum- und Laborlüftung	März 2019- März 2020
Verkauf v. Messsystem, Lüftungssteuerung, 5a Betriebsdaten-Monitoring	KFC-Schnellrestaurant, Saarbrücken	Restaurant-Lüftung	Mai 2019
Verkauf v. Messsystem für dauerhaften Einsatz	Schnellrestaurant in Ober-Bayern	Restaurant-Lüftung	November 2019
Verkauf v. Messsystem für dauerhaften Einsatz	Schnellrestaurant in Sachsen-Anhalt	Restaurant-Lüftung	November 2019
Messdienstleistung	2 Schnellrestaurants in München	Restaurant-Lüftung	Nov-Dez. 2019
Verkauf v. Messsystem für dauerhaften Einsatz	Schnellrestaurant Restaurant in Nieder-Bayern	Restaurant-Lüftung	Dezember 2019
Verkauf v. Messsystem	Forschungsinstitut Freiburg	(beliebig)	Januar 2020
Verkauf v. Messsystem für dauerhaften Einsatz	Pharma-Entwickler und -Hersteller in Freiburg	Reinraum- und Laborlüftung	März 2020

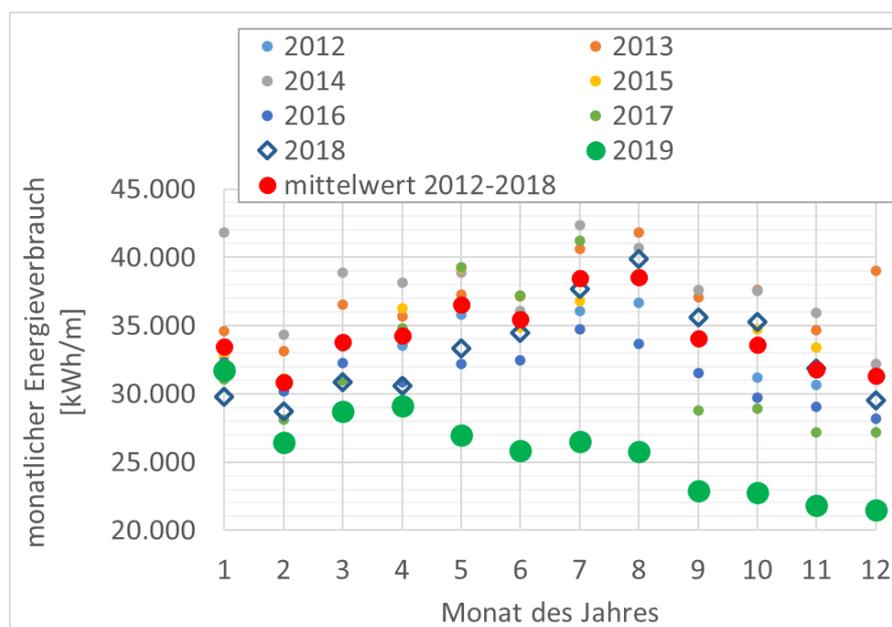
Mit insgesamt 14 (statt 4-5) Messeinsätzen liegt die Zahl deutlich über den Zielen. Besonders erfreulich ist darüber hinaus, dass das Messsystem nicht nur in Form von Messdienstleistungen eingesetzt wurde, sondern dass zudem bereits zwei mobile Messsysteme und fünf stationäre Messsysteme verkauft werden konnten. Selbstverständlich stellt die Verkaufsfähigkeit deutlich höhere Anforderungen an die Qualität und Nutzbarkeit des Messsystems als die Durchführung von Messdienstleistungen.

Zwei wesentliche Trends ergaben sich im Projektverlauf. Im Projektverlauf wurde deutlich, dass sich mit dem mobilen Messsystem zwei neue Geschäftsfelder für die messeffekt GmbH ergeben haben: erstens die dauerhafte Überwachung des Lüftungsbetriebs – als Technologielieferant und ggf. ergänzend als Dienstleistung Anlagenüberwachung – und zweitens die Erweiterung auf die Steuerungslösungen.

In allen in der obigen Tabelle aufgelisteten Messprojekten bzw. Lüftungsanlagen lagen die Einsparpotenziale, die durch die Messungen identifiziert wurden, bei mehr als 10.000 € pro Jahr. Eine Ausnahme dabei stellte lediglich eine Lüftungsanlage dar, bei der sich herausstellte, dass die Laufzeiten deutlich geringer sind, als ursprünglich erwartet (Schönberghalle Ebringen), da dort die Lüftungsanlage nur bei Großveranstaltungen ca. 5 Mal pro Jahr für ca. 8h angeschaltet wird. In all diesen Fällen hoher Einsparmöglichkeiten waren diese Einsparungen mit gering-investiven Maßnahmen wie Änderungen in den Einstellungen der Steuerung oder Ersatz der Steuerung realisierbar. Lediglich in einem Fall empfahlen wir aufgrund des hohen Anlagenalters (20 a) und des desolaten Anlagenzustands den Ersatz der Anlage (wobei auch hier mit gering-investiven Maßnahmen erhebliche Verbesserungen möglich gewesen wären).

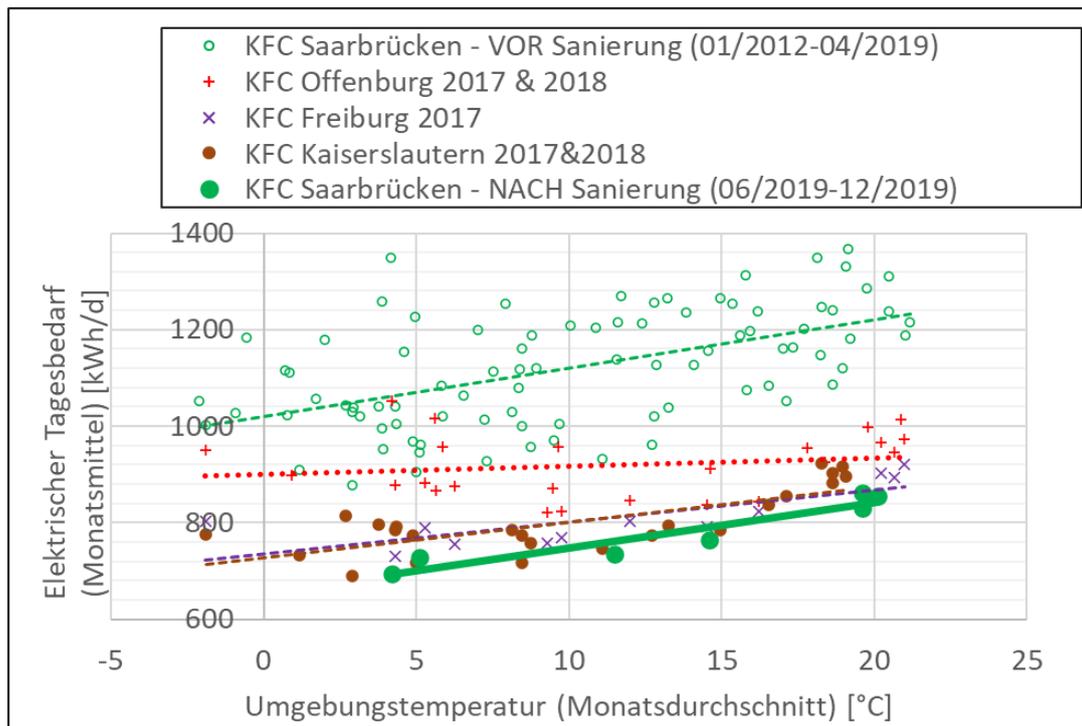
Neben der strategischen Erweiterung des Geschäftsfeldes der messeffekt GmbH auf die stationären Messungen zeigte sich auch, dass sich für die Kunden ein großer Mehrwert nicht nur durch Aufzeigen der Potenziale darstellen lässt, sondern dass es naheliegend ist, das Systemverständnis, das durch die Messanalysen generiert wird, direkt auch in Form verbesserter oder aber komplett neuer Steuerungslösungen den Kunden anzubieten.

In diesem Kontext ersetzte messeffekt im Mai 2019 die Steuerung der Lüftungsanlage in einem KFC-Schnell-Restaurant in Saarbrücken. Die nachfolgende Abbildung zeigt die monatlich abgerechneten Stromverbräuche des KFC Saarbrücken über die letzten Jahre.



**Abbildung 1: monatliche Stromverbräuche KFC Saarbrücken 2012-2019. In den Monaten nach der Sanierung, also Juni 2019 bis Dezember 2019 lag der Stromverbrauch um 30% niedriger, was einer monatlichen Einsparung von 1.630 € und einer jährlichen Energieeinsparung von 20.000 €/a entspricht.**

Erwähnenswert ist auch, dass der KFC Saarbrücken nach der Sanierung der energieeffizienteste KFC im Vergleich der vier vom Franchisenehmer betriebenen und vom Gebäudetyp/Umsatz vergleichbaren Restaurants war:



**Abbildung 2: Seit der Sanierung ist KFC Saarbrücken der Standort mit den geringsten Stromverbräuchen. Vergleichen wurden nur Restaurants mit ähnlichen Jahresumsätzen und ähnlichem oder gleichen Gebäudetyp.**

Während die elektrischen Verbräuche des KFC Saarbrücken vor der Sanierung mit Abstand am höchsten lagen (grüne Kreise), ist der Standort-Verbrauch seit der Sanierung nun am niedrigsten (grüne Punkte) – und dies, obwohl die Lüftungs- und Klimatechnik mit bereits 16 Jahren am ältesten ist und nicht gerade durch beste Komponenteneffizienzen glänzt (getaktete Kältemaschine statt regelbare Leistung, mittelmäßig effiziente Ventilatoren mit Riemenantrieb mit 52% statt 75% Wirkungsgrad). Die Sanierung hat dem Restaurant-Betreiber aber die Investition in eine 3 mal teurere neue Lüftungsanlage vermieden.

Auch die Gaseinsparungen, die sich durch die verbesserte Steuerung der Zuluftbeheizung ergab, wurde für den bis dahin vorliegenden Teil der Heizmonate, nämlich September bis Dezember, ausgewertet. Der durchschnittliche Tagesverbrauch an Flüssiggas konnte von 2019 (nach der Sanierung) zu 2018 (vor der Sanierung) um genau 80% bzw. um 71 €/Tag oder 2160 €/Monat reduziert werden. Das Ergebnis ist deshalb umso erfreulicher, da die Tagesdurchschnittstemperatur im 2019er-Zeitraum mit 8,7°C kühler war als im Vorjahr, mit 10,5°C. Das heißt die Einsparungen liegen – bei vergleichbaren Umgebungstemperaturen – sogar bei über 80%. Dass auch beim Gasverbrauch erhebliche Einsparungen vorliegen, ist deswegen nicht ganz verwunderlich, da wir vor der Sanierung im Mai 2019 noch eine erhebliche Intensität des gleichzeitigen Heizens und Kühlens gemessen hatten. Auch für die Sommermonate ist eine Gaseinsparung vorhanden, die allerdings noch nicht quantifiziert konnte, da eine Betankung des gesamten Sommerzeitraums (entgegen der früheren Verhältnisse) 2019 nicht nötig war.

