

D 4.1: Teilkonzepte der einzelnen Demogebäude

GET

4wardEnergy
Research GmbH

FORSCHUNG
Burgenland
RESEARCH & INNOVATION

JCKE
—SYSTEMS

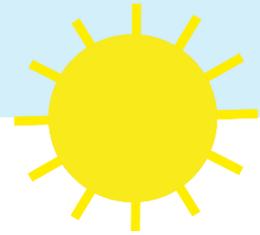
.K.
ENERGIE
HAUS

 **Reiterer & Scherling**
Ingenieurbüro | Unternehmensberatung
Sicherheitsfachkraft

Ernst Reiterer

Reiterer & Scherling GmbH

31.03.2023



Cool down

Güssing


powered by 

 **FFG**
Forschung wirkt.

Titel: Teilkonzepte der einzelnen Demogebäude

Deliverable: D 4.1

Autoren: Ernst Reiterer, Reiterer & Scherling GmbH
Georg Prem, Reiterer & Scherling GmbH
Werner Szabo, Reiterer & Scherling GmbH
Robert Pratter, 4ward Energy Research GmbH
Harald Knor, O.K. Energie Haus GmbH
Markus Goritschnig, Güssing Energy Technologies GmbH
Klaus Paar, Güssing Energy Technologies GmbH
Christian Doczekal, Güssing Energy Technologies GmbH

Status: Version 1

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	AHP Methode	2
3	Betriebsgebäude	3
3.1	Vulcolor Naturfarben GmbH.....	3
3.1.1	Ausgangslage	3
3.1.2	Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung	6
3.1.3	Techno-ökonomische Analyse.....	12
3.1.4	Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode	15
3.1.5	Auswahl der Lösungen	16
3.2	Guttomat Sektionaltore GmbH	16
3.2.1	Ausgangslage	16
3.2.2	Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung	19
3.2.3	Techno-ökonomische Analyse.....	26
3.2.4	Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode	28
3.2.5	Auswahl der Lösungen	29
3.3	Auto Doczekal GmbH	30
3.3.1	Ausgangslage	30
3.3.2	Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung	33
3.3.3	Techno-ökonomische Analyse.....	38
3.3.4	Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode	41
3.3.5	Auswahl der Lösungen	42
4	Wohngebäude	42
4.1	Einfamilienwohnhaus Doczekal.....	42
4.1.1	Ausgangslage	42
4.1.2	Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung	43
4.1.3	Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung	45
4.1.4	Techno-ökonomische Analyse.....	48
4.1.5	Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode	51
4.1.6	Auswahl der Lösungen	52
4.2	Wohnhausanlage Krottendorf.....	52
4.2.1	Ausgangslage	52
4.2.2	Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung	54

4.2.3	Techno-ökonomische Analyse.....	59
4.2.4	Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode	61
4.2.5	Auswahl der Lösungen	62
4.3	Einfamilienwohnhaus Scher-Deutsch	62
4.3.1	Ausgangslage	62
4.3.2	Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung	65
4.3.3	Techno-ökonomische Analyse.....	68
4.3.4	Techno-ökonomische Analyse.....	69
4.3.5	Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode	71
4.3.6	Auswahl der Lösungen	72
5	Öffentliche Gebäude	72
5.1	Kindergarten Güssing	72
5.1.1	Ausgangslage	72
5.1.2	Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung	76
5.1.3	Techno-ökonomische Analyse.....	84
5.1.4	Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode	86
5.1.5	Auswahl der Lösungen	87
5.2	Schule BORG	88
5.2.1	Ausgangslage	88
5.2.2	Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung	89
5.2.3	Techno-ökonomische Analyse.....	97
5.2.4	Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode	100
5.2.5	Auswahl der Lösungen	101
5.3	Feuerwehrhaus Güssing	101
5.3.1	Ausgangslage	101
5.3.2	Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung	102
5.3.3	Techno-ökonomische Analyse.....	105
5.3.4	Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode	107
5.3.5	Auswahl der Lösungen	108
6	Öffentlicher Kühlspot	109
6.1	Trinkbrunnen mit Sprühnebefunktion	109
7	Fazit	111
8	Abbildungsverzeichnis	112
9	Tabellenverzeichnis.....	114

1 Einleitung

Die Stadtgemeinde Güssing hat, wie viele andere Städte auch, das Problem der sommerlichen Überhitzung. Ziel des Projektes ist, alternative Formen der Kühlung für verschiedene bereits bestehende Gebäude zu finden. Vorzugsweise soll es sich hier um passive Kühlsysteme handeln, da diese energetisch und ökologisch sinnvoller ist.

Aufbauend auf der Bedarfs- und Akzeptanzanalyse und den partizipativen Maßnahmen sowie der Analyse der Energiesektoren beinhaltet dieser Bericht die Beschreibung der Teilkonzepte der einzelnen betrachteten Bereiche.

Es werden sämtliche Pilotgebäude analysiert und Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung definiert. Es wird untersucht, welche Kühlsysteme sich für die einzelnen Gebäude prinzipiell eignen und welche Vor- und Nachteile sich bei deren Einsatz ergeben würden. Grundlage bilden Temperaturmessungen über die Sommermonate.

Die Demonstrationsgebäude wurden anhand von drei Kategorien ausgewählt: Betriebsgebäude, Wohngebäude und öffentliche Gebäude. Bei den Betriebsgebäuden werden die Gebäude der Firmen Vulcolor Naturfarben GmbH, Guttomat Sektionaltore GmbH und Auto Doczekal GmbH analysiert und der Kühlbedarf erhoben. Als Beispiel für Wohngebäude dienen das Einfamilienwohnhaus Doczekal, die Wohnhausanlage Krottendorf und das Einfamilienwohnhaus Scher-Deutsch. Die öffentlichen Gebäude Kindergarten Güssing, die Schule BORG sowie das Feuerwehrhaus Güssing werden ebenso betrachtet.

Es wird untersucht, welche Kühlsysteme sich für die einzelnen Pilotgebäude prinzipiell eignen und welche Vor- und Nachteile sich bei deren Einsatz ergeben.

Danach folgt die technisch-ökonomische Analyse nach der ÖNORM M 7140 – Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach dynamischen Rechenmethoden. Maßnahmen zur Optimierung der flexiblen Versorgung der Verbraucher und Eigenverbrauchsoptimierung wurden untersucht.

Zusätzlich erfolgt eine Bewertung der Kühlvarianten nach der AHP-Methode (Analytischer Hierarchieprozess). Es werden ökologische und technische Aspekte, die Herstellungs- und Betriebskosten, der Kühleffekt, der Umgebungseinfluss sowie die Umsetzungswahrscheinlichkeit betrachtet.

Bei einem Workshop sollen die Umsetzungsvarianten für die Gebäude Vulcolor Naturfarben GmbH, Guttomat Sektionaltore GmbH, Auto Doczekal GmbH, Kindergarten Güssing, Schule BORG und Feuerwehrhaus Güssing vorgestellt werden: die Auswertung der Messdaten und die Erkenntnisse daraus, die Vorstellung möglicher Varianten, anschließend Diskussion über die Varianten. Auf dieser Grundlage werden die weiteren Schritte und der Zeitplan festgelegt.

2 AHP Methode

Um möglichst viele Stakeholder in den Prozess, eine passende Kühlungsvariante für die Gebäude zu finden, effizient einzubinden, wurde mit den Analytic Hierarchy Process (AHP) eine entsprechend flexible Methode zur Bewertung gewählt.

Der AHP ist eine Methode zur Entscheidungsfindung nach mehreren Kriterien¹ mit dem komplexe und unstrukturierte Entscheidungsprobleme hierarchisch strukturiert werden können. Daher wird der AHP sehr häufig für strategische Managemententscheidungen, meist für Gruppenentscheidungen im Rahmen von Experteninterviews, eingesetzt. Er ist eine Methode der präskriptiven (oder normativen) Entscheidungstheorie, die dem Entscheidungsträger Verfahren und Ansätze zur Verfügung stellt, um zu einer sinnvollen (rationalen) Entscheidung zu gelangen. Der Entscheider löst das Entscheidungsproblem, indem er auf der Basis definierter Zielkriterien und individueller oder gruppenspezifischer Prioritäten systematisch die nutzenmaximierende Alternative identifiziert. Die Methode zielt also darauf ab, Prioritäten zwischen Kriterien und Alternativen (Subkriterien) durch paarweisen Vergleich abzuleiten. Primäres Ergebnis ist eine Präferenzbewertung unter den Entscheidungskriterien, wobei die Methode zudem Maße für die Konsistenz der Bewertungen liefert².

Der Ablauf eines AHP ist wie folgt:

1. Formulierung einer konkreten Frage zur Problemstellung
2. Sammlung von Kriterien zur Lösung der Fragestellung
3. Sammlung von alternativen Lösungsvorschlägen
4. Bewertung der Kriterien mittels paarweiser Vergleiche
5. Bewertung der Lösungen mittels paarweiser Vergleiche (oder Ratings)

Der AHP wurde verwendet, um die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Kühlung in den neun untersuchten Gebäuden zu bewerten.

¹ Saaty, L. (1990): How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* 48, pp. 9-26.

² Mühlbacher, A.C., Kaczynski, A. (2013). Der Analytic Hierarchy Process (AHP): Eine Methode zur Entscheidungsunterstützung im Gesundheitswesen. *PharmacoEconomics German Research Articles*, 11, 119-132. <https://doi.org/10.1007/s40275-014-0011-8>

3 Betriebsgebäude

3.1 Vulcolor Naturfarben GmbH

3.1.1 Ausgangslage

Die Vulcolor Naturfarben GmbH erzeugt Lebensmittelfarben. Das Gebäude hat mehrere südseitigen Büros. Die sommerliche Überhitzung ist vor allem zu den Bürozeiten enorm. Die Büros sind meist zwischen 7:00 Uhr und 16:00 Uhr besetzt. In der Produktion ist Schichtbetrieb, eine Abkühlung über Nacht findet nur in geringem Ausmaß statt. Durchschnittlich sind etwa 29 Personen anwesend. Abbildung 1 zeigt das Firmengebäude mit dem Haupteingang.



Abbildung 1: Das Gebäude der Fa. Vulcolor

Das Labor, der Zubau und der Bürotrakt werden bereits mit Hilfe einer Multisplitklimaanlage klimatisiert.

Vor allem in der Produktionshalle kommt es zu sehr hohen Temperaturen, bei höher gelegenen Arbeitsplätzen herrscht eine noch höhere Raumtemperatur. Zwischen Juni und September ist die Hitze ein Problem³.

³ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

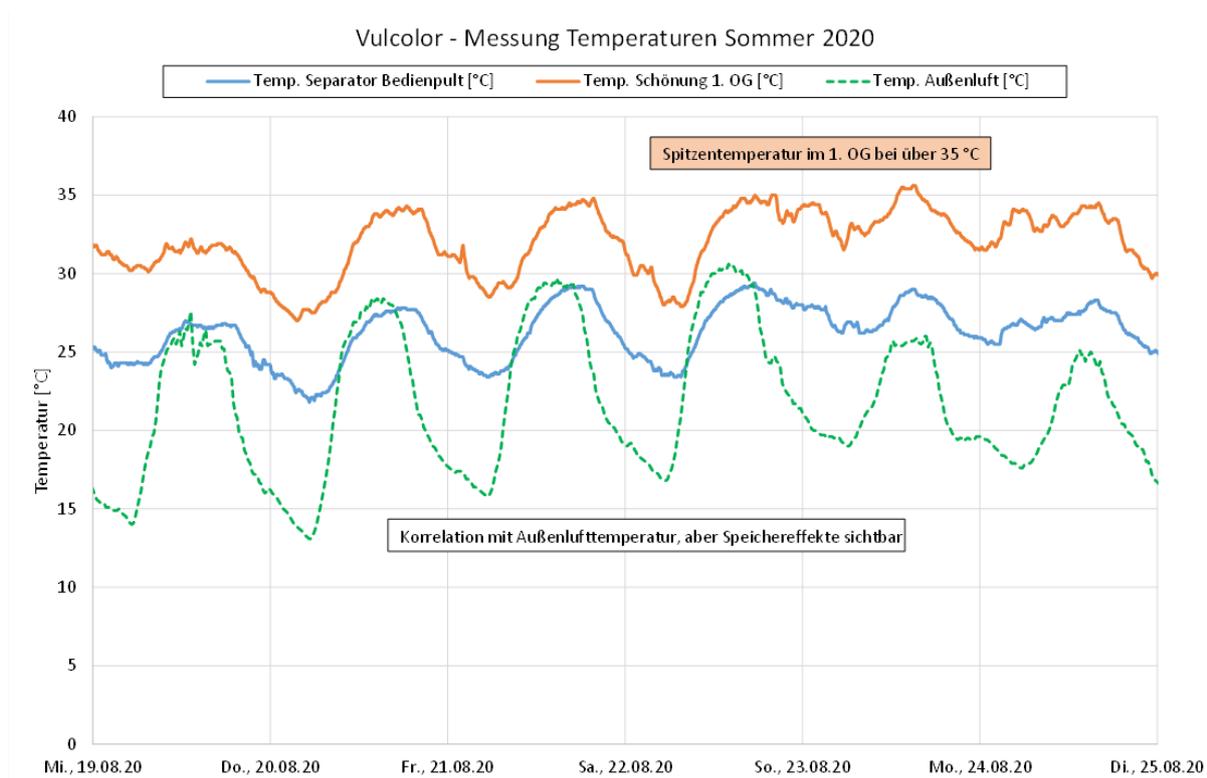


Abbildung 2: Messung der Temperaturen im August 2020

Bei Vulcolor wurden die Temperaturen im Sommer vom Mittwoch, 19.08.2020 bis Dienstag, 25.08.2020 gemessen (siehe Abbildung 2). Es gab drei Messpunkte: Es wurde die Temperatur am Separator Bedienpult, die Temperatur der Schönung im 1. OG sowie die Temperatur der Außenluft gemessen. Die Außentemperaturen lagen an diesen Tagen bei max. ca. 25 °C bis 30 °C, in der Nacht kühlte es auf ca. 13 °C bis 18°C ab.

Die Tageshöchsttemperatur am Separator Bedienpult lag zwischen ca. 27 °C und 29 °C. In der Nacht kühlte die Raumtemperatur auf zwischen 22 °C und 26 °C ab.

Deutlich höher waren die Temperaturen in der Schönung im 1. OG. Die Tageshöchsttemperaturen lagen hier zwischen ca. 32 °C und 36 °C. In der Nacht kühlte die Temperatur auf nur zwischen ca. 27 °C und 32 °C ab.

Es zeigte sich eine Korrelation der Innentemperaturen mit der Außenlufttemperatur, allerdings wurden auch Speichereffekte sichtbar.

Eine weitere Temperaturmessung der Bereiche Separator Bedienpult, Schönung 1 und der Außenluft fand nach einem Monat erneut statt. Wie bei der ersten Messreihe fanden die Messungen von jeweils Mittwoch bis Dienstag der Folgewoche statt. In Abbildung 3 ist ersichtlich, dass ab 25.09.2020 ein deutlicher Abfall der Außenlufttemperatur zu verzeichnen war. Auffällig ist der rapide Abfall von Donnerstag, 24.09.2020 auf Samstag, 26.09.2020. Bezogen auf den Tageshöchstwert sank die Außentemperatur dabei um mehr als 10° C.

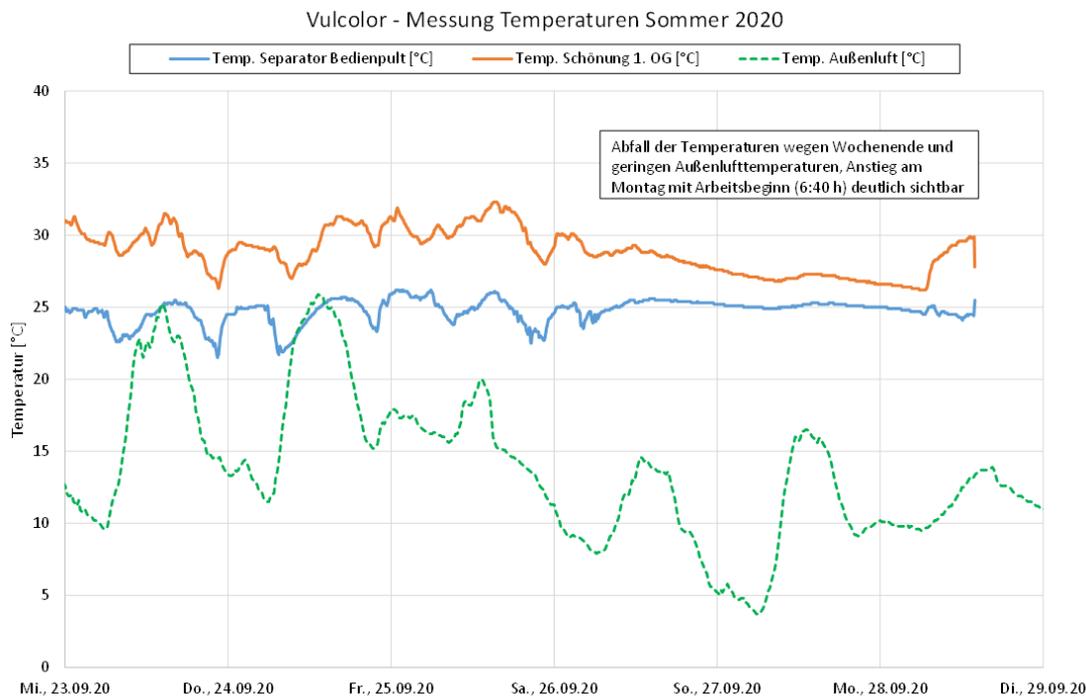


Abbildung 3: Messung der Temperaturen im September 2020

Der Abfall der Außentemperatur hatte direkte Auswirkungen auf die Temperaturen bei Schönung 1. So ist am Wochenende ein stetiger Abfall der gemessenen Temperaturen zu verzeichnen. Die Temperatur im Bereich Separator Bedienfeld blieb annähernd gleich – etwa 25°C. Am Montag, 28.09.2020, ist ein deutlicher Anstieg der Temperaturen zu erkennen. Der Wochenstart und die Wiederaufnahme der Betriebstätigkeit ist zu erkennen.

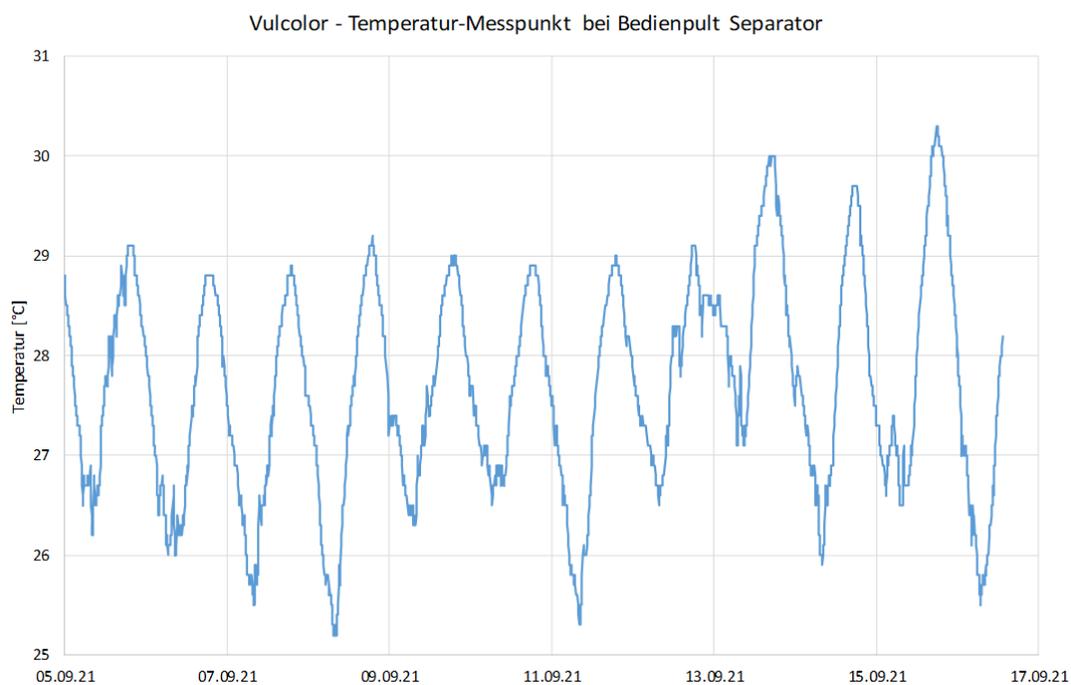


Abbildung 4: Messung der Temperaturen im September 2020 beim Bedienpult Separator

Ab 05.09.2021 wurde eine zwölfstündige Messung im Bereich Bedienpult Separator vorgenommen. Diese Messung ist in Abbildung 4 ersichtlich. Die Temperatur von 25°C wurde zu keinem Zeitpunkt unterschritten. Am 15.09.2021 wurde die Marke von 30°C überschritten. Auffällig ist, dass die Werte nahezu oder über 29°C liegen. Die Temperaturniveaus verdeutlichen den Kühlbedarf, vor allem in der Produktionshalle.

Der Bedarf an Kühlung ist vor allem in der Produktionshalle sehr hoch. Am Abend werden teilweise Tore geöffnet, um die Halle zu lüften bzw. zu kühlen. Dies ist aus mikrobiologischer Sicht zeitweise problematisch, es laufen sogenannte „Filter“ 4 Stunden täglich, in dieser Zeit ist kein Lüften möglich. Ein Maische-Pasteur, der etwa 16 Stunden pro Tag in Betrieb ist, wurde bereits eingehaust, um den Wärmeeintrag in die Produktionshalle zu verringern.

Eine Klimaanlage ist aus Kostengründen nicht gewünscht.

Ziel ist es die Produktionshalle zu kühlen, mit wenig Risiko für das Produkt⁴.

Die Auswertung der Messdaten zeigte Potential über Kühlung durch Nachlüftung. Aufgrund der oben beschriebenen Hygieneanforderungen müsste die Nachströmung durch ein Filter erfolgen. Außerdem sollte der Abluftventilator differenztemperaturgesteuert laufen.

3.1.2 Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung

Variante 1: Nachlüftung über Ventilatoren mit Filter

Für Vulcolor Naturfarben GmbH wird eine Nachlüftung über Ventilatoren mit Filter vorgeschlagen. Rahmenbedingungen für diese Variante:

Der Ventilator soll mit Wärmenutzung durch einen Fallstromverdampfer ausgeführt werden (zur Trocknung). Das Raumvolumen beträgt hierbei 6.800 m³. Es wird ein 1- bis 2-facher Luftwechsel angestrebt. Die Ventilatoren im Zuluft-Strom werden mit Filtern ausgeführt, um den hygienischen Bedürfnissen zu entsprechen. Bei den Ventilatoren für die Abluft sind keine Filter notwendig. Die Kostenschätzung für das Vorhaben betragen 46.000,00€.

Vorteile:

Die Vorteile der Variante 1 „Nachlüftung über Ventilatoren mit Filter“ sind die niedrigen Betriebskosten. Ein weiterer Vorteil der Variante 1 ist, dass elektrischer Strom lediglich für die Ventilatoren benötigt werden und nicht, wie bei Split Klimageräten, für einen Kältekreislauf mit Kältemittel. Ebenfalls kommt in Variante 1 kein Kältemittel zum Einsatz, welches in der Entsorgung oder bei unsachgemäßer Behandlung negative Auswirkungen auf das Klima hat.

⁴ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

Ein weiterer Vorteil der Variante 1 ist die Hygiene, da die Ventilatoren mit Filtern ausgestattet sind. Die Mikrobiologie wird in der Raumlufte also nicht negativ beeinflusst.

Ein für den Betrieb wesentlicher Vorteil ist die gesteigerte Produktivität durch die niedrigere Raumlufteemperatur. Mitarbeiter arbeiten dadurch konzentrierter und die Unfallgefahr sinkt.

Nachteile:

Ein wesentlicher Nachteil bei Ventilatoren mit Filtern ist, dass der Betrieb direkt abhängig von der Außentemperatur ist. Dieser Nachteil wird vor allem in Tropennächten erkennbar, da durch die hohe Temperatur Räume durch die niedrige Temperaturdifferenz nur langsam auskühlen.

Es handelt sich in dieser Methode der Kühlung um keine aktive Kühlung. Einerseits muss darauf hingewiesen werden, dass die Kühlleistung nicht einer dedizierten Klimaanlage entsprechen kann. Die maximale Kühlleistung ist durch die herabgekühlte Masse der Räume beschränkt. Andererseits sind kein aktives Kühlen und Entfeuchten möglich, was bei auftretenden Spitzen tagsüber Auswirkungen auf die Behaglichkeit hat.

Abbildung 5 zeigt die Produktionshalle des Unternehmens mit der möglichen Positionierung der Ventilatoren an der Wand.



Abbildung 5: Produktionshalle der Fa. Vulcolor

Auf Abbildung 6 ist der Plan der Halle ersichtlich. Der orange Pfeil markiert den möglichen Einbauort des Ventilators. Die Abwärme des Fallstromverdampfers könnte energetisch weiter genutzt werden.

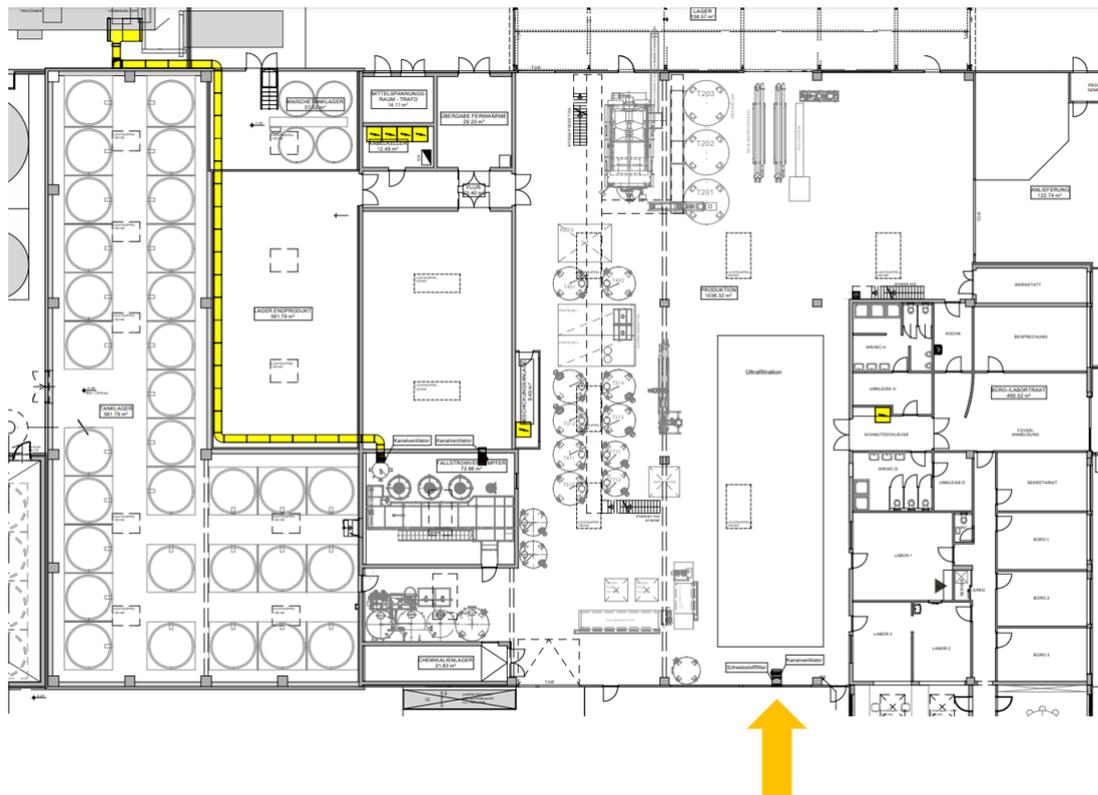


Abbildung 6: Vorwärmung mit Abwärme von Fallstromverdampfer

In Tabelle 1 sind die für den Ventilator benötigten Eckdaten ersichtlich. Durch die Gegebenheiten ist eine Öffnung von 4 m Länge und 1,7 m Höhe möglich. Daraus resultiert ein Querschnitt von 6,8 m². Für einen angestrebten Luftwechsel von 2,06 h⁻¹ ist dafür eine Querschnittsfläche von 3,74 m² erforderlich.

Tabelle 1: Berechnungen zu Vulcolor

Maximale Wandfläche, die zur Verfügung steht		
Länge:	4,63	m
Höhe:	2,00	m
Mögliche Öffnung		
Länge:	2,20	m
Höhe:	1,70	m
Querschnittsfläche:	3,74	m ²
Max. Luftgeschwindigkeit:	1,00	m/s
Max. Volumenstrom:	13.464	m ³ /h
Abluftventilator		
Volumenstrom:	13.464	m ³ /h
Raumvolumen Produktion	6.800	m ³ (ca.)
Luftwechselrate berechnet	2,06	1/h

In Abbildung 7 ist die Simulation der möglichen Kühlleistung der Variante 1 ersichtlich. Der blaue Graph beschreibt eine für den Standort übliche Messreihe der Außenlufttemperatur in Grad Celsius. Das Jahr 2010 dient nur für die Simulation. Mit den berechneten Volumenströmen aus Tabelle 1 (oberhalb) ergibt sich die daraus resultierende Kühlleistung. Diese wird durch den orangenen Graphen in orangener Farbe dargestellt. Auffällig hierbei ist der direkte Zusammenhang zwischen Außenlufttemperatur und erzielbarer Kühlleistung in kW. Je niedriger die Außenlufttemperatur, desto höhere Kühlleistungen lassen sich erzielen. Die Kühlleistung vom 08.07. sticht dabei besonders hervor, da diese durch die niedrige Außenlufttemperatur bis zu 60 kW betragen kann. Trivial erscheint auch der Fakt, dass tagsüber keine Kühlleistung durch die Ventilatoren erzielbar ist, ebenfalls ersichtlich in Abbildung 7.

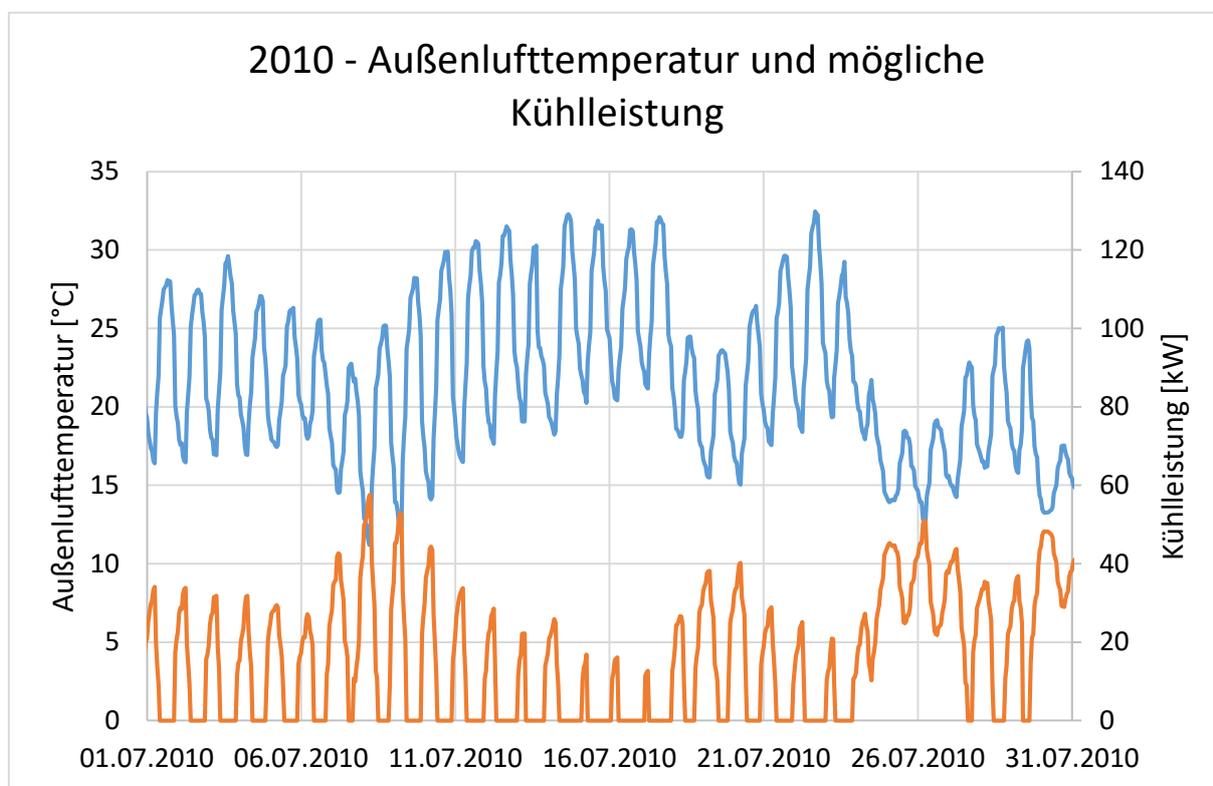


Abbildung 7: Außenlufttemperatur und mögliche Kühlleistung

Variante 2: Multisplitklimageräte mit ca. 10 kW Kühlleistung

Bei Vulcolor Naturfarben GmbH wird in Variante 2 eine Multisplitklimaanlage vorgeschlagen. Multisplitklimaanlagen sind eine ausgereifte Technologie. Der Name „Split“-Geräte deutet auf die Aufteilung nach Außengerät und Innengerät hin. In Abbildung 8 ist unten das Außengeräte zur Kälteerzeugung ersichtlich und oben das Innengerät zur Kälteabgabe.



Abbildung 8: Klimagerät⁵

Die Rahmenbedingungen sind wie in Variante 1: Ein zu kühlendes Raumvolumen von 6.800 m³. Der Luftwechsel spielt in dieser Art der Kühlung keine Rolle, da die Kühlleistung nicht von der Außentemperatur abhängig ist. Für Variante 2 „Multisplit-Klimageräte mit ca. 10 kW Kühlleistung“ wird mit Kosten von etwa 30.000 € gerechnet. Der Betrieb mit diesen Rahmenbedingungen ergibt etwa einen Stromverbrauch von 8.300 kWh pro Jahr. Bei derzeitigem Stromtarif entspricht das ca. 2.500 € pro Jahr.

Vorteile:

Split-Klimageräte weisen den Vorteil auf, dass die Raumluft nicht nur gekühlt, sondern auch entfeuchtet werden kann. Diese zwei Punkte kommen einer Vollklimatisierung einem Schritt näher, was direkte Auswirkungen auf das Wohlbefinden und die Behaglichkeit hat.

Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit in mehreren Räumen mit Innengeräten zu klimatisieren und einzelne Räume unabhängig voneinander zu kühlen.

⁵ samsung-klimaanlage-duo-set-r32-inverter-kuehlen-und-heizen-2525-kw-bis-3535-m-optional-wifi.jpg (455x455) (klimaanlageshop.com)

Nachteile:

Ein Nachteil der Variante 2 ist die Abhängigkeit von Strom aus dem Netz. Schwankende Kosten am Strommarkt sind ebenfalls ein Risiko, da betriebliche Plankosten schlechter kalkulierbar sind. Bei Split-Klimageräten kommt im Vergleich zu Variante 1 hinzu, dass sie wesentlich wartungsintensiver sind. Das erzeugt abermals Kosten.

Variante 3: Multisplit-Klimageräte mit ca. 10 kW Kühlleistung, mit 15 kW Photovoltaikanlage

Variante 3 basiert auf Variante 2. Hier kommt ebenfalls eine Split-Klimaanlage mit einer Kühlleistung von 10 kW zum Einsatz. In Variante 2 wurden die Nachteile einer solchen Anlage dargestellt. Ein Nachteil ist die Abhängigkeit vom Stromversorger und die Belastung des Stromnetzes. Ebenfalls ist mit schwankenden Strompreisen zu rechnen. Um die Abhängigkeit vom Energieversorger zu reduzieren, wird Variante 2 mit einer Photovoltaik-Anlage mit einer Leistung von 15 kWp erweitert (wechselseitig). In Abbildung 9 ist exemplarisch eine PV-Anlage auf einem Gebäudedach ersichtlich, allerdings mit 8 kWp Leistung.



Abbildung 9: PV-Anlage⁶

Was die Kälteversorgung dieser Variante betrifft, sind die Rahmenbedingungen zu Variante 2 unverändert. Der Strombedarf von 8.300 kWh pro Jahr und die Kosten von ca. 2.500 € bleiben gleich. Den Ausgaben stehen in dieser Variante Einnahmen der PV-Anlage gegenüber. Bei einer Überschusseinspeisung kann der Strom direkt genutzt werden und für den überschüssigen Strom kann eine Vergütung bei der OeMAG erfolgen. Das senkt die laufenden Kosten und den vom Netz bezogenen Stromverbrauch. Durch das Verbauen einer PV-Anlage ergeben sich andere Vor- und Nachteile von Variante 3 „Multisplit-Klimageräte mit ca. 10 kW Kühlleistung, mit 15 kW Photovoltaikanlage“. Zusätzlich zu den Kosten der Kälteanlage (30.000 €) ist für die PV-Anlage mit Kosten für die Anschaffung und Installation zu rechnen. Es ergeben sich zusätzliche Kosten von 20.000 €. In Summe ist bei Variante 3 mit ca. 50.000 € zu rechnen.

Vorteile:

Die PV-Anlage liefert elektrischen Strom für den Betrieb der Split-Klimaanlage. Die Abhängigkeit vom Stromversorger wird dadurch reduziert. Außerdem bleiben PV-Anlagen 20 Jahre oder gar länger im Betrieb, was wiederum einen langfristigen Nutzen

⁶ Reiterer & Scherling GmbH, 2020

gewährleistet. Tagsüber wird der elektrische Strom der PV-Anlage für die Klimaanlage genutzt.

Ein weiterer Vorteil der Kombination mit einer PV-Anlage ist der wirtschaftliche Nutzen. Wenn zum Beispiel kein Kühlbedarf vorhanden ist kann der Strom direkt in das Netz eingespeist und vergütet werden.

Nachteile:

Der einzige Nachteil von Variante 3 ist der höhere Anschaffungspreis.

3.1.3 Techno-ökonomische Analyse

Die Berechnung der realen und fiktiven Gesamtkosten erfolgte lt. ÖNORM M 7140. Die Norm beschreibt die dynamischen Rechenmethoden für den Barwert und die erweiterte Annuitätenmethode. Es wird die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Energiesystemen dargestellt und miteinander verglichen. ÖNORM M 7140 spiegelt eine möglichst realistische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wider. Die Berechnung lt. ÖNORM M 7140 für die beschriebenen Varianten 1 – 3 wird mithilfe Microsoft Excel durchgeführt. Für die Berechnung wurden folgende Parameter berücksichtigt:

- Kapitalgebundene Kosten
- Verbrauchsgebundene Kosten
- Betriebsgebundene und sonstige Kosten.

Es wurde in allen drei Varianten ein Zinssatz von 3 % herangezogen. In Variante 1 wird bei den Ventilatoren von einer Nutzungsdauer von 15 Jahren ausgegangen, bei Material und Installation wird eine Nutzungsdauer von 25 Jahren erwartet. Das bedeutet, dass nach jeweils 15 und 25 Jahren Erneuerungskosten anfallen werden. Der jährliche Energieeinsatz pro Jahr beträgt ca. 1.000 kWh Strom.

In Variante 2 wird für die Klimaanlage, den Innengeräten und der damit verbundenen Arbeitszeit eine Nutzungsdauer von 15 Jahre angenommen. Für Material, Elektroinstallationen und Arbeiten ist eine Nutzungsdauer von 20 Jahre vorgesehen. Der jährliche Energieeinsatz pro Jahr beträgt in etwa 8.300 kWh Strom.

Variante 3 basiert auf Variante 2 und unterscheidet sich durch das Hinzukommen der PV-Anlage. Die PV-Anlage wird mit einer Nutzungsdauer von 20 Jahren bewertet. Der jährliche Energieeinsatz beträgt ebenfalls ca. 8.300 kWh Strom.

In Abbildung 10 ist ersichtlich, dass Variante 2 (Multisplitklima 10 kW) die höchsten verbrauchsgebundenen Kosten aufweist. Diese betragen pro Jahr 2.500 €.

Folgende Kosten wurden bei den Berechnungen berücksichtigt.

Summe der kapitalgebundenen Kosten (Anschaffungskosten):

- Variante 1: 46.556 €
- Variante 2: 29.528 €
- Variante 3: 50.528 €

Summe der verbrauchsgebundenen Kosten:

- Variante 1: 312 €
- Variante 2: 2.500 €
- Variante 3: 683 €

Summe der betriebsgebundenen und sonstigen Kosten:

- Variante 1: 1.073 €
- Variante 2: 556 €
- Variante 3: 278 €

In Abbildung 10 sind mehrere Punkte markant erkennbar. Variante 2 (Multisplitklima 10 kW) weist die geringsten Anschaffungskosten, dafür die höchsten verbrauchsgebundenen Kosten auf. Variante 2 ist bis zu 10. Jahr am günstigsten. Variante 1 und Variante 3 sind anfangs nahe beieinander, jedoch ist Variante 1 (Nachtströmung) ab dem 19. Jahr am günstigsten.

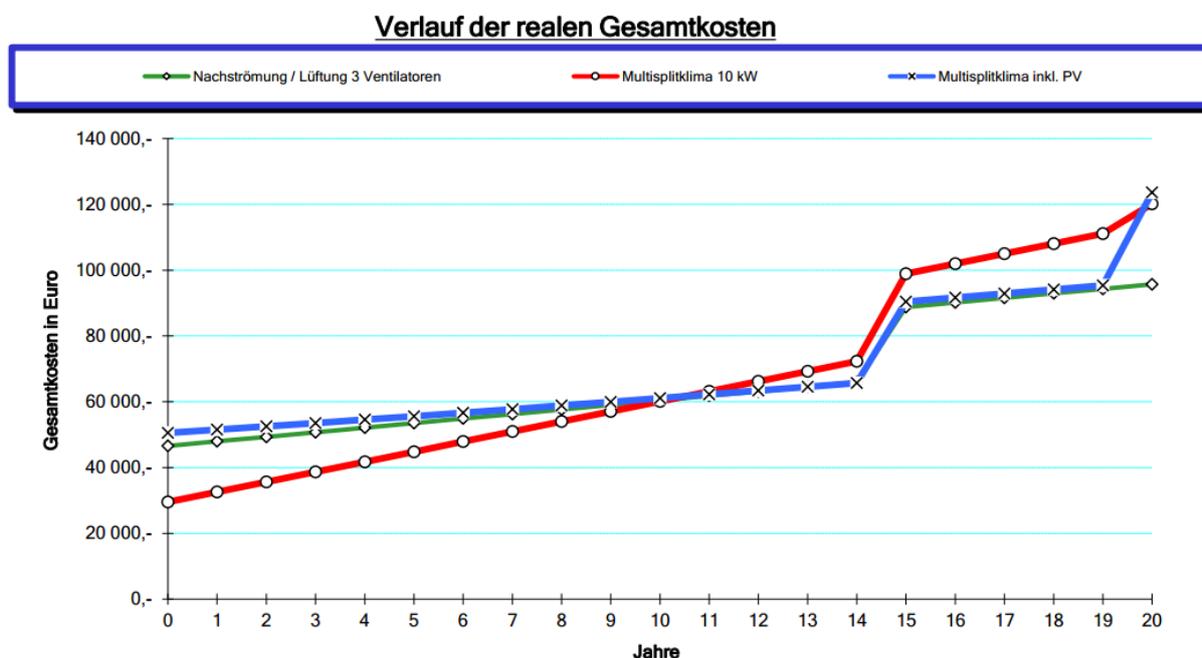


Abbildung 10: Verlauf der realen Gesamtkosten

Die fiktiven Kosten in Abbildung 11 zeigen ein ähnliches Bild. Variante 2 ist anfangs am günstigsten und zum Ende der Betrachtungszeit von 20 Jahren am teuersten. Die realen und fiktiven Kosten zeigen beide, dass Variante 1 (Nachtströmung) am kostengünstigsten ist.

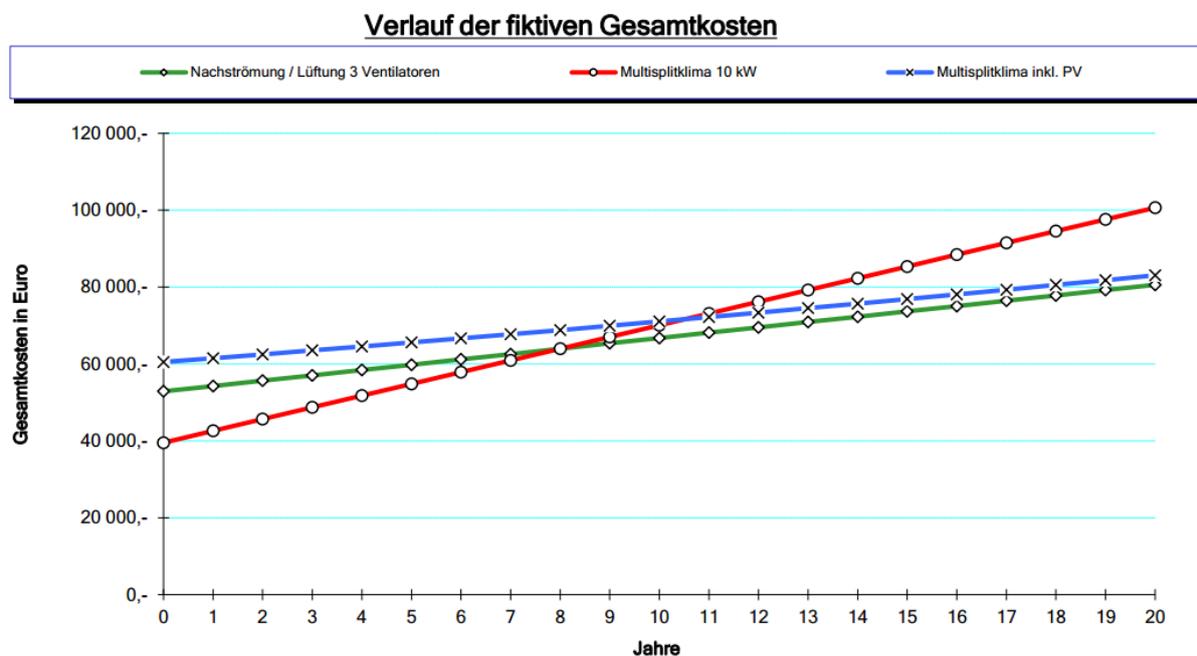


Abbildung 11: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten

Förderung Free Cooling

Seitens der Kommunalkredit Public Consulting GmbH (KPC) gibt es die Möglichkeit zur Förderung auf Bundesebene von Free Cooling Systemen. Im Förderprogramm „Klimatisierung und Kühlung“ für Betriebe werden dabei folgende Technologien erfasst:

- Adsorptions- und Absorptionskältemaschinen mit Antriebsenergie aus erneuerbaren Energieträgern (Biomasse, Solarthermie oder industrielle Abwärme)
- Free Cooling (z.B. auf Basis von Grund-, Fluss- oder Brunnenwasser)
- Kompressionskältemaschinen für den ausschließlichen Einsatz zur Erzeugung von Prozesskälte (das Global Warming Potential des Kältemittels darf nicht höher als 150 liegen)

Förderfähig sind Kosten von Anlagenteilen, Planung und Montage. Für Free Cooling sind das beispielsweise Investitionen von Wärmetauscher, primärseitige Einbindung, Kältespeicher oder Kältequelle.

Die maximale Förderhöhe ist mit 30% der Investitionskosten begrenzt. Für Unternehmen mit einer EMAS-Zertifizierung gibt es die Möglichkeit eines Zuschlags von max. 10.000 € (oder 5%). Ausschlaggebend für die Höhe der Förderung ist der erzielte Umweltnutzen.

Bei Ad-/Absorptionskältemaschinen gibt es einen Fördersatz von 450 € je kW Kälteleistung. Für Free Cooling Systeme errechnet sich die Förderhöhe nach eingesparten CO₂-Emissionen. Je eingesparter Tonne CO₂ wird maximal 750 € Förderung gewährt⁷.

3.1.4 Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode

In diesem Betriebsgebäude wurde der Kühleffekt als wesentlich bewertet (n = 1), dessen mittlere Priorisierung bei 47.5% liegt. Kostenfaktoren für den Betrieb (15.4%) und die Herstellung (12.9%) sind nächstgereiht. Vergleichsweise weniger Priorität haben technische (5.6%) und ökologische (5.4%) Aspekte, sowie der Umgebungseinfluss (1.8%). Siehe dazu Abbildung 12.

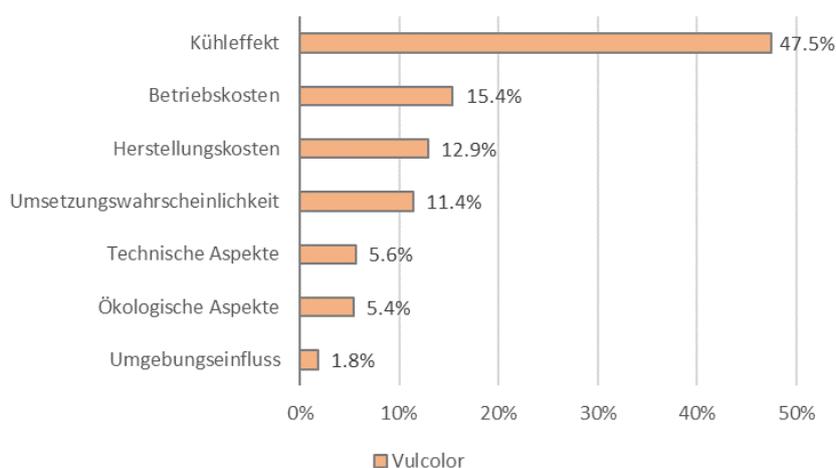


Abbildung 12: Priorisierung der Bewertungskriterien Vulcolor Naturfarben GmbH

In Folge der Priorisierung der Bewertungskriterien konnten die angedachten Maßnahmen bewertet werden. Dafür wurde ein Rating für jedes Kriterium einer Maßnahme mit den möglichen Ausprägungen 1 = „sehr schlecht“ bis 5 = „sehr gut“ durchgeführt. Dagegen erreicht die Maßnahme „Multisplitklima 10 kW inkl. PV“ die vergleichsweise höchste Bewertung (3.75) wie in Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 2: Ergebnis der AHP-Bewertung für die Vulcolor Naturfarben GmbH

Bewertungskriterium	Priorität	Nachtlüftung		Klimagerät		Klima + PV	
		Rating	Gewicht	Rating	Gewicht	Rating	Gewicht
Ökologische Aspekte	5.4%	4	0.22	1	0.05	2	0.11
Technische Aspekte	5.6%	4	0.22	3	0.17	3	0.17
Herstellungskosten	12.9%	3	0.39	4	0.52	3	0.39
Betriebskosten	15.4%	4	0.62	2	0.31	5	0.77
Kühleffekt	47.5%	3	1.43	4	1.90	4	1.90
Umgebungseinfluss	1.8%	3	0.05	4	0.07	4	0.07
Umsetzungswahrscheinlichkeit	11.4%	4	0.46	3	0.34	3	0.34
Gesamtbewertung	100.0%		3.38		3.36		3.75

⁷ <https://www.umweltfoerderung.at/betriebe/klimatisierung-und-kuehlung/kaelte>, abgerufen am 09.03.2023

3.1.5 Auswahl der Lösungen

Hannes Winkelbauer, Geschäftsführer der Vulcolor Naturfarben GmbH, berichtet, dass sich bei Mitarbeitergesprächen gezeigt hat, dass alle MitarbeiterInnen eine Temperatursenkung wünschen. Er bedankte sich für die Vorstellung der Lösungsvorschläge im Rahmen von Cool-down Güssing, die wichtige Fragestellungen aufgegriffen haben.

Als **bevorzugte Variante wird die automatisierte Nachlüftung mit Temperatursteuerung** in Kombination mit der ganzjährigen Abwärmenutzung, bei der Lüftungsleitungen die heißen Produktionsräume entlüften, genannt. Voraussetzung dafür ist, dass die Lüftung nur bei geschlossenen Toren läuft (Endschalter). Ein neuer Separator könnte die Mikrobiologie vereinfachen, daher wäre bei einer Nachlüftung mit Ventilator keine starke Filterung notwendig. Ein Ausbau der Photovoltaik-Anlage wird in die Planungen einbezogen. Eine mögliche Hürde für die Umsetzung stellt der Preis dar, dieser wird unter Berücksichtigung des Gesamtkonzepts allerdings wirtschaftlich vertretbar sein.

3.2 Guttomat Sektionaltore GmbH

3.2.1 Ausgangslage

Die Firma Guttomat Sektionaltore GmbH (Abbildung 13) erzeugt in mehreren Produktionshallen Sektionaltore für häusliche und gewerbliche Anwendungen. Die Büros sind bereits klimatisiert (Multisplitgeräte). Derzeit wird einschichtig produziert, die Beginnzeiten wurden im Sommer aufgrund der hohen Temperaturen auf 06:00 Uhr voverlegt. Ab 13:00 Uhr sind die Hallen besonders heiß.



Abbildung 13: Produktionshalle der Fa. Guttomat

Die Lackieranlage erhöht als innere Wärmelast zusätzlich die Raumtemperatur. Etwa 1/3 der Heizungsleitungen für den Vorlauf sind ungedämmt, wobei die Vorlauftemperatur bei ca. 100 °C liegt⁸.

Bei der Fa. Guttomat wurde als Monitoring das Temperaturprofil (Produktionshalle im Sommer) über die Höhe gemessen wie in Abbildung 14 ersichtlich.

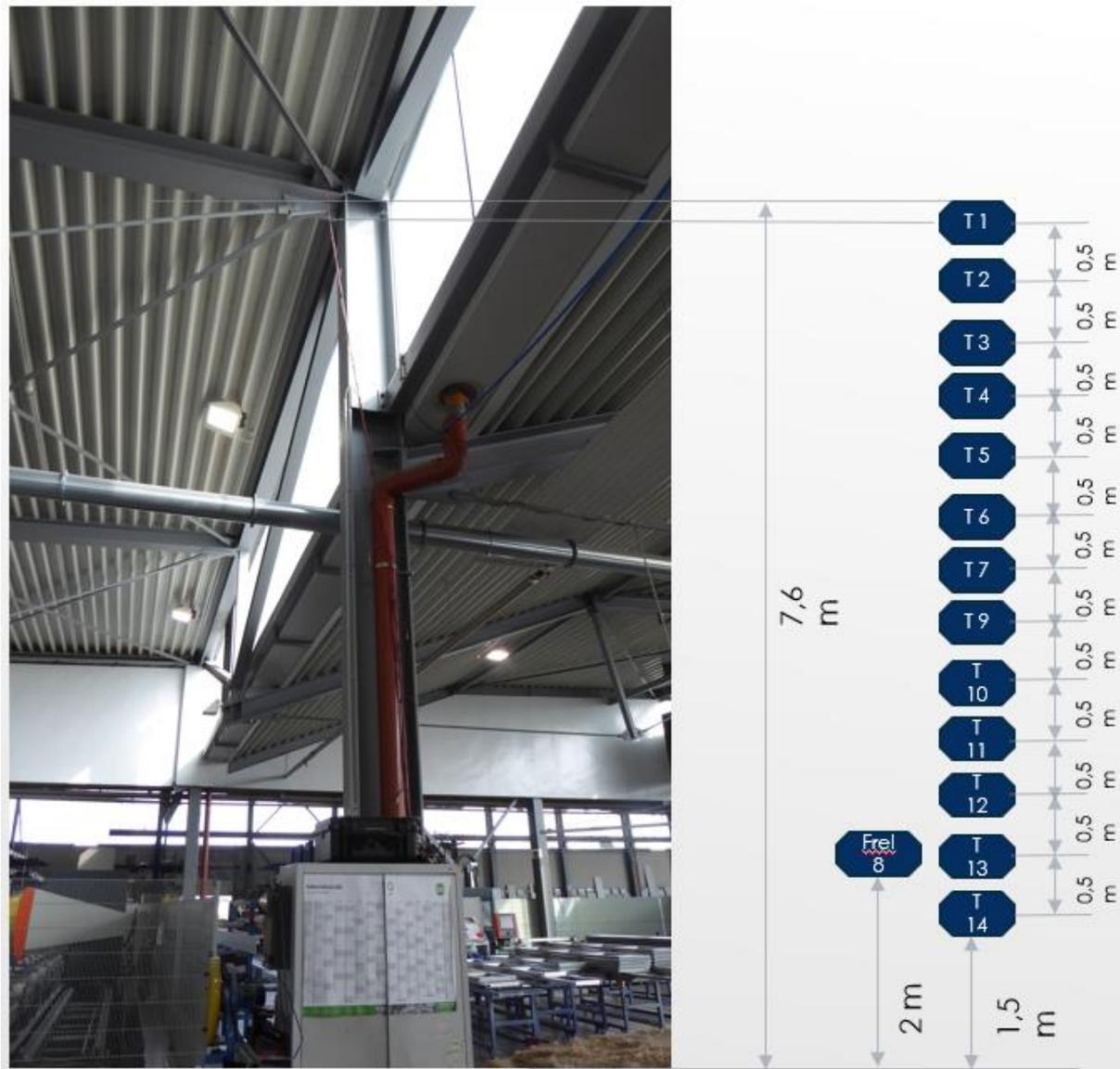


Abbildung 14: Die Temperatur wurde in verschiedenen Höhen gemessen

⁸ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

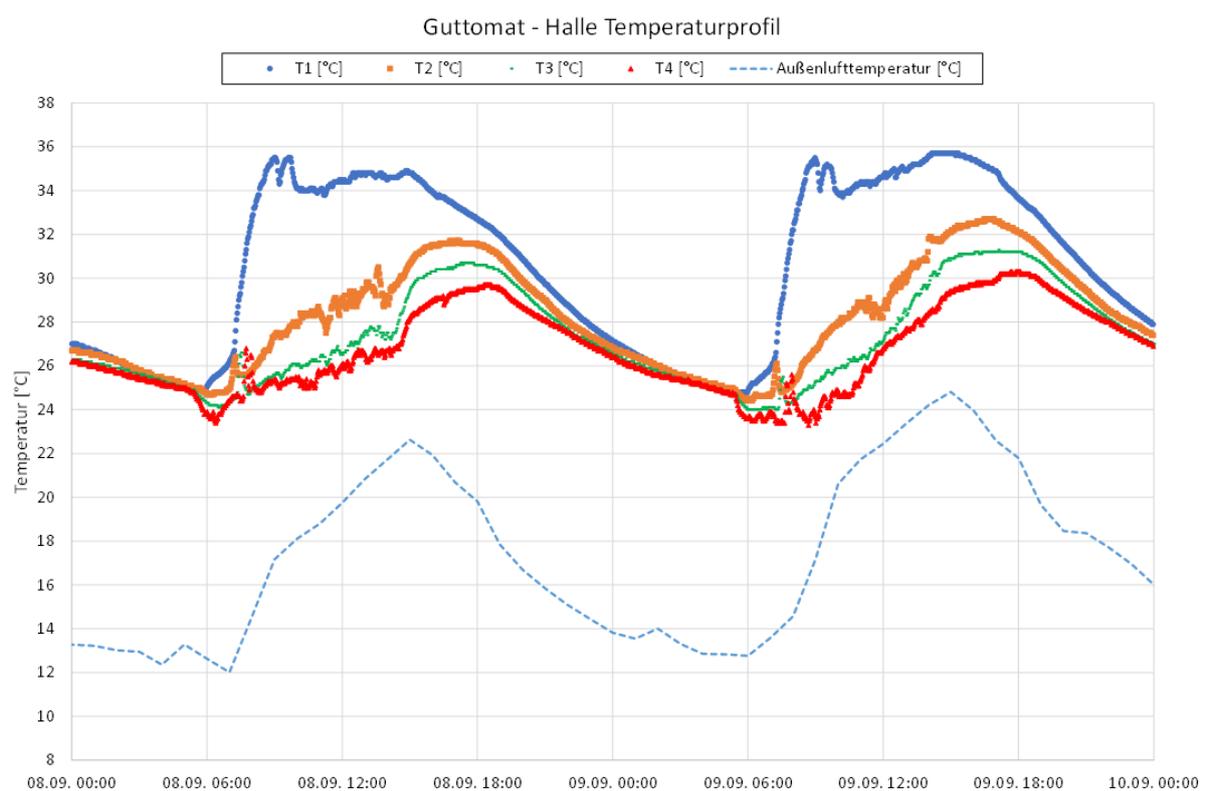


Abbildung 15: Messung der Temperaturen im September 2020 bei der Fa. Guttomat

Für die Messungen der Raumlufttemperatur wurden bei Fa. Guttomat Sektionaltore GmbH Sensoren in verschiedenen Höhen montiert. Die Halle weist eine Höhe von 7,6m auf. Die vier Sensoren wurden für die Messung 7,5 m, 7 m, 6,5 m und 6 m Höhe montiert. Es wurde ebenfalls die Außenlufttemperatur gemessen. Die Messung dauerte über 48 Stunden. Die Messung der verschiedenen Temperaturen ist in Abbildung 15 ersichtlich.

Die Messung für den am höchsten montierten Sensor ist dabei am auffälligsten. Die Temperatur schnell zu Tagesbeginn rapide in die Höhe. Zwischen 7:00 Uhr und 9:00 Uhr ist ein Anstieg von 9 K zu verzeichnen. Die Temperatur bleibt in der Höhe des Sensors T1 am 08.09. zumindest bis 21 Uhr auf über 30°C.

Bei den Sensoren T2, T3 und T4 ist ein stetiger Anstieg der Temperaturen bis kurz vor 18 Uhr zu verzeichnen. Bei zunehmender Tagesdauer ist ein Anstieg der Temperaturen im Arbeitsbereich zu verzeichnen. Auffällig ist auch die hohe Temperaturdifferenz in den Morgenstunden.

An sonnigen Tagen zeigt sich, dass das Temperaturprofil ca. 10 K zwischen dem Hallenboden und der Decke liegt. Unter der Decke kommt es zu Maximaltemperaturen von bis zu 36 °C. Die Maximalwerte im Arbeitsbereich werden um ca. 18:00 Uhr erreicht.

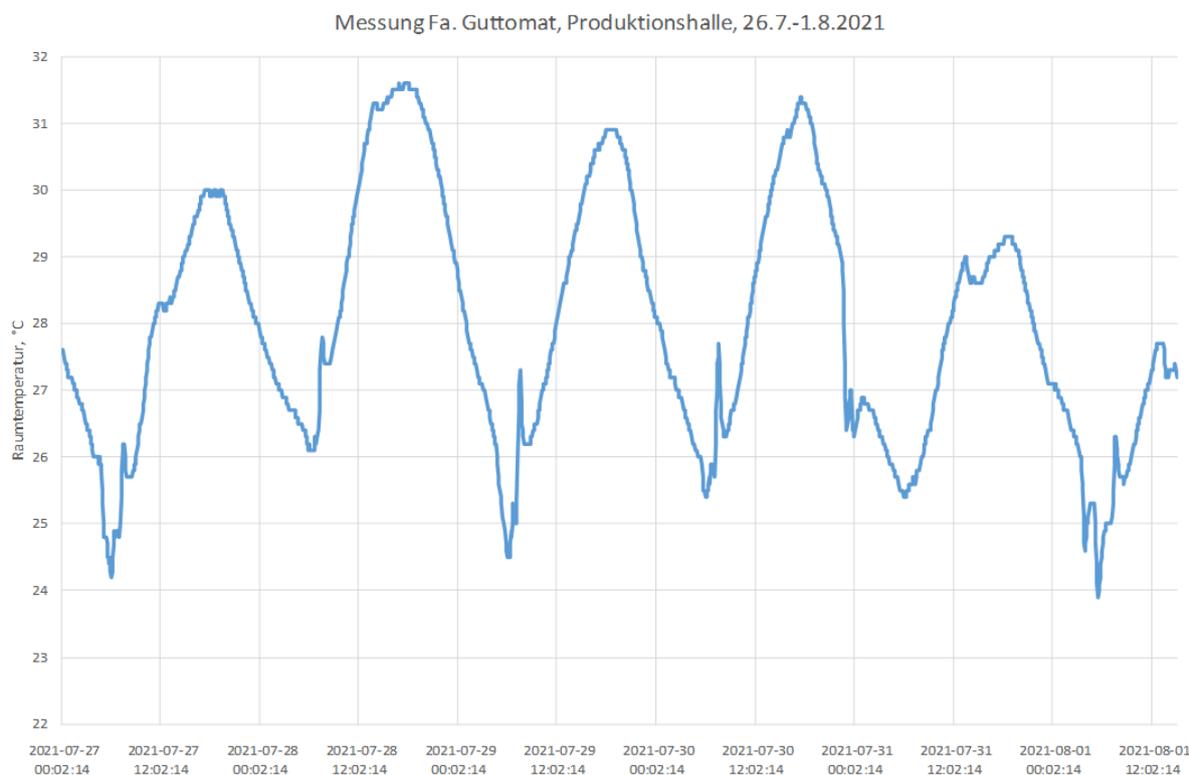


Abbildung 16: Messung der Temperaturen im Juli 2020 in der Produktionshalle bei der Fa. Guttomat

In Abbildung 16 ist die Messung der Raumlufttemperatur in °C vom 26.07.2021 bis 01.08.2021 ersichtlich. Die Spitzen tagsüber sind klar erkennbar und liegen zumindest an 5 von 6 Tagen über 30°C. Die Spitzen treten vor allem am Nachmittag bis späten Nachmittag auf. Auffällig ist die Temperaturdifferenz zwischen 6:00 Uhr und 18:00 Uhr. Es ist ein Anstieg von bis zu 6°C zu verzeichnen.

Zwischen 06:00 Uhr und 11:00 Uhr werden alle Türen zum Kühlen geöffnet. Brandrauchentlüftungen mit elektrischer Bedienung und Regensensor, werden tagsüber teilweise zum Lüften genutzt. Manche Arbeitsplätze haben kleine Tischventilatoren⁹.

3.2.2 Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung

Variante 1: Nachtlüftung über die Klappen der Brandrauchentlüftung

Für Fa. Guttomat wird in Variante 1 eine Nachtlüftung über die Klappen der Brandrauchentlüftung vorgeschlagen. Die Schnittstelle für die Brandrauchentlüftung wurde mit Fa. Colt freigeschaltet. Es erfolgte ein Pilotbetrieb der Nachtlüftung über die Brandrauchentlüftung. Die Steuerung der Lüftung erfolgt mithilfe eines Messkoffers von Fa. GET. Im Testbetrieb wurden auch Daten von Wind- und Regensensoren berücksichtigt. Im Dauerbetrieb von Variante 1 soll eine Zeitschaltuhr mit Innen-/Außentemperaturführung erfolgen. Für die Umsetzung der Maßnahme muss der Steuerschrank für die Brandrauchentlüftung erneuert werden. Kosten: ca. 9.000 €.

⁹ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

In Abbildung 17 ist der Testbetrieb der Rauchgaslüftung mithilfe des Testkoffers ersichtlich. Die Messung erfolgte am 21.06.2022. Es wurden jeweils die Temperaturen der Außenluft (grün markierter Graph) und die Temperatur der Produktionshalle (rot markierter Graph) gemessen. Am orange markierten Pfeil ist ein deutlicher Abfall der Temperatur in der Produktionshalle zu erkennen. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Klappen der Brandrauchentlüftung geöffnet.

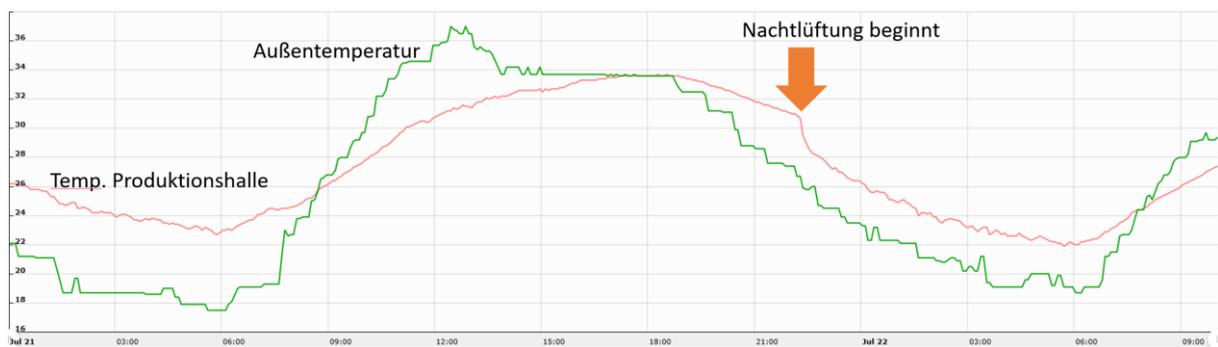


Abbildung 17: Messung im Pilotbetrieb der Brandrauchentlüftung (Ansteuerung mit Messkoffer)

In Abbildung 18 ist die Messung der Raumlufttemperatur während des Testbetriebs ersichtlich. Die Graphen kennzeichnen die verschiedenen Höhen der Sensoren. Die dargestellte Messung erfolgte zwischen 27.06.2022 und 03.07.2022. Es ist erkennbar, dass sich die Tageshöchsttemperaturen bezogen auf alle Messstellen mit verschiedener Höhe zwischen 33 °C und 36,5 °C befinden. Eine Temperatur von 26,5 °C wird in der Nacht nicht unterschritten. Der rot markierte Pfeil kennzeichnet den Beginn der Nachtlüftung. Ungeachtet der gemessenen Außentemperatur lässt sich ein rasch eintretender Nutzen erkennen. In der Nacht konnte die Halle auf 22°C gekühlt werden. Das sind 4,5 K weniger als ohne Nachtlüftung. Am Folgetag steigt die Temperatur zumindest nur noch auf 32,5 °C. Verglichen mit der Temperatur ohne Nachtlüftung ist das eine Temperaturdifferenz von 4 K.

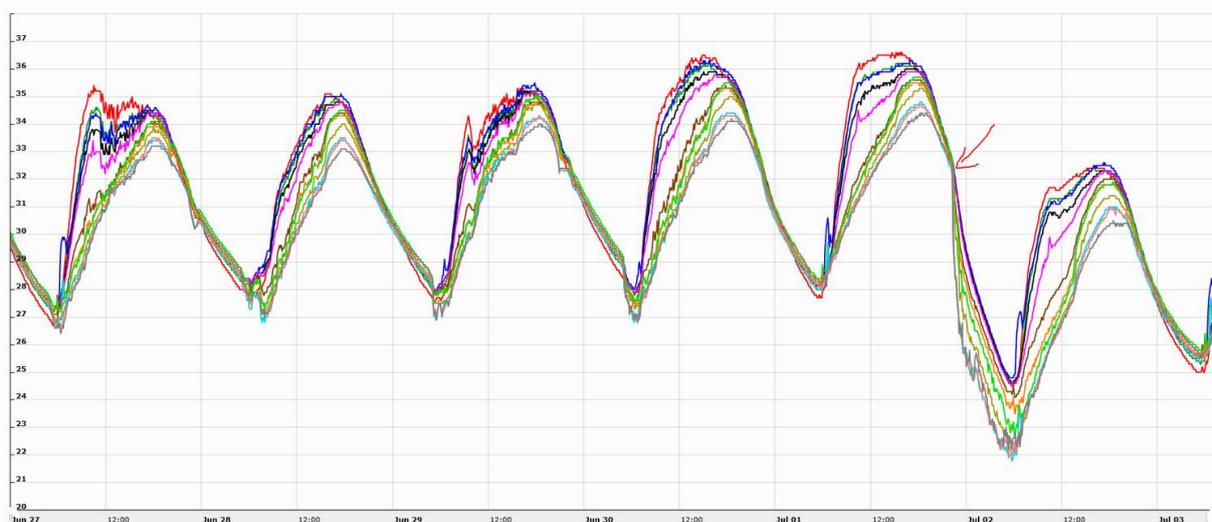


Abbildung 18: Messung der Raumlufttemperatur während des Testbetriebs

Vorteile:

Für den Test der Variante 1 „Nachtlüftung über die Klappen der Brandrauchlüftung“ fallen keine Mehrkosten an. Der Testbetrieb ist technisch einfach umsetzbar.

Ein weiterer Vorteil sind die niedrigen Betriebskosten, der niedrige Stromverbrauch und die daraus resultierenden ökologischen Vorteile.

Die Behaglichkeit in der Halle wird nicht durch unangenehme Zugluft tagsüber beeinträchtigt, da die Lüftung in der Nacht erfolgt.

Durch das angenehmere Raumklima kann die Produktivität der Mitarbeiter gesteigert werden. Daraus resultiert auch eine reduzierte Unfallgefahr.

Nachteile:

Wie bei Fa. Vulcolor handelt es sich in dieser Methode der Kühlung um keine aktive Kühlung. Die Kühlleistung kann nicht der einer dedizierten Klimaanlage entsprechen. Die maximale Kühlleistung ist durch die herabgekühlte Masse der Räume beschränkt. Auch hier ist kein aktives Kühlen und Entfeuchten, so wie es bei Klimaanlage üblich ist, möglich.

In Abbildung 19 ist der Schaltschrank für die Brandrauchlüftung ersichtlich.

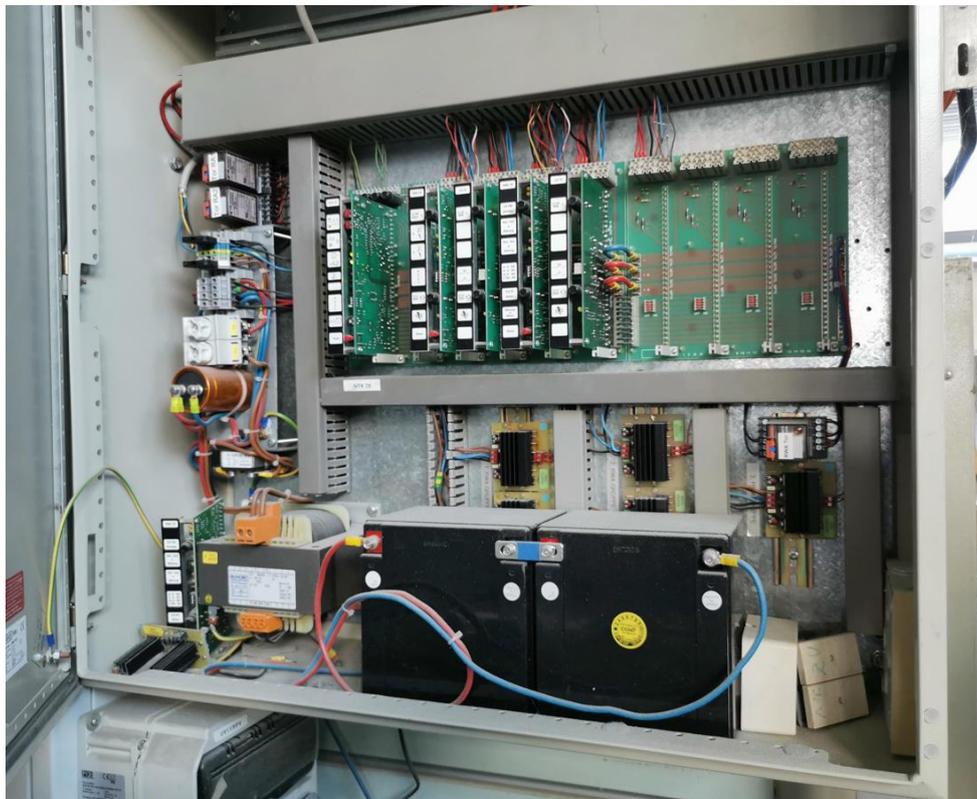


Abbildung 19: Schaltschrank der Brandrauchlüftung für den Test der Nachtlüftung im Sommer

In Abbildung 20 ist der Messkoffer von Fa. GET ersichtlich, mit welchem der Testbetrieb erfolgte.



Abbildung 20: Messkoffer GET

Variante 2: Nachlüftung über die Klappen der Brandrauchentlüftung und Sonnenschutzfolien

Variante 2 basiert auf Variante 1 „Nachlüftung über die Klappen der Brandrauchentlüftung“. Vormittag und Mittag ist aufgrund der großflächigen Verglasung mit hohen thermischen Lasten zu rechnen. Die solaren Erträge sind demnach sehr hoch. Aus diesem Grund wird Variante 1 um eine Sonnenschutz-Folie erweitert. Die Kosten der Sonnenschutzfolie belaufen sich auf ca. 9.400 €. Für die Umsetzung der Maßnahme kommen die Kosten des Schaltschranks von etwa 9.000 € hinzu. Gesamtkosten: ca. 18.400 €.

Die Lüftungsbezogenen Vor- und Nachteile sind entsprechend der Variante 1.

Vorteile:

Minimierung der äußeren, thermischen Lasten. Der minimierte Hitzeeintrag reduziert den Bedarf von Kühlung.

Nachteile:

Je nach Ausführung und Gegebenheit der Halle reduziert sich die Ausleuchtung. Zusätzliche Beleuchtung wird zum Teil erforderlich sein.

In Abbildung 21 ist die großflächig verbaute Glasfläche an der Fassade ersichtlich, samt den Klappen für die Brandrauchentlüftung für die Nachtlüftung (Pfeile).



Abbildung 21: Produktionshalle der Fa. Guttomat mit der Fensterfront, Pfeile markieren die Klappen der Brandrauchentlüftungsanlage

Nachtlüftung

Bei der Recherche und Nachforschung bei unterschiedlichsten Firmen entstand der Eindruck, dass einerseits Hersteller von Brandrauchentlüftungen/ RWA vorrangig am Einbau ihres Produktes orientiert sind und weniger Interesse an anderweitiger Nutzung haben. Auf der anderen Seite wollen Firmen, die auf Lüftungssysteme spezialisiert sind, aus wirtschaftlicher Betrachtung eher neue Lüftungssysteme verbauen bzw. nachrüsten. Folgende Erkenntnisse konnten von Antriebsherstellern gewonnen werden.

GEZE Austria GmbH

Immer mehr Objekte werden mit Konzepten zur natürlichen Belüftung ausgestattet. Vor allem bei Neubauten werden, auf Wunsch von Architekten/Planern, automatische Öffnungseinrichtungen vorgesehen. Seitens der Nutzer gibt es durchwegs positive Rückmeldungen.

Referenzobjekte bei denen eine Nachtlüftung erfolgte: BORG Gänserndorf (Turnhalle, Aufenthaltsräume und Garderobe) Fertigstellung 2022: Effekt im ersten Sommer spürbar. Weiters Volksschule Wolkersdorf, Schule in Wien Grundäckergasse, Schule Graz Puntigam.

Ein Nachrüsten von Lüftungsantrieben ist grundsätzlich möglich. Es wird eine Antriebszentrale mit Notstromversorgung (24V Akku) benötigt. Seit mehreren Jahren wird dies bereits bei normalen Fensterelementen umgesetzt. Bei Dach-/ Lichtkuppeln ohne Brandschutzanforderungen können Spindeltriebe nachgerüstet werden. Das Nachrüsten bei für den Brandfall vorgesehene RWA erfolgt sehr selten. Grund hierfür ist eine erforderliche Zulassung des Fensters, was gerade bei älteren Modellen meist schwierig nachzuweisen ist. Es muss ein geprüftes Gesamtsystem vom Elementhersteller freigegeben werden.

RWA-componets

Über Zeit oder Temperatur gesteuerte Öffnungsmöglichkeiten bei bestehenden Dachkuppeln sind meist Sonderanfertigungen.

Für ältere Modelle mit CO₂ oder Druckluftmechanismus sind „Bastelein“ notwendig (Reservekessel für Notbetrieb etc.) Modernere elektrische Anlagen sind „einfacher“ nachzurüsten.

Bei einem Betrieb in Traun wurde bei einer Halle eine ähnliche Adaptierung umgesetzt. Die Benutzer waren so zufrieden, dass alle Hallen gleich ausgestattet wurden.

Eine Regelung der Raumtemperatur wird über die Gebäude-Leittechnik bevorzugt.

Nilan Lüftungssysteme Handels GmbH

Soll keine mechanische Lüftungsanlage eingesetzt werden, wird eine Fensterquerlüftung in Kombination eines Raumthermostates bevorzugt.

Abhängig vom auszutauschenden Luftvolumen ist bei Bedarf eine Nachströmöffnung oder zusätzliche Ventilatoren vorzusehen. Die besten Erfahrungen (Effekt) wurde in den Nachtstunden ab Mitternacht gemacht.

Zwei negative Erfahrungen beeinflussen, warum eine Lüftung über die seitlichen (vertikale) Gebäudehülle anstatt einer Lüftung im Dachbereich bevorzugt wird: Sturmschaden trotz Windsensor und zu späte Schließung bei Regenschauer trotz Regensensor. Daher werden „normale“ Fenster bevorzugt.

Produktionshalle O.K. Energie Haus GmbH

Die Produktionshalle ist mit mehreren Rauch- und Wärmeabzugskuppeln in der Dachfläche ausgestattet. Die Elemente können mit einem manuellen Schalter geöffnet werden.

Die Mitarbeiter nutzen die Öffnungen zur Durchlüftung bei Hitzestau an heißen Sommertagen. Die Klappen bleiben auch über Nacht und am Wochenende geöffnet, um einen Kühleffekt durch Nachtlüftung zu erzielen. Bis zum nächsten Morgen bzw. Montagfrüh nimmt die operative Temperatur in der Halle spürbar ab, heizt sich jedoch schnell wieder auf. Der Effekt könnte durch eine Nachströmöffnung in Bodennähe womöglich verstärkt werden.

Die Elemente sind mit einem Regen- und Windsensor ausgestattet. Bei Schlechtwetter gehen die Öffnungen nur automatisch zu und bleiben verschlossen. Ein automatisches/ selbstständiges Öffnen am Wochenende oder nachts erfolgt nicht mehr, wodurch der Kühleffekt nicht optimal erreicht wird.

Der Öffnungs- und Schließmechanismus erfolgt pneumatisch. Nachteil: Druckluft muss ständig vorhanden sein; Gefahr bei Stromausfall (Kompressorausfall) am Wochenende oder Nacht und Regen ist, dass die Öffnungen nicht schließen.

Das Thema Einbruch wird vernachlässigt, da die Öffnungen in ca. 7m Höhe und vergittert sind. Zusätzlich befinden sich in der Produktionshalle mehrere Bewegungsmelder und eine Kameraüberwachung ist vorhanden.

Zumeist sind auch untertags die Tore und Brandrauchentlüftungen geöffnet, da es zu einem Durchzug kommt und für die Produktionsmitarbeiter – unabhängig von der Temperatur – als angenehm empfunden wird.

Zach Antriebe GmbH

Bis dato wurden noch keine Industriehallen mit Fensterantrieben ausgestattet. Das Funktionsprinzip ist bei Kuppeln oder Fenstern das Gleiche (Motor 24V).

Eine Lüftungszentrale (Steuerung) ist erforderlich und eine Querlüftung ist jedenfalls anzustreben.

Bisher wurden bei Hallen nur manuell zu öffnende Lichtkuppeln verwendet, welche zusätzlich mit Wind- und Regensensor ausgestattet waren.

Die Auswirkungen einer Nachströmöffnung (möglicher Kamineffekt) ist nicht beurteilbar. Alternative Ausführungsmöglichkeiten bieten Lamellenfenster.