Insofern liegt die Summe der erreichten Einsparungen in den betrachteten Zeiträumen bei 1.630 €/Monat für Strom und bei 2160 €/Monat für Gas, in Summe also etwa 3.800 €/Monat. Sollten diese Verhältnisse für das gesamte Jahr gelten (was denkbar ist, aber noch nachzuweisen ist), so lägen damit die Einsparungen durch die verbesserte Steuerung bei ca. 45.000 € pro Jahr.

Neben den großen Einsparungen ist zu erwähnen, dass die bis dahin schlechten Raumklimaverhältnisse durch die neue Steuerung gelöst waren, selbstverständlich unter Einhaltung aller regulatorischer Vorschriften.

Die beiden neuesten Messungen an zwei Schnell-Restaurant-Standorten in München in obiger Tabelle ergaben sich als Folgeauftrag bzw. Empfehlung aus dem erfolgreichen Projekt bei KFC Saarbrücken. Hierbei galt es, zunächst unter 8 im Raum München liegenden Restaurants anhand der Lastgangdaten (15 Minuten-Werte des Stromverbrauchs über 2018) die beiden Standorte herauszusuchen, bei denen das größte Einsparpotenzial im Lüftungsbereich vermutet wird. Anschließend wurde dieses Potenzial mit einer Messung bestätigt und weiter konkretisiert, um ggf. – sodann im dritten Schritt – die Potenziale auch umzusetzen. Die Lastgangdaten-Analyse bestätigte, dass die beiden Restaurants mit den größten Verbräuchen auffällig hohe Nachtverbräuche aufwiesen. Die Messungen bestätigten, dass in beiden Restaurants die Lüftungsanlagen nachts durchlaufen, obwohl die Restaurants geschlossen sind und die Anlagen ausgeschaltet sein müssten. Weitere gering-investive Verbesserungspotenziale hinsichtlich Wartung und Betriebsführung wurden identifiziert.

In der Folge dieses Projekts wurde sodann gemeinsam mit entsprechenden Unternehmenseinheiten der badenova entschieden, einen neuen Innovationsfonds-Förderantrag zu stellen, der darauf abzielt, die bei badenova vorhandenen Lastgangdaten zu nutzen, um neue Geschäftsmodelle für Energieeffizienzdienstleistungen – mit Fokus auf geringinvestive Maßnahmen der Betriebsoptimierung – strategisch zu entwickeln.

### 3 Technologieentwicklung im Projekt

#### 3.1 Datenspeicherung und -visualisierung in einer Cloud-Datenbank

Die Messdaten, die früher in unterschiedlichen Datenformaten bei unterschiedlichen Cloud-Service-Providern gesammelt wurden, um anschließend in Microsoft-Excel ausgewertet zu werden (Stand vor der Innovationsfonds-Förderung), wurden nun erstmals in einer einzelnen Cloud-Datenbank direkt gesammelt. Mit einer grafischen Benutzeroberfläche können die Daten direkt im Web-Browser visualisiert werden und bei Bedarf auch exportiert werden, um sie beispielsweise in Microsoft-Excel tiefergehend auszuwerten. Auch Berechnungen und Datenanalysen sind in der neuen Daten-Plattform möglich. Die nachfolgende Grafik zeigt beispielhaft Messdaten einer Lüftungsanlage.

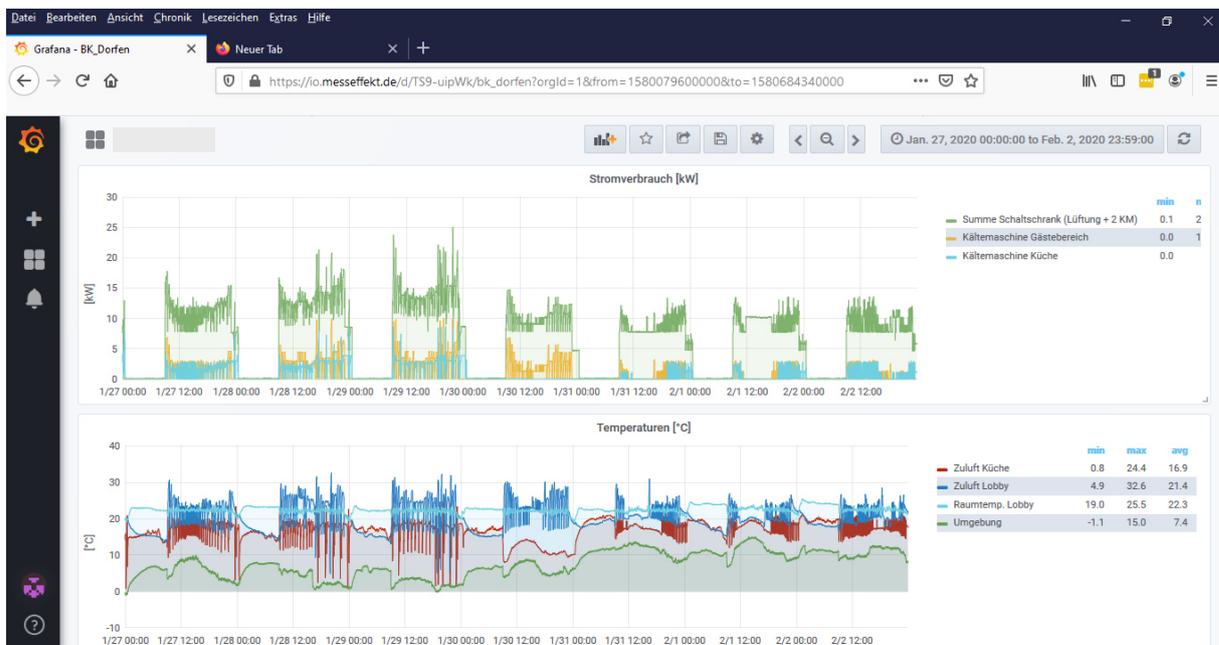


Abbildung 3: Screenshot der von messeffekt entwickelten Benutzeroberfläche

Die graphische Benutzeroberfläche vereinfacht und beschleunigt das Datenauswerten enorm, zumal komfortable Funktionen wie Zoom oder Datenauswahl gegeben sind. Auch durch die Programmierung von Datenauswerteregeln (wie z.B. die automatische Berechnung von Wärmemengen, Differenzdrücken aus Absolutdrücken, Kalibrierfunktionen und weiterem) wird das Datenauswerten entscheidend beschleunigt.

Die neue Datenaufzeichnungs-Software erlaubt zudem die Einrichtung von Alarmen, die z.B. so konfiguriert werden können, dass der Messende bei Messgerätausfall darüber benachrichtigt wird. Auch komplexere Alarmierungsregeln können definiert werden. Dies und weitere Software-Charakteristika – wie beispielsweise die erfolgte Programmierung von technischen Regeln und Berechnungen zur Qualifizierung des „OK-Zustands“ – erlauben den Einsatz der Software nicht nur für die mobile Anwendung sondern auch für die dauerhafte Überwachung von Lüftungsanlagen. Im Kontext des Projekts konnten so nun insgesamt auch 5 Messsysteme für den dauerhaften Einsatz in Lüftungsanlagen verkauft werden, die nun den Anlagenbetrieb überwachen und insgesamt schon dazu geführt haben, dass Energie-Einsparpotenziale von insgesamt etwa 75.000 € pro Jahr aufgedeckt und sogar schon umgesetzt werden. Zudem konnten die Messsysteme auch dazu beitragen, die Funktion der Lüftungsanlagen (Raumtemperaturen bzw. Überdruck in einem Reinraum) zu überwachen und – vor allem – zu verbessern.

### 3.2 Lüftungsmessboxen (Temperatur, Druck, Feuchte)

Die bisherigen von messeffekt entwickelten Lüftungs-Messboxen waren so ausgeführt, dass in einer einzigen Box à 10x5x3cm die komplette Sensorik (Temperatur, Druck, Feuchte), die Energieversorgung (Akkus) sowie die für die Datenspeicherung und WLAN-Datenübertragung notwendigen Komponenten verbaut waren. Im Rahmen des Vorhabens OptiLuft konnte nun eine neue Messbox entwickelt werden, die als zusätzliche Messgröße noch die Luftqualität (Volatile Organische Luftbestandteile) erfasst. Weiterhin erlaubt die Box optional Batterie- oder Netzbetrieb. Weitere Verbesserungen betreffen die höhere Flexibilität bzgl. des Zugangs zu schwer erreichbaren Messstellen durch einen abgesetzten Temperatursensor und die Anschlussfähigkeit zusätzlicher Sensoren zur Erfassung von z.B. Stellsignalen, Schwingungen oder weiteren Temperaturen. Auch ist optional der elektrische Anschluss möglich, so dass bei Bedarf über die

2 Wochen Batterielaufzeit hinaus gemessen werden kann. Für diese neue Messbox konnte messeffekt im Rahmen des OptiLuft-Vorhabens die CE Kennzeichnung, die Voraussetzung für den Marktzugang ist, erreicht werden, u.a. unter Einbindung/Beauftragung eines externen Prüflabors. Die nachfolgende Abbildung zeigt diese neue entwickelte Messbox.



**Abbildung 4: von messeffekt entwickelte Messbox zur Erfassung der Luftparameter. Der abgesetzte Sensor erlaubt eine Messposition unabhängig von der Box-Position z.B. bei beengten Messpositionen wie Bohrungen in Lüftungskanälen. Zusätzlich zum Batteriebetrieb ist eine externe Stromversorgung für eine Dauermessung (oben an der Box) möglich.**

Während des Vorhabens konnten bereits insgesamt 22 derartige Messboxen an insgesamt 3 Kunden verkauft werden. Darüber hinaus setzt messeffekt die Boxen selbst in eigenen Messprojekten ein. Im März 2020 hat messeffekt einen Messauftrag zur Quantifizierung des Lüftungsparks in einem Produktionsunternehmen (Folienherstellung) bekommen, bei dem 19 weitere derartige Messboxen (im Eigentum von messeffekt) eingesetzt werden. (Messdurchführung wurde Corona-bedingt verschoben.)

### 3.3 Lüftungs-Messsystem

Im Projektverlauf wurden weitere physikalische Messgrößen bzw. Messgeräte in das Messsystem integriert. So kann nun beispielsweise auch der Luftvolumenstrom oder ein Flüssigkeits-Volumenstrommesser (Ultraschallverfahren) zur Messung der Heiz- und Kühlwärmemengen kontinuierlich erfasst werden.

Nach heutigem Stand der Technik können so erfasst werden:

- Elektrische Leistungen (Ventilatoren)
- Thermische Leistungen (Heizung und Kühlung) über Wasser- oder Luftvolumenströme
- Luft-Temperatur, -feuchte, -druck -> und somit die spezifische Enthalpie von Luft für energetische Berechnungen
- Wassertemperaturen (für Wärmemengenberechnungen oder für qualitative Analysen zum Betrieb von Heiz- und Kühlanlagen)
- Weitere Messgrößen können bei Bedarf in das Messsystem integriert werden.

Ein im Projekt entwickeltes RLT-Messsystem – mit allen vorgenannten Messgeräten – wurde an die Infrastrukturträgergesellschaft mbH & Co.KG (ITG) verkauft. Die ITG setzt dieses Messsystem fünf Jahre lang für die Dauer von jeweils einem „Messjahr“ bei unterschiedlichen Kunden ein. Der erste Kunde ist die ChemCon GmbH im Freiburger Industriegebiet Nord, wo das System eingerichtet und abgenommen wurde. Die Abnahme des Messsystems durch die ITG fand am 19. März 2019 statt. Am 12. März 2020 wurde das Messsystem wieder ausgebaut, um dieses im April sodann für das zweite Messjahr im Schnell-Restaurant Kentucky Fried Chicken in Freiburg zu installieren.

## 4 Verwendungsnachweis

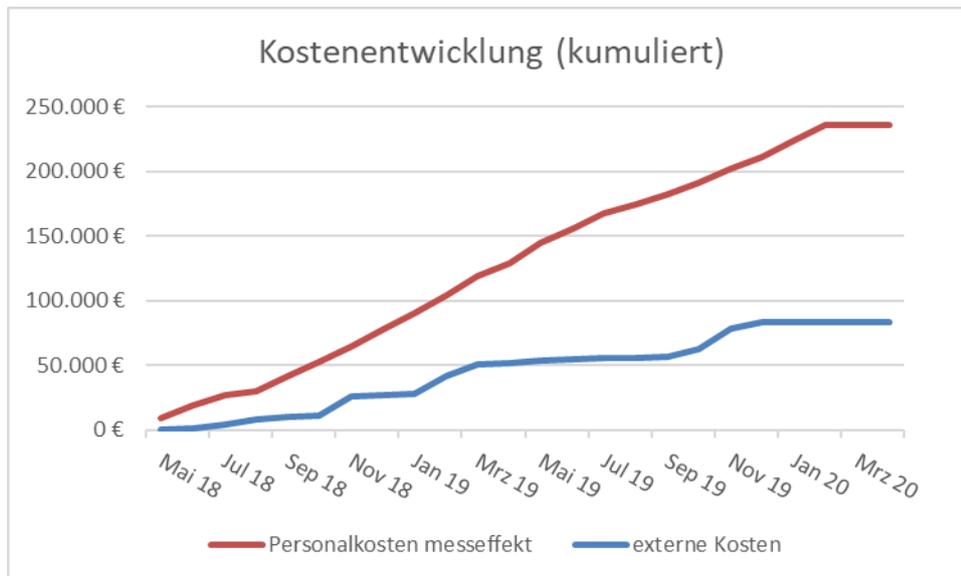
### 4.1 Kofinanzierung eines Teils der Arbeiten durch eine Bundesförderung

Ursprünglich geplanter Projektinhalt war ausschließlich die mobile Temporärmessung in Lüftungsanlagen. Denn in einer Kurzzeitmessung lassen sich meist die größten Einsparpotenziale identifizieren, ohne dass in die teure Messtechnik investiert werden muss. Allerdings zeigte sich im Projektverlauf, dass auch die dauerhafte Betriebsüberwachung von Lüftungsanlagen sinnvoll und nachgefragt ist, um die Energieeffizienz der Anlage und den funktionalen Betrieb dauerhaft sicherzustellen. Folglich wurde dieses Projekt thematisch auf diesen Bereich ausgeweitet. Ein Teil der Anforderungen für die mobile und die stationäre Anwendung sind gleich (z.B. Datenaufzeichnungs- und Visualisierungs-Software, teilweise die Auswertetools), ein anderer Teil der Anforderungen ist unterschiedlich (z.B. einzusetzende Messtechnik, Alarmer zur Betriebsüberwachung, optionale Zusatzdienstleistungen zur Überwachung der Betriebsdaten und der Anlagen). Da die Anforderungen für die stationäre Anwendung deutlich über die Ziele dieses Projekts hinausgingen, wurde beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) ein weiteres Förderprojekt zur Entwicklung und Markteinführung eines stationären Energiemonitoring-Systems für Lüftungsanlagen beantragt und durch das BAFA bewilligt (BAFA-Förderkennzeichen: ESZ-A-2018050).

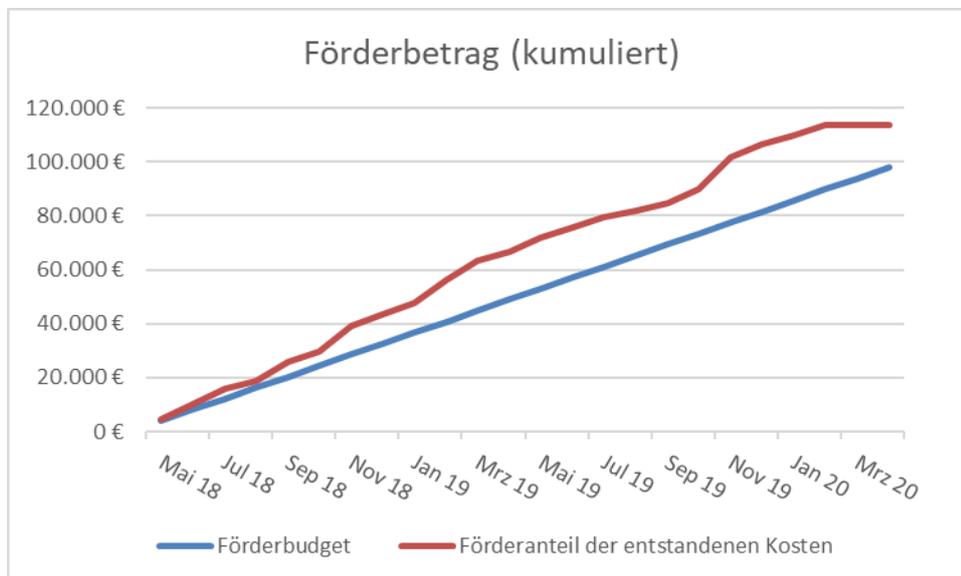
Die Kosten der inhaltlichen Arbeiten, die beiden Projekten zu Gute kommen, werden zu 50% durch das BAFA gefördert. Um den Förderrichtlinien des Innovationsfonds zu entsprechen, wonach der durch den Fördermittelempfänger zu finanzierende Eigenanteil bei mindestens 20% liegt, wurden entsprechende doppelt förderbare Arbeiten nur mit 30% der Kosten für den Innovationsfonds angesetzt.

### 4.2 Darstellung der Kosten im Abgleich zur Förderbewilligung

Dem Projekt wurden sämtliche Materialkosten, Reisekosten, Dienstleistungen und Personalkosten zugerechnet, die inhaltlich im direkten Zusammenhang mit der Projektbearbeitung standen. Die Arbeitszeit der insgesamt 5 Messeffekt-Mitarbeiter, die am Projekt gearbeitet haben – davon 4 Ingenieure und ein Diplom-Informatiker – wurde, gemäß Projektantrag mit 8.448 € für 2018 und 8617 € für 2019 pro Personenmonat angesetzt. Da bereits zum Dezember 2019 die Kosten in voller Höhe nachweisbar waren, um den gesamten Förderbetrag in Höhe von 97.853 € zu rechtfertigen, wurden nur Kosten berücksichtigt, die bis Dezember 2019 anfielen. Die nachfolgenden beiden Grafiken zeigen die Entwicklung der Kosten .und des davon abgeleiteten Förderanspruchs im Abgleich mit der Planung.



**Abbildung 5: Kostenentwicklung im Projektverlauf (Mai 2018 bis Dez. 2019)**



**Abbildung 6: Förderbudget und Förderanteil der entstandenen Kosten im Projektverlauf**

Folglich lagen die Kosten und deren Förderanteil über den Plankosten, so dass die bewilligte Förder-summe voll mit realen Kosten belegt werden kann.

## 5 Anhang – Beispielbericht Messanalyse Lüftungsanlage mit Handlungsempfehlungen

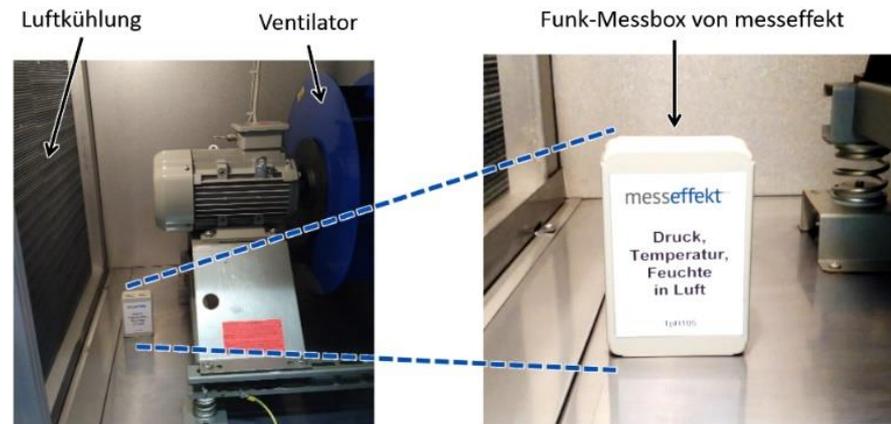


# Lüftungsvermessung Burger King [REDACTED]

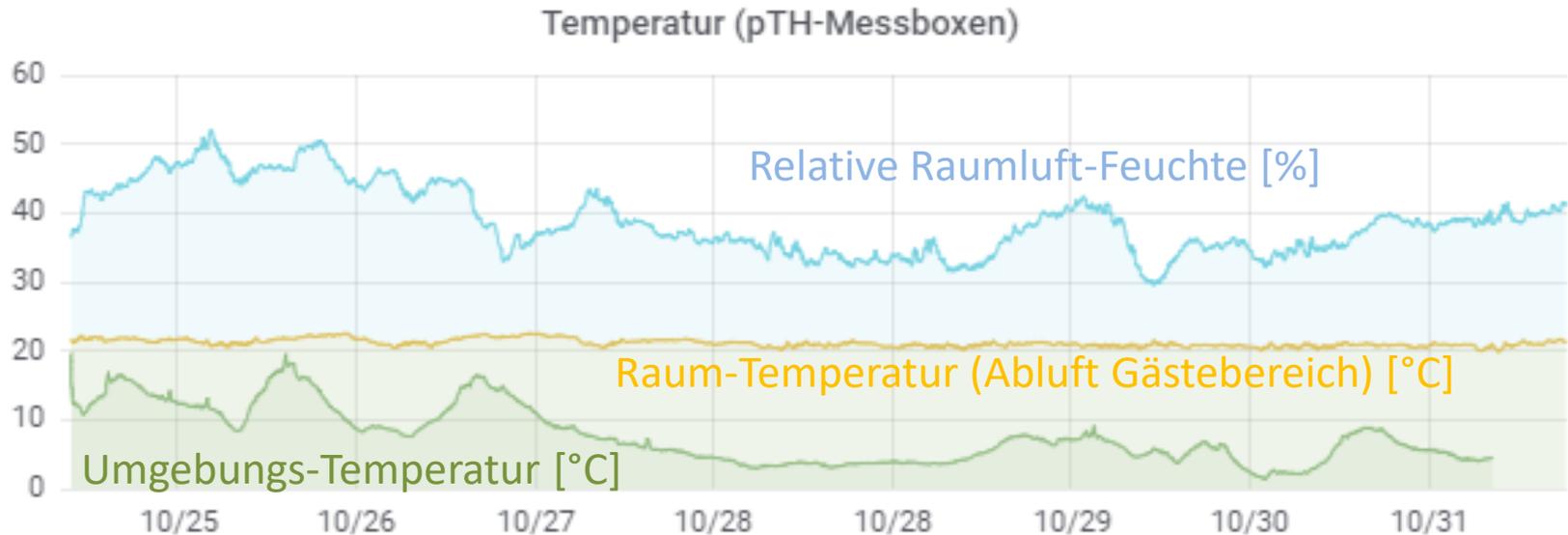
Untertitel: Datenanalyse, Anlagenbewertung, Handlungsempfehlungen  
Analyseobjekt: Lüftungstechnik für Küche und Gästebereich,  
Burger King [REDACTED]  
Messperiode: 24.10.-07.11.2018  
Berichtsdatum: 20.02.2019  
Berichtsautoren: Gabriel Morin, Anton Neuhäuser, messeffekt GmbH