Variante 3: Adiabate Kühlung

Bei der adiabaten Kühlung handelt es sich um eine Verdunstungskühlung. Das Wasser verdunstet in der Luft, während der Luftstrom über das Wasser streicht. Die Luft kühlt ab, da die dazu notwendige Wärmeenergie der Luft entzogen wird¹⁰.

Vorteile:

Die Luft kühlt direkt ab, es sind keine Wärmetauscher und kein Kältemittel notwendig. Der Wartungsaufwand ist sehr niedrig.

Nachteile:

Durch die direkte adiabate Kühlung steigt die Feuchtigkeit im Raum, sie kann deshalb nur in gut belüfteten Räumen eingesetzt werden. Die Leistung ist abhängig von der Außenluft, feucht-schwüle Luft lässt sich nur schwer abkühlen¹¹.

3.2.3 Techno-ökonomische Analyse

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgt lt. ÖNORM M7140. Es werden die zuvor beschriebenen Varianten 1-3 berechnet. Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre. Es wurde ein Kalkulationszinssatz von 3% pro Jahr angenommen.

In Variante 1 ist für den benötigten Steuerschrank mit einer Nutzungsdauer von 15 Jahren zu rechnen. Nach 15 Jahre entstehen hier Erneuerungskosten. Variante 1 weist einen jährlichen Energieeinsatz von 432 kWh auf.

Variante 2 basiert auf Variante 1 und unterscheidet sich lediglich durch das Hinzukommen einer Sonnenschutzfolie für die Fensterflächen. Für den Steuerschrank und die Sonnenschutzfolie ist mit einer Nutzungsdauer von 15 Jahren zu rechnen. Danach fallen Kosten für Erneuerungen an. Der jährliche Energieeinsatz ist gleich wie bei Variante 1: 432 kWh.

In Variante 3 kommt eine adiabate Kühlung zum Einsatz. Die Nutzungsdauer beträgt ebenfalls 15 Jahre. Es ist mit einem Energieeinsatz von 9.000 kWh pro Jahr zu rechnen.

Folgende Kosten wurden bei den Berechnungen berücksichtigt:

Summe der kapitalgebundenen Kosten (Anschaffungskosten):

- Variante 1: 9.000, -
- Variante 2: 17.863, -
- Variante 3: 130.000, -

¹⁰ <https://www.colt-info.de/wie-funktioniert-adiabatische-kuehlung.html>, abgerufen am 09.03.2023

¹¹ <https://www.deutsche-thermo.de/wiki/verdunstungskuehler-adiabate-kuehlung-in-gewerbe-industrie-2/>, abgerufen am 09.03.2023

Die Summe verbrauchsgebundenen Kosten betragen:

- Variante 1: 173, -
- Variante 2: 173, -
- Variante 3: 3.600, -

Die Summe der betriebsgebundenen und sonstigen Kosten

- Variante 1: 100, -
- Variante 2: 360, -
- Variante 3: 1.950, -

In Abbildung 22 ist der Verlauf der realen Gesamtkosten der Varianten 1 – 3 ersichtlich.

Variante 1 „Nachtlüftung“ und Variante 2 „Nachtlüftung mit Sonnenschutzfolie“ unterscheiden sich lediglich in der verwendeten Sonnenschutzfolie. Demnach sind in Variante 2 die Anschaffungskosten höher und bei den betriebsgebundenen Kosten etwas höher. Nach 15 Jahren fallen Erneuerungskosten an.

Wesentlich auffälliger ist der Verlauf von Variante 3 „Adiabate Kühlung“. Die Anschaffungskosten liegen ein Vielfaches höher als Variante 1 und 2. Es lässt sich auch erkennen, dass die verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten höher sind. Diese Eckpunkte resultieren in höhere Gesamtkosten pro Jahr. Erneuerungskosten sind nach 15 Jahren fällig.

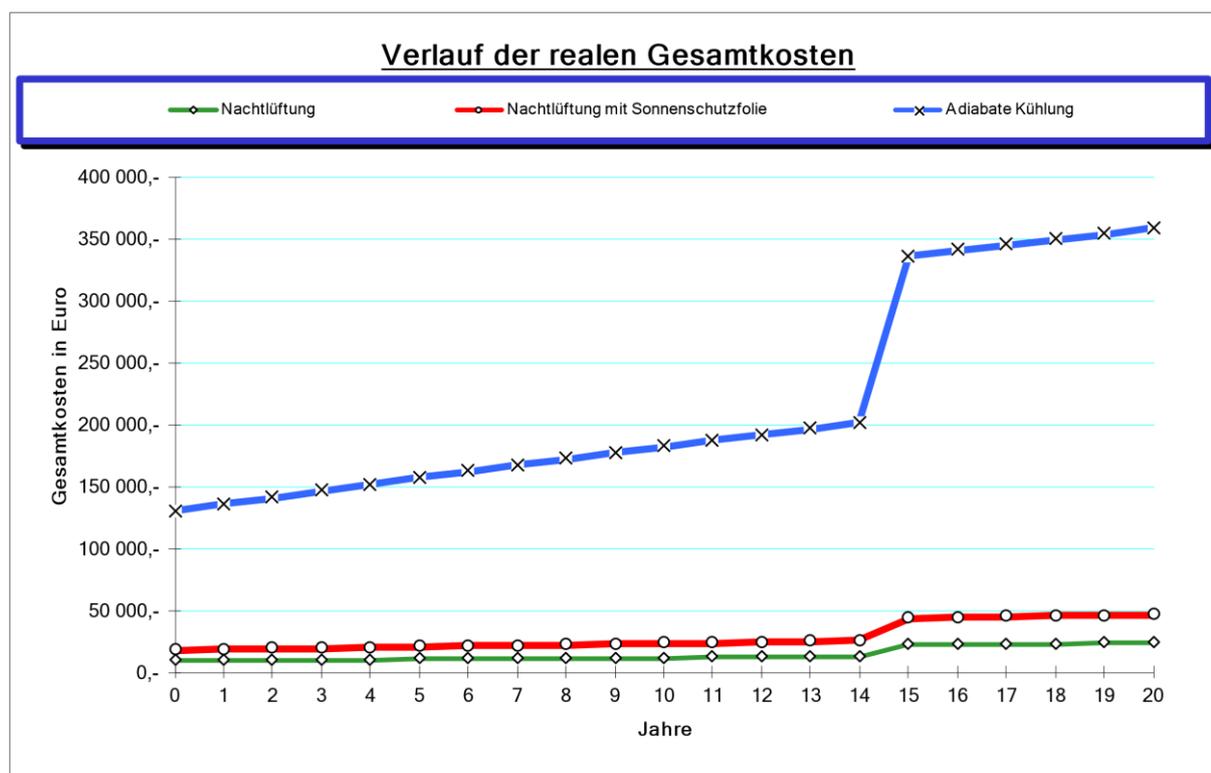


Abbildung 22: Abbildung Verlauf der realen Gesamtkosten

In Abbildung 23 ist der Verlauf der fiktiven Gesamtkosten zu erkennen. Variante 1 stellt in diesem Verlauf die kostengünstigste Variante dar.

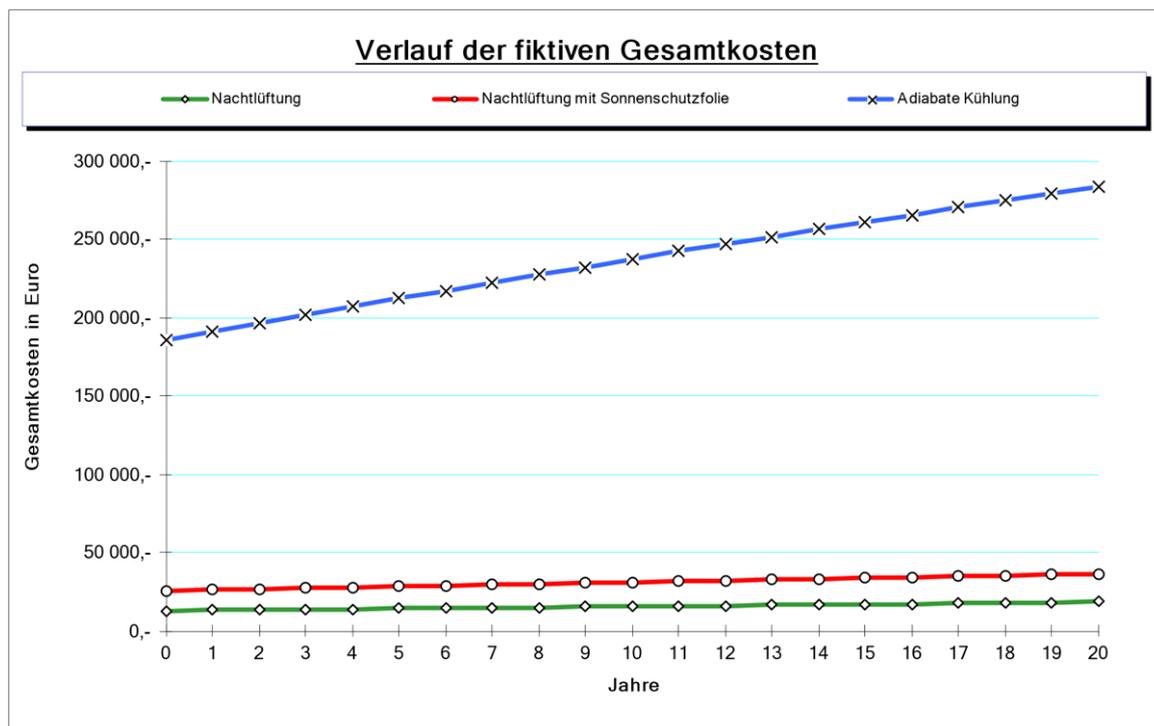


Abbildung 23: Abbildung Verlauf der realen Gesamtkosten

3.2.4 Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode

In diesem Betriebsgebäude wurden vom Geschäftsführer die Kosten für Herstellung (30.7%) und Betrieb (23.1%) vergleichsweise am höchsten priorisiert (n = 1). Der Kühleffekt stellt mit einer mittleren Priorisierung von 19.6% einen weiteren wesentlichen Faktor dar. Technische Aspekte, Umsetzungswahrscheinlichkeit und Umgebungseinfluss wurden gleichermaßen nachrangig priorisiert (je 8.2%). Ökologische Aspekte sind in diesem Betriebsgebäude letztgeriht (2.1%) wie in Abbildung 24 ersichtlich.

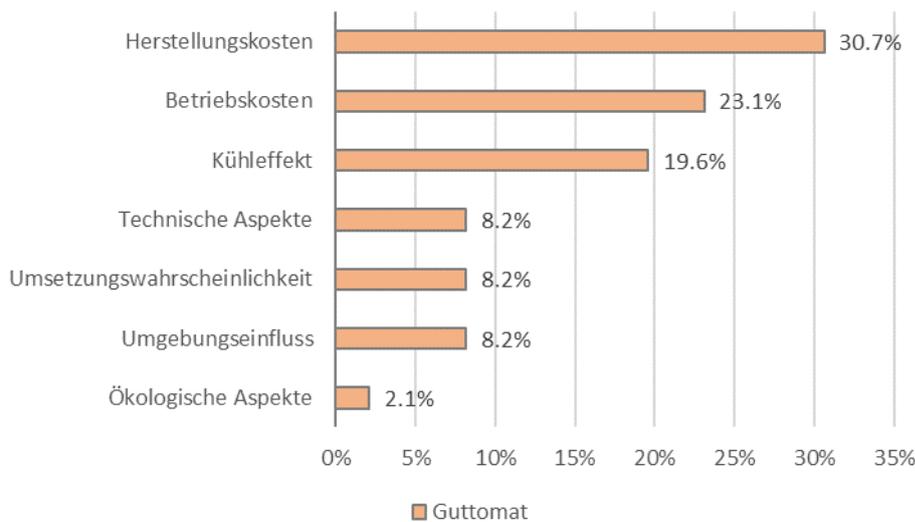


Abbildung 24: Priorisierung der Bewertungskriterien Guttomat Sektionaltore GmbH

In Folge der Priorisierung der Bewertungskriterien konnten die angedachten Maßnahmen bewertet werden, wie in Tabelle 3 ersichtlich. Dafür wurde ein Rating für jedes Kriterium einer Maßnahme mit den möglichen Ausprägungen 1 = „sehr schlecht“ bis 5 = „sehr gut“ durchgeführt. Dahingehend erreicht die Maßnahme „Nachtlüftung über BRE“ die vergleichsweise höchste Bewertung (4.53). Die Variante 3 „adiabate Kühlung“ wurde bereits im Vorhinein, bedingt durch die hohen Investitionskosten durch die Geschäftsführung, ausgeschlossen.

Tabelle 3: Ergebnis der AHP-Bewertung für die Firma Guttomat Sektionaltore GmbH

Bewertungskriterium	Priorität	Nachtlüftung über BRE und Sonnenschutzfolien			
		Rating	Gewicht	Rating	Gewicht
Ökologische Aspekte	2.1%	5	0.11	5	0.11
Technische Aspekte	8.2%	5	0.41	5	0.41
Herstellungskosten	30.7%	5	1.54	3	0.92
Betriebskosten	23.1%	5	1.16	4	0.92
Kühleffekt	19.6%	3	0.59	4	0.78
Umgebungseinfluss	8.2%	4	0.33	4	0.33
Umsetzungswahrscheinlichkeit	8.2%	5	0.41	4	0.33
Gesamtbewertung	100.0%		4.53		3.80

3.2.5 Auswahl der Lösungen

Geschäftsführer Michael Hoffmann und Betriebsleiter Josef Jani forcieren die Variante der automatisierten Nachtlüftung über die vorhandenen Klappen der Rauch- und Wärmeabzugsanlage, weil damit der spürbarste Effekt erwartet wird. Ein Pilotbetrieb mit der bestehenden Steuerung soll dazu durchgeführt werden. Bei einer Nachtlüftungsvariante müssen die Lichtkuppeln bei Regen geschlossen sein, wofür ein Wind- und Regensensor vorhanden ist.

Sonnenschutzfolien werden ebenfalls angedacht. An der süd-westseitigen Fensterfront werden die MitarbeiterInnen derzeit ab der Mittagszeit von der Sonne geblendet. Hier wird die Idee einer Photovoltaik-Überdachung aufgegriffen da diese gut umsetzbar ist.

Zudem zeigen sich die Vertreter an einer EEG interessiert, um die vorhandenen Klimageräte zu versorgen.

3.3 Auto Doczekal GmbH

3.3.1 Ausgangslage

Das Autohaus hat Schauräume mit großer Fensterfassade und Büros (Abbildung 25). Im Sommer wird es in diesen Räumen wie auch im Werkstatt- und Lagerbereich sehr heiß. Die alte Baukonstruktion begünstigt die sommerliche Überhitzung. Für die Schauräume und Büros sind teilweise Klimaanlage (Multisplitgeräte) vorhanden. Die Schauräume werden auf etwa 23 °C gekühlt. Besonders heiß wird es ab ca. 14:00 Uhr in der Werkstatt.



Abbildung 25: Das Gebäude der Fa. Auto Doczekal

Die Tore der Werkstatt sind im Sommer meistens offen, es gibt keine Verschattungseinrichtungen. Besonders hoch ist der Wärmeeintrag über das Dach¹².

Abbildung 26 zeigt die Messungen von Innenlufttemperatur und Außenlufttemperatur bei Fa. Auto Doczekal. Die Messung erfolgte zwischen 24.08.2020 und 29.08.2020. Die Innenraumtemperatur der Werkstatt wird mit einem blauen Graphen dargestellt. Der orangefarbene Graph beschreibt die Messung der Außenlufttemperatur.

Es ist erkennbar, dass die Außenlufttemperatur und Innenlufttemperatur ohne erkennbaren Zeitversatz gleichzeitig ansteigen. Das Autohaus besitzt in der Außenfassade

¹² Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

große Glasflächen. Diese scheinen einen großen Einfluss auf den gleichzeitigen Anstieg der Innentemperatur mit der Außentemperatur zu haben. Im Graph der Innenlufttemperatur ist erkennbar, dass die Auskühlung zwischen 3 K und 5 K beträgt. Der rapide Abfall der Innenlufttemperatur am Morgen ist dadurch zu erklären, dass die Mitarbeiter um etwa 06:30 Uhr die Tore öffnen, um die Werkstätte zu lüften. In dieser Zeit wird eine Temperaturreduktion von etwa 2 K erreicht. Es ist jedoch auch erkennbar, dass das Potential für die Nachtlüftung nicht zur Gänze ausgeschöpft wird.

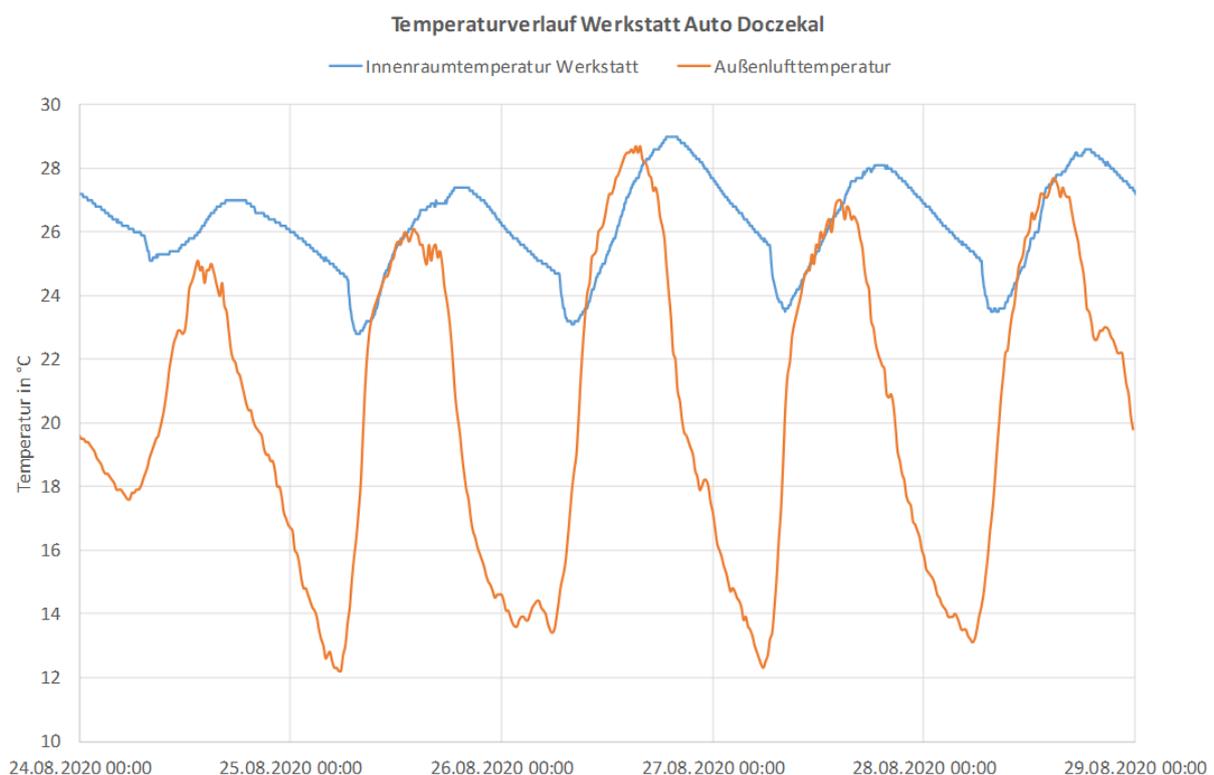


Abbildung 26: Temperaturverlauf Werkstatt Auto Doczekal

In der Abbildung 27 ist ein Ausschnitt des h-x Diagramms nach Mollier ersichtlich. Der grau markierte Bereich wird angenehm empfunden. Der Bereich wird durch die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 30% und 65% gekennzeichnet. Die Temperatur wird zwischen 20 °C und 26 °C als behaglich empfunden.

Die Nutzer des Raumes Werkstatt wurden zu verschiedenen Zeitpunkten über die derzeit empfundene Behaglichkeit im Raum befragt. Die Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte werden gemessen und geloggt. Zu den Zeitpunkten, bei welchen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter befragt wurden, wurde angegeben wie behaglich sie das Raumklima empfanden.

Zur Auswahl standen:

- Angenehm
- Etwas zu warm
- Zu warm
- Viel zu warm

Im h-x-Diagramm beschreibt jeder farblich markierte Punkt, wie das Raumklima empfunden wurde. Von den 35 Angaben über das empfundene Raumklima gab es 17 Angaben, bei denen die Befragten das Raumklima als angenehm empfunden haben. Im Diagramm erkennbar ist, dass ein Großteil dieser Menge sich im Rahmen der Behaglichkeitsgrenzen befindet. Zwei Befragte empfanden das Raumklima sogar außerhalb dieses Fensters noch als angenehm.

Die verbleibenden 18 Angaben der Raumnutzer zeigen, dass das Raumklima als etwas zu warm und als zu warm wahrgenommen wurde.

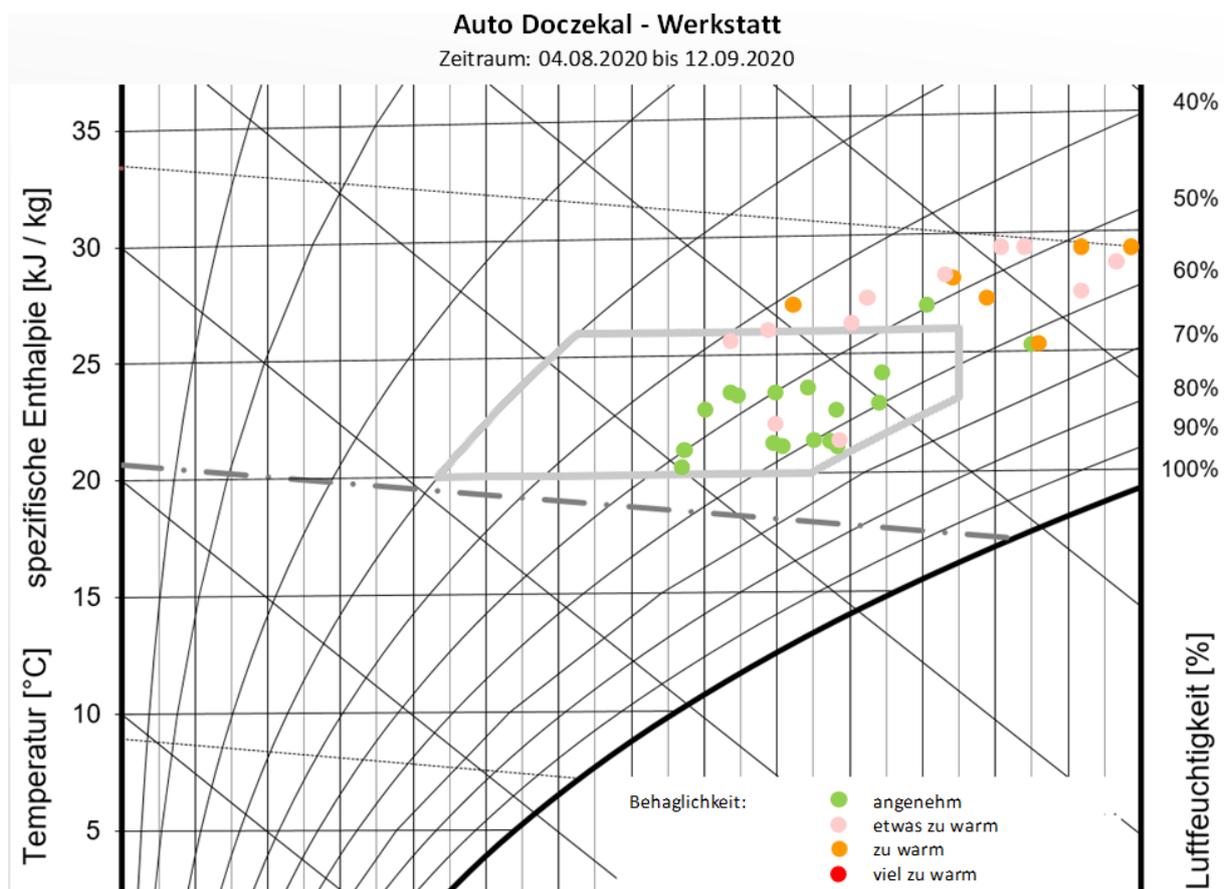


Abbildung 27: Behaglichkeitsfeld Autohaus Doczekal

In Abbildung 28 ist die gemessene Raumtemperatur in der Werkstatt von Juni bis August 2021 erkennbar. Die Installation der Sonnenschutzfolie erfolgte Anfang Juli 2021.

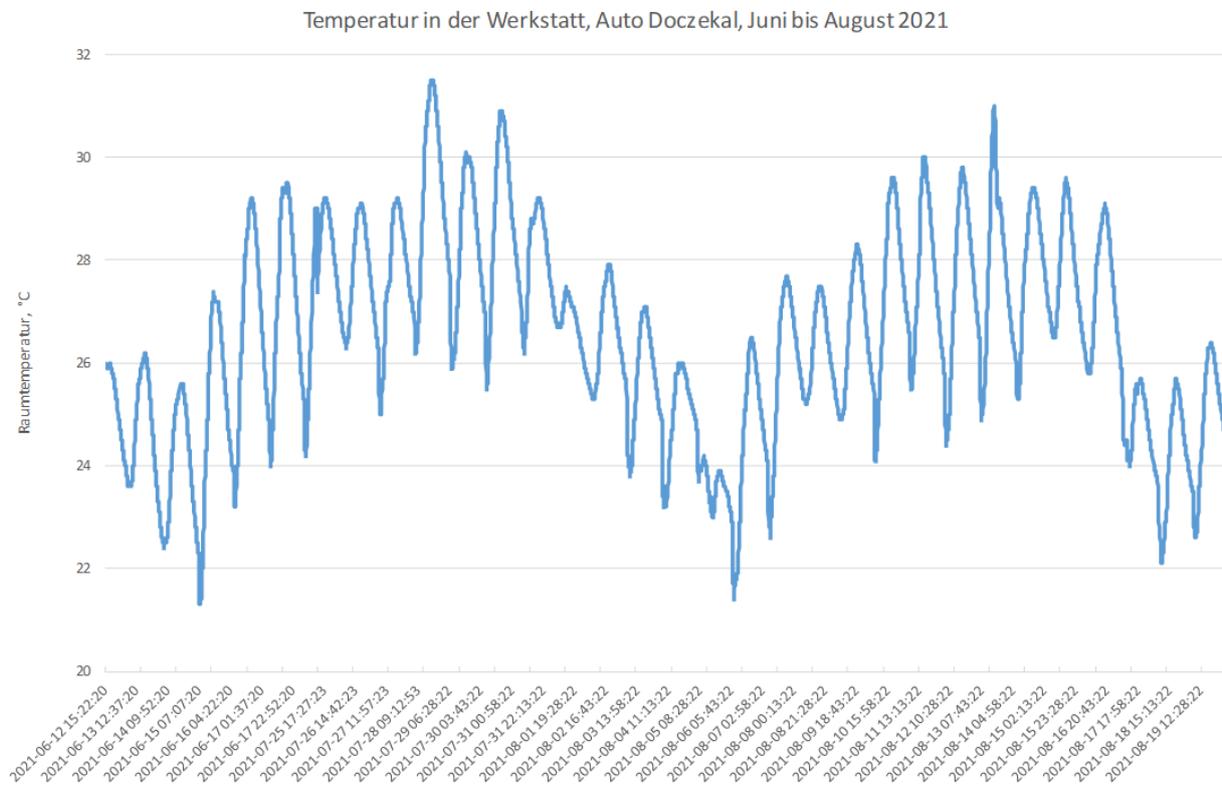


Abbildung 28: Temperatur in der Werkstatt Auto Doczekal

3.3.2 Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung

Sonnenschutzfolien

Im Juli 2021 wurden in der Werkstatt und der Spenglerei Sonnenschutzfolien an den Fensterscheiben angebracht. Die Rückmeldung der Nutzer war positiv. So wurde berichtet, dass die Arbeitsplätze neben dem Fenster deutlich angenehmer wahrgenommen werden. Die direkte Sonneneinstrahlung wird minimiert. Die Blendungen der Nutzer reduzieren sich ebenfalls, was einen positiven Effekt auf die Arbeitsleistung aufweist. Es wird jedoch auch berichtet, dass weiterhin die Temperatur ab 10:00 Uhr in der Werkstatt zu heiß und unangenehm wird. Die Sonnenschutzfolie weist einen positiven Effekt auf die Arbeitsplätze auf. Eine wesentliche Senkung der Temperatur konnte diese aber nicht bewirken. Die Raumlufttemperatur ist ähnlich hoch wie vor der Installation der Sonnenschutzfolie. Das hat damit zu tun, dass das Tor im Sommer geöffnet bleibt. Mitarbeiter aus den Bereichen Werkstatt und Spenglerei wurden befragt, ob das Tor geschlossen zu lassen für beide eine Option sei. Beide Bereiche können sich diese Vorgehensweise vorstellen.

Manche Mitarbeiter müssen sich sowohl in der Werkstatt als auch im Büro aufhalten. Von diesen Mitarbeitern wurde die hohe Temperaturdifferenz in den beiden Bereichen als besonders unangenehm empfunden.

Variante 1: Nachtlüftung per Ventilator und Nachströmöffnung

Trotz der Installation der Sonnenschutzfolie bleibt das Problem der Überhitzung bestehen. Deshalb wird eine Nachtlüftung per Ventilator und Nachströmöffnung als Variante 1 vorgeschlagen. Das Raumvolumen der Werkstatt beträgt etwa 2.000 m³. Es wird ein einfacher Luftwechsel angestrebt. Für die E-Werkstatt wird ein Ventilator benötigt. Es ist mit Investitionskosten von 5.900 € und jährlichen Stromkosten von etwa 90 € zu rechnen.

In Abbildung 29 ist die Simulation des Temperaturverlaufes ohne Nachtkühlung in der Werkstatt Auto Doczekal zu sehen. Die blaue Linie markiert die Kühlsolltemperatur von 25 °C, die grüne Linie die Außentemperatur. Die Raumtemperatur (rote Linie) hat einen ähnlichen Verlauf wie die Außentemperatur, die Temperaturspitze im Innenraum von ca. 32 °C wird allerdings erst später erreicht als die Temperaturspitze der Außenluft von ca. 26 °C. Die Innentemperatur steigt bis 18:00, danach beginnt sie zu sinken.

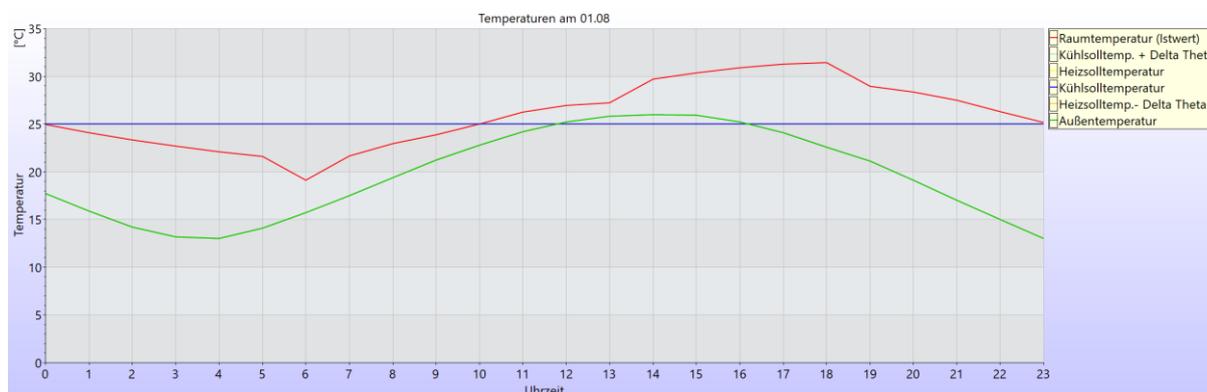


Abbildung 29: Simulation Temperaturverlauf ohne Nachtkühlung in der Werkstatt Auto Doczekal

In Abbildung 30 ist die Simulation des Temperaturverlaufes mit Nachtkühlung (einfacher Luftwechsel) in der Werkstatt Auto Doczekal zu erkennen. Die Temperatur sinkt in der Nacht schneller und um etwa 1 K tiefer, am Tag ist kein Unterschied im Verlauf der Raumtemperatur zu erkennen.

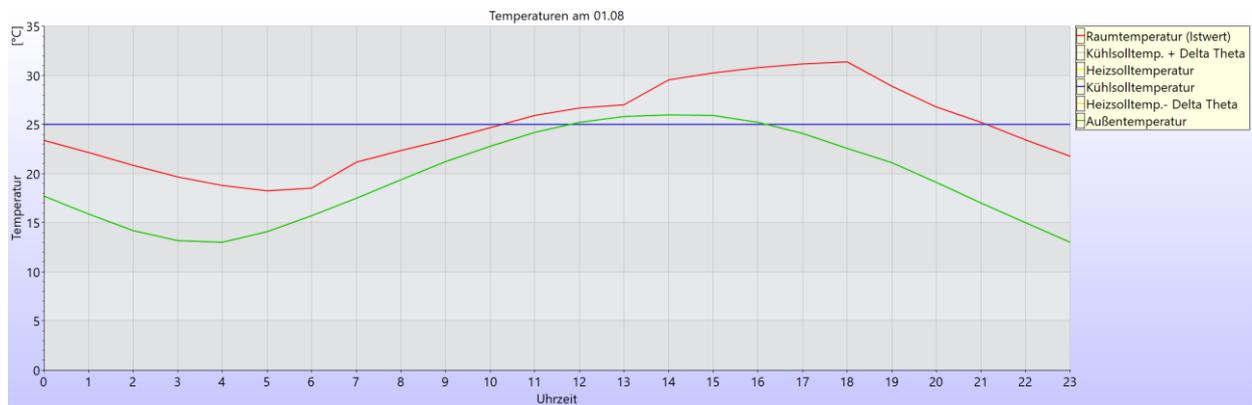


Abbildung 30: Simulation Temperaturverlauf mit Nachtkühlung (einfacher Luftwechsel) in der Werkstatt Auto Doczekal

Abbildung 31 zeigt die Simulation des Temperaturverlaufes mit Nachtkühlung und einem Ventilator mit 2.000 m³/h in der Werkstatt Auto Doczekal. Auch hier ist am Tag kein signifikanter Unterschied im Innenraum-Temperaturverlauf zu erkennen. Grund dafür ist wahrscheinlich das Alter des Gebäudes und die daraus resultierende wenig gedämmte Bauweise. Auch fehlen offensichtlich Speichermassen, um den Raum auch am Tag gekühlt zu halten.

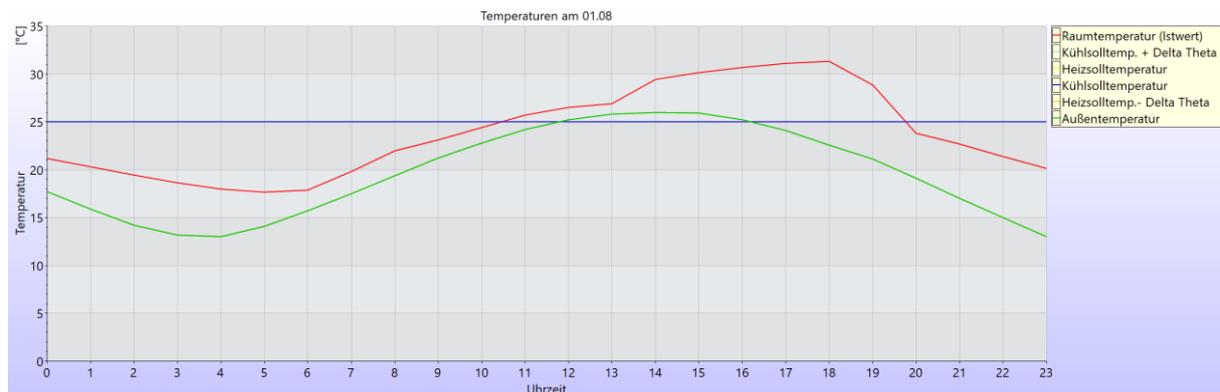


Abbildung 31: Simulation Temperaturverlauf mit Nachtkühlung und Ventilator 2.000 m³/h in der Werkstatt Auto Doczekal

In Abbildung 32 ist ein Ausschnitt des Gebäudeplans zu erkennen. Der untere Pfeil markiert die Klappe eines Wetterschutzgitters als Lufteinlass, der obere Pfeil den Auslass des Abluftventilators.

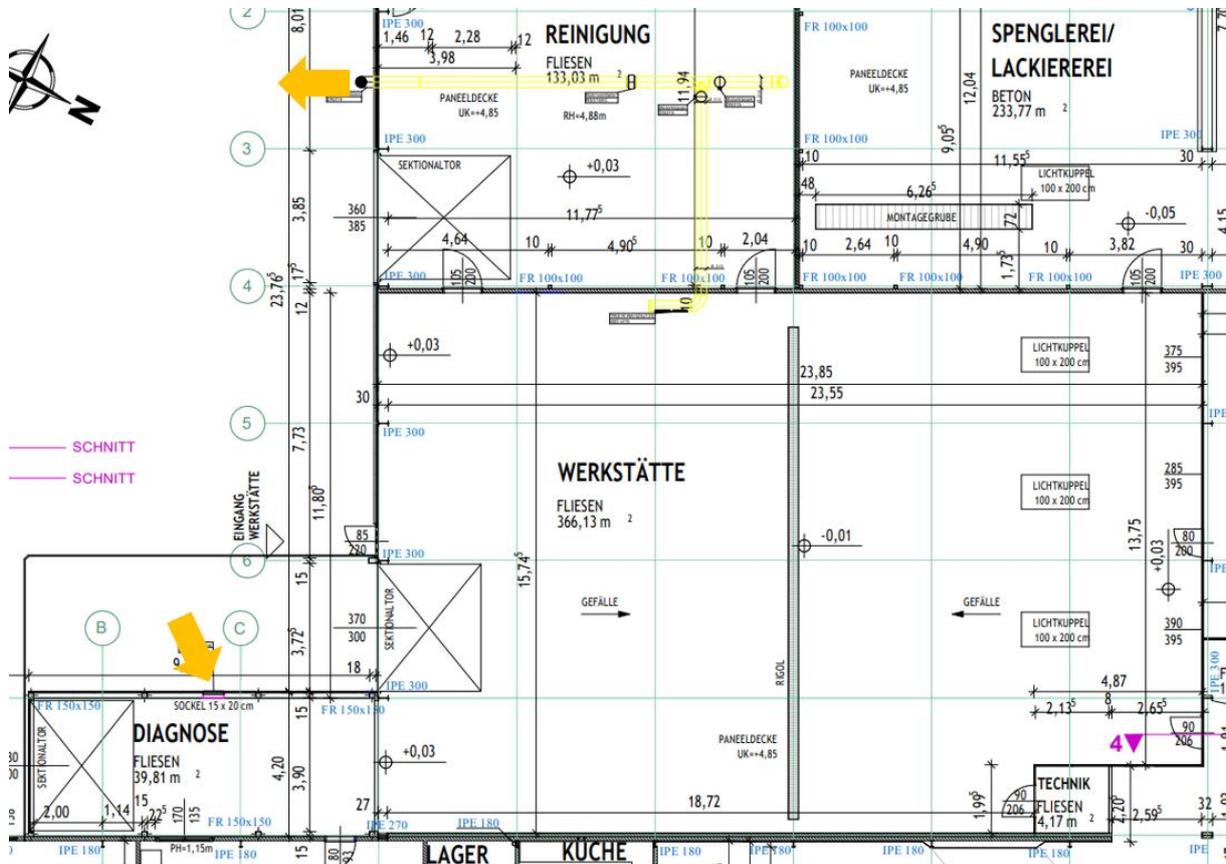


Abbildung 32: Ausschnitt des Gebäudeplans

Variante 2: Klima-Splitgerät, ca. 6 kW

Beim Standort Auto Doczekal wird in Variante 2 ein Split-Klimagerät (Abbildung 33) mit einer Kälteleistung von ca. 6 kW vorgeschlagen, um die Werkstatt geringfügig zu kühlen und die Raumluft zu entfeuchten.

Die Rahmenbedingungen sind identisch wie in Variante 1: Das Raumvolumen der Werkstatt beträgt etwa 2.000 m³ und es wird ein einfacher Luftwechsel angestrebt.

Für Variante 2 „Split Klimagerät mit ca. 6 kW Kühlleistung“ wird mit Anschaffungskosten von etwa 8.100 € gerechnet. Die mögliche Ausführung ist flexibel, so können beispielsweise zwei Innengeräte installiert werden. Der Betrieb mit diesen Rahmenbedingungen ergibt etwa einen Stromverbrauch von 830 kWh pro Jahr. Bei derzeitigem Stromtarif entspricht das 375 € pro Jahr. Für Wartung kommen etwa 160 € jährlich hinzu.



Abbildung 33: Klimaspplitgerät¹³

Vorteile:

Die Vorzüge von Split-Klimageräten sind bekannt. Der Raum kann dadurch aktiv gekühlt und auch entfeuchtet werden.

Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit in mehreren Räumen Innengeräte anzubringen und einzelne Räume unabhängig voneinander zu kühlen.

Nachteile:

Ein Nachteil der Variante 2 ist die Netzabhängigkeit. Volatilität am Strommarkt ist ebenfalls ein Risiko, da betriebliche Kosten schlechter kalkulierbar sind. Im Vergleich zu Variante 1 erweisen sich Klimageräte als wartungsintensiver.

In der Errichtung ist ein Kondensatablauf zu berücksichtigen.