# Kontext und Aufgabenstellung

- Kontext: Auftrag zur Analyse der Verbesserungspotenziale in der Lüftungstechnik des Burger King, [REDACTED]
- Hierfür wurden insgesamt 38 Messgeräte an unterschiedlichen Positionen der Lüftungstechnik montiert, die über einen Zeitraum von 2 Wochen (24.10.-07.11.2018) in 120s-Intervallen den Lüftungsbetrieb aufzeichneten
- Auswertung der Messdaten hinsichtlich Verbesserungspotenzialen in Energieeffizienz und Funktion
- Erarbeitung von Handlungsvorschläge und deren quantitative Bewertung

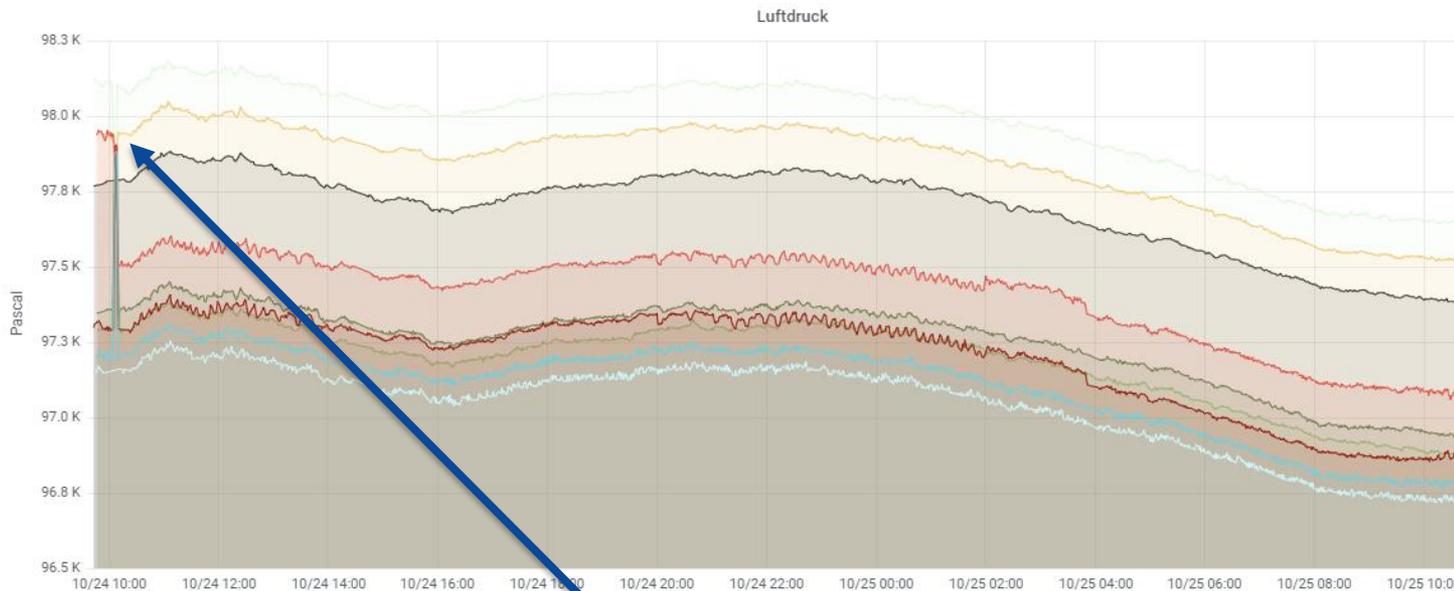


# Was ist die Hauptaufgabe einer Lüftungsanlage? => Angenehmes Raumklima



=> Im gesamten Messzeitraum war das Raumklima angenehm bei 20-23°C ( $\bar{\varnothing}$ =21°C) und 30-51% rel. Luftfeuchte. (Bei Umgebungstemperaturen zwischen 2 und 20°C.)

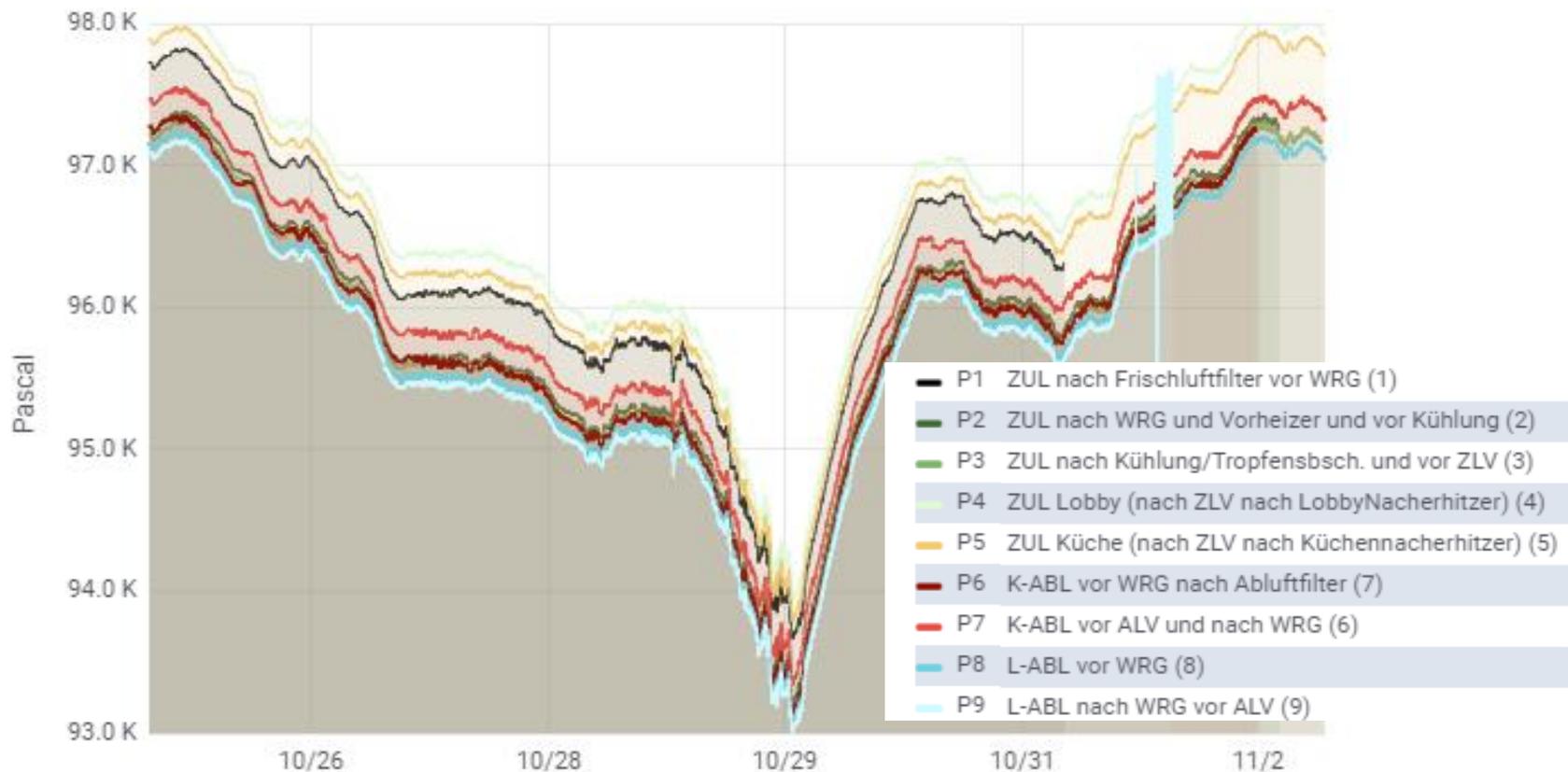
# Die konstanten Druckdifferenzen innerhalb Lüftungsanlage belegen den Nacht-Betrieb aller 3 Ventilatoren



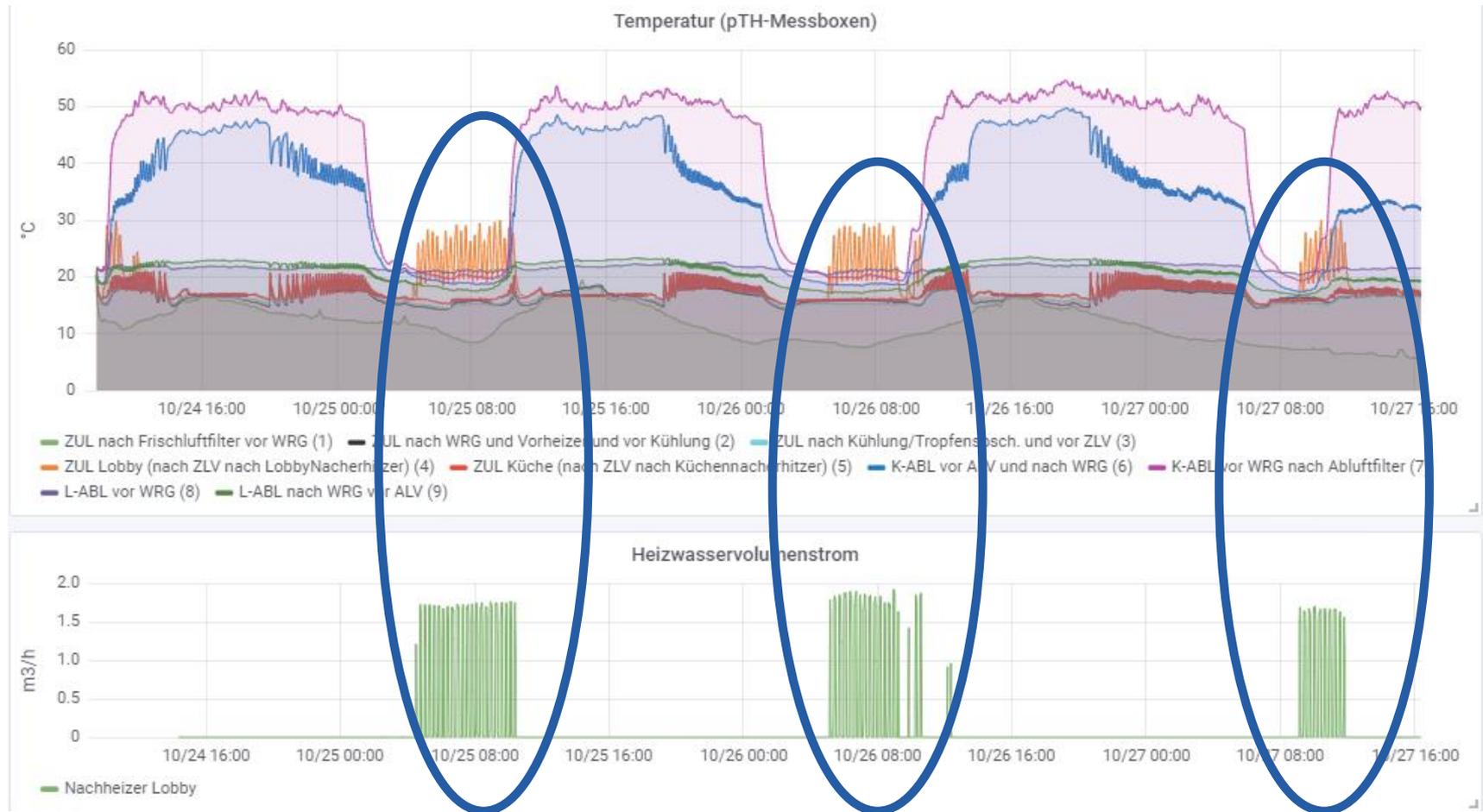
- P1 ZUL nach Frischluftfilter vor WRG (1)
- P2 ZUL nach WRG und Vorheizser und vor Kühlung (2)
- P3 ZUL nach Kühlung/Tropfenssch. und vor ZLV (3)
- P4 ZUL Lobby (nach ZLV nach LobbyNacherhitzer) (4)
- P5 ZUL Küche (nach ZLV nach Küchennacherhitzer) (5)
- P6 K-ABL vor WRG nach Abluftfilter (7)
- P7 K-ABL vor ALV und nach WRG (6)
- P8 L-ABL vor WRG (8)
- P9 L-ABL nach WRG vor ALV (9)

Kurzzeitiges Abschalten während der Messinstallation führt zu Einstellung des Umgebungsdrucks aller Sensoren (Sensor 9 hatte keine Funkverbindung zu diesem Zeitpunkt)

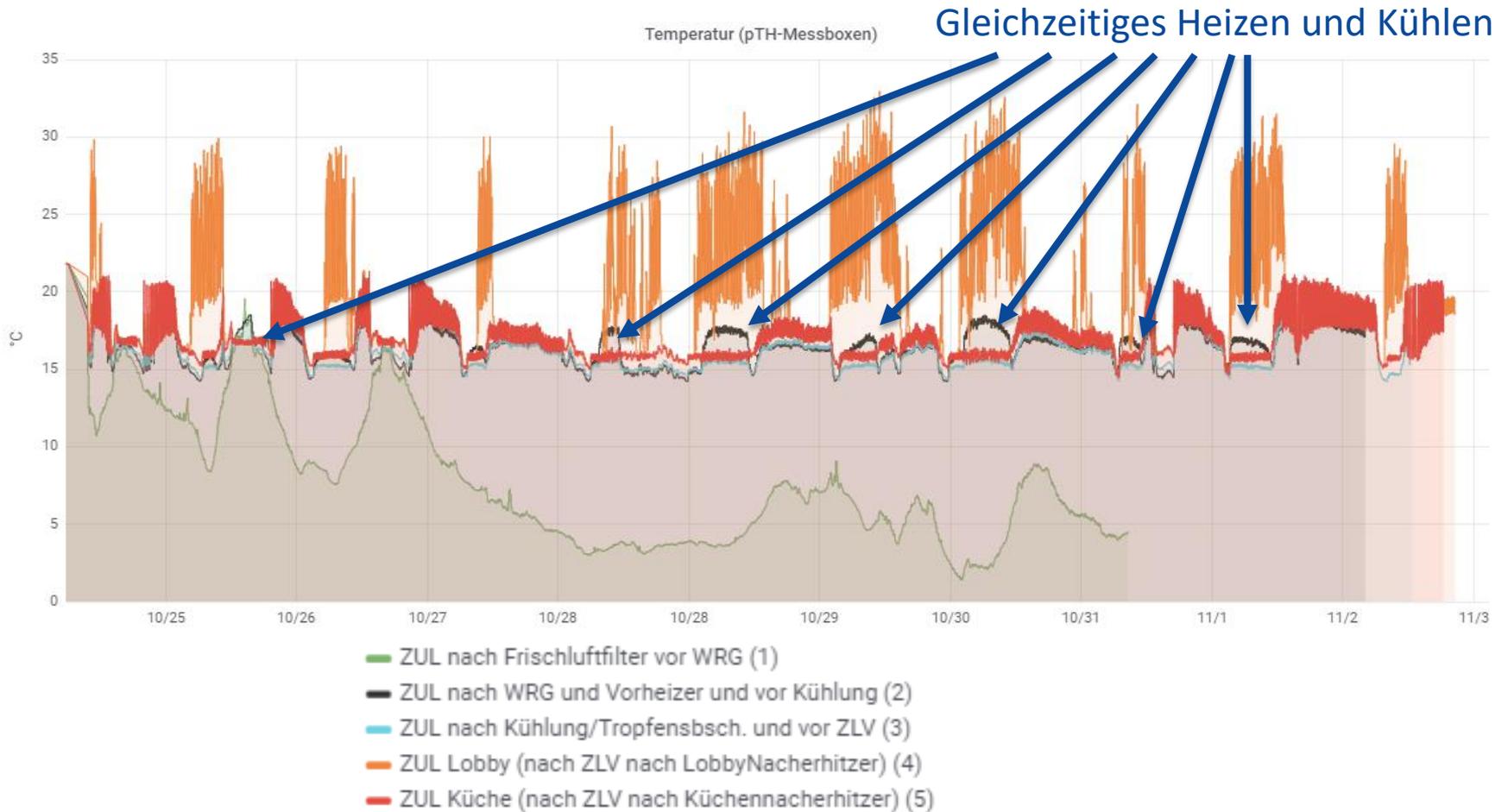
Die konstanten Druckdifferenzen innerhalb Lüftungsanlage belegen den 24/7-Betrieb aller 3 Ventilatoren über die gesamte Messperiode



Nachts, wenn die Küchenabwärme (WRG) nicht zur Verfügung steht, wird mit Gas nachgeheizt