Variante 3: Klima-Splitgerät, ca. 12 kW, mit 7 kWp Photovoltaikanlage

Die Rahmenbedingungen sind dieselben wie bei Variante 1 und Variante 2. Variante 3 unterscheidet sich in der Größe des Klimageräts. In Variante 3 kommen vier Innengeräte zum Einsatz. Daraus ergibt sich eine gesamte Kühlleistung von 12 kW. Zusätzlich zum Klimagerät kommt in Variante 3 noch eine PV-Anlage mit einer Leistung von 7 kWp zum Einsatz (Abbildung 34). Es ergeben sich dadurch Investitionskosten von insgesamt 28.000€. Bei einer entsprechenden Verschaltung der PV-Anlage mit Priorisierung der Split-Klimaanlage fällt der bezogene Strom aus dem Netz zur Gänze weg. Das bedeutet, dass der gesamte Strom für die Kühlung aus der betriebseigenen

¹³ [samsung-klimaanlage-duo-set-r32-inverter-kuehlen-und-heizen-2525-kw-bis-3535-m-optional-wifi.jpg \(455x455\)](https://www.klimaanlageshop.com) (klimaanlageshop.com)

PV-Anlage stammt. Für Variante 3 ergeben sich jährliche Wartungskosten in Höhe von 300 €.

Vorteile:

Wie auch bei Variante 2 kann der Raum mit Split-Klimageräten aktiv gekühlt und auch entfeuchtet werden, jedoch mit einem höheren Kühleffekt, bedingt durch die größere Kälteleistung.

Überschüssiger Strom kann betrieblich genutzt werden oder über einen Einspeisetarif vergütet werden. Die Nutzung und Überschusseinspeisung stellen sowohl eine ökologische als auch ökonomische Lösung dar.

Durch die PV-Anlage ist die Erzeugung von Kälte nicht vom Netz abhängig.

Nachteile:

Wie bei Variante 2 ist der Nachteil der Split-Klimaanlage im Vergleich zu Variante 1 die aufwändigere Wartung. Der Kondensatablauf wird hier ebenso benötigt und gehört planerisch berücksichtigt.



Abbildung 34: PV-Anlage¹⁴

3.3.3 Techno-ökonomische Analyse

Die Berechnung lt. ÖNORM M 7140 für die beschriebenen Varianten 1 – 3 wird mithilfe Microsoft Excel durchgeführt. Für die Berechnung wurden folgende Parameter berücksichtigt:

- Kapitalgebundene Kosten
- Verbrauchsgebundene Kosten
- Betriebsgebundene und sonstige Kosten.

Es wurde in allen drei Varianten ein Kalkulationszinssatz von 3% herangezogen. In Variante 1 wird bei den Ventilatoren eine Nutzungsdauer von 10 Jahren angenommen, bei Material, Regelung und Elektrotechnik wird eine Nutzungsdauer von 20 Jahren erwartet. Das bedeutet, dass nach jeweils 15 und 20 Jahren Erneuerungskosten anfallen werden. Der Jährliche Energieeinsatz pro Jahr beträgt 200 kWh Strom.

¹⁴ Reiterer & Scherling GmbH, 2020

In Variante 2 wird für die Klimaanlage, den Innengeräten und der damit verbundenen Arbeitszeit eine Nutzungsdauer von 15 Jahre angenommen. Für Material, Elektroinstallationen und Arbeiten ist eine Nutzungsdauer von 20 Jahre. Der Jährliche Energieeinsatz pro Jahr beträgt 833 kWh Strom.

Variante 3 basiert auf Variante 2 und unterscheidet sich durch die höhere Kühlleistung und die Erweiterung mit der PV-Anlage. Die PV-Anlage wird mit einer Nutzungsdauer von 20 Jahren bewertet. Der Jährliche Energieeinsatz pro Jahr beträgt 1.733 kWh Strom.

In Abbildung 35 ist ersichtlich, dass Variante 2 (Multisplitklima 6 kW) die höchsten verbrauchsgebundenen Kosten aufweist. Diese betragen pro Jahr 2.500 €. Variante

Folgende Kosten wurden bei den Berechnungen berücksichtigt:

Summe der kapitalgebundenen Kosten (Anschaffungskosten):

- Variante 1: 5.900, -
- Variante 2: 8.100, -
- Variante 3: 28.064, -

Die Summe verbrauchsgebundenen Kosten betragen:

- Variante 1: 90, -
- Variante 2: 375, -
- Variante 3: -1.695, -

Die Summe der betriebsgebundenen und sonstigen Kosten

- Variante 1: 100, -
- Variante 2: 164, -
- Variante 3: 287, -

In Abbildung 35 ist der Verlauf der realen Gesamtkosten der Varianten 1 – 3 aufgetragen. Es ist erkennbar, dass Variante 1 „Nachtströmung / Lüftung“ mit 5.900 € die geringsten Anschaffungskosten, als auch die geringsten verbrauchsgebundenen Kosten aufweist. Variante 2 „Multisplitklima 6 kW“ weist mit 8.100 € sowohl höhere Anschaffungskosten, als auch höhere verbrauchsgebundene Kosten auf. Diese betragen in Variante 2 pro Jahr 375 €.

Die höchsten Anschaffungskosten sind bei Variante 3 „PV + Multisplitklima“ erkennbar. Diese betragen 28.064 €. Entgegen Variante 1 und Variante 2 ist in Variante 3 ein regressiver Verlauf der verbrauchsgebundenen Kosten zu verzeichnen. Hier stehen lediglich die Erneuerungskosten im 15. und im 20. Jahr hervor.

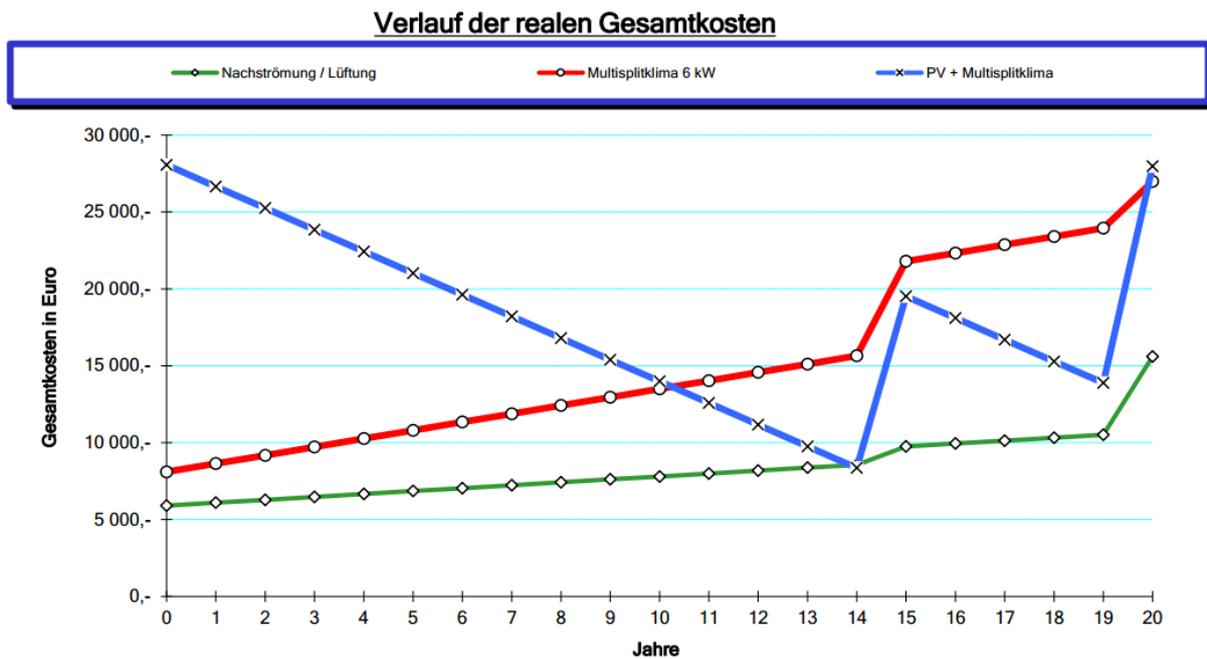


Abbildung 35: Verlauf der realen Gesamtkosten

In Abbildung 36 ist der fiktive Verlauf der Gesamtkosten zu erkennen. Nach einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ist zu erkennen, dass Variante 3 die kostengünstigste Lösung ist.

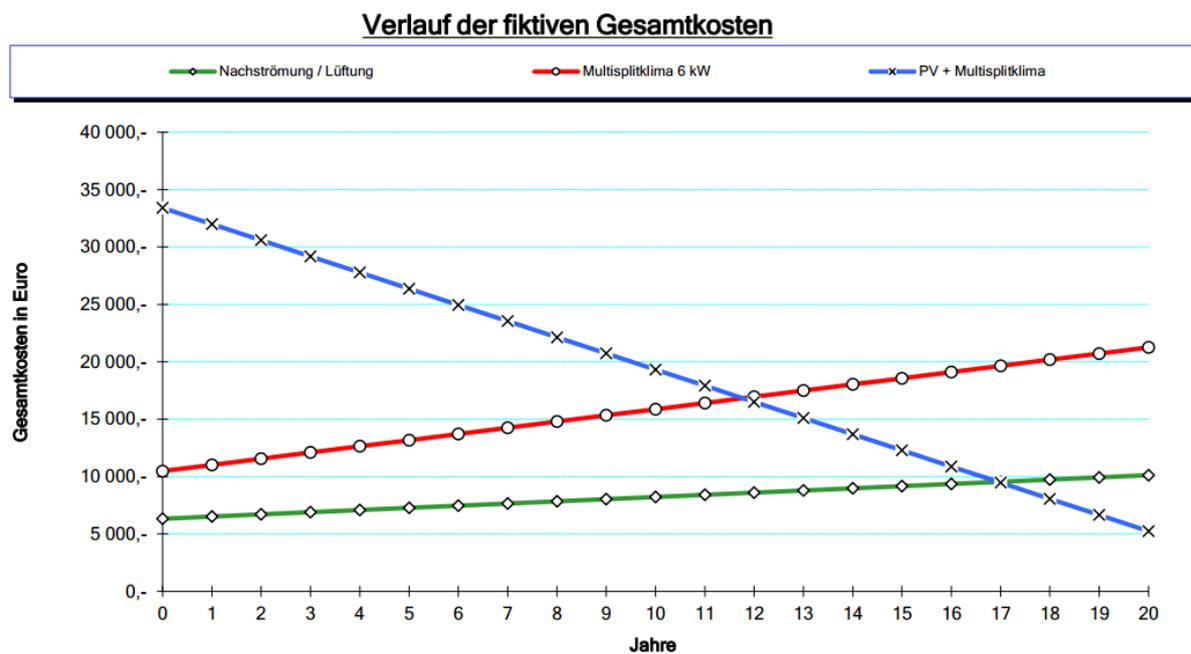


Abbildung 36: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten

3.3.4 Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode

In diesem Betriebsgebäude werden einerseits Betriebskosten (35.3%), andererseits ökologische Aspekte (29.1%) priorisiert (n = 2). Der Kühleffekt ist mit einer mittleren Priorisierung von 12.3% nächstgereiht. Herstellungskosten (8.9%), Technische Aspekte (5.3%), Umsetzungswahrscheinlichkeit (4.8%) sowie der Umgebungseinfluss (4.3%) sind eher nachrangige Bewertungskriterien wie in Abbildung 37 ersichtlich.

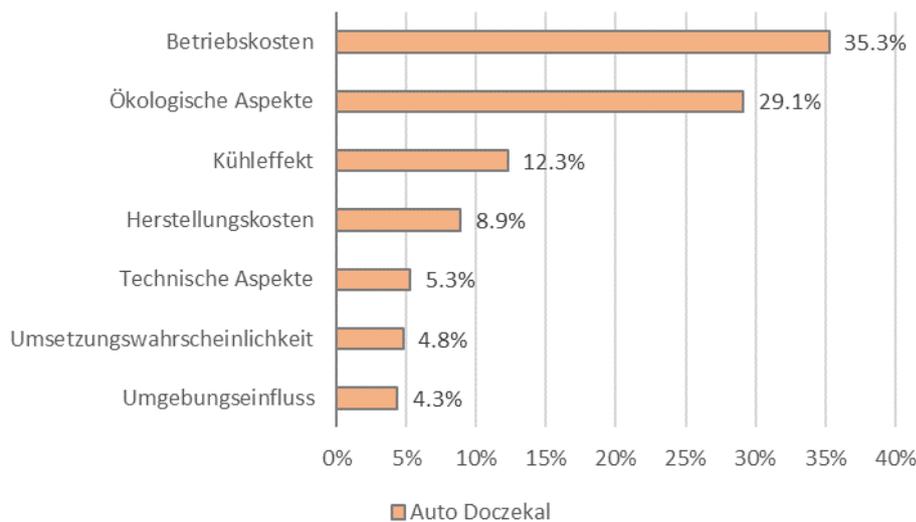


Abbildung 37: Priorisierung der Bewertungskriterien Auto Doczeal GmbH

In Folge der Priorisierung der Bewertungskriterien konnten die angedachten Maßnahmen bewertet werden wie in Tabelle 4 dargestellt. Dafür wurde ein Rating für jedes Kriterium einer Maßnahme mit den möglichen Ausprägungen 1 = „sehr schlecht“ bis 5 = „sehr gut“ durchgeführt. Dahingehend erreicht die Maßnahme „PV + Multisplitklima“ die vergleichsweise höchste Bewertung (4.15).

Tabelle 4: Ergebnis der AHP-Bewertung für die Firma Auto Doczeal

Bewertungskriterium	Priorität	Nachströmung / Lüftung		Multisplitklima 6 kW		PV + Multisplitklima	
		Rating	Gewicht	Rating	Gewicht	Rating	Gewicht
Ökologische Aspekte	29.1%	4	1.16	1	0.29	4	1.16
Technische Aspekte	5.3%	4	0.21	4	0.21	3	0.16
Herstellungskosten	8.9%	4	0.36	3	0.27	1	0.09
Betriebskosten	35.3%	4	1.41	2	0.71	5	1.77
Kühleffekt	12.3%	3	0.37	5	0.62	5	0.62
Umgebungseinfluss	4.3%	5	0.22	5	0.22	5	0.22
Umsetzungswahrscheinlichkeit	4.8%	5	0.24	2	0.10	3	0.14
Gesamtbewertung	100.0%		3.97		2.40		4.15

3.3.5 Auswahl der Lösungen

Geschäftsführer Heinrich Doczekal bedankt sich für die Ideen. Die Sonnenschutzfolien wurden bereits im Juli 2021, auf Anraten des Projektteams, in der Werkstatt und der Spenglerei umgesetzt.

Derzeit sind sieben Klima-Splitgeräte im Büro und im Schauraum installiert. Der Temperaturunterschied zwischen Büroräumen und Werkstatt ist zeitweise groß, weshalb die Klimaanlage mitunter ausgeschaltet werden, da Werkstattmitarbeiter zwischen Werkstatt und Büros wechseln.

Eine mögliche Lösungsvariante für die Werkstatt wäre die Nachtlüftung mit Ventilator und Nachströmöffnung. Zudem wäre eine Versorgung der Klimasplitgeräte durch eine Photovoltaikanlage für den Unternehmer interessant. Die Stromeinspeisung des Gebäudes ist begrenzt. Eine Hürde wäre die Finanzierung in Abhängigkeit von der Marktlage und Auslastung. Eine Sanierung des Werkstatttrakts wäre nur als Gesamtkonzept über die nächsten Jahre vorstellbar.

Klimaanlagen in der Werkstatt würden den besten Kühleffekt bewirken. Das Tor ist meist geöffnet, was den Kühlungseffekt zu stark beeinträchtigen würde. Weiters soll getestet werden, welchen Effekt es auf die Temperaturen hat, wenn das Werkstatttor ab 08:00 Uhr geschlossen bleibt.

4 Wohngebäude

4.1 Einfamilienwohnhaus Doczekal

4.1.1 Ausgangslage

Das Einfamilienwohnhaus Doczekal (Abbildung 38) wurde in Holzriegel-Bauweise errichtet (Partner: O.K. Energie Haus GmbH). Es wird über eine Luft/Wasser-Wärmepumpe sowie über eine Fußbodenheizung beheizt, hier bestünde auch die Option zu kühlen. Das gesamte Haus ist mit außenliegenden Jalousien ausgestattet. Belüftet wird das Gebäude mit einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärme- und Feuchterückgewinnung.

Im Sommer steigt die Temperatur meist nur auf 26 °C. Aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit wird das Raumklima trotzdem, vor allem bei körperlicher Aktivität, von den Nutzer*innen als unangenehm empfunden.



Abbildung 38: EFH Doczekal – Südwest-Ansicht¹⁵

4.1.2 Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung

Variante 1: Kontrollierte Wohnraumlüftung

Abbildung 39 beschreibt vier Kühllast-Simulationen für den Raum „Schlafzimmer“. Die Simulationen wurden für einen repräsentativen Tag im Juli durchgeführt und erfolgten für 24 Stunden.

In Variante 1 wird der Raum ohne Verschattung der Glasflächen betrieben und beschreibt den ungünstigsten Fall. Diese Behauptung spiegelt sich im Diagramm wider. Es werden Temperaturen von bis zu 34,8 °C erreicht. Die niedrigste Temperatur in Variante 1 beträgt 31,7 °C.

Es werden auch die Anpassungen für Juli simuliert. Der Zuluft-Strom beträgt 80 m³/h (in der Nacht als Nachtlüftung) und es kommen Jalousien zum Einsatz, der Reflexionsgrad beträgt 52. Die maximal erreichte Raumtemperatur beträgt 31,7 °C. Die niedrigste simulierte Temperatur für diesen Julitag beträgt 29,5 °C.

In Variante 2 kommt Kühlung mittels Fußbodenheizung zum Einsatz und es wird Gebrauch von den Außenjalousien gemacht. Es werden Temperaturen von maximal 30,9 °C erreicht. Die Tagestiefsttemperatur beträgt 28,7 °C.

Variante 3 beschreibt die Nachtlüftung mit vierfachem Luftwechsel. Es kommen hier auch Jalousien zum Einsatz. In Abbildung 39 ist erkennbar, dass diese Variante den

¹⁵ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

günstigsten Fall darstellt. Es werden Temperaturen von 28,6 °C erreicht. Variante 3 weist den niedrigsten Tiefstwert von 26,1 °C auf.

Die Höchsttemperaturen der simulieren Raumluft werden jeweils zwischen 17:00 Uhr und 18:00 Uhr erreicht. Die simulierten Tiefstwerte werden um 06:00 Uhr erreicht.

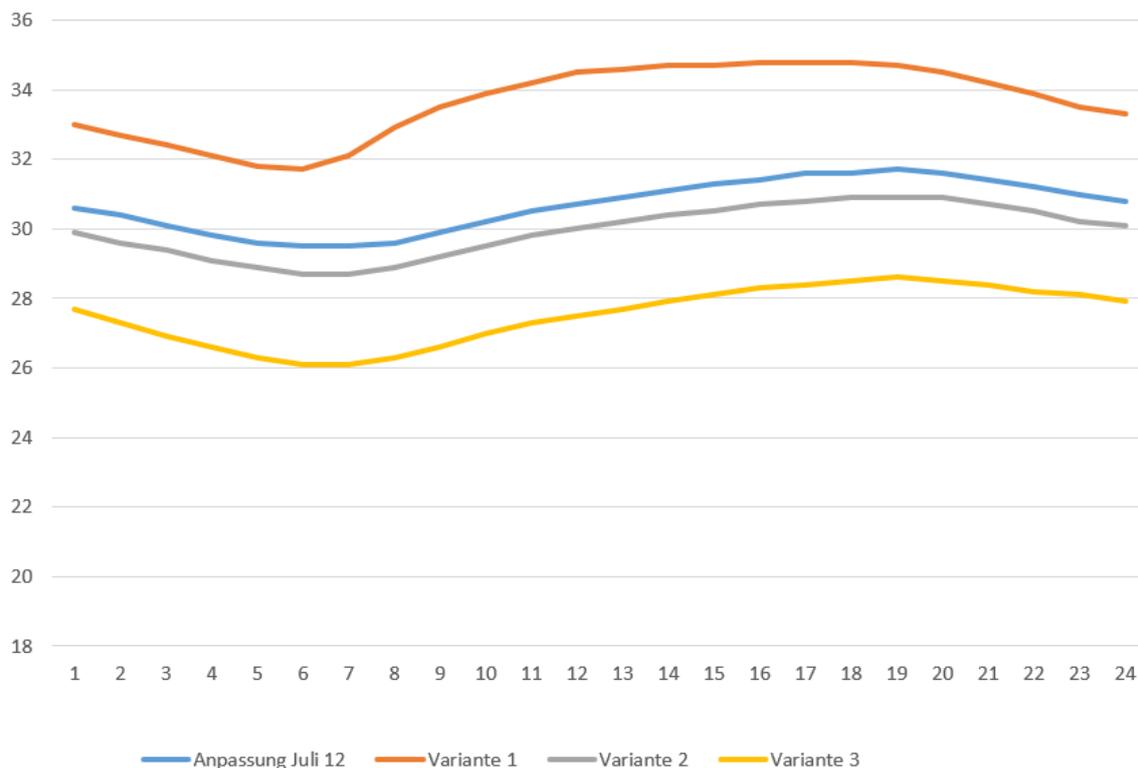


Abbildung 39: Simulation der Temperaturen im Schlafzimmer

Abbildung 40 beschreibt vier Kühllast-Simulationen für den Raum „Wohnraum“. Die Simulationen wurden für einen repräsentativen Tag im Juli durchgeführt und erfolgten ebenfalls für 24 Stunden.

In Variante 1 wird der Raum ohne Verschattung der Glasflächen betrieben und beschreibt den ungünstigsten Fall. Diese Behauptung spiegelt sich im Diagramm wider. Es werden Temperaturen von bis zu 40,2 °C erreicht. Die niedrigste Temperatur in Variante 1 beträgt 33,8 °C.

Es werden auch die Anpassungen für Juli simuliert. Der Zuluft-Strom beträgt 134 m³/h und es kommen Jalousien zum Einsatz, der Reflexionsgrad beträgt 52. Die maximal erreichte Raumtemperatur beträgt 32,4 °C. Die niedrigste simulierte Temperatur für diesen Julitag beträgt 28,4 °C.

In Variante 2 kommt Kühlung mittels Fußbodenheizung zum Einsatz und es wird Gebrauch von Außenjalousien gemacht. Es werden Temperaturen von maximal 30,9 °C erreicht. Die Tagestiefsttemperatur beträgt 26,9 °C.

Variante 3 beschreibt die Nachtlüftung mit vierfachem Luftwechsel. Es kommen hier auch Jalousien zum Einsatz. In Abbildung 40 ist erkennbar, dass diese Variante den günstigsten Fall darstellt. Es werden Temperaturen von 30,1 °C erreicht. Variante 3 weist den niedrigsten Tiefstwert von 25,1°C auf.

Die Höchsttemperaturen der simulieren Raumluft werden jeweils zwischen 18:00 Uhr und 19:00 Uhr erreicht. Die simulierten Tiefstwerte werden um 7 Uhr erreicht.

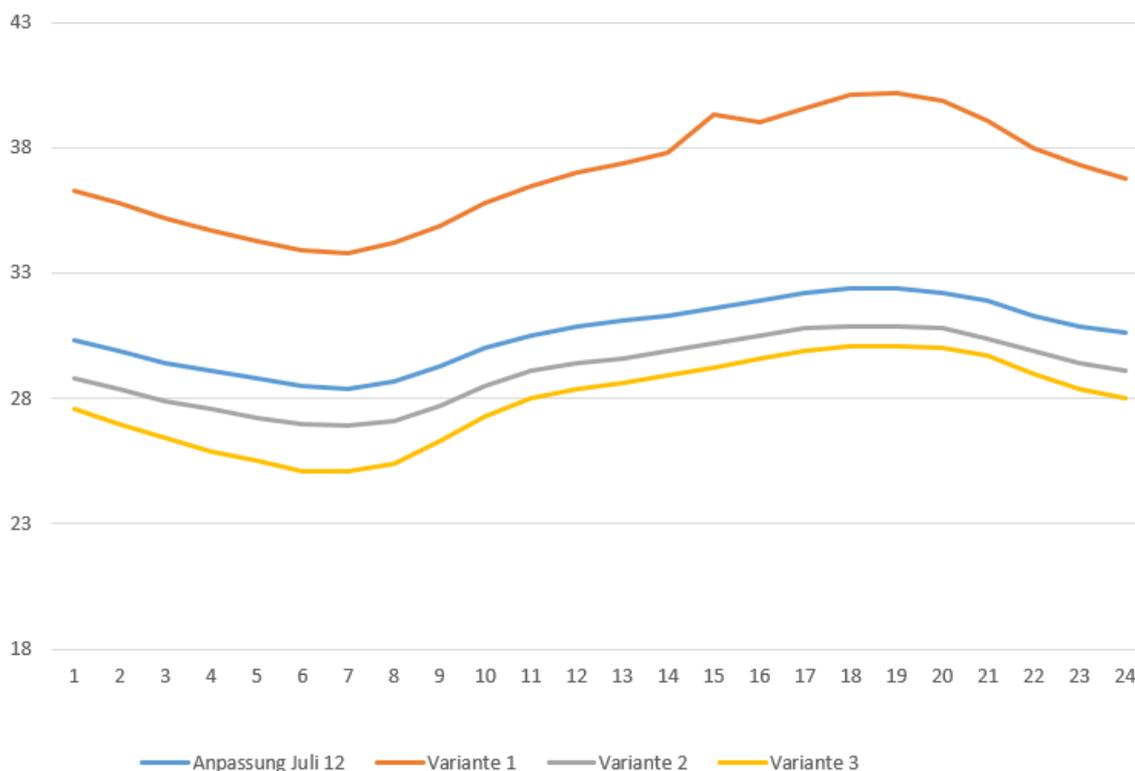


Abbildung 40: Simulation der Raumtemperatur im Wohnraum

4.1.3 Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung

Variante 1: Teilautomatisierte Nachtlüftung

In dieser Variante soll ein Smarthomegerät wie beispielsweise HOMEE zur Ausführung gelangen. Das Smartsystem ist modular aufgebaut und lässt sich per W-Lan, oder anderen Funktechnologien, mit den elektrischen Verbrauchern verbinden. Per App lassen sich die Rollos zeitgesteuert oder temperaturabhängig im Gebäude steuern. Das Smart Homegerät schließt oder öffnet dabei in Abhängigkeit der Außentemperatur die Rollos bzw. Jalousien. Im Rahmen des Projekts wurde das System so programmiert (Abbildung 41, Abbildung 42), dass dem Benutzer eine Meldung am Smartphone erscheint, dass die Fenster geöffnet oder geschlossen werden sollten. Dies

ist als Empfehlungssystem zu verstehen, damit die Fenster für die Nachtlüftung händisch zeitlich optimal geöffnet bzw. geschlossen werden.



Abbildung 41: Einstellung der Push-Nachricht zum Öffnen der Fenster via homee



Abbildung 42: Einstellung der Push-Nachricht zum Schließen der Fenster via homee

Variante 2: Ergänzung der kontrollierten Wohnraumlüftung mit einem Erdwärmetauscher

Ein Erdwärmetauscher nutzt die Temperatur des Erdreiches. Im Sommer ist die Erdreichtemperatur geringer als die Außentemperatur, daher wird die Zuluft der kontrollierten Wohnraumlüftung gekühlt. Im Winter wird die Zuluft vorgewärmt.

Vorteile:

Mit einer kontrollierten Wohnraumlüftung ist eine Wärme- und Feuchterückgewinnung möglich. Mit einem zusätzlichen Erdwärmetauscher wird der Wärmeeintrag in das Gebäude vermindert, da im Sommer die Luft durch das Erdreich gekühlt wird.

Nachteile:

Es ist nicht möglich, mit einem Erdwärmetauscher die Luft zu entfeuchten. Da die Rohre des Erdwärmetauschers eingegraben werden müssen, ist die Nachrüstung dementsprechend aufwändig. Weiters kann die Hygiene der Luft ein Thema sein. Bedingt

durch den geringen Luftvolumenstrom der kontrollierten Wohnraumlüftung kann damit nur ein geringer Kühleffekt erreicht werden.

Mit dem Erdwärmetauscher wird ca. 10 % bis 15 % an Heiz- und Kühlenergie eingespart.

Zur Berechnung eines luftdurchströmten Erdreichwärmetauschers wurde das Simulationsprogramm (Gahed) von der Firma Rehau genutzt. Ausgegangen wird von einem Einzelrohrsystem mit 200x7 mm an Rohrdimension, um eine Strömungsgeschwindigkeit zwischen 2 und 3 m/s zu erreichen. Die maximale Austrittstemperatur wurde mit 24 °C festgelegt. Verlegetiefe wurden 1,5 m angenommen. Die Ergebnisse lt. Abbildung 43 zeigen eine notwendige Länge des Erdreichwärmetauschers von 17 m. Im Sommerfall können die Lufttemperaturen deutlich reduziert werden, beispielsweise von 32,4 °C Eintrittstemperatur auf 24 °C Austrittstemperatur.

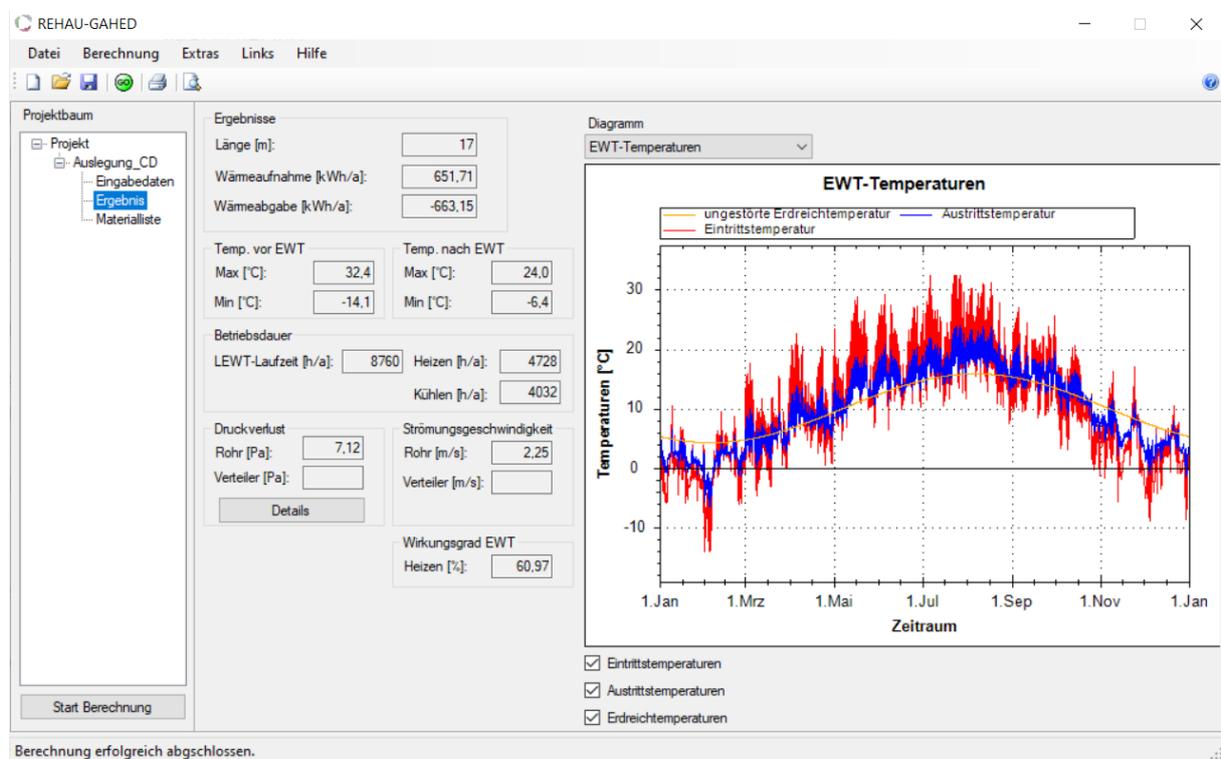


Abbildung 43: Berechnung des luftdurchströmten Erdreichwärmetauschers

Variante 3: Split-Klimagerät 3 kW und PV-Anlage 5 kW_p

Beim Einfamilienhaus Doczekal wird in Variante 3 ein Split-Klimagerät mit einer Kälteleistung von ca. 3 kW vorgeschlagen. Ergänzt wird diese Anlage durch eine Photovoltaikanlage mit ca. 5 kW_p.

Die mögliche Ausführung der Split-Klimageräte ist flexibel, so können beispielsweise zwei Innengeräte installiert werden.

Der Kühlbedarf anhand der Simulation beträgt 2.383 kWh/a. Laut Simulation liegt die Deckung im Sommer bei ca. 82 %. Der Solarertrag der 5 kWp PV-Anlage liegt bei 5.525 kWh. Der Deckungsanteil auf das Jahr gerechnet macht ca. 30 % - 40 % aus. Im Winter liegt der Deckungsanteil für die Heizung bei ca. 10 %.

Vorteile:

Der Raum kann aktiv gekühlt und entfeuchtet werden, das die Behaglichkeit der Nutzer*innen verbessert.

Überschüssiger Strom kann selbst genutzt werden oder über einen Einspeisetarif vergütet werden. Die Nutzung und Überschusseinspeisung stellen sowohl eine ökologische als auch ökonomische Lösung dar.

Nachteile:

Ein Nachteil ist die Netzabhängigkeit. Volatilität am Strommarkt ist ebenfalls ein Risiko, da betriebliche Kosten schlechter kalkulierbar sind. Weiters sind Klimageräte wartungsintensiver.

In der Errichtung ist ein Kondensatablauf zu berücksichtigen.

4.1.4 Techno-ökonomische Analyse

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgt lt. ÖNORM M7140. Es werden die zuvor beschriebenen Varianten 1-3 berechnet. Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre. Es wurde ein Kalkulationszinssatz von 3% pro Jahr angenommen.

In Variante 1 ist für das Smarthome-System und die bestehenden Antriebe für die Außen-Jalousien mit einer Nutzungsdauer von 15 Jahren zu rechnen. Nach 15 Jahre entstehen hier Erneuerungskosten.

In Variante 2 wird die für die Raumkühlung benötigte Kälte mithilfe eines Erdwärmetauschers zur Verfügung gestellt. Für den Erdwärmetauscher wird eine Nutzungsdauer von 15 Jahren erwartet. Da es sich in dieser Variante um eine freie Kühlung handelt ist ein negativer Energieeinsatz von -355 kWh pro Jahr zu erwarten. Die Luft wird über die bestehende Wohnraumlüftung im Gebäude verteilt.

In Variante 3 kommt eine Split-Klimaanlage gepaart mit einer PV-Anlage zum Einsatz. Für das Klimagerät ist eine Nutzungsdauer von 15 Jahren zu erwarten. Für die PV-Anlage hingegen ist eine Nutzungsdauer von 20 Jahren zu erwarten. Auch hier ist ein negativer Energieeinsatz zu verzeichnen, da die Summe der PV-Strom Erträge den Energieeinsatz der Split-Klimaanlage übersteigen. Der Energieeinsatz pro Jahr beträgt -858 kWh.

Folgende Kosten wurden bei den Berechnungen berücksichtigt:

Summe der kapitalgebundenen Kosten (Anschaffungskosten):

- Variante 1: 500, -
- Variante 2: 6.000, -
- Variante 3: 8.675, -

Die Summe der verbrauchsgebundenen Kosten betragen:

- Variante 1: 24, -
- Variante 2: -142, -
- Variante 3: -1.398, -

Die Summe der betriebsgebundenen und sonstigen Kosten:

- Variante 1: 20, -
- Variante 2: 90, -
- Variante 3: 191, -

In Abbildung 44 ist der Verlauf der realen Gesamtkosten der Varianten 1 – 3 ersichtlich.

Variante 1 „Teilautomatisierte Nachtlüftung“ weist mit Abstand zu den anderen beiden Varianten die geringsten Investitionskosten auf. Es ist ein leichter Anstieg der Gesamtkosten pro Jahr zu erkennen. Im 15. Jahr fallen Erneuerungskosten an.

Variante 2 „Ergänzung der kontrollierten Wohnraumlüftung um einen Erdwärmetauscher“ ist in der Anschaffung günstiger als Variante 3. Durch die negativen verbrauchsgebundenen Kosten sind die Gesamtkosten bis zum 14. Jahr leicht rückläufig. Im 15. Jahr fallen Erneuerungskosten an, ab diesem Zeitpunkt verläuft der Trend weiterhin leicht rückläufig.

Variante 3 „Split-Klima + PV-Anlage“ weist die höchsten Investitionskosten auf. Die Gesamtkosten pro Jahr sind durch die PV-Strom Erträge rückläufig. Dadurch ist Variante 3 in der Betrachtung der Gesamtkosten bereits nach dem 3. Jahr günstiger als Variante 2 und nach dem 7. Jahr günstiger als Variante 1. Die Anlage ist nach dem 8. Jahr abbezahlt und erzielt durch die Strom-Einspeisung Gewinne. Im Diagramm ist erkennbar, dass im 15. Jahr und im 20. Jahr Erneuerungskosten anfallen.

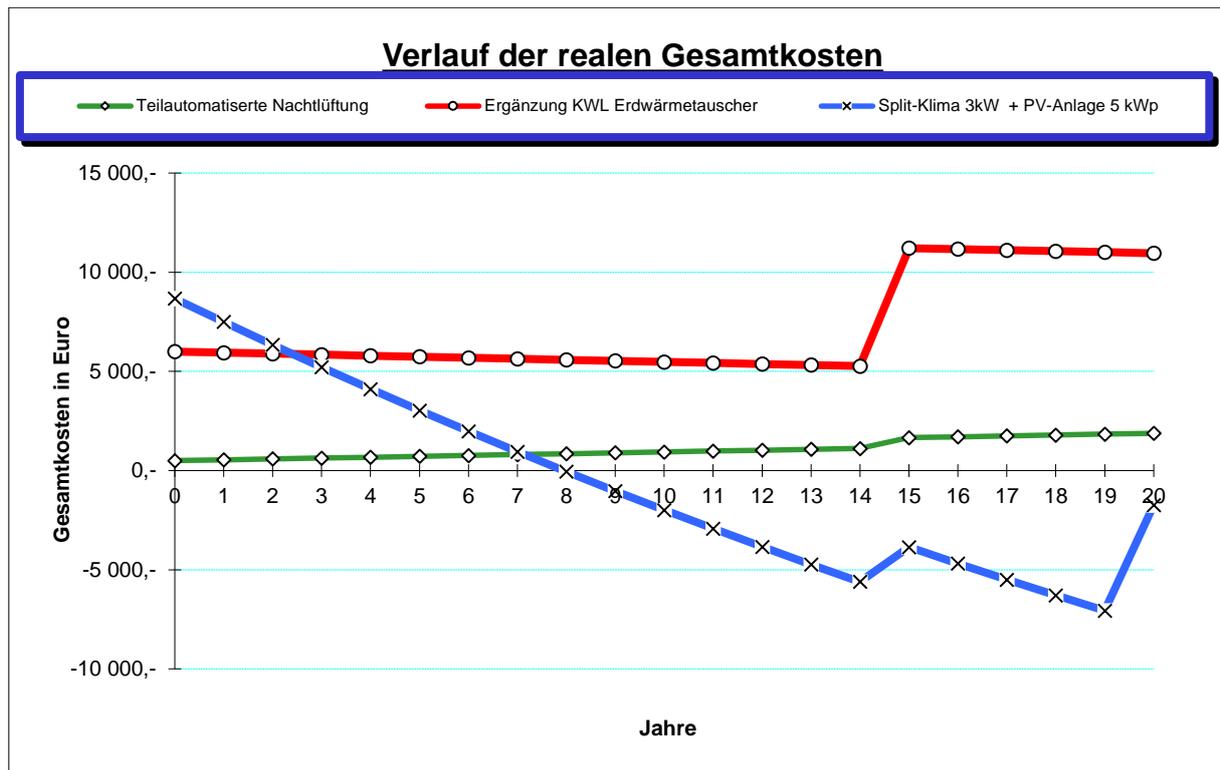


Abbildung 44: Verlauf der realen Gesamtkosten

Auch in den fiktiven Kosten, wie in Abbildung 45 ersichtlich, ist die Variante 3 „Split-Klima + PV-Anlage“ die günstigste Variante. Im fiktiven Kostenverlauf ist die Anlage bereits nach 9 Jahren abbezahlt und erzielt durch Einspeisung Gewinne.