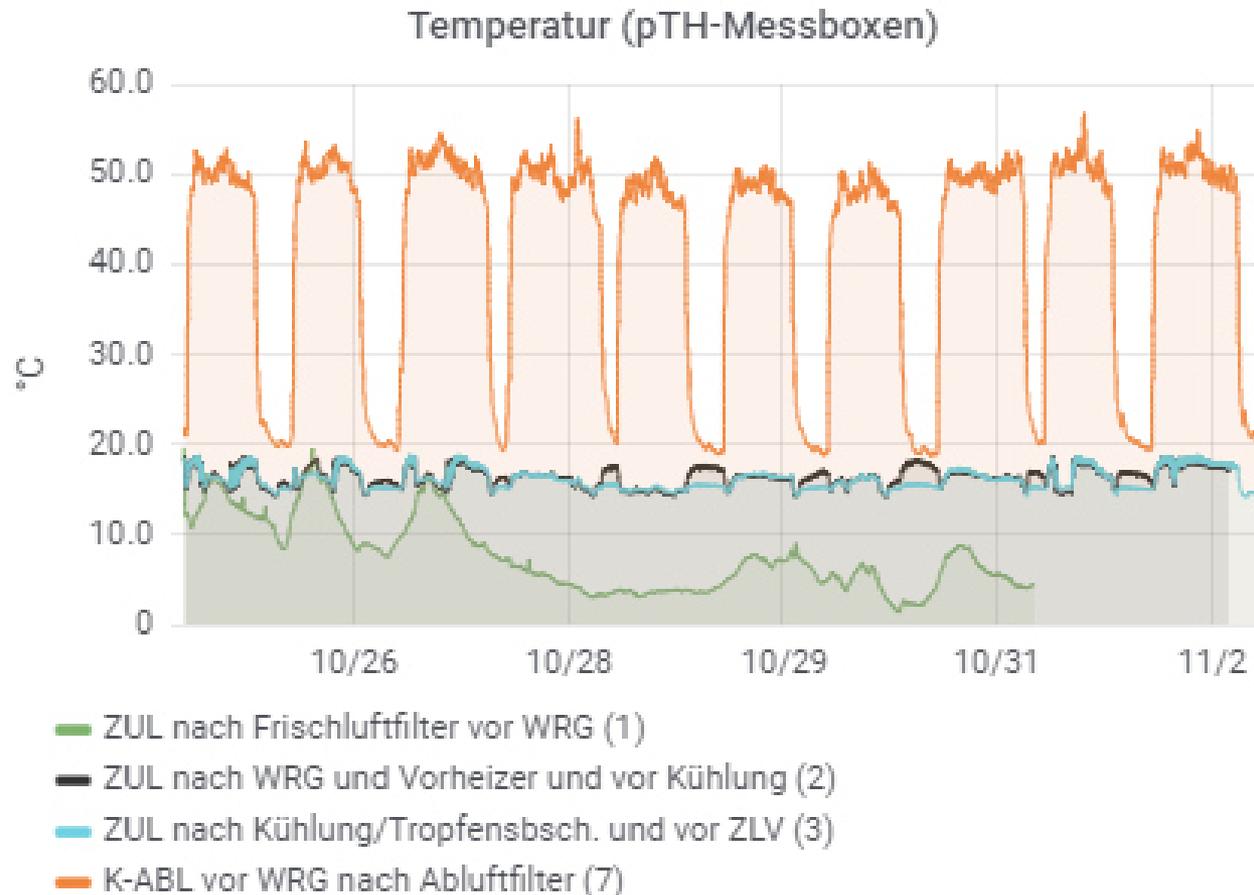


# Luft-Temperaturen in der Zuluftanlage (ZUL)

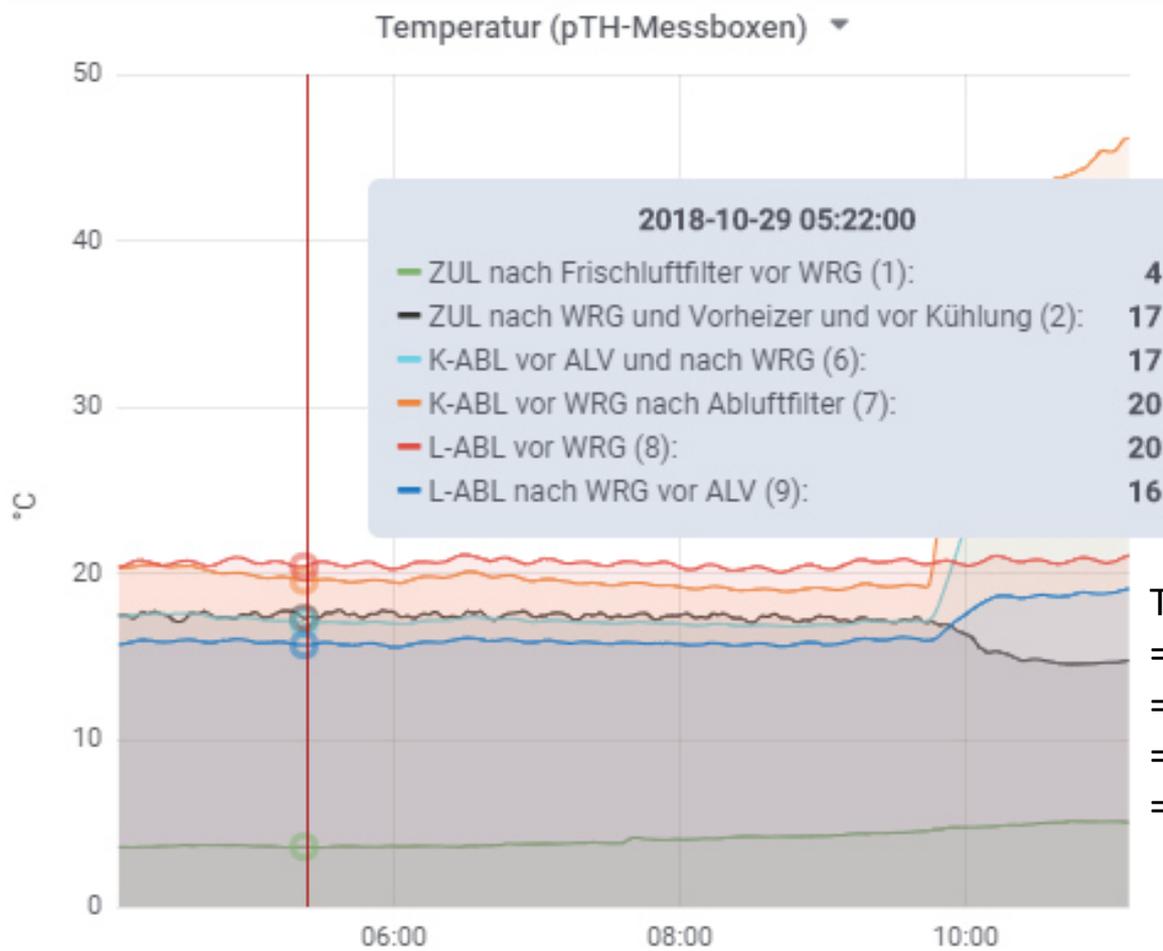


Gleichzeitiges Heizen und Kühlen immer dann, wenn die Küchenwärme nicht zur Verfügung steht.

Ursache: Vorheizregister hat zu hohe Solltemperatur!



# Sehr gute thermische WRG-Effizienz i.H.v. 78% (abluftseitig)



Thermische Effizienz

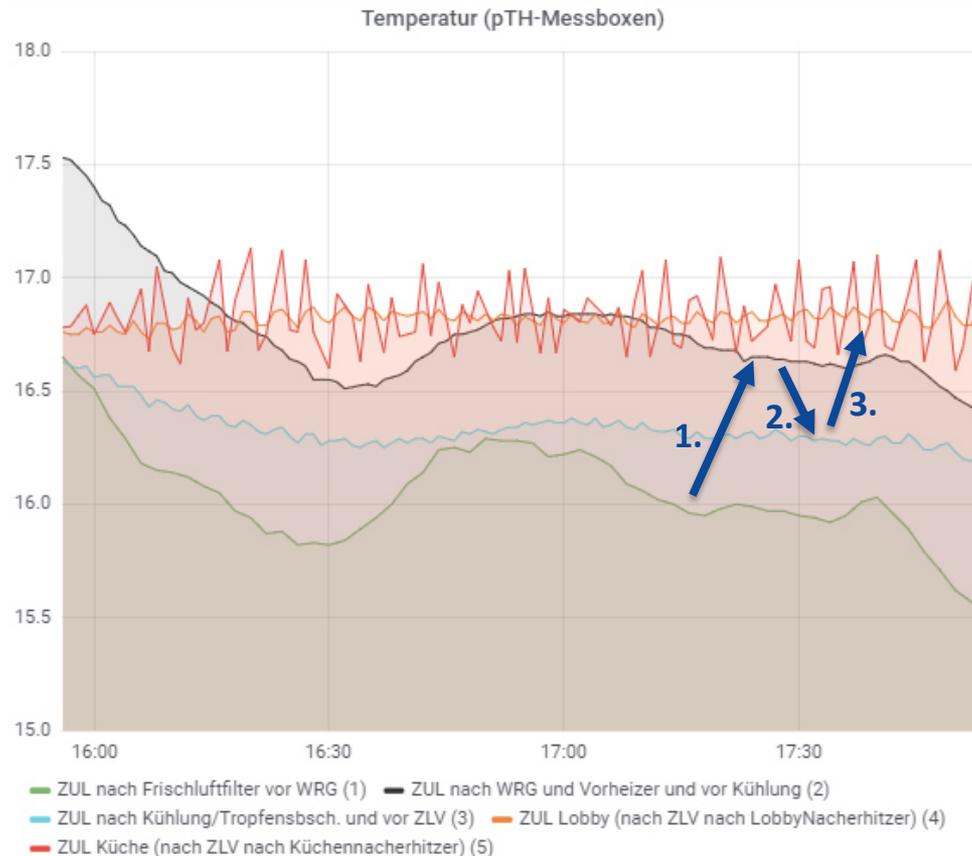
= Nutzen / Potenzial

=  $(T6+T9)/2 - T1 / ((T7+T8)/2 - T1)$

=  $(16.5^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}) / (20^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C})$

= 78%

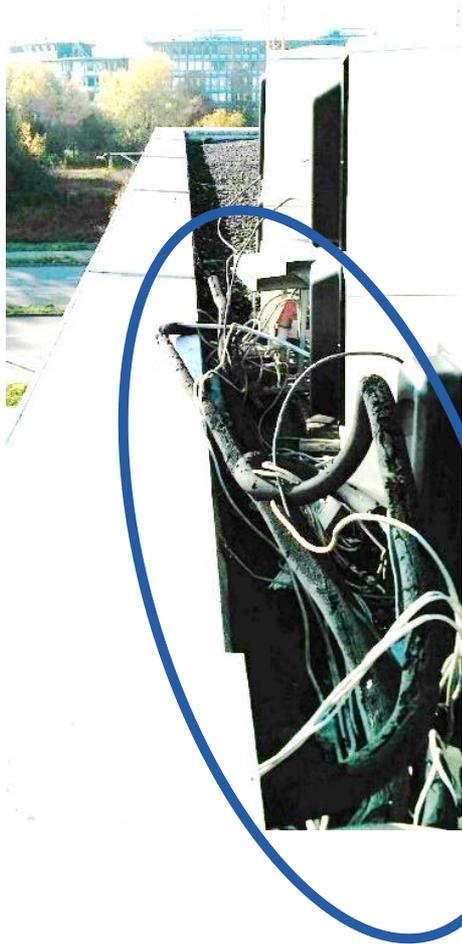
# Gleichzeitiges Heizen und Kühlen auch tags (hier am 25.10.) Aufs Jahr aber kaum relevant (<200€/a Einsparpotenzial)



Ventilatorwirkungsgrade mit ca. 42% bzw. 45% sind ok.

	m3/h gemessen	Dp [Pa] gemessen	=> hydr. Leistung [W]	el. Eingangsleis- tung [W] gemessen	=> Wirkungs- grad	Zum Vergl. Anlage für Standard- Burger King
Zuluftventilator	10.330	811	2327	5200	45%	65%
Küchen- abluft- ventilator	4.905	651	887	2100	42%	67%
				<b>Mittelwert:</b>	<b>43%</b>	<b>66%</b>

## Sonstige Erkenntnisse



Unprofessionelle Installation der Kältetechnik für die Kühlräume. U.a. Innenkabel für Außenanwendung wird früher oder später zu Ausfall durch Verwitterung führen



Filter-Druckverlustwächter nicht angeschlossen

Lüftungsschalter im EG-Flur schaltet nicht ab ->  
Hauptproblem!?



# Und jetzt? Wie schlimm ist das alles? Was ist zu tun?

Folgende Handlungsalternativen werden vorgeschlagen und nachfolgend verglichen:

- **Szenario 1: Referenzszenario** „Status Quo“ im 24/7-Betrieb mit Fehlfunktion durch gleichz. Heizen und Kühlen
- **Szenario 2: nachts abschalten.** Status quo Anlage behalten, aber Schalter in Ordnung bringen und nachts Anlage manuell abschalten.
- **Szenario 3: Bestandsanlage mit neuer Steuerung.** Nachrüstung von Frequenzumrichtern und Luftmengenreduzierung „Lüften nach Bedarf“ (Küche konstant, Restaurant nach Temperatur, Feuchte, CO2)
- **Szenario 4: Neue Lüftungsanlage**

# Ergebnisse – Wirtschaftlicher Vergleich

	1. Szenario „Status Quo“	2. Szenario Bestandsanlage nachts abschalten	3. Szenario: Bestandsanlage mit neuer Steuerung.	4. Szenario: Neuanlage von xy
Energiekosten--einsparung ggü. „Status Quo“	0 €	7.900 €	9.700 €	18.300 €
Investitionskosten	0 € (bisheriger Status)	2.000 € Elektrikerkosten für Ursachensuche für Schalterdefekt und Reparatur, ggf. Anschluss	27.000 € Kostenschätzung von messeffekt für neue Lüftungssteuerung incl. Energiemonitoring und 5 Jahre Support. 25-40% Zuschuss möglich	140.000 € Schätzung der vorauss. Investitionskosten für Neuanlagen incl. Demontage/Entsorgung der Bestandsanlage. 25-40% Zuschuss möglich
Amortisation:	-	ca. 3 Monate	ca. 2,8 Jahre (1,5-2 J. mit Förderung)	ca. 8 Jahre (5-6 J. mit Förderung)

Disclaimer: Die Berichtsergebnisse wurden nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet und dargestellt. Die zugrundeliegende Informationsbasis ist immer eine Stichprobe und kann nie vollständig sein. messeffekt kann keine Garantie für die Korrektheit der Analysen liefern. Auf Wunsch können Hintergründe und Methoden weiter erläutert und diskutiert werden.