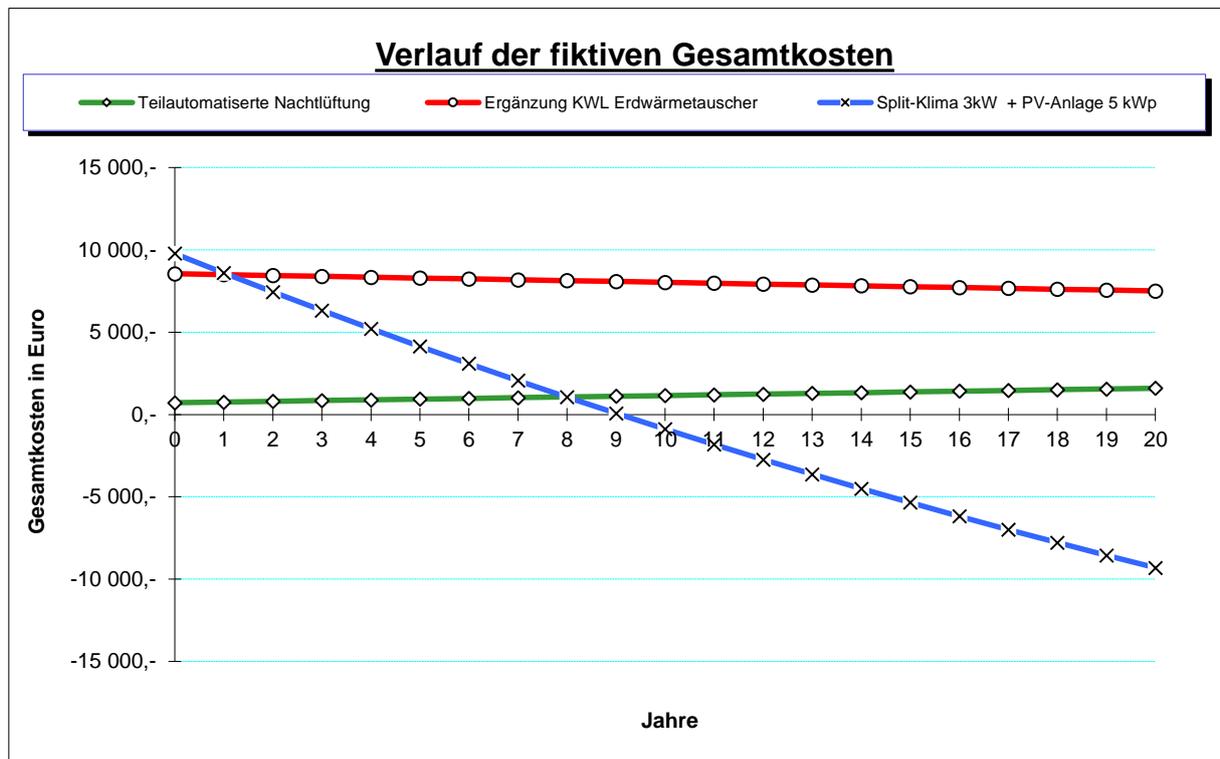


Abbildung 45: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten

4.1.5 Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode

In diesem Wohngebäude werden durch die Besitzer einerseits die Umsetzungswahrscheinlichkeit (34.0%), andererseits der Kühleffekt (24.1%) priorisiert (n = 2). Betriebskosten (17.5%) und Herstellungskosten (11.6%) sind nächstgereiht. Technische Aspekte (5.2%), Ökologische Aspekte (4.3%) sowie der Umgebungseinfluss (3.3%) sind eher nachrangige Bewertungskriterien wie in Abbildung 46 ersichtlich.

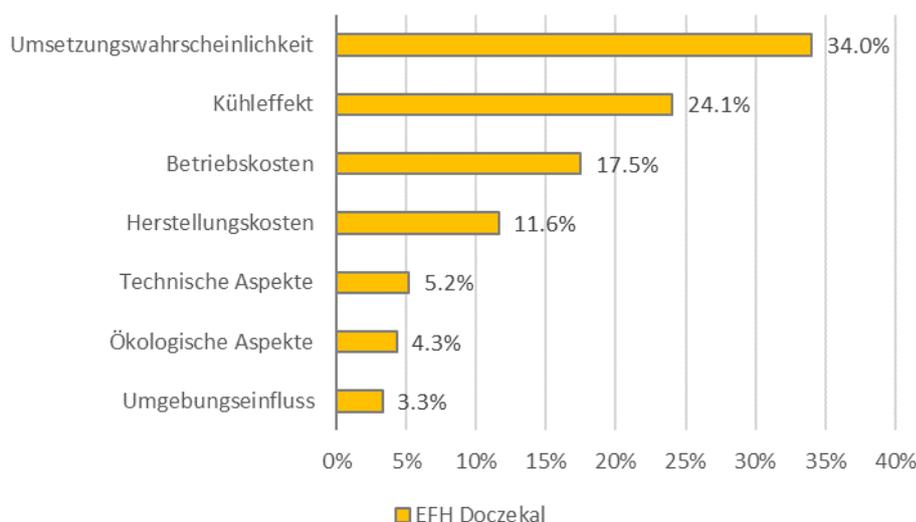


Abbildung 46: Priorisierung der Bewertungskriterien EFH Doczekal

In Folge der Priorisierung der Bewertungskriterien konnten die angedachten Maßnahmen bewertet werden. Dafür wurde ein Rating für jedes Kriterium einer Maßnahme mit den möglichen Ausprägungen 1 = „sehr schlecht“ bis 5 = „sehr gut“ durchgeführt (siehe Tabelle 5). Dahingehend erreicht die Maßnahme **„Teilautomatisierte Nachtlüftung“ die vergleichsweise höchste Bewertung (4.32)**.

Tabelle 5: Ergebnis der AHP-Bewertung für das EFH Doczekal

Bewertungskriterium	Priorität	Klimasplitzgerät 3 kW + PV 5 kWp		Teilautomatisierte Nachtlüftung		Erdwärmetauscher zur Vorkühlung	
		Rating	Gewicht	Rating	Gewicht	Rating	Gewicht
Ökologische Aspekte	4.3%	3	0.13	5	0.22	3	0.13
Technische Aspekte	5.2%	4	0.21	4	0.21	2	0.10
Herstellungskosten	11.6%	2	0.23	4	0.46	2	0.23
Betriebskosten	17.5%	4	0.70	5	0.88	4	0.70
Kühleffekt	24.1%	5	1.21	3	0.72	3	0.72
Umgebungseinfluss	3.3%	4	0.13	4	0.13	4	0.13
Umsetzungswahrscheinlichkeit	34.0%	4	1.36	5	1.70	3	1.02
Gesamtbewertung	100.0%		3.97		4.32		3.04

4.1.6 Auswahl der Lösungen

Die Hauseigentümerin Doris Doczekal bedankt sich für die aufgezeigten Umsetzungsvorschläge. Die teilautomatisierte Nachtlüftung wurde durch das Projektteam bereits umgesetzt, unterstützt durch das Smart Home System. Der Effekt der Nachtlüftung ist gut spürbar. Die Empfehlungen werden ernst genommen und die Vorgaben (Fenster öffnen oder schließen) möglichst eingehalten. Weiters wurde aufgrund der Umsetzungsvorschläge eine 5 kWp Photovoltaik-Anlage installiert.

Zudem wurde aufgrund der Auswertung zur Behaglichkeit im Gebäude ein Klima-Splitgerät installiert, welches zentral im Wohnbereich montiert wurde. Die Temperatur im Gebäude war durch die Nachtlüftung und die Verschattung zwar angenehmer als zuvor, dennoch hat die höhere Luftfeuchtigkeit (schwüle Luft) die Nutzer*innen zur Installation bewogen.

Der Test des Easy Energy Savers (EES) war ebenfalls vielversprechend. Durch das System wurden Empfehlungen gemacht, wann gelüftet bzw. wann der Raum zu beschattet werden sollte. Leider ist der Prototyp nicht stabil genug gelaufen, das Prinzip dahinter wurde allerdings als nützlich empfunden.

Die im Haus vorhandene Wärmepumpe könnte auch über die Fußbodenheizung kühlen. Diese ist allerdings nicht in Betrieb, da zwar die Temperatur in den Räumen sinkt, die Luftfeuchtigkeit dennoch hoch bleibt.

Die Variante mit dem Erdwärmetauscher für die Vorkühlung der Luft für die kontrollierte Wohnraumlüftung wird aufgrund des geringeren Effekts und der hohen Kosten für die Nachrüstung, als nicht vorteilhaft bewertet.

4.2 Wohnhausanlage Krottendorf

4.2.1 Ausgangslage

Die Wohnhausanlage Krottendorf wurde in den Jahren 2005 – 2006 errichtet. Es handelt sich hier um ein Bauwerk in Niedrigenergiebauweise. Insgesamt gibt es in den zwei Gebäuden 15 Wohnungen mit einer Größe zwischen 50 m² und 100 m². Durch die Ziegel mit Vollwärmeschutz und betonierten Decken sind Speichermassen vorhanden, im Sommer bleibt es im Gebäude länger kühl (Abbildung 47).

Die Lüftung erfolgt über die Fenster, in innenliegenden Räumen mechanisch. Die Fenster verfügen über eine außenliegende Beschattung, welche händisch bedient werden. Durch die ruhige Lage ist eine Nachtlüftung möglich¹⁶.

¹⁶ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021



Abbildung 47: Wohnhausanlage Krottendorf – Nordostansicht¹⁷

Bei der Wohnhausanlage Krottendorf wurde der Jahreskühlbedarf im Wohnzimmer und im Schlafzimmer in einer ausgewählten Wohnung simuliert.

Der Jahreskühlbedarf gemäß Simulation beträgt 2.758 kWh. Die Kühllast liegt bei 2,1 kW.

Bei der Simulation wurde die Beschattung durch Rollos berücksichtigt.

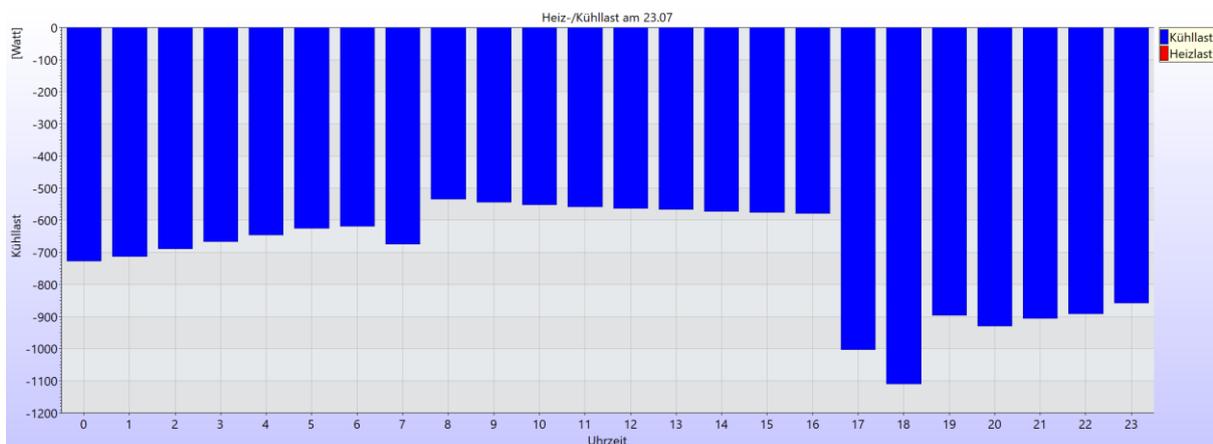


Abbildung 48: Benötigte Kühllast Wohnzimmer

In Abbildung 48 ist die benötigte Kühllast im Wohnzimmer abgebildet. Die Temperaturspitze mit der höchsten Kühllast wird um 18:00 erreicht. Die Kühllast liegt um diese Zeit bei etwa 1,1 kW. Danach beginnt die Kühllast zu sinken, in der Früh um 08:00 ist sie am niedrigsten (ca. 0,5 kW). Es erfolgt ein leichter Anstieg bis um 16:00 Uhr auf ca. 0,6 kW. Ab 17:00 steigt die Kühllast markant um 0,4 kW auf 1,0 kW. Abbildung 49 zeigt vergleichsweise die Kühllast für das Schlafzimmer.

¹⁷ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021



Abbildung 49: Benötigte Kühllast Schlafzimmer

4.2.2 Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung

Variante 1: Teilautomatisierte Nachtlüftung

In dieser Variante soll ein Smarthomegerät wie beispielsweise HOMEE zur Ausführung gelangen. Das Smartsystem ist modular aufgebaut und lässt sich per W-Lan mit den elektrischen Komponenten verbinden. Per App lassen sich die Rollos zeitgesteuert oder temperaturabhängig im Gebäude steuern. Das Smart Homegerät schließt oder öffnet dabei in Abhängigkeit der Außentemperatur die Rollos bzw. Jalousien und übermittelt gleichzeitig dem Benutzer eine Meldung (Empfehlungssystem), dass die Fenster geöffnet oder geschlossen werden sollten, d.h. Fenster müssen somit vom Benutzer manuell geöffnet oder geschlossen werden.

Für jenen Tag im Jahr, in denen die höchste Kühllast in der Wohnung auftritt, wurde für das Wohnzimmer eine Simulation mit teilautomatisierter Nachtlüftung mit vierfachem Luftwechsel durchgeführt. Wenn die Außentemperatur im Sommer unter 23 °C liegt, werden die beiden Fenster im Wohnzimmer geöffnet, steigt die Außentemperatur über 21°C wird vom Homesystem eine Meldung an dem Benutzer gegeben, dass das Fenster geschlossen werden sollten. Nachstehende Abbildung 50 zeigt die Auswirkungen dieser Variante im Detail. Zwischen 00:00 Uhr und 06:00 Uhr Früh bewegt sich die Rauminnentemperatur aufgrund der geöffneten Fenster zwischen 27 und 25°C. Ab 07:00 Uhr erreicht laut Simulation die Außentemperatur 21°C. Ab diesem Zeitpunkt werden die Fenster geschlossen. Die Raumtemperatur bleibt nun im Tagesverlauf annähernd konstant, ehe die Gebäudemasse ab 16:00 Uhr zeitverzögert die Wärme in das Innere des Gebäudes transportiert. Zusätzlich kommen hier die inneren Lasten infolge von Gerätewärme und des Personenaufenthaltes hinzu (Annahme: Personen kommen von der Arbeit nachhause und kochen sich ein Abendessen). Ab ca. 21:00 Uhr sinkt die Außentemperatur unter 23 °C und die Fenster werden wieder geöffnet.

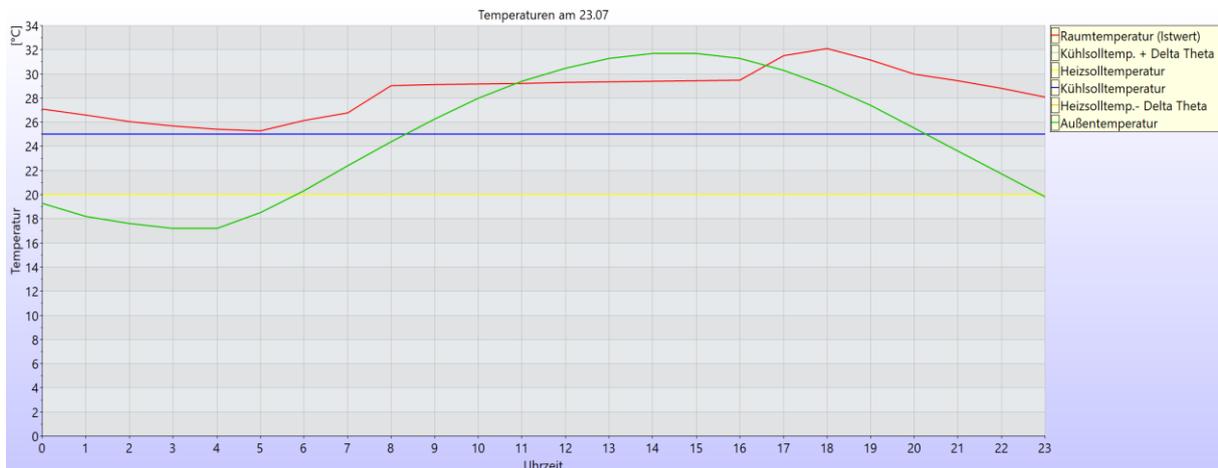


Abbildung 50: Temperaturverlauf Wohnzimmer mit Nachlüftung

Durch diese Maßnahme könnte der Jahreskühlbedarf von 2.758 kWh/a auf 1.565 kWh/a gesenkt werden, was einer Reduktion von ca. 43% entspricht. Angesichts der sehr geringen Investition von unter 500 € entspricht diese Maßnahme eine durchaus passable Lösung. Bei dieser Variante ist eine starke Nutzereinbindung möglich.

Variante 2: Klima-Splitgerät, ca. 3kW

In dieser Variante wird die Wohnung mit einer dezentralen Klimaanlage in Form eines Split-Geräts, bei der die Raumlufte umgewälzt und gekühlt wird, klimatisiert. Split-Geräte kommen vorwiegend in Bereichen mit geringem Kühlungsbedarf zum Einsatz, für welche eine zentrale Kälteversorgungsanlage wirtschaftlich nicht sinnvoll wäre. Bei dieser Konzeption erfolgt die Trennung des Kältekreislaufes in zwei Anlagenteile. Dabei erfolgt die Kompression des Kältemittels im Freien, während die Luftbehandlungen (Luftförderung, Filterung und Temperierung) im zu kühlenden Raum ausgeführt werden. Die Kältemittelleitungen zur Verbindung des Außengerätes mit den Innengeräten erfordern keine großen Wanddurchbrüche und lassen sich in der Regel nachträglich einfach zu installieren. Ein weiterer Vorteil dieser Konzeption ergibt sich aus dem Umstand, dass das Kältemittel im Anwendungsbereich nicht einfrieren kann.

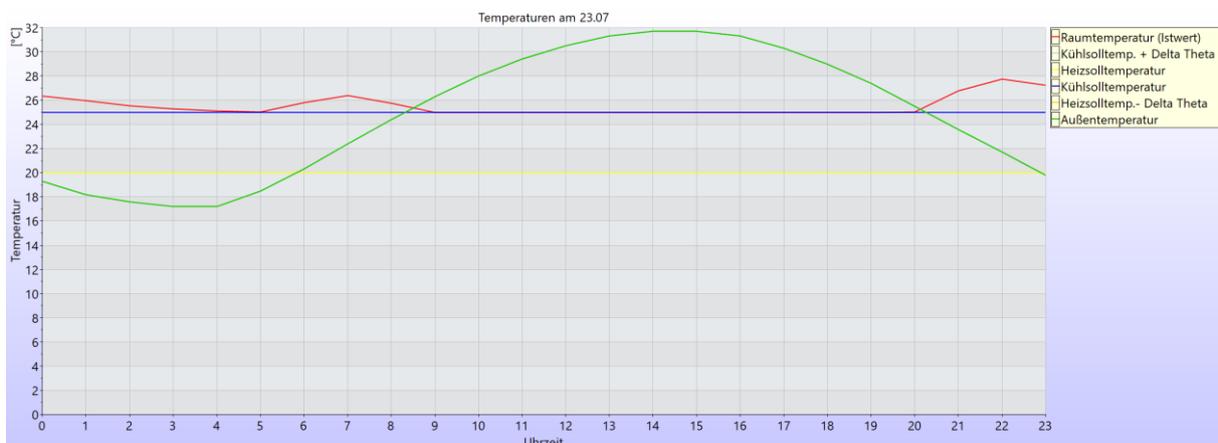


Abbildung 51: Temperaturverlauf Wohnzimmer mit Split-Klimaanlage

Die Installation einer Klimaanlage mit 3 kW Kälteleistung führt zum gewünschten Ergebnis und eine sommerliche Übererwärmung wird zielführend vermieden (Abbildung 51). In der Simulation wurde die Klimaanlage ab einer Raumtemperatur von 25 °C in Betrieb genommen. Der jährliche Stromverbrauch wird mit dieser Maßnahme mit etwa maximal 920 kWh beziffert (Klimagerät wird ab 25°C Raumtemperatur aktiviert).

Variante 3: Klima-Splitgerät, ca. 3 kW, mit 800 Watt Balkonkraftwerk

Ein nachhaltiger Lösungsansatz ist, die Klimaanlage mit Solarenergie zu betreiben, da bekanntlich der Solarertrag am größten ist, wenn auch der Kühlbedarf am höchsten ist.

Eine einfache und kostengünstige Lösung für eine PV-Anlage stellen sogenannte Balkonkraftwerke dar, welche per Plug an Play über die Schuko-Steckdosen ins hauseigene Netz speisen und unter 1.000 € zu bekommen sind. Da in der Regel keine baulichen Veränderungen am Objekt (Gebäudehülle) vorgenommen werden muss, ist eine Bewilligung nicht erforderlich. Der überschüssige Strom wird ins allgemeine Netz eingespeist, was dazu führt, dass ein Stromzählertausch auf ein digitales Messgerät vorgeschrieben ist. Mit dieser Maßnahme lässt sich ein beim gegenständlichen Objekt ein jährlicher solarer Ertrag von 840 kWh/a erwirtschaften und der Strombezug für die Klimaanlage auf unter 500 kWh reduzieren.

Die teilautomatisierte Nachtlüftung stellt wie erwartet die kostengünstige Variante dar.

„Balkonkraftwerk“ – Plug-in Photovoltaikanlagen ^{18 19}

Balkonkraftwerke, auch Plug-in-Anlagen, Plug & Play- oder steckerfertige PV-Anlagen genannt, dürfen seit sechs Jahren in Österreich betrieben werden²⁰. Die Maximalleistung dieser Anlagen beträgt 800 Watt (Kleinsterzeugungsanlagen lt. §7 (1) Z 32a ElWOG 2010), wobei sich die Begrenzung auf den Wechselrichter bezieht. Die Leistung der Module ist im Grunde egal. In der folgenden Abbildung ist ein Balkonkraftwerk mit 600 - 800 W Ausgangsleistung dargestellt.

¹⁸ VKI (2023): Balkonkraftwerk Österreich: Solaranlage zum Einstecken; <https://konsument.at/solaranlagen-zum-einstecken> (abgerufen am 04.05.2023)

¹⁹ E-Control (2023): Anschluss von Kleinsterzeugungsanlagen; <https://www.e-control.at/mini-pv-anlagen> (abgerufen am 04.05.2023)

²⁰ Geregelt ist in der TOR Erzeuger Richtlinie (Teil A)

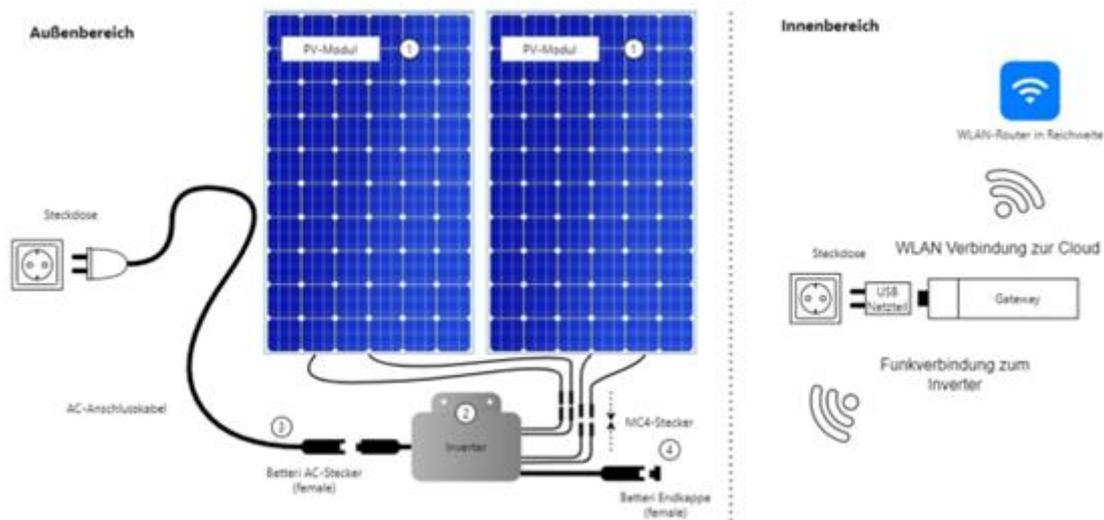


Abbildung 52: Balkonkraftwerk mit 600 - 800 W Ausgangsleistung²¹

Funktion und Installation:

Balkonkraftwerke funktionieren nach dem gleichen Prinzip wie große PV-Anlagen. Die Installation ist allerdings viel einfacher, da die Plug-in-Anlagen einfach via Schuko-Stecker mit dem hauseigenen Stromnetz verbunden werden. Wichtig ist nur, dass die Einspeisung direkt in eine Wandsteckdose erfolgt und nicht mit Verlängerungskabeln oder über eine Steckdosenleiste. Der eingebaute Wechselrichter wandelt die vom Solarmodul erzeugte Gleichspannung in netzkonforme Wechselspannung (230 V/50 Hz) um. Der selbst erzeugte Strom wird primär selbst genutzt. Überschüssiger Strom wird ins allgemeine Netz eingespeist, wobei keine Vergütung des Überschussstroms erfolgt.

Anforderungen:

- Installation eines Smart Meter ist erforderlich
- Meldung an den Netzbetreiber zwei Wochen vor der geplanten Inbetriebnahme (Genehmigung ist nicht erforderlich)
- Es ist darauf zu achten, dass der Verkäufer einen entsprechenden Konformitätsnachweis einer zertifizierten Prüfstelle vorlegt. Die Anforderungen der TOR, insb. TOR Erzeuger Typ A, müssen erfüllt werden.
- Bei Installation von mehreren Systemen (mit mehreren Wechselrichtern) sollten diese über getrennte Schaltkreise angesteckt werden bzw. an Steckdosen in unterschiedlichen Räumen, die getrennt abgesichert sind. 800 Watt dürfen nicht überschritten werden.

²¹ <https://e4mobility.at/blog/der-ultimate-balkonkraftwerk-guide>

Tabelle 6: Beispiele Systemkosten ²²

Anbieter	PluginEnergy (PiE) Air 760	Green Solar 820 kW	MYVOLTAICS MyGärten 800
AC-Leistung	0,7 kW	0,8 kW	0,8 kW
Modulleistung	0,76 kWp	0,82 kWp	0,8 kWp
Anzahl Module	4	2	2
Kosten	1.490,00 € ²³	ab 799,00 €	ab 966,00 €

Die Hauptanwendung der Balkonkraftwerke liegt in der (teilweisen) Abdeckung von Grundlasten, die beispielsweise für den Betrieb von W-LAN Router, Kühlschränken oder auch Kühlgeräten anfallen. Auch wenn die maximale Leistung begrenzt ist, können Balkonkraftwerke in Summe einen nennenswerten Beitrag zum Erreichen der Klimaziele leisten. Der wesentliche Vorteil liegt darin, dass diese auch für Mieter:innen oder Wohnungseigentümer:innen einfach umsetzbar sind. Alternativen wie eine gemeinschaftlich genützte PV-Anlage am Dach eines Mehrparteienwohnhauses weisen zwar in der Regel ein deutlich größeres Ertragspotential auf, sind aber in der Umsetzung aufwendiger bzw. müssen einige Rahmenbedingungen berücksichtigt werden (siehe Mieterstrommodell)

Mieterstrommodell (§16a-Anlagen)

§16a-Anlagen wurden 2017 im Rahmen der kleinen Ökostromnovelle eingeführt. Diese ermöglichen es, innerhalb einer Liegenschaft (Mehrparteienwohnhaus) die Erzeugung einer Stromquelle auf Basis erneuerbarer Energien auf mehrere Nutzer:innen zu verteilen und dort jeweils als Eigenverbrauch zu bewerten. Doppel- bzw. Reihenhäuser zählen ebenfalls zu Mehrparteienwohnhäusern. Um diese mit einer gemeinsamen §16a Anlage zu versorgen, ist es notwendig, dass alle Nutzer:innen an eine gemeinsame Hauptleitung angeschlossen sind. Wird das bereits in der Planung berücksichtigt, lässt es sich zwischen den Reihen- bzw. Doppelhaushälften mit geringem zusätzlichem baulichem Aufwand bewerkstelligen.

Die wichtigsten Rahmenbedingungen, die dabei berücksichtigt werden müssen, sind²⁴:

- Die Erzeugungsanlage muss an der Hauptleitung der Liegenschaft angeschlossen sein, eine Nutzung des öffentlichen Netzes für die Durchleitung des erzeugten Stromes ist nicht zulässig.
- Mit den Nutzer:innen der Energie aus der Anlage ist ein Verteilschlüssel zu vereinbaren. Es kann ein statischer, ein dynamischer oder eine Mischform gewählt werden. Der Verteilschlüssel gibt Auskunft darüber, wie die Erzeugung auf die einzelnen Nutzer:innen verteilt wird.

²² Energiemagazin (2023): Balkonkraftwerk in Österreich; <https://www.energiemagazin.com/balkonkraftwerk/oesterreich/#vergleich> (abgerufen am 04.05.2023)

²³ Angebot von A1: <https://solar.handyshop.cc/article/38292-pie-air-superlight-780-transparent>

²⁴ Pink et al, Wissenschaftlicher Endbericht des Projekts Hybrid-FLEX im Zuge der Energieforschung 2016 Ausschreibung, Langenwang, 2020

- Statischer Schlüssel: Es wird eine fixe Aufteilung gewählt, die sich nicht ändert. Bspw. wird ein Prozentsatz je Nutzer:in festgelegt, welcher angibt, wieviel Prozent der Erzeugung diesem/r Nutzer:in zugewiesen wird. Dabei ist es egal, wieviel Verbrauch die jeweilige Nutzer:in zu diesem Zeitpunkt aufweist. Überschüsse werden durch den Anlagenbetreiber vermarktet.
- Dynamischer Schlüssel: Hierbei wird der Verteilschlüssel zu jeder ¼-Stunde neu angepasst. Grundlage für die Anpassung ist der aktuelle Verbrauch je Nutzer:in. Das hat den Vorteil, dass weniger Überschuss produziert wird, aber auch den Nachteil, dass Nutzer:innen mit wenig Tageverbrauchs weniger Erzeugung zugewiesen bekommen.
- Die Anlage muss vor Inbetriebnahme mit dem Netzbetreiber abgestimmt werden, dabei muss sowohl der Netzanschluss als auch der Verteilschlüssel geklärt sein.
- Es muss, sofern die Nutzer:innen der Energie die Erzeugungsanlage nicht selbst errichten und betreiben, einen Errichtungs- und Betriebsvertrag zwischen Betreiber und Nutzer:innen geben.
- Es sind Smart Meter für die Erfassung der Daten zu installieren. Diesbezüglich gibt eine 6-monatige Übergangsfrist, diese gilt jedoch nur unter besonderen Umständen.
- Für die Erzeugungsanlage wird ein eigener Zählpunkt eingerichtet. Die Messung des erzeugten PV-Stroms muss im 15-Minuten Intervall erfolgen.
- Die Parteien schließen einen Vertrag mit einem Energieversorger über die allfällige Einspeisung von überschüssigem Strom ab.

4.2.3 Techno-ökonomische Analyse

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgt lt. ÖNORM M7140. Es werden die zuvor beschriebenen Varianten 1-3 berechnet. Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre. Es wurde ein Kalkulationszinssatz von 3% pro Jahr verwendet. In Variante 1 ist für das Smarthome-System mit einer Nutzungsdauer von 15 Jahren zu rechnen. Nach 15 Jahren werden hier Erneuerungskosten fällig.

In Variante 2 ist für die Split-Klimaanlage mit einer Nutzungsdauer von 15 Jahren zu rechnen. Der jährliche Energieeinsatz beläuft sich auf 862 kWh.

Variante 3 basiert auf Variante 2. Variante 3 unterscheidet sich lediglich durch das Hinzukommen des Balkonkraftwerks. Auch hier ist bei allen Positionen mit einer Nutzungsdauer von 15 Jahren auszugehen. Der Energieeinsatz pro Jahr beträgt 583 kWh.

Folgende Kosten wurden bei den Berechnungen berücksichtigt:

Summe der kapitalgebundenen Kosten (Anschaffungskosten):

- Variante 1: 500,-
- Variante 2: 2.600,-
- Variante 3: 3.500,-

Die Summe verbrauchsgebundenen Kosten betragen:

- Variante 1: 24, -
- Variante 2: 345, -
- Variante 3: 107, -

Die Summe der betriebsgebundenen und sonstigen Kosten:

- Variante 1: 20, -
- Variante 2: 130, -
- Variante 3: 144, -

In Abbildung 53 ist der Verlauf der realen Gesamtkosten der Varianten 1 – 3 ersichtlich. Es ist erkennbar, dass Variante 1 „Teilautomatisierte Nachtlüftung“ sowohl die geringsten Anschaffungskosten als auch die geringsten verbrauchsgebundenen Kosten aufweist.

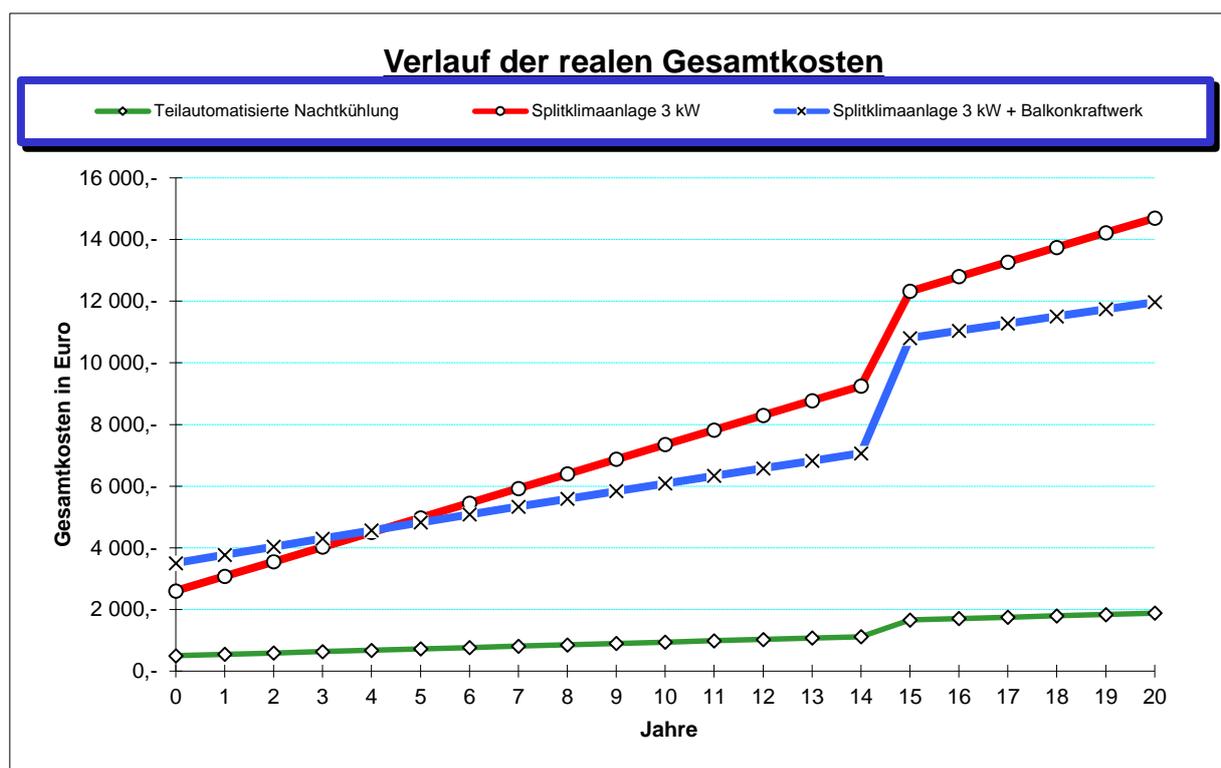


Abbildung 53: Verlauf der realen Gesamtkosten

In Abbildung 54 ist der fiktive Verlauf der Gesamtkosten aufgetragen. Nach einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ist zu erkennen, dass Variante 1 die kostengünstigste Lösung ist.

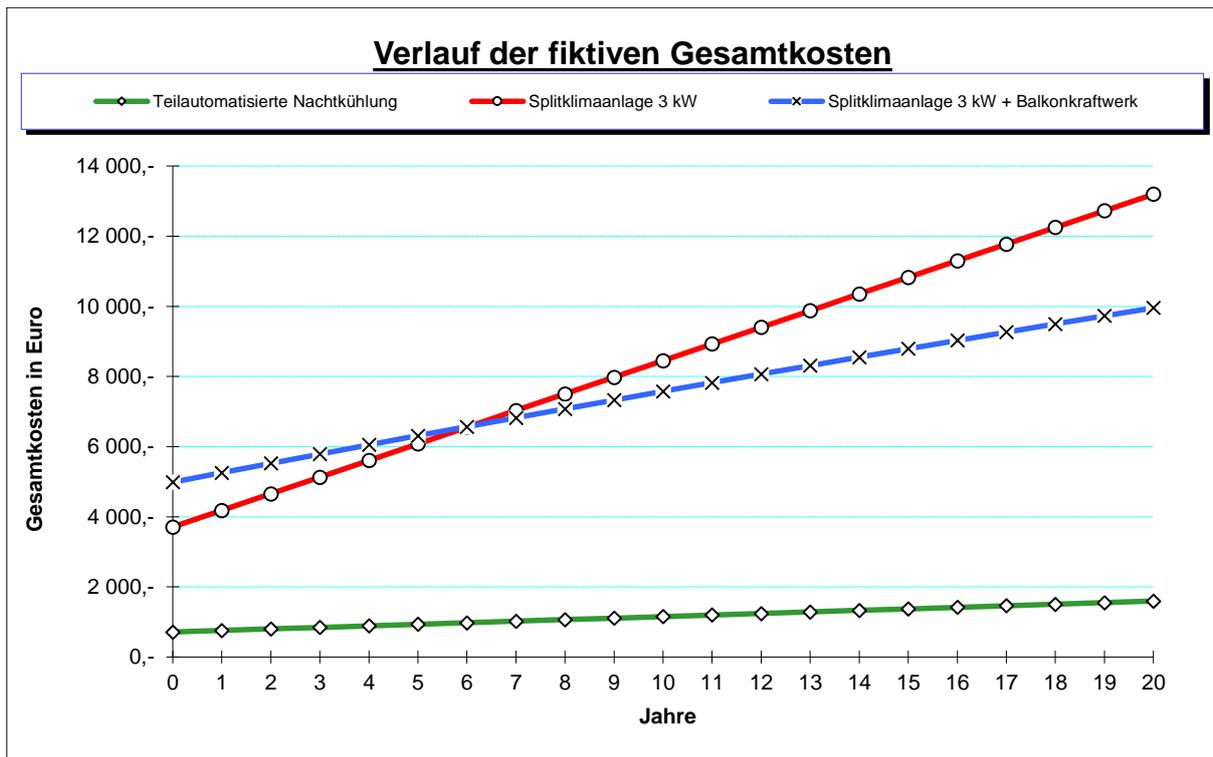


Abbildung 54: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten

4.2.4 Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode

In dieser Wohnhausanlage werden einerseits der Kühleffekt (24.3%), andererseits technische Aspekte (22.6%) priorisiert (n = 1). Betriebskosten sind mit einer mittleren Priorisierung von 17.8% nächstgereiht. Ökologische Aspekte (12.5%), Umsetzungswahrscheinlichkeit (9.9%) sowie Herstellungskosten (8.5%) werden moderat priorisiert. Am unwichtigsten ist hier der Umgebungseinfluss (4.3%) wie in Abbildung 55 ersichtlich.

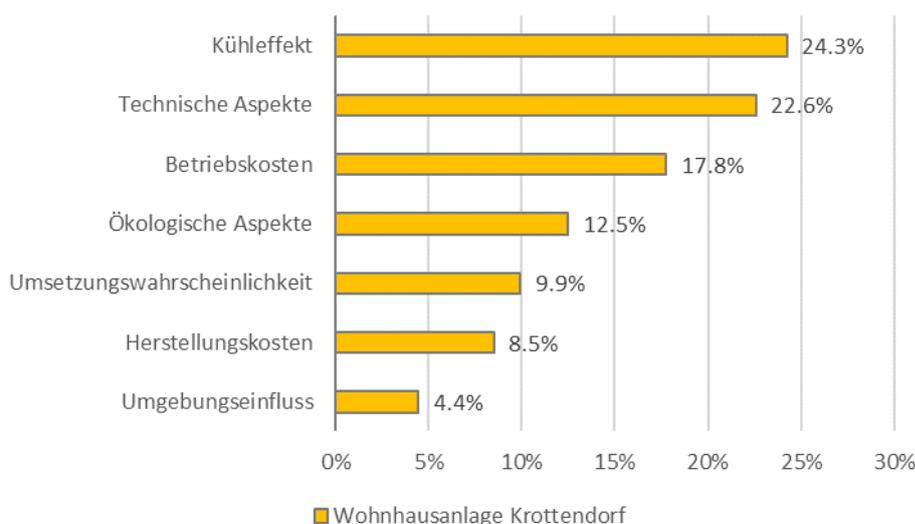


Abbildung 55: Priorisierung der Bewertungskriterien Wohnhausanlage Krottendorf

In Folge der Priorisierung der Bewertungskriterien konnten die angedachten Maßnahmen bewertet werden. Dafür wurde ein Rating für jedes Kriterium einer Maßnahme mit den möglichen Ausprägungen 1 = „sehr schlecht“ bis 5 = „sehr gut“ durchgeführt (siehe Tabelle 7). Dahingehend erreicht die **Maßnahme „Teilautomatisierte Nachtlüftung“ die vergleichsweise höchste Bewertung (4.47)**.

Tabelle 7: Ergebnis der AHP-Bewertung für die Wohnhausanlage Krottendorf

Bewertungskriterium	Priorität	Teilautom. Nachtlüftung		Klimasplitgerät		Klimasplitgerät + PV	
		Rating	Gewicht	Rating	Gewicht	Rating	Gewicht
Ökologische Aspekte	12.5%	5	0.63	2	0.25	3	0.38
Technische Aspekte	22.6%	5	1.13	3	0.68	4	0.90
Herstellungskosten	8.5%	5	0.43	2	0.17	2	0.17
Betriebskosten	17.8%	5	0.89	3	0.53	4	0.71
Kühleffekt	24.3%	3	0.73	5	1.22	5	1.22
Umgebungseinfluss	4.4%	4	0.18	2	0.09	2	0.09
Umsetzungswahrscheinlichkeit	9.9%	5	0.50	3	0.30	2	0.20
Gesamtbewertung	100.0%		4.47		3.23		3.66

4.2.5 Auswahl der Lösungen

Die beteiligten Wohnungsnutzer bedanken sich für die Messungen. Das Konzept mit der Nachtlüftung findet Zustimmung, da der Aufwand begrenzt ist. Die Vorschläge zur optimalen Gestaltung werden berücksichtigt.

Zudem gibt es Interesse an der Variante eines Splitklimageräts mit einer Photovoltaik-Anlage am Balkon. Eine gemeinschaftliche Photovoltaik-Anlage war bis zu diesem Zeitpunkt nicht angedacht. Die Betriebszeiten der Klimaanlage müssten dann auf die Verfügbarkeit der aus der Anlage gewonnenen PV-Energie abgestimmt werden.

4.3 Einfamilienwohnhaus Scher-Deutsch

4.3.1 Ausgangslage

Das Einfamilienhaus Scher-Deutsch wurde in Holzriegel-Bauweise errichtet. Dies entspricht einer mittelschweren Bauweise.

Das gesamte Gebäude verfügt über außenliegende Rollos. Zusätzlich gibt es einen Dachvorsprung von 85 cm, welcher das Haus fix verschattet. Auch auf der Terrasse auf der Süd-West-Seite ist ein Sonnenschutz vorhanden. Zusätzlich dient der nicht ausgebauter Dachboden als „Wärmepuffer“ zwischen Umgebung und den innenliegenden Räumen (Abbildung 56).



Abbildung 56: Visualisierung EFH Scher-Deutsch Süd-West Ansicht²⁵

Das Gebäude wurde ab Herbst 2020 errichtet, in den Estrich wurden mehrere Temperatur-Sensoren zu Monitoringzwecken eingebaut. Beheizt wird das Haus mit einer Wärmepumpe, welche gleichzeitig auch kühlt. Als Kälteabgabesystem dient die Fußbodenheizung.

Die Belüftung erfolgt händisch über die Fenster, in innenliegenden Räumen mechanisch. Es besteht die Möglichkeit, eine Photovoltaikanlage und einen Stromspeicher nachzurüsten.

²⁵ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

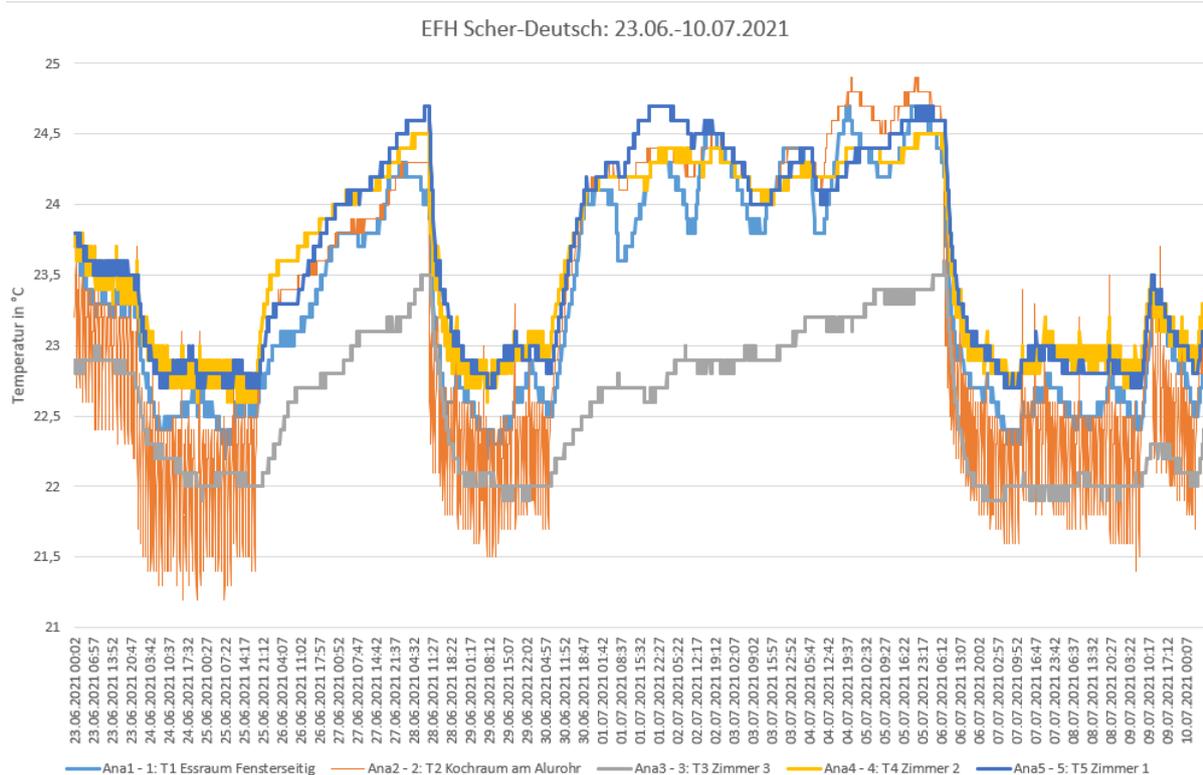


Abbildung 57: Temperaturverlauf im Estrich im Einfamilienhaus Scher-Deutsch

In Abbildung 57 ist der Temperaturverlauf im Estrich des Einfamilienhauses Scher-Deutsch zu erkennen. Die Messung fand zwischen dem 23.06.2021 bis zum 10.07.2021 statt. Im Kochraum (Estrich) schwanken die Temperaturen am meisten, da der Temperatursensor direkt am Rohr der Fußbodenheizung im Estrich montiert ist (Abbildung 58). Hier ist auch erkennbar, wann die Kühlung aktiviert wurde (z.B. 28.06.2021 Vormittag) und welche Temperaturschwankungen die Taktung der Wärmepumpe im Kühlfall erzeugt (ca. 1 K Schwankung). Es ist zu sehen, dass die Kühlung zwischen 28. und 30. Juni 2021 nahezu durchgehend in Betrieb war.



Abbildung 58: Temperatursensor am Rohr der Fußbodenheizung montiert

4.3.2 Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung

Abbildung 59 beschreibt vier Kühllast-Simulationen für den Raum „Schlafzimmer“.

In Variante 1 wird der Raum ohne Verschattung der Glasflächen betrieben und beschreibt den ungünstigsten Fall. Es werden Temperaturen von bis zu 33,0 °C erreicht. Die niedrigste Temperatur in Variante 1 beträgt 29,1 °C.

Es werden auch die Anpassungen für Juli simuliert. Der Zuluft-Strom beträgt 64 m³/h und es kommen außenliegende Rollos zum Einsatz, der Reflexionsgrad beträgt 23. Die maximal erreichte Raumtemperatur beträgt 30,9 °C. Die niedrigste simulierte Temperatur für diesen Julitag beträgt 28,1 °C.

In Variante 2 kommt Kühlung mittels Fußbodenheizung zum Einsatz und es wird das Rollo zu 75% geschlossen. Es werden Temperaturen von maximal 28,1 °C erreicht. Die Tagestiefsttemperatur beträgt 27,1 °C.

Variante 3 beschreibt die Nachtlüftung mit vierfachem Luftwechsel. Auch hier ist das Rollo zu 75 % geschlossen. Es werden Temperaturen von 26,7 °C erreicht. Variante 3 weist den niedrigsten Tiefstwert von 24,9 °C auf.

Variante 4 beschreibt die Simulation mit zu 75 % geschlossenen Rollos. Es ist eine geringe Differenz der Tageshöchst- und Tiefsttemperatur zu verzeichnen. Dem Höchstwert von 31,2°C stehen 30,2°C als Tiefstwert gegenüber.

Die Höchsttemperaturen der simulierten Raumluft werden jeweils um 19 Uhr erreicht. Die simulierten Tiefstwerte werden um 7 Uhr erreicht. Es ist in allen Varianten erkennbar, dass die Differenz der Höchst- und Tiefsttemperaturen gering ist.

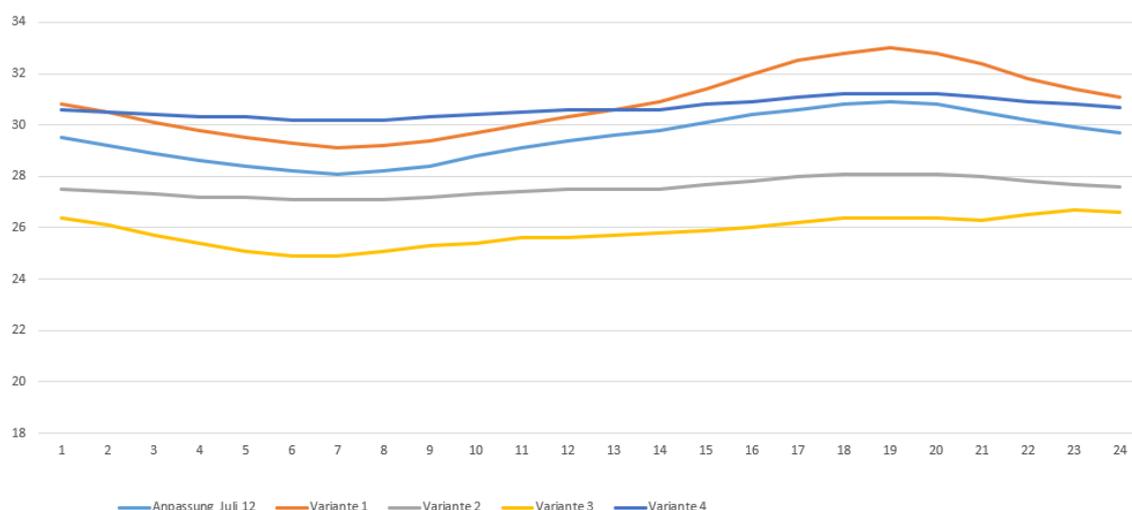


Abbildung 59: Simulation der Raumtemperaturen im Schlafzimmer

Abbildung 60 beschreibt vier Kühllast-Simulationen für den Raum „Wohnraum“.

In Variante 1 wird der Raum ohne Verschattung der Glasflächen betrieben und beschreibt den ungünstigsten Fall. Es werden Temperaturen von bis zu 34,4 °C erreicht. Die niedrigste Temperatur in Variante 1 beträgt 29,0 °C.

Es werden auch die Anpassungen für Juli simuliert. Der Zuluft-Strom beträgt 260 m³/h und es kommen außenliegende Rollos zum Einsatz, der Reflexionsgrad beträgt 23. Die maximal erreichte Raumtemperatur beträgt 29,6 °C. Die niedrigste simulierte Temperatur für diesen Julitag beträgt 25,7 °C.

In Variante 2 kommt Kühlung mittels Fußbodenheizung zum Einsatz und es wird das Rollo zu 75 % geschlossen. Es werden Temperaturen von maximal 25,0 °C erreicht. Die Tagestiefsttemperatur beträgt 23,5 °C, was auch die tiefste Temperatur der verschiedenen Varianten kennzeichnet.

Variante 3 beschreibt die Nachtlüftung mit vierfachem Luftwechsel. Auch hier ist das Rollo zu 75 % geschlossen. Es werden Temperaturen von 29,0 °C erreicht. Variante 3 weist einen Tagestiefstwert von 24,2 °C auf.

Variante 4 beschreibt die Simulation mit zu 75 % geschlossenen Rollos. Auch hier ist eine geringe Differenz der Tageshöchst- und Tiefsttemperatur zu verzeichnen. Der Höchstwert liegt bei 28,7 °C und der Tiefstwert bei 27,1 °C.

Die Höchsttemperaturen der simulierten Raumluft werden jeweils um 19:00 Uhr erreicht. Die simulierten Tiefstwerte werden um 07:00 Uhr erreicht.

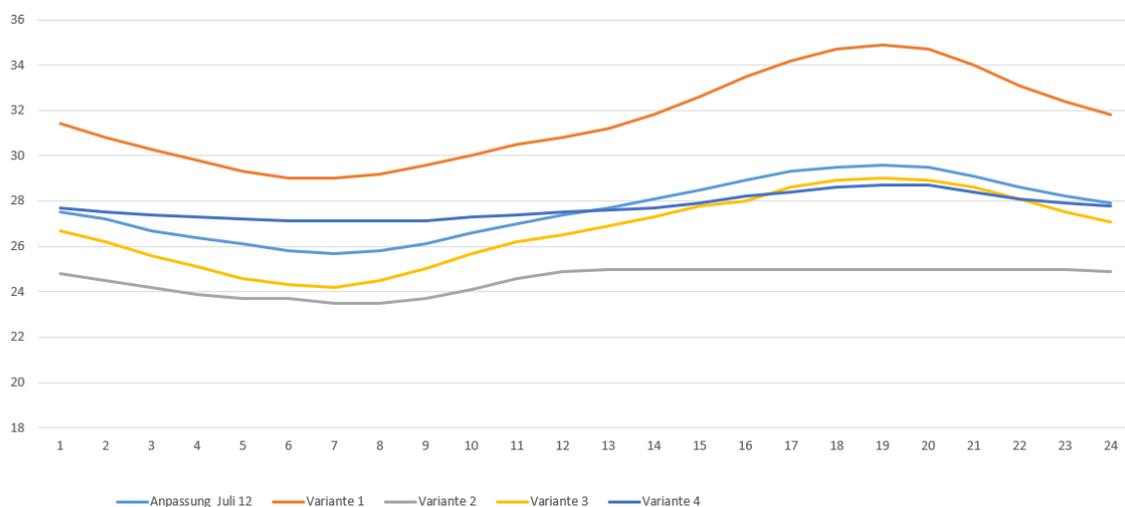


Abbildung 60: Simulation der Raumlufttemperaturen im Wohnraum

Variante 1: Teilautomatisierte Nachtlüftung

In dieser Variante soll ein Smarthomegerät wie beispielsweise HOMEE zur Ausführung gelangen. Das Smartsystem ist modular aufgebaut und lässt sich per W-Lan mit den elektrischen Verbrauchern verbinden. Per App lassen sich die Rollos zeitgesteuert oder

temperaturabhängig im Gebäude steuern. Das Smart Homegerät schließt oder öffnet dabei in Abhängigkeit der Außentemperatur die Rollos und übermittelt gleichzeitig dem Benutzer eine Meldung, dass die Fenster geöffnet oder geschlossen werden sollten, d.h. Fenster müssen somit vom Benutzer manuell geöffnet oder geschlossen werden.

Die hier aufgezeigte Variante bedient sich dem Konzept des passiven Kühlens mit natürlicher Lüftung, da auch in einer heißen Sommernacht die Temperaturen meist unter 20 °C fallen.

Vorraussetzungen:

- gute Außenluftqualität (Gerüche, Staub)
- Einbruchschutz
- Brandschutz
- Witterungswechsel
- Lärmschutz

Da bei diesem Lüftungskonzept die Wärme überwiegend nur in der Nacht oder in den Morgenstunden abgeführt werden kann, muss vor allem die Überwärmung der Räume tagsüber vermieden werden.

Variante 2: Fußboden-Kühlung mit Wärmepumpe, ca. 8 kW Kühlleistung

Die hier betrachtete Variante zielt auf eine aktive Gebäudekühlung mittels einer reversiblen Luft-Wasser-Wärmepumpe (Kompressionskältemaschine). Anstatt wie beim Heizen die Wärme aus der Außenluft zu entziehen (Luftwärmepumpe), wird beim Kühlen die Wärme der Innenluft entzogen und nach draußen abgeführt.

Übertragen wird die Kälte als wassergeführtes System über Rohre, welche im Fußboden eingelegt sind. Bei der Fußbodenkühlung wird das Bauteil vom kühlen Medium durchströmt, nimmt die Wärme vom Raum auf und wird dadurch gekühlt. Die dabei entzogene Wärme wird mit Hilfe des Kompressors aktiv auf die Wärmequelle abgegeben.

Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass das System gleichzeitig zur Heizung als auch zur Kühlung herangezogen werden kann. Mit den handelsüblichen Kompressions-Wärmepumpen wird beispielsweise mit einer elektrischen Antriebsenergie von 1 kWh eine Wärmemenge von 3 kWh bis 4 kWh nutzbar gemacht, wenn gleichzeitig durch Kühlung einem Medium eine Wärmemenge von 2 kWh bis 3 kWh entzogen wird.

Der Nachteil der Fußbodenkühlung liegt darin begründet, dass bei großer Wärmebelastung die Fußbodenkühlung an ihre Grenzen stößt, da die Oberflächentemperatur

aufgrund von unbehaglich empfundenen Raumklima und Kondensation nicht zu niedrig sein darf. Ein weiterer Nachteil ist, dass eine Entfeuchtung der Raumluft bei der Verwendung von Kühlflächen nicht möglich ist.

Variante 3: Fußboden-Kühlung mit Wärmepumpe, ca. 8 kW, mit PV-Anlage, ca. 5 kW_p

Die Rahmenbedingungen sind dieselben wie bei Variante 2. Zusätzlich zum Klimagerät kommt in Variante 2 noch eine PV-Anlage mit einer Leistung von ca. 5 kW_p zum Einsatz. Der jährliche Energieertrag der PV-Anlage liegt bei ca. 5.250 kWh/a.

Der Vorteil ist, dass der Raum mit Split-Klimageräten aktiv gekühlt und auch entfeuchtet werden. Überschüssiger Strom kann selbst verbraucht werden oder über einen Einspeisetarif vergütet werden. Die Nutzung und Überschusseinspeisung stellen sowohl eine ökologische als auch ökonomische Lösung dar.

4.3.3 Techno-ökonomische Analyse

Um eine realitätsnahe Voraussage der zu erwartenden Spitzenlasten und der Lastverteilung im Gebäude zu erhalten, wurde für das gegenständliche Gebäude näherungsweise eine Kühllastberechnung mit dem zu erwarteten Nutzerverhalten gemäß VDI 2078 durchgeführt. Die Raumtemperatur wird mit max. 24 °C angenommen. Eine Beschattung durch Rollos wurde berücksichtigt.

Die Jahressimulation ergibt einen zu erwartenden Jahreskühlbedarf von 3.858 kWh. Die Kühllast des Gebäudes wird mit etwa 5,6 kW beziffert. Nachstehende Abbildung 61 zeigt die am ungünstigsten Tag auftretenden Kühllasten am 21.07. Die Lastenspitzen treten dabei am Abend auf. Dies ist einerseits auf die Speichermaße des Gebäudes, welche die Wärme mit Verzögerung an den Raum abgibt, sowie der höheren internen Lasten durch Geräte und Personen zurückzuführen.

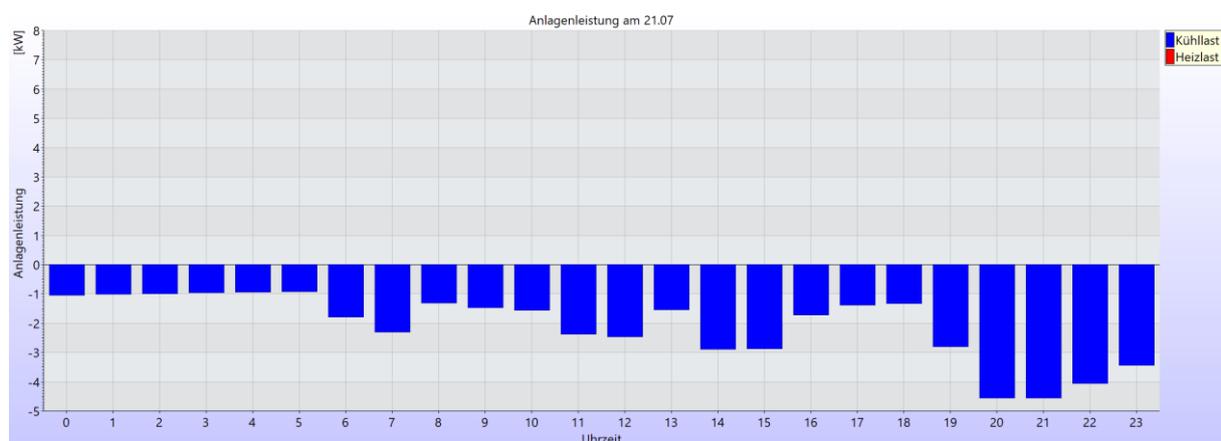


Abbildung 61: Simulation der Kühllast am 21.07.: Einfamilienhaus Scher-Deutsch

4.3.4 Techno-ökonomische Analyse

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgt lt. ÖNORM M7140. Es werden die zuvor beschriebenen Varianten 1-3 berechnet. Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre. Es wurde ein Kalkulationszinssatz von 3% pro Jahr angenommen.

In Variante 1 ist für das Smarthome-System mit einer Nutzungsdauer von 15 Jahren zu rechnen. Nach 15 Jahre entstehen hier Erneuerungskosten.

In Variante 2 wird eine Kühlung der Räume mittels Luft-Wasser-Wärmepumpe erzielt, welche im Kühlbetrieb arbeitet. Hier ist für die LWP mit einer Nutzungsdauer von 15 Jahren zu rechnen. Der jährliche Energieeinsatz beläuft sich auf 862 kWh.

Variante 3 basiert auf Variante 2. Variante 3 unterscheidet sich lediglich durch das Hinzukommen einer Photovoltaikanlage. Für die reversibel arbeitende Luft-Wasser-Wärmepumpe ist abermals mit einer Nutzungsdauer von 15 Jahren auszugehen. Für die PV-Anlage ist mit einer Nutzungsdauer von 20 Jahren zu rechnen. Der Energieeinsatz pro Jahr beträgt 328 kWh.

Folgende Kosten wurden bei den Berechnungen berücksichtigt:

Summe der kapitalgebundenen Kosten (Anschaffungskosten):

- Variante 1: 500,-
- Variante 2: 2.000,-
- Variante 3: 9.075,-

Die Summe verbrauchsgebundenen Kosten betragen:

- Variante 1: 24,-
- Variante 2: 345,-
- Variante 3: - 919,-

Die Summe der betriebsgebundenen und sonstigen Kosten

- Variante 1: 20,-
- Variante 2: 100,-
- Variante 3: 158,-

In Abbildung 62 ist der Verlauf der realen Gesamtkosten der Varianten 1 – 3 ersichtlich. Es ist erkennbar, dass Variante 1 „Teilautomatisierte Nachtlüftung“ sowohl die geringsten Anschaffungskosten als auch die geringsten verbrauchsgebundenen Kosten aufweist.

Variante 2 „Luft-Wasser-Wärmepumpe“ ist in der Anschaffung etwas günstiger als Variante 3, jedoch sind die verbrauchsgebundenen Kosten höher. Nach dem 6. Jahr ist Variante 2 teurer als Variante 3.

In Variante 3 „LWP + PV-Anlage“ ist ein rückläufiger Verlauf der Gesamtkosten zu verzeichnen. Das ist mit den Erträgen der PV-Anlage zu erklären.

In Abbildung 62 sticht das 15. Jahr besonders hervor, da in allen drei Varianten Kosten in Form von Erneuerungen anfallen. Wobei bei Variante 1, schon durch den geringen Preis, diese Kosten im Vergleich am geringsten ausfallen. In Variante 3 fallen im 20. Jahr weitere Erneuerungskosten an.

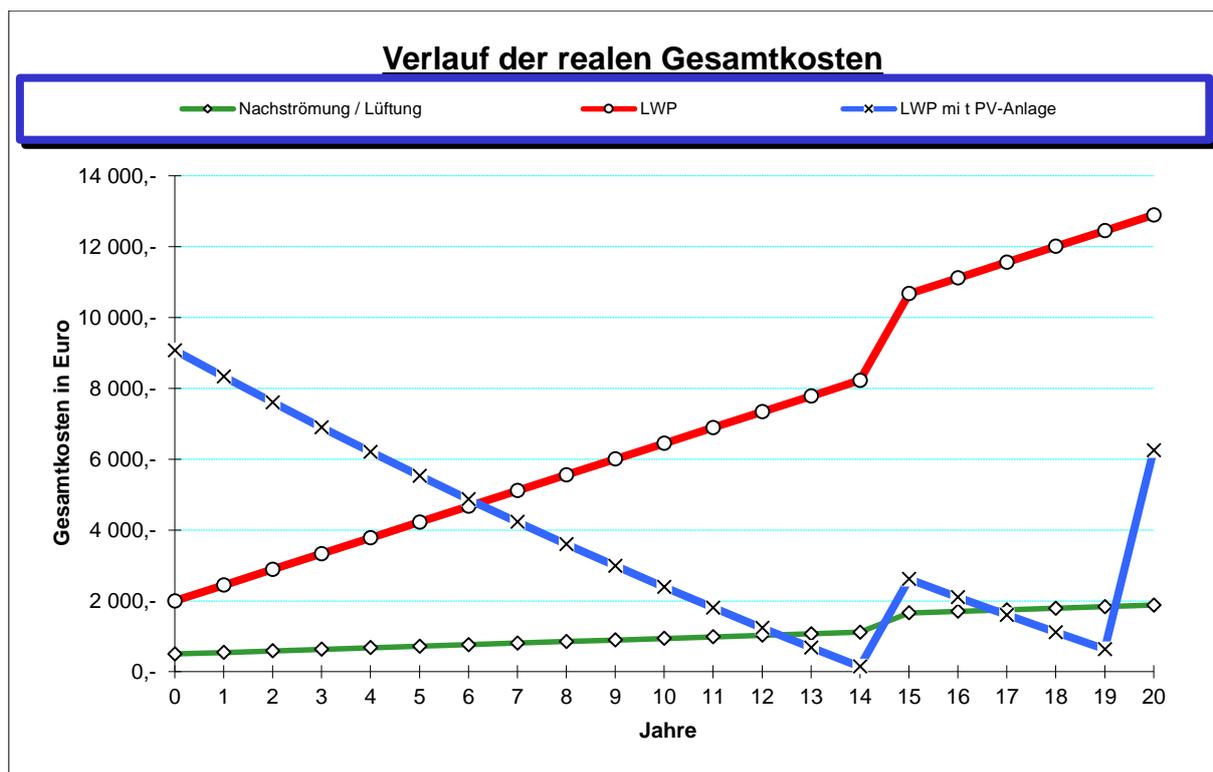


Abbildung 62: Verlauf der realen Gesamtkosten

In Abbildung 63 ist der fiktive Verlauf der Gesamtkosten aufgetragen. Ab dem 14. Jahr ist Variante 3 bereits günstiger als Variante 1. Nach dem 17. Jahr hat sich die Anlage abbezahlt, in diesem Jahr entstehen 0 € Gesamtkosten. Ab dem Jahr 17 sind in Variante 3 Gewinne zu verzeichnen. Nach einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ist zu erkennen, dass Variante 3 die kostengünstigste Lösung ist.

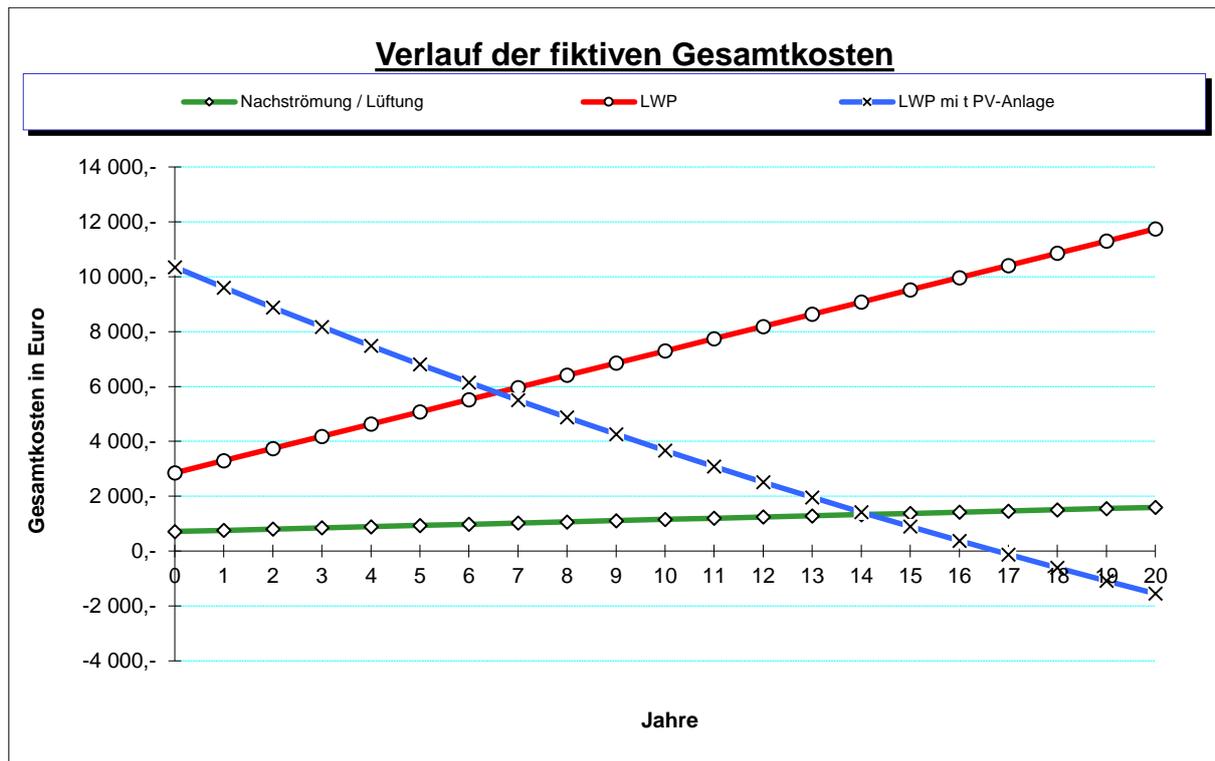


Abbildung 63: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten

4.3.5 Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode

In diesem Einfamilienhaus werden durch die Nutzer*innen einerseits die Umsetzungswahrscheinlichkeit (21.3%), andererseits Betriebskosten (19.4%) priorisiert (n = 4). Ökologische Aspekte (16.2%) sowie der Kühleffekt (15.4%) sind nächstgereiht. Eher untergeordnete Bewertungskriterien sind der Umgebungseinfluss (11.7%), technische Aspekte (8.2%) sowie Herstellungskosten (7.9%) wie in Abbildung 64 ersichtlich.

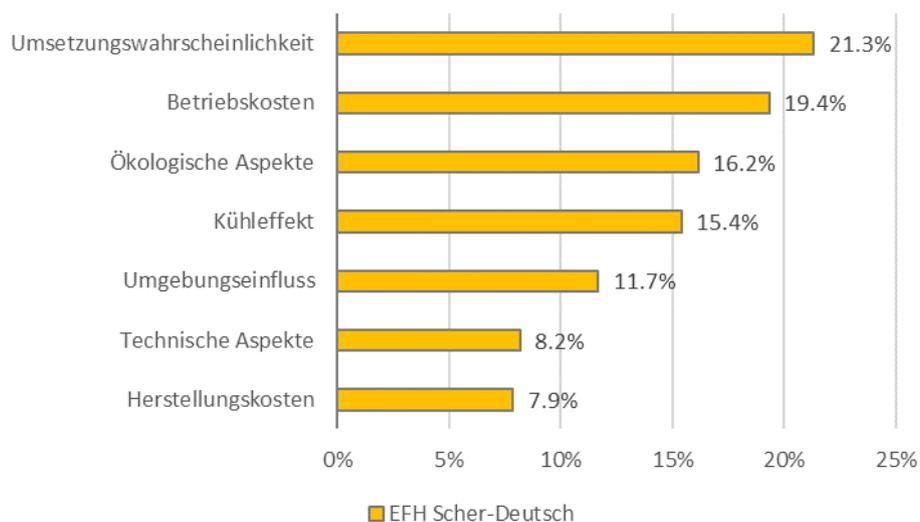


Abbildung 64: Priorisierung der Bewertungskriterien EFH Scher-Deutsch

In Folge der Priorisierung der Bewertungskriterien konnten die angedachten Maßnahmen bewertet werden. Dafür wurde ein Rating für jedes Kriterium einer Maßnahme mit den möglichen Ausprägungen 1 = „sehr schlecht“ bis 5 = „sehr gut“ durchgeführt (Tabelle 8). Dahingehend erreicht die Maßnahme „Nachtlüftung“ die vergleichsweise höchste Bewertung (4.05).

Tabelle 8: Ergebnis der AHP-Bewertung für das EFH Scher-Deutsch

Bewertungskriterium	Priorität	Nachtlüftung		FB-Kühlung mit WP		FB-Kühlung mit WP + PV	
		Rating	Gewicht	Rating	Gewicht	Rating	Gewicht
Ökologische Aspekte	16.2%	5	0.81	2	0.32	3	0.49
Technische Aspekte	8.2%	3	0.25	5	0.41	4	0.33
Herstellungskosten	7.9%	3	0.24	5	0.40	3	0.24
Betriebskosten	19.4%	5	0.97	3	0.58	4	0.78
Kühleffekt	15.4%	3	0.46	4	0.62	4	0.62
Umgebungseinfluss	11.7%	4	0.47	4	0.47	4	0.47
Umsetzungswahrscheinlichkeit	21.3%	4	0.85	5	1.07	5	1.07
Gesamtbewertung	100.0%		4.05		3.86		3.98

4.3.6 Auswahl der Lösungen

Die Familie Scher-Deutsch bedankt sich für die Messungen. Umgesetzt wurde bereits die Kühlung über die Wärmepumpe mit Fußbodenheizung.

Ein Raum, der stark von der sommerlichen Überhitzung betroffen ist wird noch mit einem verbesserten Sonnenschutz außen ausgestattet.

5 Öffentliche Gebäude

5.1 Kindergarten Güssing

5.1.1 Ausgangslage

Der Kindergarten in Güssing wurde im Jahr 2005 saniert. Bereits in den Vorsommermonaten als auch noch nach den Sommerferien ist die Temperatur sehr hoch. Es gibt auch eine Sommerbetreuung, diese muss bei großer Hitze durchgeführt werden. Das Haus besteht aus einem massiven Erdgeschoß und einem Obergeschoß in Holzriegelbauweise (siehe Abbildung 65).

Im Haus befinden sich etwa 160 Kinder, der Kindergarten ist von Montag bis Freitag, jeweils von 6:30 bis 18:00 Uhr geöffnet. Eine aktive Kühlung ist nicht gewünscht, da die Kinder sensibel auf Zug reagieren und leicht krank werden können.



Abbildung 65: Kindergarten Güssing²⁶

Im massiven Erdgeschoß werden die Temperaturen als angenehmer empfunden als im Obergeschoß in Holzriegelbauweise. Die Analyse der Temperaturmessung ergab, dass es im Erdgeschoß weniger Schwankungen bei der Raumtemperatur gab (Ziegelwände). Im Erdgeschoß gibt es innenliegende Rollos, im Obergeschoß außenliegende Jalousien. Im Garten stehen einige Bäume, welche auf der Süd- und Westseite Schatten auf das Gebäude werfen. Es ist keine Klimaanlage vorhanden²⁷.

Wie aus Abbildung 56 zu erkennen ist, wurde in der Kinderkrippe zwischen dem 02.08.2020 und 03.09.2020 die Außentemperatur, die Temperatur in unterschiedlichen Innenräumen (OG Schlafräum, Gruppenraum Maria, Gruppenraum Martha, Kinderkrippe) und die CO₂ Konzentration in der Kinderkrippe gemessen.

Die CO₂ Konzentrationen liegen durchwegs unter < 1000 ppm und sind somit hygienisch unbedenklich²⁸. Anfang August lag die CO₂ Konzentration zweimal über 1000 ppm, hier sollte das Lüftungsverhalten überprüft und verbessert werden.

Deutlich zu erkennen sind die Schwankungen der Außentemperatur, welche durchwegs mit den Spitzen der Temperatur in den Innenräumen korrelieren.

²⁶ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

²⁷ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

²⁸ H.-D. Neumann, M. Buxtrup, Beurteilung der CO₂-Konzentration in Klassenräumen, 2014

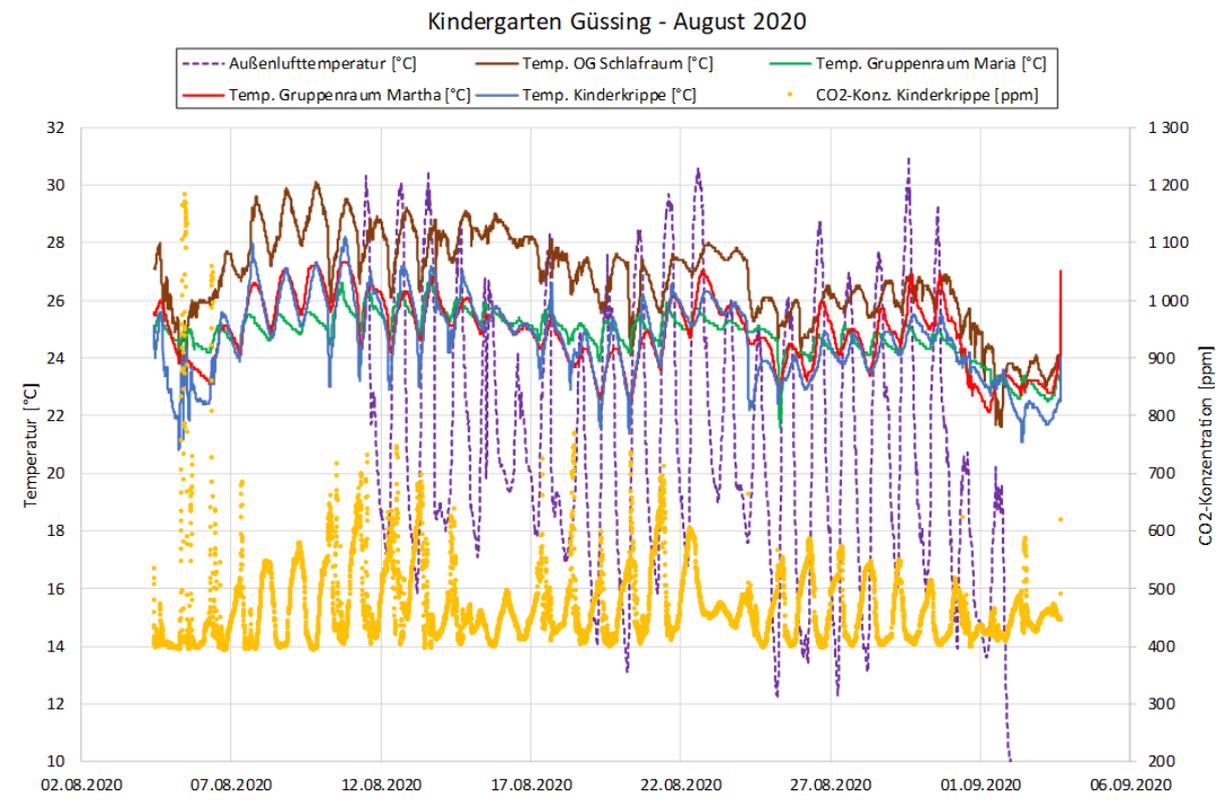


Abbildung 66: Messungen Kindergarten Güssing

In Abbildung 67 sind die Temperaturverläufe zwischen 10.08.2020 und 15.08.2020 zu sehen. Die Tageshöchsttemperatur (Außenluft) betrug um die 30 °C. Am höchsten war die Innentemperatur im Schlafraum im Obergeschoß. Die Temperatur lag bei etwa 29 °C, in der Nacht kühlte der Raum auf max. 26 °C ab. Grund dafür ist die Bauweise des Obergeschoßes (Holzriegel-Bauweise). Etwas niedriger war die Temperatur in den beiden Gruppenräumen Maria und Martha, sowie in der Kinderkrippe. Hier lagen die Höchsttemperaturen bei durchschnittlich 27 °C, in der Nacht kühlte die Kinderkrippe am meisten ab (auf ca. 23 °C). Erkennbar ist ein Temperatursprung jeweils in der Früh, wo die ersteintreffenden Mitarbeiter*innen die Fenster zum Kühlen öffnen. Dieser Effekt könnte noch weiter verstärkt werden, wenn eine Lüftung über die gesamte Nacht möglich wäre.

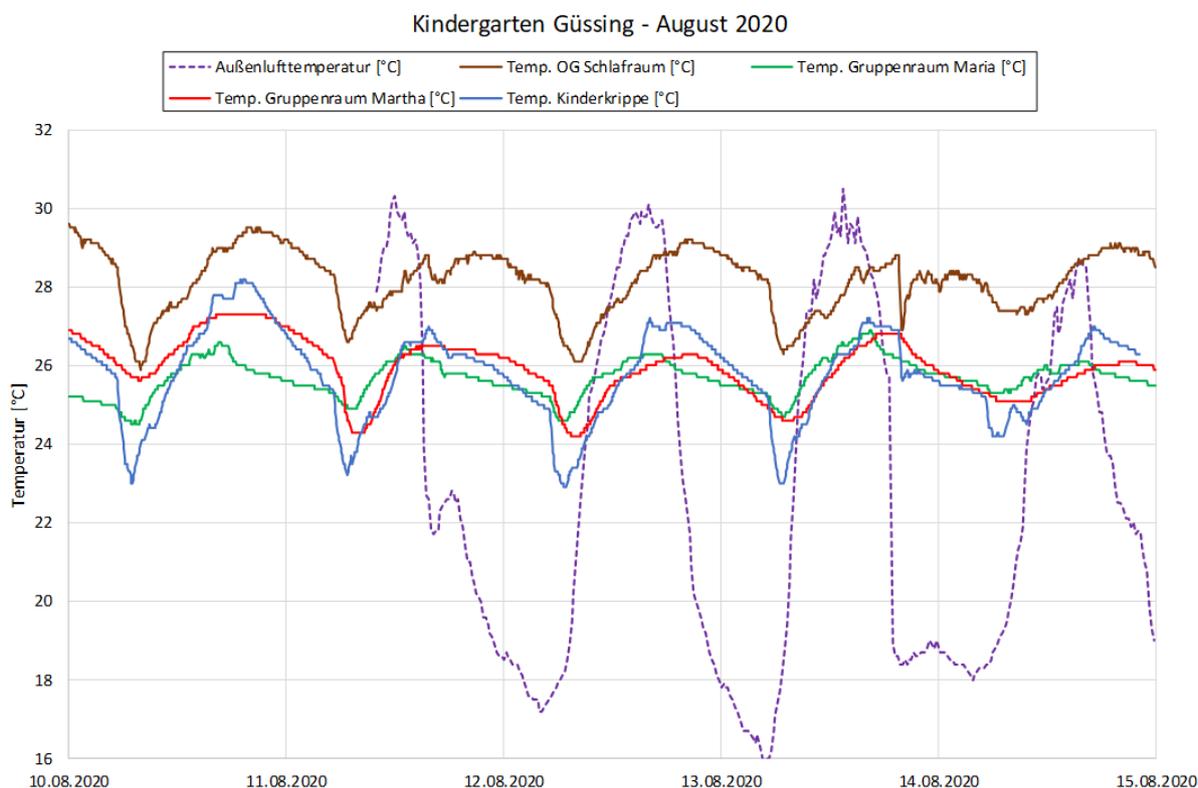


Abbildung 67: Messungen Kindergarten Güssing

Behaglichkeitsfeld

In der Abbildung 68 ist ein Ausschnitt des h-x Diagramms nach Mollier ersichtlich. Der grau markierte Bereich wird angenehm empfunden. Der Bereich wird durch die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 30% und 65% gekennzeichnet. Die Temperatur wird zwischen 20°C und 26°C als behaglich empfunden.