# Zusammenfassung

- Die Lüftungsanlage macht trotz seines Alters (BJ 2000) einen noch ordentlichen Eindruck
- Die kluge Prozessverschaltung der Wärmerückgewinnung über ein sequenzielles Kreislaufverbundsystem führt dazu, dass im Messzeitraum ein Lüftungsbetrieb ohne Heizung bis zu einer Umgebungstemperatur hinunter von 4°C möglich war.  
Aber nur bei Küchenbetrieb...
- Der Nachtbetrieb muss dringend abgestellt werden, kurzfristig per Hauptschalter an der Lüftungsanlage im OG, mittelfristig durch Anschluss/Reparatur des Schalters im EG.
- Größere Investitionen in eine neue Steuerung mit Energiemonitoring könnte weitere Energieeinsparungen generieren und langfristig die Funktion und die Energieeffizienz der Anlage überwachen.
- Option neue Lüftungsanlage:
  - deutlich bessere Komponenten-effizienzen bringt weitere Einsparungen
  - lange Restlebensdauer.
  - Es bliebe dann zu zeigen, dass die in der Simulation angenommenen Datenblattangaben praktisch auch erreicht werden und dass die Anlagensteuerung energieeffizient optimal funktioniert, wie ebenfalls in der Simulation angenommen.

# Kontakt

Gabriel Morin, Dr.-Ing.  
gabriel.morin@messeffekt.de  
0761-4589-3702-3

Anton Neuhäuser, Dr.-Ing.  
Anton.neuhaeuser@messeffekt.de  
0761-4589 3702-2

messeffekt GmbH  
Talstr. 90A  
79102 Freiburg im Breisgau

# Anhang

1. Technische Anlagendaten und Beschreibung der eingesetzten Messtechnik
2. Modellbeschreibung der Szenarioanalyse
3. Analyse der Temperaturerhöhung im Zuluftventilator durch Luftkompression

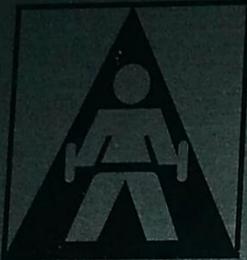
# Technische Anlagendaten

	Baujahr	Leistung Typenschild	Leistung gemessen	Luftmenge Typenschild	Luftmenge gemessen
Zuluftventilator	2000	4,8 kWel	5,2 kWel	12.000 m <sup>3</sup> /h	-
Abluftventilator Restaurant	2000	1,9 kWel	2,0 kWel	6.250 m <sup>3</sup> /h	5.400 m <sup>3</sup> /h
Abluftventilator Küche	2000	1.5 kWel	2,25 kW	4.600 m <sup>3</sup> /h	4.900 m <sup>3</sup> /h
Summe			9,4 kW (gemessene Summe)		

# Technische Anlagendaten der Kältetechnik, 2x:



# Typenschild Lobby-Abluftanlage



## Heber

GmbH  
Lüftungsgeräte • Klimageräte

D-94094 Rothalmünster-Weihmörting  
Telefon 0 85 33 / 208-0  
Telefax 0 85 33 / 208-36

Gerätetype: <b>Abluftgerät</b>			
Pos.: <b>1.01.1</b>			
Größe Zuluft		Größe Abluft <b>03/355</b>	
Volumenstrom Zuluft	m <sup>3</sup> /h	Volumenstrom Abluft	m <sup>3</sup> /h/ 1.73 m <sup>3</sup> /s
Druck ext./ges.	/	Druck ext./ges.	450 / 880 Pa
Ventilator-drehzahl	/ max. Drehzahl	Ventilator-drehzahl	2300 / max. Drehzahl UpM
Betriebsfrequenz max. Frequenz		Betriebsfrequenz max. Frequenz	Hz
Zuluft-Motor	/ Kraftbedarf	Abluft Motor	3.0 / Kraftbedarf 1.90 kW
Wärmeleistung			
Heizmittel			
Kühlleistung	<b>34.6</b>		
Kühlmittel	<b>Kaltsole 2.0/12.1</b>		
Nacherhitzer			

# Typenschild Küchenabluftanlage

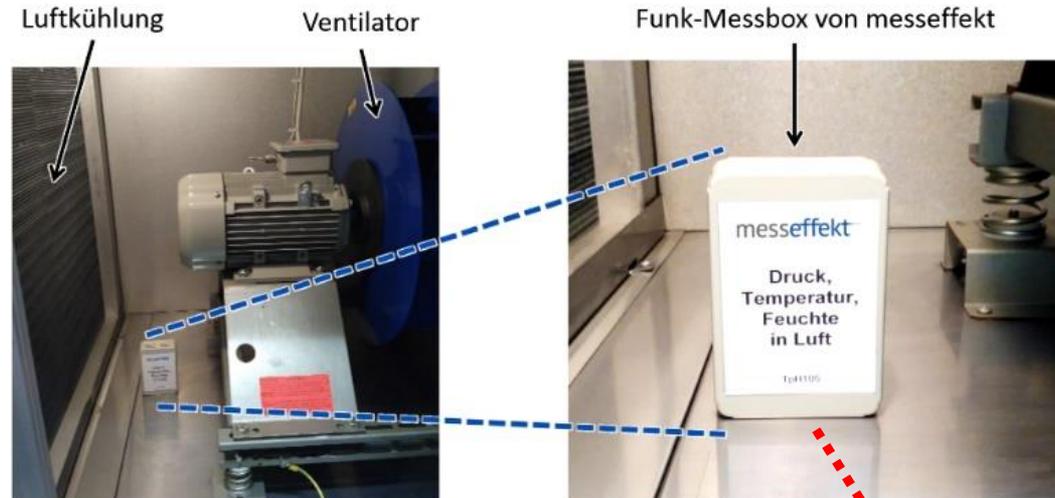
		<h1 style="color: red;">Heber</h1> GmbH	
		<b>Lüftungsgeräte • Klimageräte</b>	
		<b>D-94094 Rothalmünster-Weihmörting</b> Telefon 0 85 33 / 208-0 Telefax 0 85 33 / 208-36	
Gerätetype: Abluftgerät		Anl. Küche	
Pos.: 1.02		Fabr.-Nr. 000256	Baujahr: 2000
Größe Zuluft		Größe Abluft 02/280	
Volumenstrom Zuluft	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s	
Volumenstrom Abluft	4600	m <sup>3</sup> /h	1.27 m <sup>3</sup> /s
Druck ext./ges.	/	Pa	
Druck ext./ges.	450		890 Pa
Ventilator-drehzahl	/ max. Drehzahl	UpM	
Ventilator-drehzahl	3080		max. Drehzahl UpM
Betriebsfrequenz max. Frequenz		Hz	
Betriebsfrequenz max. Frequenz			Hz
Zuluft-Motor	/ Kraftbedarf	kW	
Zuluft-Motor	2.2		Kraftbedarf 1.50 kW
Wärmeleistung		kW	
Heizmittel		°C	
Kühlleistung	30.0	kW	
Kühlmittel	Kaltsole 2.0/12.1	°C	
Nacherhitzer		°C	

# Typenschild Zuluftanlage

Gerätetyp Zuluftgerät			
Pos.	1.01		
Größe Zuluft	05/450		
Volumenstrom Zuluft	12000 m <sup>3</sup> /h		3.33 m <sup>3</sup> /s
Druck ext./ges.	400 /		1130 Pa
Ventilator-drehzahl	2105 / max. Drehzahl		UpM
Betriebsfrequenz max. Frequenz			Hz
Zuluft-Motor	2.5/7.2 / Kraftbedarf		4.80 kW
Wärmeleistung	WRG -	64.6	kW
Heizmittel	Sole	12.1/2.0	°C
Kühlleistung		40.0	kW
Kühlmittel	R 134a	32.0/23.0	°C
Nacherhitzer Wärmeleistung		156.0	kW
Nacherhitzer Heizmittel	PWW	75/55	°C
Fabr.-Nr. 000256 Baujahr: 2000			
Größe Abluft			
Volumenstrom Abluft		m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s
Druck ext./ges.	/		Pa
Ventilator-drehzahl	/ max. Drehzahl		UpM
Betriebsfrequenz max. Frequenz			Hz
Abluft Motor	/ Kraftbedarf		kW
Erh.-Zone 1 24.0 KW			
PWW 75/55 °C			
Erh.-Zone 2 24.0 KW			
PWW 75/55 °C			



# Anlagenkonfiguration und Messpositionen



- **Zentrale Zuluft:**  
Umgebung -> Filter -> TpH1 -> Vorheizreg. -> WRG -> TpH2 -> Kühlreg. -> TpH3 -> Ventilator -> TpH4(temporär) -> Aufteilung in: Nacherhitzer Lobby -> TpH4(dauerhaft) -> Zuluft Lobby TpH4  
Nacherhitzer Küche -> TpH5(dauerhaft) -> Zuluft Küche
- **Lobby-Abluft:**  
Lobby -> Filter -> TpH8 -> WRG -> TpH9 -> Ventilator -> Umgebung
- **Küchen-Abluft:**  
Küche -> 2x Filter -> TpH7(dauerhaft) -> WRG -> TpH6 -> Ventilator -> TpH7(temporär)
- **WRG Kreislaufverbundsystem Solekreis:**  
Heizregister ZUL -> Abwärme Lobby -> Abwärme Küche -> Heizregister ZUL

## Ergänzende in [REDACTED] durchgeführte Messungen

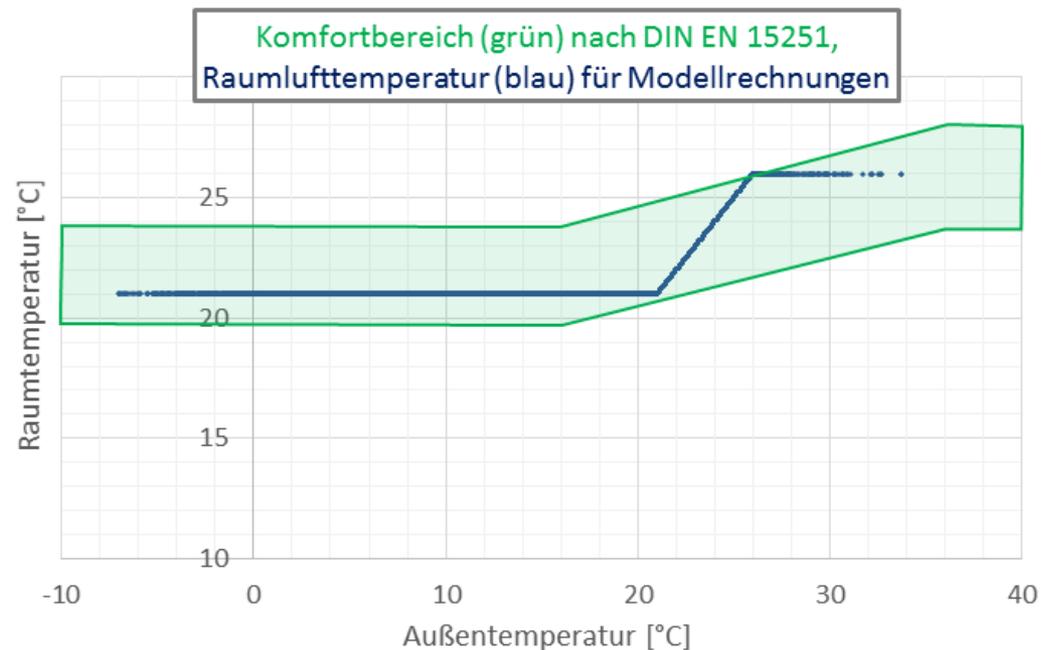
- Temperaturmessungen je an den Vorlauf und Rücklauf von WRG, von Vorheizregister, von Sammler d. beiden Nachheizregister (dauerhaft)
- elektrische Leistungsmessung der 3 Ventilatoren und der Verbrauchersumme (dauerhaft)
- Wasserdurchflussmessung im Nach-Heizregister Lobby (1x dauerhaft)
- Luftvolumenstrommessungen in Abluft Küche und Abluft Lobby (2x instantan)

# Methodik zur Bewertung der Handlungsoptionen

- Die technischen Eigenschaften der Optionen werden anhand der o.g. Messdaten, Angebotsspezifikationen (soweit vorhanden) sowie plausiblen Annahmen (wie unten dargestellt) angenommen.
- Die vier o.g. Optionen werden bzgl. der künftigen Energiekosten, Investitionskosten, Amortisationsdauern und qualitativen Aspekten verglichen.
- Der Vergleich basiert auf energetischen Jahresertragsmodellen, siehe nächste Seite.