Die Nutzer der Kinderkrippe wurden zu verschiedenen Zeitpunkten (zwischen 04.08.2020 bis 21.08.2020) über die derzeit empfundene Behaglichkeit im Raum befragt. Die Raumlufftemperatur und Raumlufffeuchte werden gemessen und geloggt. Zu den Zeitpunkten, bei welchen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter befragt wurden, wurde angegeben, wie behaglich sie das Raumklima empfanden. Zur Auswahl standen:

- Etwas zu kalt
- Angenehm
- Etwas zu warm
- Zu warm
- Viel zu warm

Im h-x-Diagramm beschreibt jeder farblich markierte Punkt, wie das Raumklima empfunden wurde. Von den zwölf Angaben über das empfundene Raumklima gaben drei der Befragten an, das Raumklima als angenehm empfunden zu haben. Zwei Befragte empfanden das Raumklima außerhalb dieses Fensters noch als angenehm.

Die verbleibenden neun Angaben der Raumnutzer zeigen, dass das Raumklima als etwas zu warm und als zu warm wahrgenommen wurde.

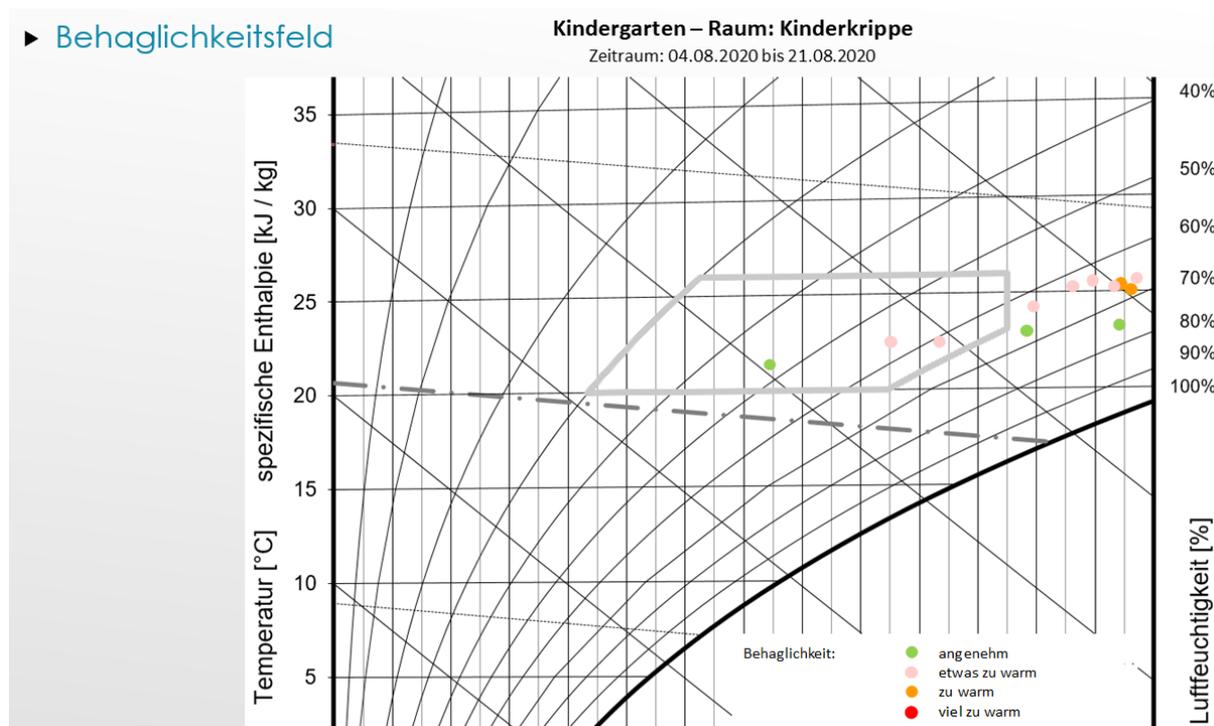


Abbildung 68: Behaglichkeit in der Kinderkrippe

5.1.2 Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung

Variante 1: Nachtlüftung über die Fenster

Für die Kühlung des Obergeschoßes (Kinderkrippe) im Kindergarten Güssing wird in Variante 1 die Nachtlüftung über die Fenster vorgeschlagen. Dafür sind 12 Fensterantriebe zu montieren, um die Fenster zu kippen. Zudem ist ein Steuergerät erforderlich. Inkludiert sind ein Wind- und Regenwächter samt Zeitschaltuhr. Ein Lüftungstaster ermöglicht die händische Bedienung. Die vorhandenen Rollos dürfen nicht komplett geschlossen werden, um eine bessere Querlüftung zu ermöglichen. Fraglich ist noch, ob ein Insektenschutz notwendig ist. Die Kosten liegen lt. Angebot in der Höhe von 5.000 € zuzüglich Montage.

Vorteile:

Vorteilhaft sind die niedrigen Betriebskosten und ökologische Sinnhaftigkeit dieser Variante. Außerdem kann in den Räumen tagsüber unangenehme Zugluft vermieden werden.

Nachteile:

Die Abhängigkeit von den Außentemperaturen in der Nacht sowie, dass eine Nutzung tagsüber nicht sinnvoll ist, können als Nachteile betrachtet werden. Zudem bietet diese Variante keine Entfeuchtung oder aktive Kühlung der Räumlichkeiten.

Test der Nachlüftung

In der Kinderkrippe wurde die Nachlüftung zwischen 09.08.2021 und 10.08.2021 getestet. Die Fenster wurden gekippt, eine Querlüftung war möglich. Allerdings blieben die Rollos geschlossen, was die Luftzirkulation beeinträchtigte. Es gab auch keinen weiteren Wetterschutz vor Regen (Abbildung 69 und Abbildung 70).



Abbildung 69: Test der Nachlüftung Gruppenraum



Abbildung 70: Nachtlüftung OG Schlafrum

Zu Beginn der Nachtlüftung lag die Temperatur in den vier gemessenen Räumen (Kindergarten, Krippe Garderobe, Krippe Südwest und Krippe Schlafrum) zwischen 25,5 °C und 27 °C. Am kühlpsten war es im Schlafrum der Krippe, die höchste Temperatur wurde im Kindergarten gemessen. Die maximale Außentemperatur lag am 09.08.2021 bei 30,5 °C, die niedrigste Außentemperatur wurde am 10.08.2021 in der Früh erreicht: 14,5 °C.

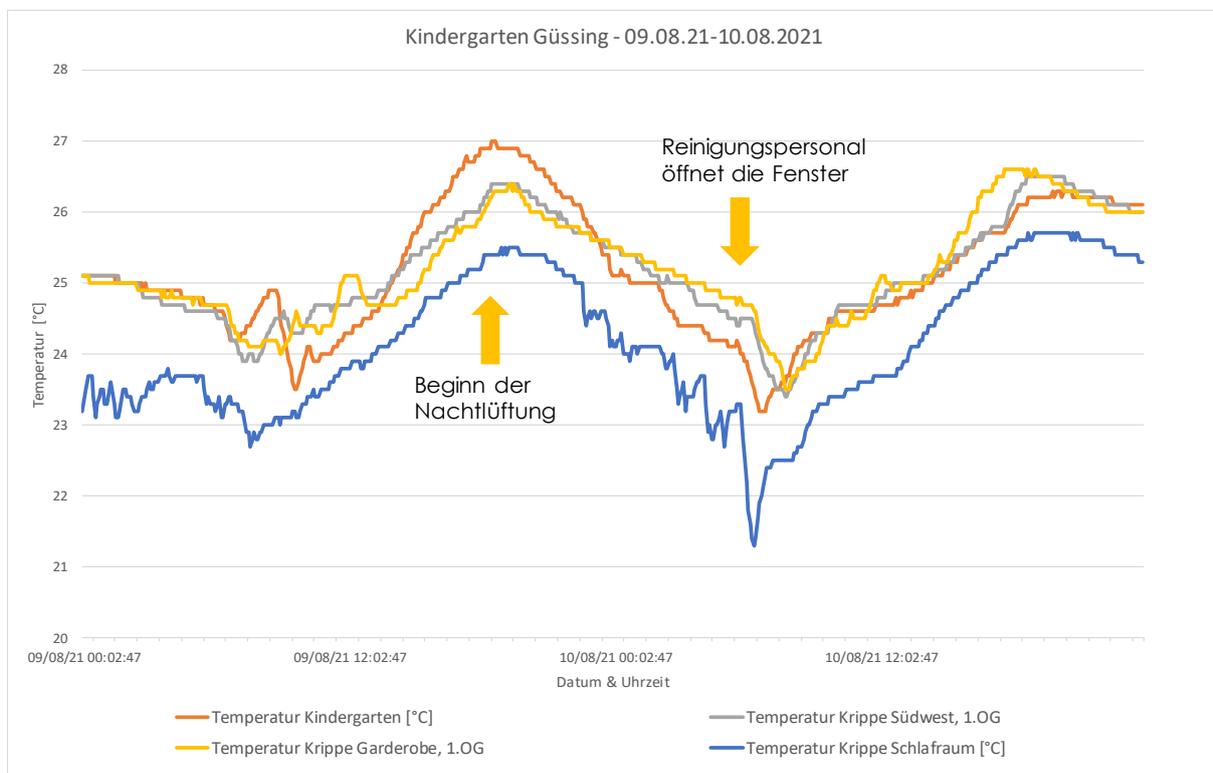


Abbildung 71: Test der Nachtlüftung, Messdaten

Wie die Messdaten in Abbildung 71 zeigen, hat die Nachtlüftung funktioniert. Es kam zu einer Temperaturreduktion von Beginn der Nachtlüftung von 2,5 K, nachdem das Reinigungspersonal die Fenster in der Früh öffnete, kühlte der Kindergarten zusätzlich um etwa 1 bis 2 K ab.

Die Temperatur im Schlafraum der Kinderkrippe sank in der Nacht vor Beginn der Testung der Nachtlüftung auf etwa 23 °C, mit der Nachtlüftung sank sie auf ca. 21 °C. In den anderen Räumen war die Abkühlung nicht so signifikant, die sank auf etwa 23 °C, ohne die Nachtlüftung sank sie auf etwa 24 °C.

Das Öffnen der Türen und Fenster in der Früh reduziert die Lufttemperatur, jedoch weniger ausreichend (aufgrund der geringen Dauer im Verhältnis zur Gebäudemasse). Ein wichtiger Punkt ist auch das Nutzer*innen-Verhalten. Die Tür zur Terrasse ist bedingt durch die Kinderbetreuung (innen/außen) oftmals offen, das zu einem Wärmeeintrag am Tag führt.

Nach Rücksprache mit dem technischen Leiter der Stadtgemeinde erfolgte ein weiterer Test der Nachtlüftung (16.-17.08.2022), jedoch mit 5 geöffneten Fenstern (nicht gekippt) und mit etwa 45° gedrehten Jalousien, siehe Abbildung 72. Eine Querlüftung (Innentüren geöffnet) durch die 2 Gruppenräume und im Schlafraum war gegeben. Die Fenster wurden hierzu mit Holzleisten über Nacht aufgekeilt.



Abbildung 72: Geöffnete Fenster im Gruppenraum beim Test der Nachtlüftung 2022

Der Test der Nachtlüftung musste zeitlich bedingt bereits um 18 Uhr erfolgen, daher ist auch ein Anstieg der Innentemperaturen bis ca. 21 Uhr erkennbar. Die Außentemperatur lag um 18 Uhr bei etwa 30 °C. In der Früh betrug die minimalste Außentemperatur 16,7 °C, bzw. in der Krippe (Nord) 22,6 °C. Weiters ist erkennbar, dass am Wochenende die Räume nicht gelüftet werden und damit kaum Abkühlung in der Nacht erfolgt. Der Test hat gezeigt, dass die Auskühlung durch geöffnete Fenster einen deutlich besseren Abkühleffekt erreicht, als bei gekippten Fenstern. Der nördliche Raum hat schneller abgekühlt, als der südliche Raum, bedingt durch die Luftströmung von Nord nach Süd.

Es hat sich auch gezeigt, dass innen eine Temperatur von 24 °C um etwa 12 Uhr überschritten wurde, bzw. 25 °C um ca. 13:30 Uhr Nord und um 15:30 Uhr Süd. Am Tag nach der Nachtlüftung wurden bei Außen max. 34 °C Innenraumtemperaturen um 18 Uhr von 26 bis 27 °C erreicht.

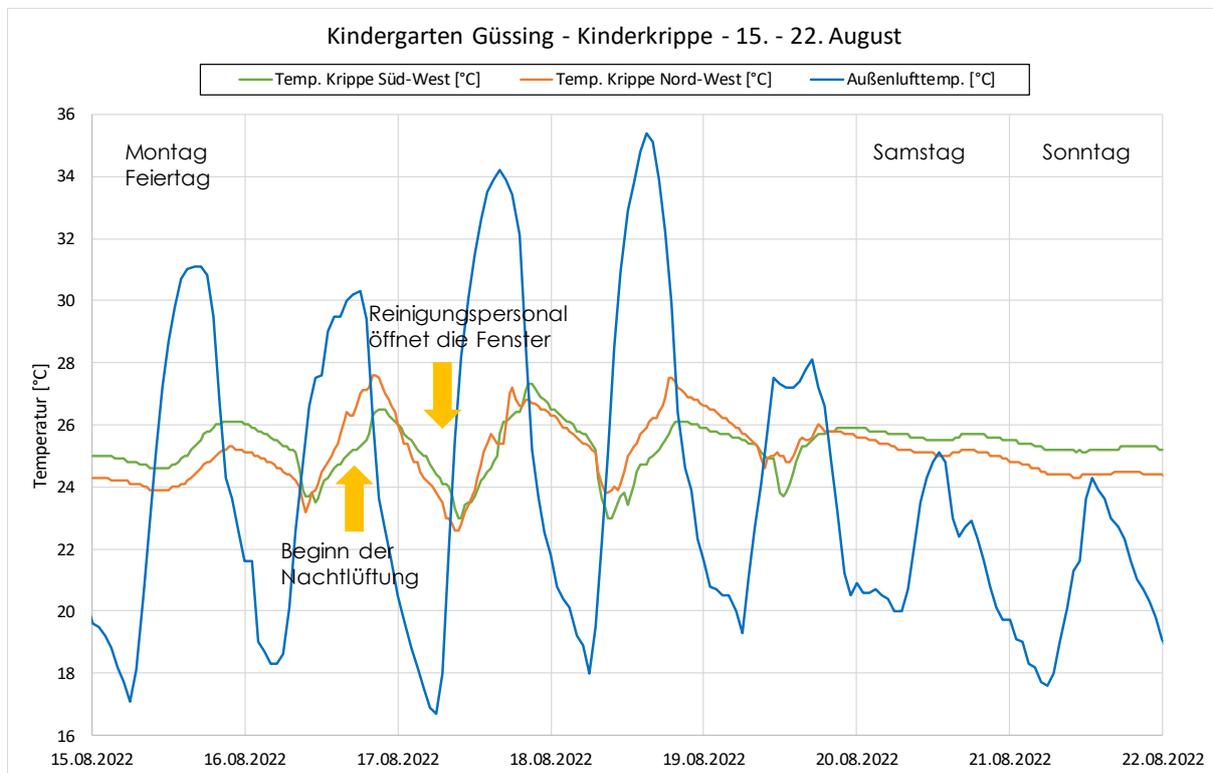


Abbildung 73: Messwerte beim Test der Nachtlüftung 2022

Die ursprüngliche Variante mit 12 Antrieben zum Kippen wird daher verworfen und auf 5 Antriebe zum Drehen des ganzen Flügels abgeändert. Da die Nachtlüftung nur außerhalb der Betriebszeiten genutzt werden soll, ist die Notwendigkeit für Sensoren als Einklemmschutz (z.B. Finger oder Hand im Fenster beim Schließen) nicht gegeben. Die Jalousien müssten bei etwa 45° Winkel gedreht bleiben. Ein Insektenschutz ist zu empfehlen. Ein Wind- und Regenwächter ist für die Steuerung notwendig.

Versicherungsschutz bei Fensterlüftung

Grundsätzlich wird von Versicherungsanstalten kein Versicherungsschutz gegeben, wenn Fenster gekippt sind. Aus versicherungstechnischer Sicht in Bezug auf Einbruch gilt: solange ein Fenster gekippt ist, darf das Gebäude nicht verlassen werden. Andernfalls käme es zu einer Obliegenheitsverletzung.

Darüber hinaus besteht, wenn ein Fenster nicht ordnungsgemäß verschlossen ist, kein Versicherungsschutz, weder für Einbruch noch bei Schäden in Folge von Regenfällen. Dies haben drei Versicherungsanstalten unabhängig voneinander bestätigt.

Im konkreten Fall „Nachtlüftung beim Kindergarten Güssing“ wurde explizit beim Eigentümer und Versicherungsvertreter nachgefragt.

Der Grund für die Öffnung (Nachtlüftung) ist generell für Versicherungsunternehmen irrelevant. Wenn durch ein geöffnetes Fenster ein Einbruch/ Schaden entsteht, hat der Versicherer das Recht sich von Leistungen freizusprechen.

Laut Auskunft GEZE GmbH - Herr Kumar:

Automatische Fensteröffnungen können gesteuert werden über: Temperatur, CO₂ oder Luftfeuchtigkeit. Im geschlossenen Zustand gilt das Fenster jedenfalls als „verriegelt“.

Je nach Gebäudeklasse/ -Typ ist der geforderte Versicherungsschutz abhängig von der Höhe des Fensters und welche Widerstandsklasse (1 bis 3; je nach Aufwand/ Einbruchzeit) gegeben ist.

Demnach wären im OG im besten Fall keine Maßnahmen erforderlich. Im EG hingegen gibt es drei Möglichkeiten um Fenster unbeaufsichtigt geöffnet zu lassen: entweder das Risiko eines Einbruchschadens zu akzeptieren, bauliche Maßnahmen wie z.B. Gitter vor den betreffenden Fenstern vorsehen oder der Einsatz von Laserscannern.

Dabei deckt ein Lichtvorhang die Fassadenfläche ab. Wobei ein Sensor eine Reichweite von ca. 10m hat und auch Kleintiere erkennt. Sollte eine Bewegung detektiert werden, schließen die Öffnungseinrichtungen automatisch.

Laut Auskunft Zach Antriebe GmbH - Herr Fischer:

Eine Absicherung besteht nur im Sinne eines Einklemmschutzes.

Die Öffnungsmechanismen mit Schubstange entsprechen keiner Widerstandsklasse. Die Motoren sind keiner Widerstandsprüfung (WK1 - WK3) unterzogen, sondern lediglich eine einfache Ergänzung des Flügels. Zu betrachten wie ein händischer Öffnungsvorgang.

Um einen effektiven, auch versicherungstechnisch akzeptablen Versicherungsschutz zu erfüllen, müssten bauliche Maßnahme (Gitter) vorgesehen werden, damit eine dementsprechende Widerstandsklasse gegeben ist.

Bei einem Referenzprojekt (Schule in St. Pölten) wurden ca. 300 Stk. ausgeführt, wobei keine baulichen Maßnahmen (Gitter) vorgesehen wurden.

Variante 2: Klima-Multisplitgerät, ca. 6 kW

Variante 2 für die Kühlung des Obergeschoßes im Kindergarten Güssing stellt ein Klima-Multisplitgerät mit einer Kühlleistung von ca. 6 kW dar. Dieses könnte vier Innengeräte beinhalten. Dafür werden Kosten in der Höhe von ca. 17.000,00 € angenommen. Zudem kann ein Strombedarf von ca. 1.300 kWh pro Jahr, mit geschätzten Stromkosten in der Höhe von 350 € sowie ca. 340 € pro Jahr für die Wartung einkalkuliert werden.

Vorteile:

Die individuelle Kühlung der Räumlichkeiten sowie die Entfeuchtung sind die wesentlichen Vorteile dieser Variante.

Nachteile:

Für eine gute Kühlung ist erforderlich, dass die Terrassentüren geschlossen bleiben. Zudem muss bei der Bedienung darauf geachtet werden, dass die Kinder sich nicht erkälten. Ein Kondensatablauf muss berücksichtigt werden. Die hohen Kosten für Strom und Wartung sind ebenfalls Nachteile dieser Variante.

Variante 3: Klima-Multisplitgerät, ca. 6 kW mit ca. 7 kW Photovoltaikanlage

In Variante 3 wird die Kühlung des Obergeschoßes im Kindergarten Güssing durch das Klima-Multisplitgerät mit einer Kühlleistung von ca. 6 kW mit einer 7 kW Photovoltaikanlage ergänzt. Wie in Variante 2 sind vier Innengeräte vorgesehen. Die Kosten werden in der Höhe von ca. 28.000 € angenommen. Für den Stromverbrauch sollten damit keine Kosten entstehen. Es sind ca. 340 € pro Jahr für die Wartung einzukalkulieren.

Vorteile:

Die in Variante 2 genannten Vorteile bleiben bestehen. Zusätzlich kann der Stromüberschuss aus der Photovoltaikanlage für das Gebäude genutzt oder in das Stromnetz eingespeist werden.

Nachteile:

Wie in Variante 2 liegen die Nachteile in der Handhabung in Bezug auf geschlossene Terrassentüren und dass bei der Bedienung der Geräte darauf geachtet wird, dass sich die Kinder nicht erkälten. Zudem müssen der Kondensatablauf und die regelmäßige Wartung der Geräte berücksichtigt werden.

Überlegt wird auch noch, das Gebäude an der Fassadenwand im Obergeschoss zu begrünen, um einen Abkühleffekt zu bekommen.

Fassadenbegrünung allgemein²⁹

Bei der Gebäudebegrünung unterscheidet man zwischen Dachflächenbegrünung und Fassadenbegrünung. Bei vertikaler Begrünung gibt es zwei Arten: Bodengebundene Bepflanzung und fassadengebundene Bepflanzung. Eine Begrünung der Fassade hat positive Auswirkungen auf die thermischen Eigenschaften des Gebäudes. Dieser Effekt ist sowohl im Sommer als auch im Winter zu vermerken. Durch die Vergrößerung der Oberfläche weisen Fassaden mit vertikaler Begrünung schallabsorbierende Eigenschaften auf. Weitere positive Eigenschaften sind die Verschattung, Schutz der Baukonstruktion, CO₂-Speicherung und Feinstaubbindung.

Kletterpflanzen teilen sich in Selbstklimmer und in Gerüstkletterpflanzen. Efeu, Trompetenwinde und Kletterhortensie sind Vertreter der Selbstklimmer und halten an der Fassade durch Haftwurzeln. Dem gegenüber steht beispielsweise der wilde Wein, welcher sich durch feines Verästeln an der Fassade festhält.

Vertreter von Gerüstkletterpflanzen sind echter Wein (Rankelpflanze), Knötterich (Schlingepflanze) oder Winterjasmin (Spreizklimmer). Gerüstkletterpflanzen benötigen technische Kletterhilfen. Die Ausführungsarten solcher Kletterhilfen gestaltet sich vielfältig. Die Konstruktion kann beispielsweise durch Gitter aus Holz oder Stahl realisiert werden. Stahlseilkonstruktionen oder Befestigung an Geländer oder Zäune ist ebenfalls eine Möglichkeit.

Um Schäden an der Fassade vorzubeugen, bedarf es eine gründliche Planung. So soll die Tragelast der Wand, bzw. des Gerüsts ausreichend stabil konstruiert sein.

Die fassadengebundene Begrünung baut oberirdisch auf und funktioniert nach dem Prinzip der vorgehängten, hinterlüfteten Fassade. Die Pflanzen wachsen in Taschen oder Vlies. Die Bewässerung und die Zufuhr von Nährstoffen erfolgen manuell.

Förderung Fassadenbegrünung³⁰

Zum Zeitpunkt der Betrachtung gab es seitens der Kommunalkredit Public Consulting GmbH (KPC) die Möglichkeit zur Förderung von Fassadenbegrünungen. Das entsprechende Förderprogramm ist die Mustersanierung. Fassadenbegrünungen werden jedoch nur als Kombinationsmaßnahme gefördert. Für den Standort Kindergarten kann eine Fassadenbegrünung nur dann gefördert werden, wenn auch eine umfassende thermische Sanierung des Gebäudes angestrebt wird. Weitere Voraussetzungen für eine Förderung:

- Gebäude dürfen für diese Förderung nicht jünger als 20 Jahre alt sein
- Die Investitionskosten müssen mindestens 35.000 € ausmachen

²⁹ https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewi-uLLbto7_AhVUO-wKHxwsCnEQFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.curem.uzh.ch%2Fdam%2Fjcr%3Abd23177a-41a7-433b-9649-bd6fa0e38289%2FHeinrich_Aliya_AbAr_Lg18-19.pdf&usg=AOvVaw1CSLCfQc7owlu3Bd0Fud6, abgerufen am 24.05.2023

³⁰ <https://www.oekologisch-bauen.info/baustoffe/dach-fassade/fassadenbegruenung/>, abgerufen am 24.05.2023

Durch die Sanierung muss der Heizenergiebedarf und der Gesamteffizienzfaktor zumindest den Vorlagen der OIB-Richtlinie-6 (2015 oder 2019) entsprechen³¹.

5.1.3 Techno-ökonomische Analyse

Die Berechnung der realen und fiktiven Gesamtkosten erfolgte lt. ÖNORM M 7140. Die Norm beschreibt die dynamischen Rechenmethoden für den Barwert und die erweiterte Annuitätenmethode. Es wird die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Energiesystemen dargestellt und miteinander verglichen. ÖNORM M 7140 spiegelt eine möglichst realistische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wider. Die Berechnung lt. ÖNORM M 7140 für die beschriebenen Varianten 1 – 3 wird mithilfe Microsoft Excel durchgeführt. Für die Berechnung wurden folgende Parameter berücksichtigt:

- Kapitalgebundene Kosten
- Verbrauchsgebundene Kosten
- Betriebsgebundene und sonstige Kosten.

Es wurde in allen drei Varianten ein Zinssatz von 3% herangezogen. In Variante 1 wird für die Fensterantriebe eine Nutzungsdauer von 15 Jahren angenommen.

In Variante 2 wird für die Multisplit-Klimaanlage, die Innengeräte und der damit verbundenen Arbeitszeit eine Nutzungsdauer von 15 Jahre angenommen. Für Material und Elektroarbeiten ist eine Nutzungsdauer von 20 Jahren vorgesehen. Der jährliche Energieeinsatz beträgt 1.333 kWh Strom. Variante 2 weist mit 333 € die höchsten verbrauchsgebundenen Kosten auf.

Variante 3 basiert auf Variante 2, ergänzt durch eine 7kW_p Photovoltaik-Anlage. Die PV-Anlage wird mit einer Nutzungsdauer von 20 Jahren bewertet. Der jährliche Energieeinsatz beträgt 667 kWh Strom. Die verbrauchsgebundenen Kosten betragen aufgrund der Einspeisung des überschüssigen Stroms in das Netz kalkulierte Einnahmen in der Höhe von 1.083 €.

Folgende Kosten wurden bei den Berechnungen berücksichtigt:

Summe der kapitalgebundenen Kosten (Anschaffungskosten):

Variante 1: 11.780 €

Variante 2: 16.551 €

Variante 3: 28.064 €

Die Summe verbrauchsgebundenen Kosten betragen:

Variante 1: 15 €

Variante 2: 333 €

Variante 3: -1.083 €

³¹ <https://www.umweltfoerderung.at/gemeinden/mustersanierung/unterkategorie-thermische-gebaeudesanierung>, abgerufen am 12.01.2023

Die Summe der betriebsgebundenen und sonstigen Kosten:

Variante 1: 100 €
 Variante 2: 342 €
 Variante 3: 143 €

In Abbildung 74 ist ersichtlich, dass Variante 1 über die gesamte Laufzeit am günstigsten zu bewerten ist, auch nach dem Kostensprung nach 15 Jahren Nutzung. Variante 2 ist von Anfang an etwas teurer und erlebt noch einen Kostensprung nach 15 Jahren. Gegen Ende der Laufzeit sind die Kosten dieser Variante am höchsten. Variante 3 ist in Bezug auf die Anschaffungskosten die teuerste Variante. Nach ca. 8 Jahren wird diese Variante im Vergleich zu Variante 2 durch die Einspeisung des Stroms der PV-Anlage günstiger, was sie trotz des Kostensprungs nach 15 Jahren bleibt.

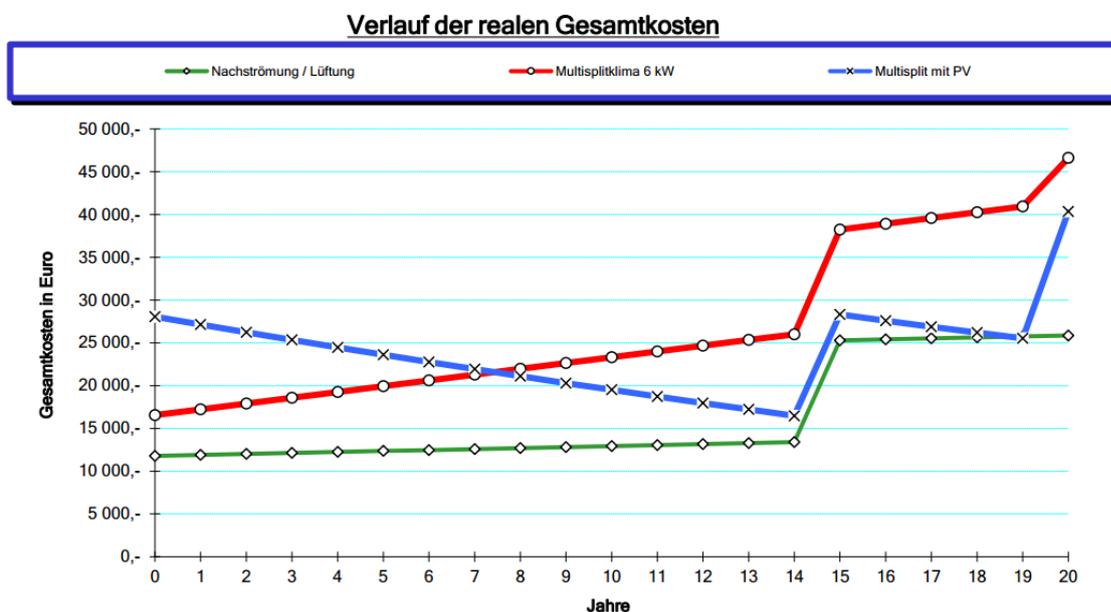


Abbildung 74: Verlauf der realen Gesamtkosten

In Abbildung 75 ist der Verlauf der fiktiven Gesamtkosten zu erkennen.

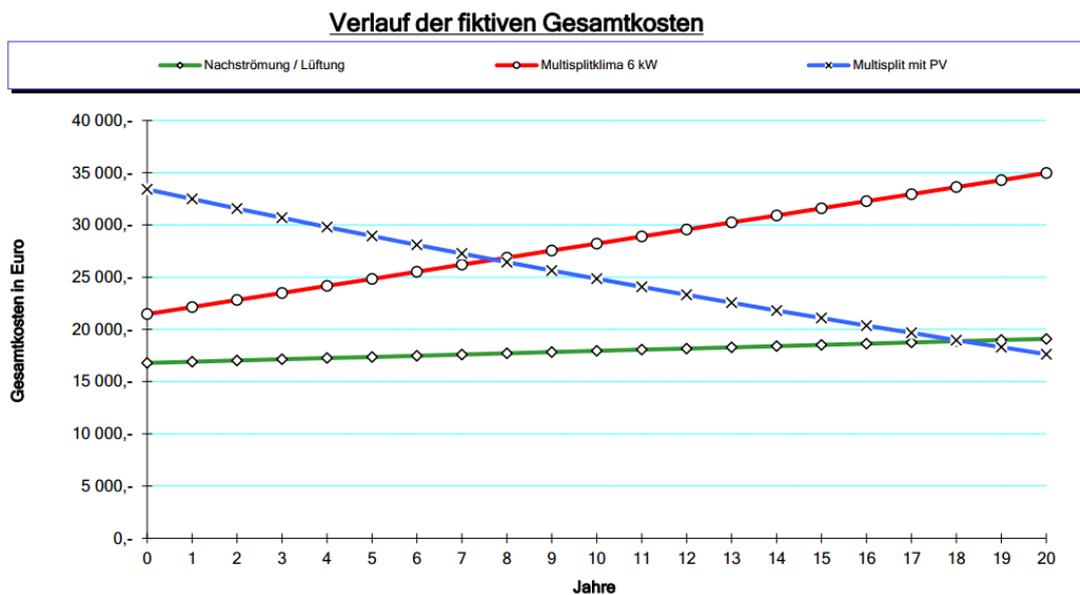


Abbildung 75: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten

5.1.4 Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode

Im Kindergarten stellt für die Leiterin des Kindergartens der Kühleffekt mit einer mittleren Priorisierung von 27% das wichtigste Bewertungskriterium dar (n = 1). Nächstgereiht werden einerseits die Umsetzungswahrscheinlichkeit (22.1%), andererseits Betriebskosten (17.8%). Ökologische Aspekte (13.2%) sowie Herstellungskosten (15.4%) werden priorisiert. Eher untergeordnete Bewertungskriterien sind der Umgebungseinfluss (6.3%) sowie technische Aspekte (4.2%) wie in Abbildung 76 ersichtlich.

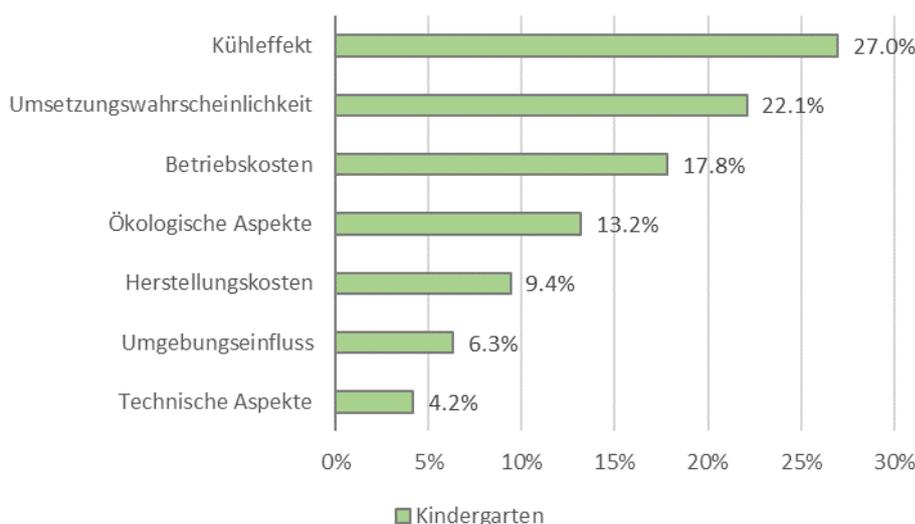


Abbildung 76: Priorisierung der Bewertungskriterien Kindergarten

In Folge der Priorisierung der Bewertungskriterien konnten die angedachten Maßnahmen bewertet werden. Dafür wurde ein Rating für jedes Kriterium einer Maßnahme mit

den möglichen Ausprägungen 1 = „sehr schlecht“ bis 5 = „sehr gut“ durchgeführt (siehe Tabelle 9). Dahingehend erreicht die **Maßnahme „Nachtlüftung“ die vergleichsweise höchste Bewertung (4.04).**

Tabelle 9: Ergebnis der AHP-Bewertung für den Kindergarten Güssing

Bewertungskriterium	Priorität	Nachtlüftung		Multisplitklima 6 kW		Multisplitklima 6 kW + PV	
		Rating	Gewicht	Rating	Gewicht	Rating	Gewicht
Ökologische Aspekte	13.2%	5	0.66	1	0.13	3	0.40
Technische Aspekte	4.2%	4	0.17	4	0.38	4	0.38
Herstellungskosten	9.4%	4	0.38	3	0.26	2	0.17
Betriebskosten	17.8%	5	0.89	3	0.49	5	0.82
Kühleffekt	27.0%	3	0.81	5	1.45	5	1.45
Umgebungseinfluss	6.3%	4	0.26	4	0.28	4	0.28
Umsetzungswahrscheinlichkeit	22.1%	4	0.88	4	0.65	3	0.49
Gesamtbewertung	100.0%		4.04		3.64		3.98

5.1.5 Auswahl der Lösungen

Der technische Leiter der Stadtgemeinde Oliver Fandl und Gabriele Leonhard-Schatzdorfer, Leiterin des Kindergartens, beurteilen die Lösungen, welche nur für das 1. Obergeschoß in Betracht gezogen werden, da das Erdgeschoss massiv gebaut wurde. Das Obergeschoß wurde in Holzriegelbauweise gebaut und die Temperaturen steigen bereits am Vormittag häufig stark an. Ein heißer Sommertag wird im Obergeschoß als unzumutbar wahrgenommen. Um für angenehmere Verhältnisse und Luftdurchzug zu sorgen ist die Tür zur Terrasse im Sommer meist offen. Die natürliche Nachtlüftung wird präferiert. Die Einfachheit der Regelung und Benutzung muss gegeben sein. Voraussetzung ist auch dass eine Bedienung über Taster oder Stellmotoren für die Fenster auf einer Mindesthöhe von 1,6 m angebracht werden. Zudem muss die Abdeckung des Versicherungsschutzes bei geöffneten Fenstern abgeklärt werden. Ein manueller Testbetrieb für die Nachtlüftung ist angedacht.

Denkbar wäre auch die Fassadenbegrünung, für die Umsetzungsvorschläge und Fördermöglichkeiten einzuholen sind.

Der Easy Energy Saver hat sich im Test als hilfreich erwiesen, war allerdings technisch fehleranfällig und daher nur bedingt einsetzbar.

Klima-Splitgeräte werden für die Einrichtung nicht in Betracht gezogen, da die Kinder erkältungsanfällig sind. Eine Photovoltaik-Anlage ist aus statischen Gründen nicht möglich.

Da verpflichtende Umbauten vorgesehen sind, besteht eine finanzielle Hürde, welche die Umsetzung beeinflusst. Dennoch ist der Handlungsbedarf gegeben.

5.2 Schule BORG

5.2.1 Ausgangslage

Das Gebäude beherbergt das BORG sowie die ECOLE HLW Güssing. Im Gebäudekomplex ist bereits ab Mai viel zu heiß, im Sommer wird die Hitze vor allem an der Ost- und Südseite unerträglich. Es gibt auch keine Luftbewegung im Haus.

Die Fenster verfügen über elektrisch bedienbare außenliegende Raffstores, diese schützen allerdings nicht ausreichend vor der Hitze. Außerdem werden sie oft kaputt, daher gibt es hier einen Bedarf an weiteren Kühl-Lösungen.

In drei Prüfungsräumen, dem Lehrerzimmer, der Direktion, im Festsaal und im Raum daneben gibt es bereits eine Klimaanlage. Das restliche Gebäude ist ungekühlt³².



Abbildung 77: BORG und ECOLE Güssing, südseitige Fassade

³² Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

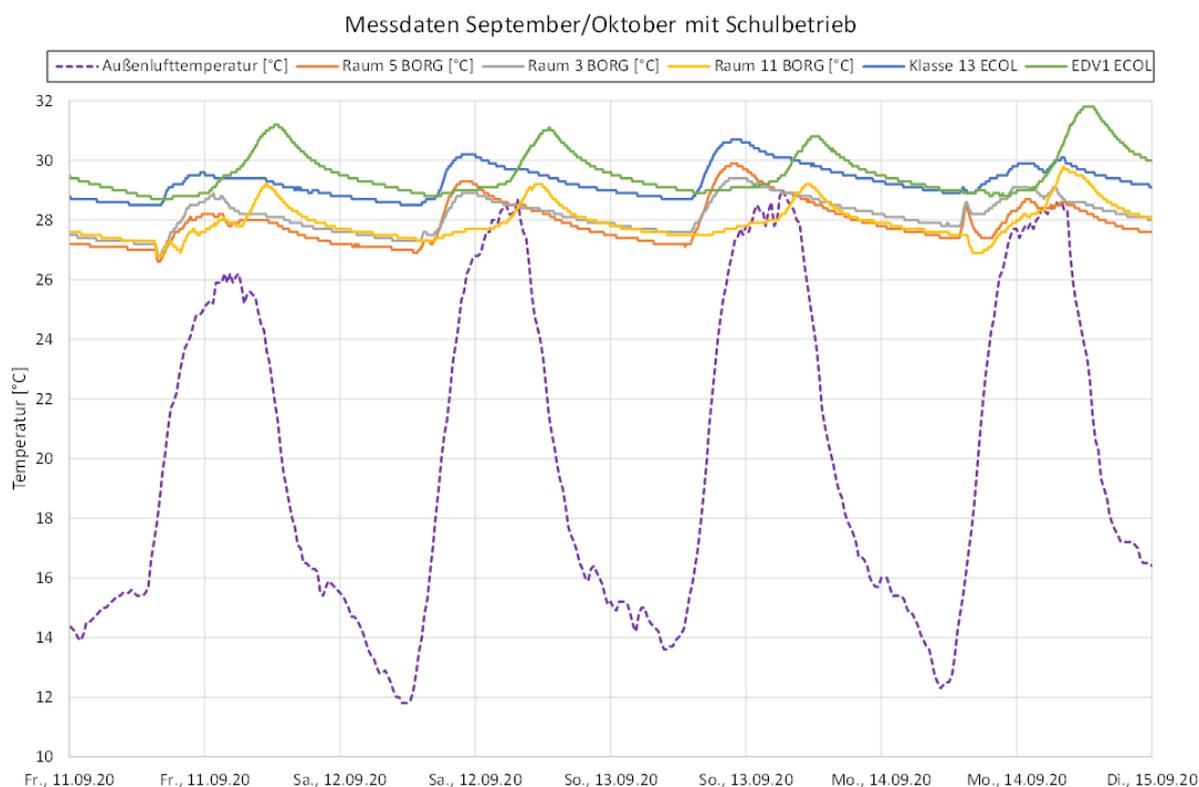


Abbildung 78: Raumtemperaturen im September 2020

Vom 11.09.2020 bis 15.09.2020 wurden im Schulbetrieb die Temperaturen gemessen (siehe Abbildung 78): Außentemperatur, Temperatur in den Räumen 3, 5 und 11 des BORG sowie die Temperatur der Klasse 13 und EDV1 der ECOLE HLW.