# Methodik zur Bewertung der Optionen

- Der Jahresenergieverbrauch wird über historische Stundenwetterdaten des Deutschen Wetterdienstes, für die Wetterstation XXXXXXXXXX, für das Jahr 207 hochgerechnet. Quelle: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/klarchivstunden.html>
- Die Ziel-Raumtemperaturen wurden daher in allen Szenarien im Komfortbereich gemäß DIN EN 15251 angenommen, siehe Grafik rechts, blaue Linie, d.h. heizen auf 21°C, kühlen auf 26°C.



## Weitere allgemeine Modell-Annahmen

- Die Wärmeverluste des Gebäudes wurden anhand von Gebäudegeometrie und Bausubstanz abgeschätzt und in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur modelliert (0,478 kW<sub>th</sub>/K)
- Die Gebäude-interne Wärmeproduktion durch elektrische Geräte wurde betrachtet. Es wurde tags eine interne Wärmeproduktion von 38 kW und nachts von 3 kW angenommen (v.a. Küche, teils Licht)
- Zusätzliche Wärmeproduktion tagsüber von 3 kW durch Personen (30 Pers. à 100 W).
- Als Energiekosten wurden angenommen:
  - 17 ct/kWh für elektrische Energie
  - 10 ct/kWh für Nahwärme
- Restaurantöffnungszeiten gemäß Burger King Website:  
=> Simulationsannahme: tägl. 11:00 - 2:30 geöffnet.  
Lüftungsbetrieb spätestens ab 1.5h vor Restaurant-Öffnung

Dienstag	11:00 - 01:00
Mittwoch	11:00 - 01:00
Donnerstag	11:00 - 01:00
Freitag	11:00 - 04:30
Samstag	11:00 - 04:30
Sonntag	11:00 - 01:00
Montag	11:00 - 04:30

# Modellannahmen und Datenquellen – Luftmenge

	2. Szenario „Status Quo“	Szenario Bestandsanlage nachts abschalten	3. Szenario: Bestandsanlage mit neuer Steuerung.	4. Szenario: Neuanlage von xy
Luftdurchsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>10.300 m<sup>3</sup>/h (=Messwert)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>10.300 m<sup>3</sup>/h (9:30-2:30)</li> <li>Nachts 1.030 m<sup>3</sup>/h 2:30-9:30</li> </ul>	Annahme für Luftbedarf: <ul style="list-style-type: none"> <li>100% (10.300 m<sup>3</sup>/h) während peak (11:30-14:30 und 17:30-20:30):</li> <li>70% (7.210 m<sup>3</sup>/h) sonstige Öffnungszeiten</li> <li>10% nachts 2:30-9:30</li> </ul>	
Kommentar zu nächtlichem Luftdurchsatz		Um trotz nächtlichen Nicht-Betriebs in der Berechnung die Gebäudewärmeverluste nicht zu vernachlässigen, wurde eine theoretische Mindest-Luftförderung von 10% angenommen. Praktisch können die nächtlichen Wärmeverluste durch morgendliches „Heiß“ Anfahren zwar kompensiert werden, was allerdings von der energetischen Modellierung hier deutlich aufwändiger wäre.		

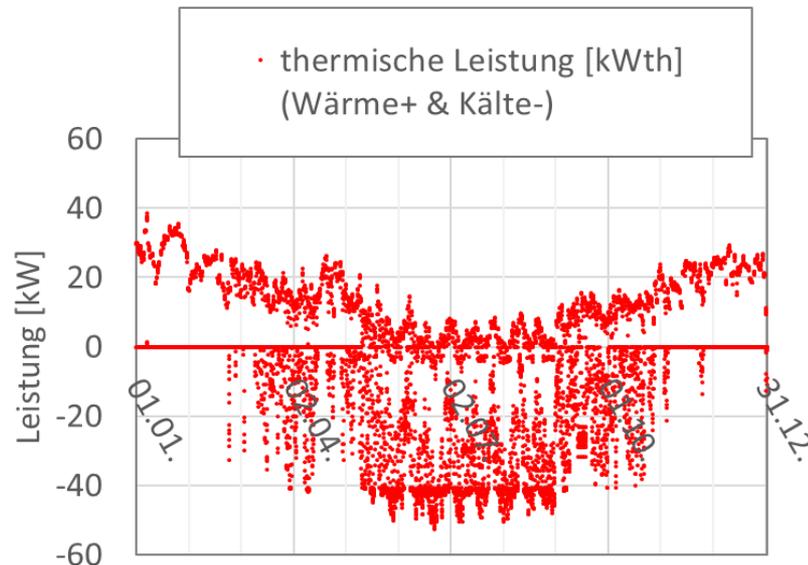
# Modellannahmen und Datenquellen – Wirkungsgrade

	2. Szenario „Status Quo“	<u>Szenario Bestandsanlage nachts abschalten</u>	3. Szenario: <u>Bestandsanlage mit neuer Steuerung.</u>	4. Szenario: Neuanlage von xy
Ventilatoreffizienz	43% (aus Messwerten abgeleitet)			66% (gemäß Herstellerdaten für [REDACTED] "Standard"-Anlage)
Elektrische Ventilatorleistung	9,4 kWel		<- wie links. Leistungsabnahme in 3. Potenz mit Volumenstrom	6,1 kWel Wert aus Szenario 1, der wiederum um die genannten Ventilatoreffizienzen korrigiert wurde. Leistungsabnahme in 3. Potenz mit Volumenstrom
Effizienz der Kälteerzeugung (SEER)	SEER = 2 Annahme für unregelmäßigen Kältemaschinen-Kompressor wie bei der vorliegenden Danfoss-Kältetechnik			SEER = 5,3 gemäß Datenblatt für geplante eingesetzte Maschine
Effizienz der Wärmeerzeugung	99,5% (Annahme für Wärmeverluste ab Übergabestelle der Nahwärme)			365% (Strom zu Raumwärme über Wärmepumpe, SCOP gemäß Datenblatt für geplante eingesetzte Maschine)
Effizienz der Wärmerückgewinnung (Rückwärmezahl)	78% siehe Messung oben			84% (gemäß Technischer Daten zum förderbaren H1-Wärmetauscher)

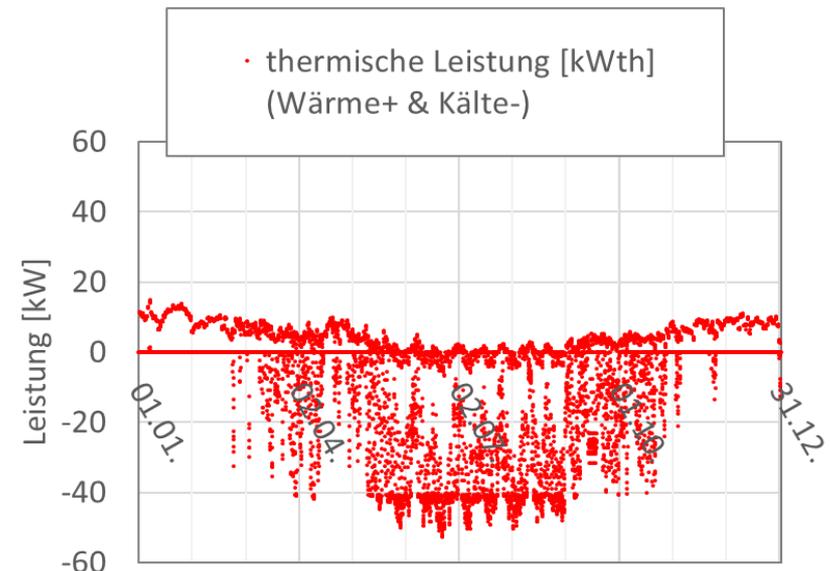
# Ergebnisse – energetische Performance im Jahresverlauf

- Durch die heute konstant hohen Luftdurchsätze muss unnötig viel Luft erwärmt werden.
- Die Wärmeverbräuche können aufgrund der hohen Küchenwärmeentwicklung durch nächtliches Abschalten fast vollständig eliminiert werden, siehe nachfolgende Grafiken.

Status Quo (Szenario. 1)



Nachts aus (Szenario 2)



# Ergebnisse – Energieverbräuche

	1. Szenario „Status Quo“	2. Szenario Bestandsanlage nachts abschalten	3. Szenario: Bestandsanlage mit neuer Steuerung.	4. Szenario: Neuanlage von xy
Nutz- energie- verbrauch	Heizen: 34 MWh <sub>th</sub> /a Kühlen: 85 MWh <sub>th</sub> /a Luftförderung: 82 MWh <sub>el</sub> /a	Heizen: 12 MWh <sub>th</sub> /a Kühlen: 85 MWh <sub>th</sub> /a Luftförderung.: 58 MWh <sub>el</sub> /a	Heizen: 12 MWh <sub>th</sub> /a Kühlen: 113 MWh <sub>th</sub> /a Luftförderung: 33 MWh <sub>el</sub> /a	Heizen: 12Mh <sub>th</sub> /a Kühlen: 113 MWh <sub>th</sub> /a Luftförderung: 22 MWh <sub>el</sub> /a
End-energie- verbrauch	Strom: 125 MWh <sub>el</sub> /a Nahwärme: 35 MWh <sub>Ho</sub> /a	Strom: 101 MWh <sub>el</sub> /a Nahwärme: 12 MWh <sub>Ho</sub> /a	Strom: 90 MWh <sub>el</sub> /a Nahwärme: 12 MWh <sub>Ho</sub> /a	Strom: 46 MWh <sub>el</sub> /a Nahwärme: 0 MWh <sub>Ho</sub> /a
Energie- kosten	Strom: 21.200 €/a Nahwärme: 3.500 €/a <b>Summe: 24.700 €/a</b>	Strom: 17.200 €/a Nahwärme: 1.200 €/a <b>Summe: 18.400 €/a</b>	Strom: 15.300 €/a Nahwärme: 1.200 €/a <b>Summe: 16.500 €/a</b>	Strom: 7.900 €/a Nahwärme: 0 €/a <b>Summe: 7.900 €/a</b>
Energiekosten- einsparung ggü. „Status Quo“	<b>0 €</b>	<b>7.900 €</b>	<b>9.700 €</b>	<b>18.300 €</b>

# Temperaturerhöhung ZLV durch Luftkompression: ca. 0,3K