Die Tageshöchsttemperatur der Außenluft lag zwischen 26 °C und 29 °C. In der Nacht kühlte die Außenluft auf ca. 12 °C bis ca. 15 °C ab. Die Temperatur in den Innenräumen lag am Tag zwischen 28 °C und 32 °C. In der Nacht kühlten die Räume auf etwa 27 °C ab. Die Raumtemperaturen übersteigen hier meist die Außentemperaturen.

Der Bedarf an Kühlung ist eindeutig erkennbar.

5.2.2 Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung

Variante 1: Nachtlüftung über die Fenster – für 4 Klassen

In Variante 1 wird für vier Klassen eine automatische Nachtlüftung über die Fenster vorgeschlagen. Dafür sind 24 Stück Fensterantriebe sowie ein Steuergerät erforderlich, um die Fenster zu kippen. Zudem muss ein Insektenschutz angebracht werden. Ein Lüftungstaster, um die Lüftung händisch zu bedienen ist ebenfalls möglich. Zudem sind ein Wind- und Regenwächter sowie eine Zeitschaltuhr vorgesehen. Ein Angebot wurde dafür eingeholt. Die Kosten betragen ca. 16.600,00 € (ca. 4.150,00 € pro Klasse) zuzüglich Montage.

Vorteile:

Positiv bewertet werden die niedrigen Betriebskosten und mit dem geringen Stromverbrauch einhergehende ökologisch sinnvolle Nutzung. Zudem entsteht tagsüber keine unangenehme Zugluft in den Räumen.

Nachteile:

Wesentliche Nachteile sind, dass der Kühlungseffekt abhängig von den Außentemperaturen in der Nacht ist, die Variante tagsüber nicht genutzt werden kann und die Art der Lüftung keine Entfeuchtung des Raumes mit sich bringt. In der unmittelbaren Umgebung des Schulgebäudes befindet sich außerdem ein Fernheizwerk, welches hohe Staubemissionen verursacht, die durch geöffnete Fenster ins Gebäude gelangen.

Beispiel intelligente Fensterlüftung – Gymnasium St. Pölten



Abbildung 79: Gebäude des Gymnasiums St. Pölten



Abbildung 80: Überströmöffnung Gang / Klasse



Abbildung 81: Automatischer Fensterantrieb



Abbildung 82: Automatischer Fensterantrieb

Manuelle Testung der Nachtlüftung

Die manuelle Nachtlüftung wurde bei den vier Klassen Raum 3, 5, 8 und 11 getestet.

Die erste Testung fand am 14.09.2021 und 15.09.2021 zwischen 16:45 Uhr und 07:00 Uhr statt, die zweite am 15.09.2021 und 16.09.2021 zwischen 19:00 Uhr und 07:00 Uhr.

Es war normaler Schulbetrieb, der Sonnenschutz war je nach Benutzerverhalten am Tag oben oder teilweise unten. Am Tag wurden die Fenster oftmals geöffnet.

Bei der Testung waren die Türen zum Gang (Aula) hin offen und alle Oberlichter in den vier Klassen geöffnet.

Als Referenzwert wurden die Messungen bereits am 12.09.2021 begonnen und dauerten bis 17.09.2021.

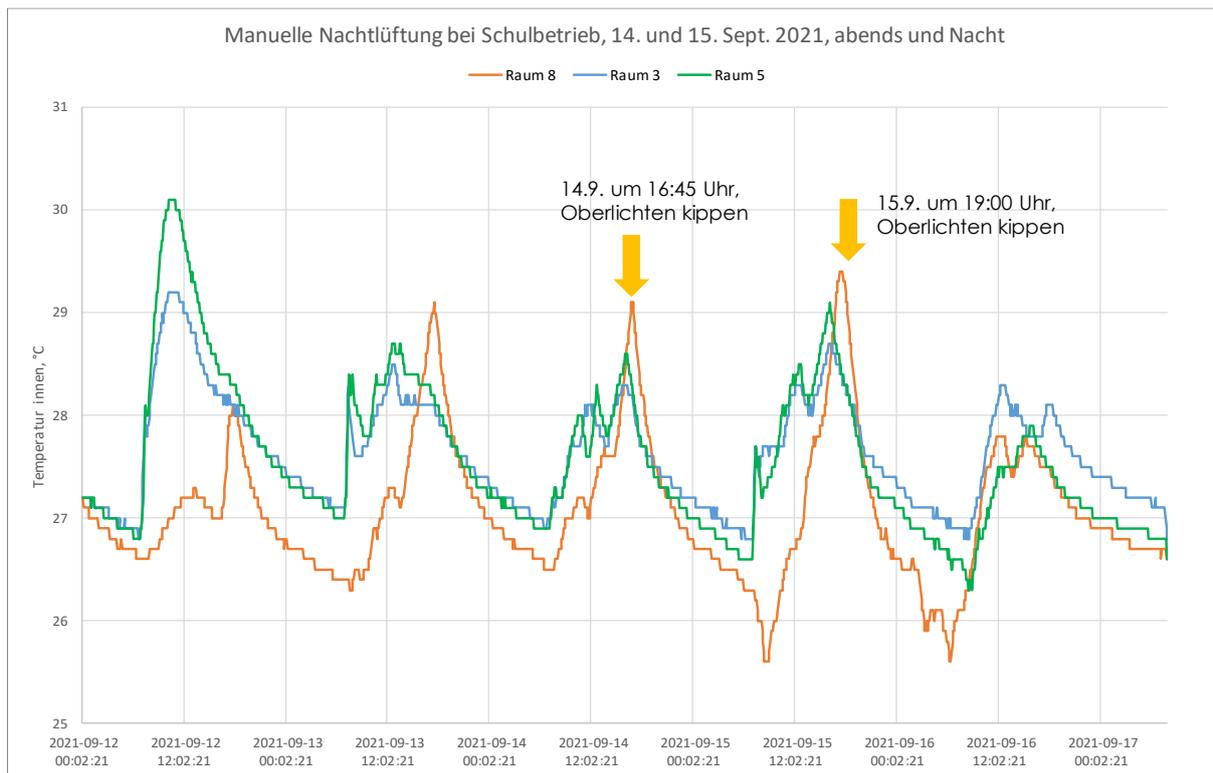


Abbildung 83: Manuelle Nachtlüftung bei Schulbetrieb

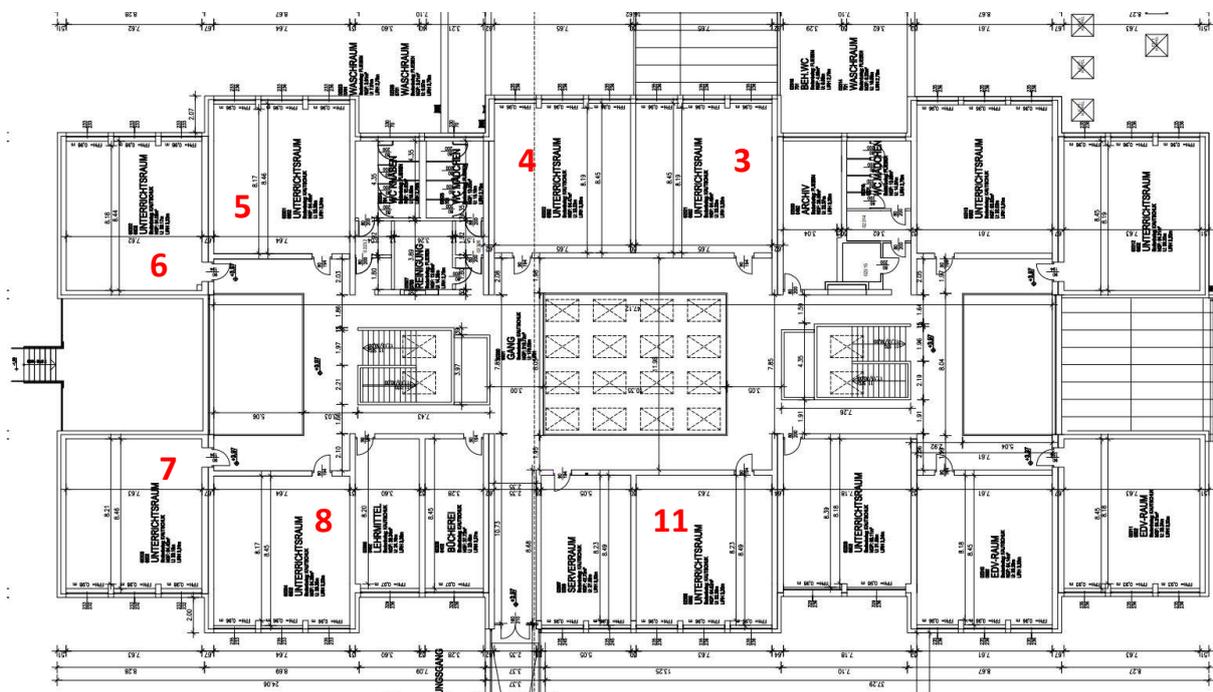


Abbildung 84: Test der Nachtlüftung der Räume 3, 5, 8 und 11

Wie in den Abbildung 83 ersichtlich, sinkt die Temperatur in den Klassen ohne Nachtlüftung auf ca. 26,5 °C bis ca. 27°C. Mit Nachtlüftung fällt die Temperatur um 1 K

stärker, auf ca. 25,5 °C. Diese recht geringe Abkühlung ist mit dem recht hohen Raumvolumen der Aula und des Ganges zu erklären. Das Raumvolumen der Aula im Erdgeschoss hat ein großes Volumen, das durch die Thermik ins Obergeschoss aufsteigt und die Querlüftung der Klassen minimiert. Es ist auch erkennbar, dass die Abkühlung im Raum 8 stärker erfolgt ist, da die übliche Luftbewegung von außen vom Raum 8 in Richtung Raum 3 erfolgt. Eine Nachtlüftung würde mehr bringen, wenn diese bei allen Klassen im Gebäude erfolgen würde. Die Nachtlüftung müsste daher als Gesamtkonzept umgesetzt werden, oder in abgeschlossenen Bereichen.

Weiters ergibt sich die Problematik mit der Alarmanlage. Diese würde anschlagen, wenn ein Vogel durch die Oberlichten in den Raum kommt.

Ein weiteres Problem stellt die hohe Staubbelastung der benachbarten Fernwärmanlage dar.

Variante 2: Klima-Splitgerät, ca. 4 kW

Die Variante 2 beschreibt ein Klima-Splitgerät mit einer Kühlleistung von 4 kW für jede Klasse. Die Kosten dafür betragen ca. 7.400,00 €. Der geschätzte jährliche Strombedarf beträgt ca. 670 kWh pro Klasse mit angenommenen Stromkosten von ca. 170 € pro Jahr sowie ca. 160 € pro Jahr für die Wartung des Geräts.

Vorteile:

Wesentlicher Vorteil ist die individuelle Kühlung und Entfeuchtung des Raumes und die damit erzeugte Auswirkung auf das Wohlbefinden in der Klasse bei sommerlicher Überhitzung.

Nachteile:

Die falsche Bedienung des Geräts kann zu Verköhlung der Schüler*innen und Lehrer*innen führen. Geöffnete Fenster müssen vermieden werden, um die Wirksamkeit der Anlage zu gewährleisten. Neben den hohen Kosten für Strom und Wartung des Geräts ist zudem ein Kondensatablauf erforderlich.



Abbildung 85: Klimagerät³³

Variante 3: Dezentrales Lüftungsgerät

Die Variante 3 ist für jede Klasse möglich und der Effekt ist ähnlich wie bei der Nachtlüftung. Samt Wärmerückgewinnung ist diese im Winter besonders nützlich. Die Kosten betragen ca. 15.400 € je Klasse. Zusätzlich ist noch der Strombedarf in der Höhe von ca. 60 € pro Jahr sowie entstehende Wartungskosten (z.B. Filtertausch) einzukalkulieren.

Vorteile:

Durch die niedrigen Betriebskosten und den geringen Energieaufwand ist diese Variante als ökologisch sinnvoll zu bewerten. Zudem muss das Lüftungsgerät nicht in ein Gesamtkonzept eingebunden werden. Der inkludierte CO₂-Sensor sowie der Bewegungsmelder sind weitere Vorteile des Geräts. Zudem erhalten die Personen im Raum ganztägig gefilterte Außenluft und profitieren vom hygienischen Luftwechsel.

Nachteile:

Neben den hohen Anschaffungskosten ist die Abhängigkeit von den Außentemperaturen in der Nacht als Nachteil zu beurteilen. Das Gerät bietet zudem keine Entfeuchtung des Raums und keine Kühlung im Sommer am Tag.

³³ [samsung-klimaanlage-duo-set-r32-inverter-kuehlen-und-heizen-2525-kw-bis-3535-m-optional-wifi.jpg](https://www.klimaanlageshop.com/samsung-klimaanlage-duo-set-r32-inverter-kuehlen-und-heizen-2525-kw-bis-3535-m-optional-wifi.jpg) (455×455) (klimaanlageshop.com)



Abbildung 86: Dezentrales Lüftungsgerät für eine Klasse³⁴

Simulation der Kühllast, der Nachlüftung, Beschattung und dezentralen Lüftungsgeräte

Für den Raum 5 wurde die Kühllast in unterschiedlichen Monaten (Mai bis Oktober) simuliert. Es wurde angenommen, dass sich 14 Personen in den Räumen befinden. Die Soll-Temperatur liegt bei 24 °C.

Wie Abbildung 87 zeigt, wird die höchste Kühllast um ca. 10:00 Uhr erreicht (mehr innere Lasten durch mehr anwesende Schüler). Bereits im April erreicht die Kühllast fast 2 kW und steigt im Juni, Juli und August auf über 2,5 kW. Die Werte für den April, Mai und September sind ähnlich (ca. 2 kW), eine merkliche Abnahme der Kühllast auf ca. 1,5 kW gibt es erst im Oktober.

³⁴ https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/erneuerbarewaerme/Heizungssysteme/Komfortlueftung/corona_schulen.html

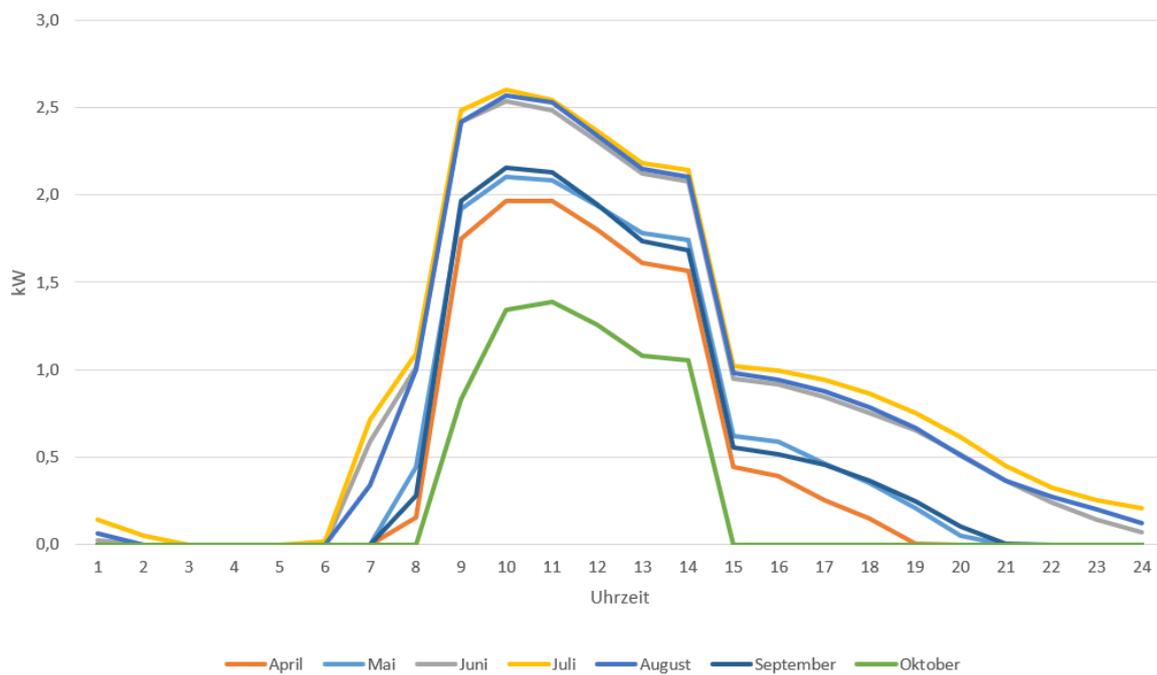


Abbildung 87: Kühllast Raum 5, Simulation BORG

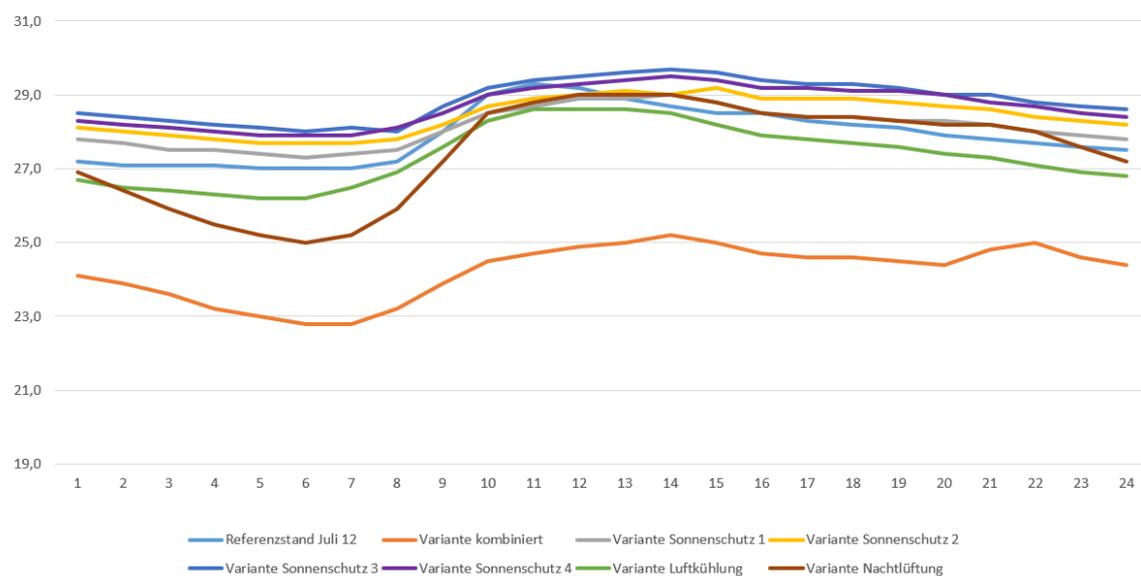


Abbildung 88: Simulation Temperaturen im Raum 5 entlang eines Tages

In Abbildung 88 ist die Simulation der Nachtlüftung, Beschattung und dezentrale Lüftungsgeräte ersichtlich.

Folgende Varianten wurden gerechnet:

- Variante kombiniert: Rollläden RG50, Luftkühlung 500 W, Zuluftstrom 900 m³/h
- Variante Sonnenschutz 1: Sonnenschutzfolie RG 30
- Variante Sonnenschutz 2: Lamellen RG 52
- Variante Sonnenschutz 3: Rolläden RG 50
- Variante Sonnenschutz 4: Stoffrolläden RG 70
- Variante Luftkühlung: Luftkühlung 500 W
- Variante Nachtlüftung: Zuluftstrom 900 m³/h

Am besten schneidet eindeutig die Variante kombiniert ab: Die Temperatur steigt auf max. 25 °C, in der Nacht sinkt sie auf unter 23 °C.

Bei der Variante Nachtlüftung ist das Abkühlen in der Nacht auf etwa 25 °C deutlich zu erkennen. Die Raumtemperatur steigt am Tag allerdings trotzdem auf 29 °C.

Die Variante Luftkühlung lässt die Temperatur in der Nacht auf ca. 26 °C, sinken, sie steigt am Tag auf etwa 29 °C an.

Die Varianten mit dem Sonnenschutz sind sich ähnlich. Die Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht beträgt nur 2 bis 3 K. Am Tag steigt die Temperatur, je nach Qualität des Sonnenschutzes, auf etwa 29 °C bis 30 °C.

Es lässt sich anhand dieser Simulation deutlich erkennen, dass eine Maßnahme eher nicht ausreicht, wichtig ist die Kombination mehrerer Maßnahmen.

5.2.3 Techno-ökonomische Analyse

Die Berechnung der realen und fiktiven Gesamtkosten erfolgte lt. ÖNORM M 7140. Die Norm beschreibt die dynamischen Rechenmethoden für den Barwert und die erweiterte Annuitätenmethode. Es wird die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Energiesystemen dargestellt und miteinander verglichen. ÖNORM M 7140 spiegelt eine möglichst realistische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wider. Die Berechnung lt. ÖNORM M 7140 für die beschriebenen Varianten 1 – 3 wird mithilfe Microsoft Excel durchgeführt. Für die Berechnung wurden folgende Parameter berücksichtigt:

- Kapitalgebundene Kosten
- Verbrauchsgebundene Kosten
- Betriebsgebundene und sonstige Kosten.

Es wurde in allen drei Varianten ein Zinssatz von 3% herangezogen. In Variante 1 wird für das die Fensterantriebe eine Nutzungsdauer von 20 Jahren angenommen.

In Variante 2 wird für die Klimaanlage, den Innengeräten und der damit verbundenen Arbeitszeit eine Nutzungsdauer von 15 Jahre angenommen. Für Material, Elektroinstallationen und Arbeiten ist eine Nutzungsdauer von 20 Jahre vorgesehen. Der jährliche Energieeinsatz beträgt 667 kWh Strom. Variante 2 (Split-Klimaanlage 4 kW) weist 167 € die höchsten verbrauchsgebundenen Kosten auf.

Variante 3 wird auf einer Basis von einer Nutzungsdauer von 15 Jahren kalkuliert. Der jährliche Energieeinsatz beträgt 240 kWh Strom. Durch die Wärmerückgewinnung werden in der Fernwärme Einsparungen in der Höhe von ca. 362 € berechnet.

Folgende Kosten wurden bei den Berechnungen berücksichtigt:

Summe der kapitalgebundenen Kosten (Anschaffungskosten):

Variante 1:	4.141 €
Variante 2:	7.400 €
Variante 3:	15.393 €

Die Summe verbrauchsgebundenen Kosten betragen:

Variante 1:	15 €
Variante 2:	167 €
Variante 3:	81 €

Die Summe der betriebsgebundenen und sonstigen Kosten:

Variante 1:	75 €
Variante 2:	156 €
Variante 3:	413 €

In Abbildung 89 ist ersichtlich, dass Variante 1 über die gesamte Laufzeit am günstigsten zu bewerten ist. Variante 2 ist von Anfang an etwas teurer und erlebt noch einen Kostensprung nach 15 Jahren. Ebenso die Variante 3, die von Beginn an als teuerste Variante bewertet wird.

Abbildung 90 zeigt den Verlauf der fiktiven Gesamtkosten.

Verlauf der realen Gesamtkosten

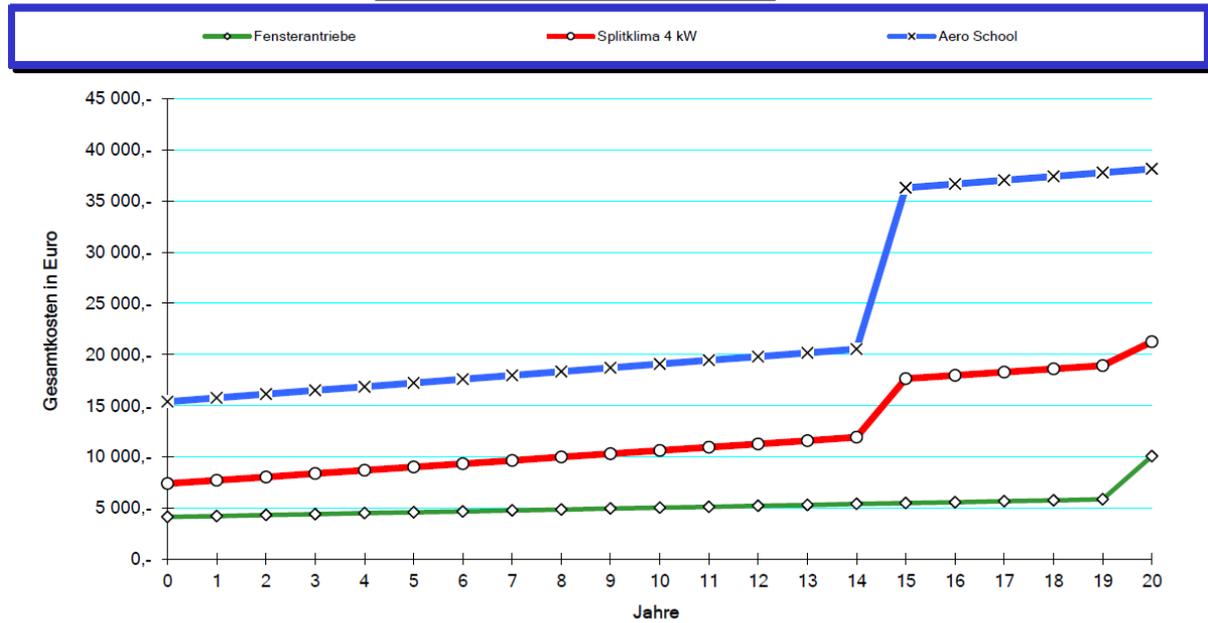


Abbildung 89: Verlauf der realen Gesamtkosten

Verlauf der fiktiven Gesamtkosten

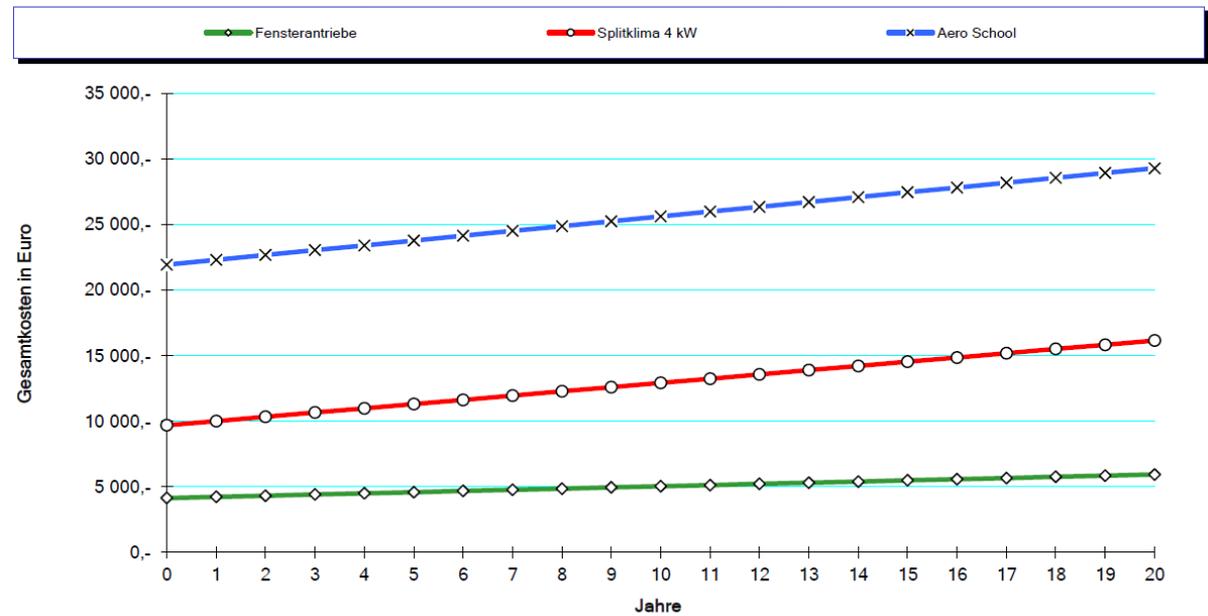


Abbildung 90: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten

5.2.4 Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode

In diesem öffentlichen Gebäude stellt der Kühleffekt mit einer mittleren Priorisierung von 24.5% das wichtigste Bewertungskriterium für die Leitung der Schule dar (n = 2). Nächstgereiht werden gleichermaßen die Betriebskosten sowie ökologische Aspekte (je 21.2%), knapp vor der Umsetzungswahrscheinlichkeit (18.9%). Eher untergeordnete Bewertungskriterien sind technische Aspekte (6.3%), der Umgebungseinfluss (4.0%) sowie Herstellungskosten (3.9%).

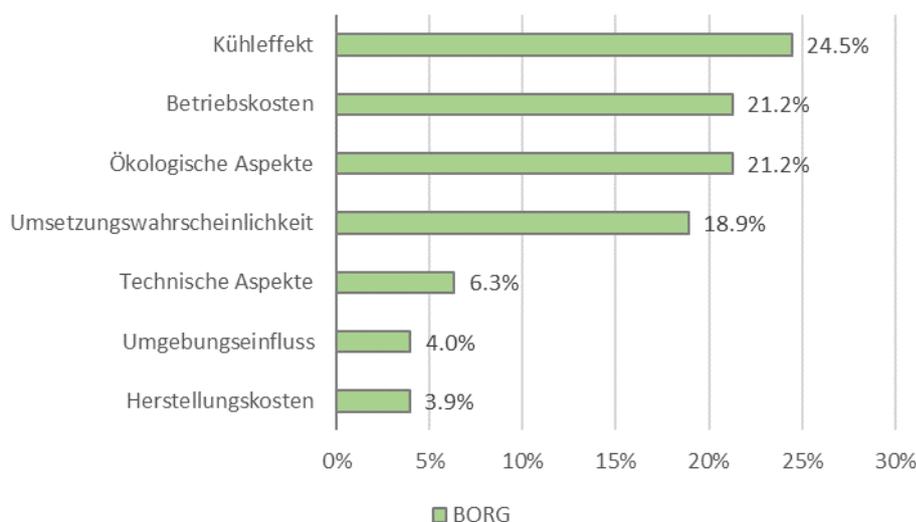


Abbildung 91: Priorisierung der Bewertungskriterien BORG

In Folge der Priorisierung der Bewertungskriterien konnten die angedachten Maßnahmen bewertet werden. Dafür wurde ein Rating für jedes Kriterium einer Maßnahme mit den möglichen Ausprägungen 1 = „sehr schlecht“ bis 5 = „sehr gut“ durchgeführt. Dagegen erreicht die **Maßnahme „Fensterantriebe“ die vergleichsweise höchste Bewertung (3.95).**

Tabelle 10: Ergebnis der AHP-Bewertung für das Gymnasium St. Pölten

Bewertungskriterium	Priorität	Fensterantriebe		Splitanlage 4kW		Dezentrales Lüftungsgerät (Aero School)	
		Rating	Gewicht	Rating	Gewicht	Rating	Gewicht
Ökologische Aspekte	21.2%	5	1.06	1	0.21	4	0.85
Technische Aspekte	6.3%	4	0.25	4	0.25	4	0.25
Herstellungskosten	3.9%	4	0.16	3	0.12	2	0.08
Betriebskosten	21.2%	5	1.06	3	0.64	4	0.85
Kühleffekt	24.5%	3	0.74	5	1.23	4	0.98
Umgebungseinfluss	4.0%	3	0.12	4	0.16	5	0.20
Umsetzungswahrscheinlichkeit	18.9%	3	0.57	3	0.57	3	0.57
Gesamtbewertung	100.0%		3.95		3.17		3.77

5.2.5 Auswahl der Lösungen

Laut Direktor Robert Antoni sind vor allem die Schüler stark von der Überhitzung in den Klassen betroffen. Sonnenschutzfolien in einigen Klassen hatten in der Vergangenheit nur einen geringen Effekt auf die Temperaturen in den Räumen. Derzeit wird morgens gelüftet, die Luft steht anschließend in den Räumen. Vereinzelt Klimasplitgeräte sind in sechs Klassen installiert, insbesondere in Maturaklassen.

Dezentrale Lüftungsgeräte würden für kühlere Temperaturen im Sommer sorgen und eine Kosteneinsparung durch Wärmerückgewinnung im Winter erwirken. Die Luftqualität in den Räumen wäre durch die ständige Lüftung deutlich besser (Stichwort COVID, CO₂). Da die Fenster geschlossen bleiben, können die Staubemissionen der Hackschnitzelheizung in der näheren Umgebung außerhalb des Gebäudes gehalten werden. Diese Variante wäre für die zwölf Stammklassen denkbar und bringt einen hohen Mehrwert mit sich.

Die Variante Nachtlüftung mit Stellmotoren ist ebenfalls möglich, allerdings sind dabei die Staubemissionen durch die benachbarte Hackschnitzelheizung zu beachten. Ebenso müssten Insektenschutzgitter verhindern, dass Vögel in das Gebäude kommen und die Alarmanlage auslösen. Es müsste jedenfalls eine Gesamtlösung angedacht werden, da nur eine Querlüftung durch das Gebäude sinnvoll ist.

Die Schule würde gerne als Pilotschule auftreten, um alternative Kühlmöglichkeiten aufzuzeigen.

Die Idee einer Outdoorklasse wird sehr positiv aufgenommen und soll nach Möglichkeit umgesetzt werden.

Das Budget für mögliche Investitionen ist von der Bildungsdirektion abhängig.

5.3 Feuerwehrhaus Güssing

5.3.1 Ausgangslage

Das Gebäude ist bereits über 40 Jahre alt. Viele Fenster liegen auf der Südseite, es gibt keine ausreichende Beschattung (siehe Abbildung 92). Hinzu kommen hohe innere Lasten. Bereits ab Mai wird es in den Räumen unerträglich heiß, besonders nach Einsätzen ist die Hitze spürbar. Vor allem im Aufenthaltsraum besteht daher der Wunsch nach Kühlung.

An manchen Tagen ist es so heiß, dass Weiterbildungen im Schulungsraum nahezu unmöglich sind. Am Wochenende halten sich den ganzen Tag Personen im Feuerwehrhaus auf, unter der Woche eher am späten Nachmittag.

Derzeit wird das Gebäude saniert, auf innovative Kühlsysteme wird besonderer Wert gelegt³⁵.



Abbildung 92: Nordwestseitige Fassade des Feuerwehrhauses³⁶

Da das Gebäude umfassend saniert wird, wurden keine Temperaturmessungen durchgeführt.

5.3.2 Lösungsvarianten zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung

Variante 1: Lüftungsgerät und luftdurchströmter Erdwärmetauscher

Für das Feuerwehrhaus Güssing wird in Variante 1 ein Lüftungsgerät und luftdurchströmter Erdwärmetauscher vorgeschlagen. Bedarf für Kühlung besteht im Aufenthaltsraum des Gebäudes, welcher nicht häufig genutzt wird. Die Kosten für die Errichtung dieser Variante werden auf ca. 28.500 € geschätzt.

Vorteile:

Die Vorteile eines Lüftungsgeräts mit luftdurchströmten Erdwärmetauscher liegen in den niedrigen Betriebskosten und ökologischen Aspekten. Die Räume werden durch den Erdwärmetauscher mit vorgekühlter Luft versorgt.

³⁵ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

³⁶ Pratter, R., D3.1: Zusammenfassung der Analyse der Energiesektoren, 2021

Nachteile:

Wesentliche Nachteile dieser Variante liegen in der geringen Auslastung des Raumes und damit geringen Anzahl an Volllaststunden. Zudem bringt diese Variante keine Entfeuchtung des Raumes mit sich und ist abhängig von den nächtlichen Außentemperaturen.

Zur Berechnung eines luftdurchströmten Erdreichwärmetauschers wurde das Simulationsprogramm (Gahed) von der Firma Rehau genutzt. Ausgegangen wird von einem Einzelrohrsystem mit 200x7 mm an Rohrdimension, um eine Strömungsgeschwindigkeit zwischen 2 und 3 m/s zu erreichen. Für den Aufenthaltsraum wird eine Lüftungs-Grundlast von 132 m³/h für die Berechnung angenommen. Die maximale Austrittstemperatur wurde mit 24 °C festgelegt. Verlegetiefe wurden 1,5 m angenommen. Die Ergebnisse lt. Abbildung 93 zeigen eine notwendige Länge des Erdreichwärmetauschers von 13 m. Im Sommerfall können die Lufttemperaturen deutlich reduziert werden, beispielsweise von 32,4 °C Eintrittstemperatur auf max. 23,6 °C Austrittstemperatur.

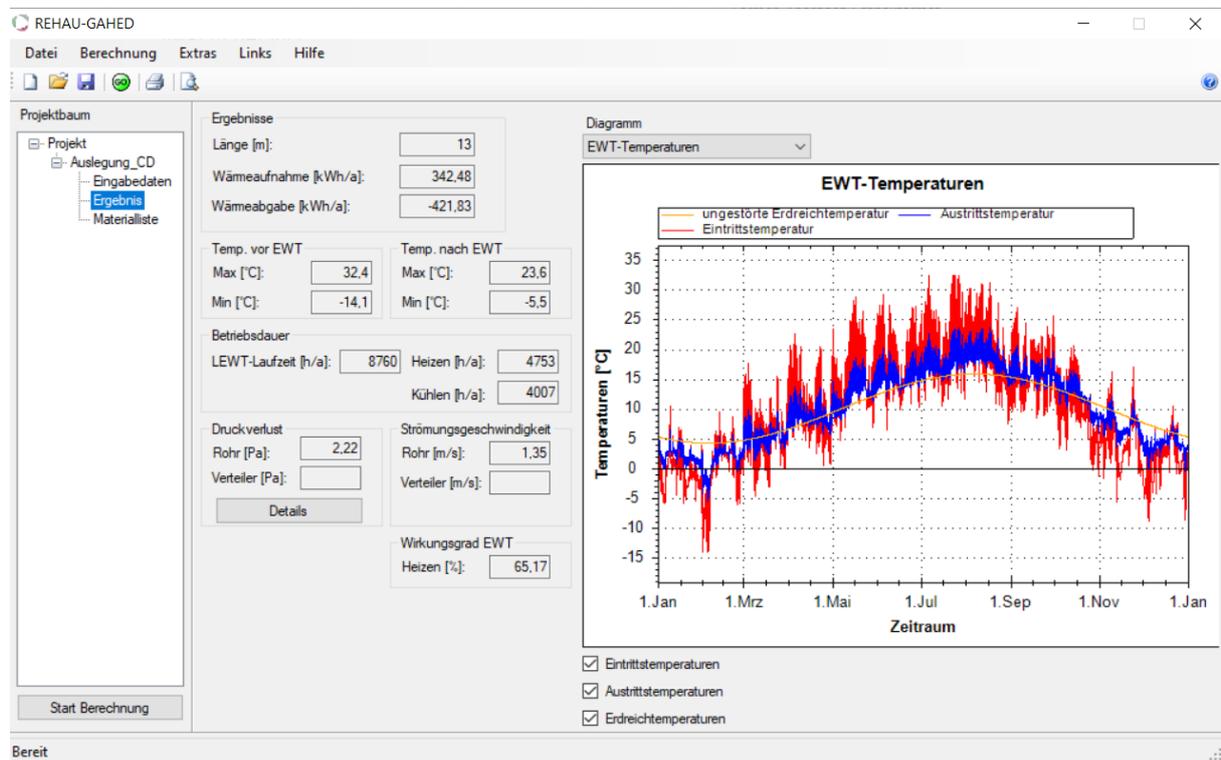


Abbildung 93: Berechnung des luftdurchströmten Erdreichwärmetauschers

Variante 2: Klima-Splitgerät mit ca. 4 kW Kühlleistung

Für die Kühlung des Aufenthaltsraumes im Feuerwehrhaus Güssing wird in der 2. Variante ein Klima-Splitgerät (Abbildung 94) vorgeschlagen. Es wird empfohlen ein Innengerät mit einer Kühlleistung von 4 kW zu verwenden. Die Kosten dafür betragen ca. 7.400,00 €. Der jährliche Strombedarf wird mit ca. 670 kWh angenommen, was derzeit zu Stromkosten in der Höhe von ca. 200 € führt.

Vorteile:

Ein Split-Klimagerät kühlt den Raum nicht nur, sondern dient auch der Entfeuchtung und kann in einzelnen Räumen eingesetzt werden. Der Raum kann ohne aufwändige Planung gekühlt werden. Bei sommerlicher Überhitzung kann eine positive Auswirkung auf das Wohlbefinden der Personen im Raum erwartet werden.

Nachteile:

Als wesentlicher Nachteil der Variante 2 wird die Abhängigkeit von Strom aus dem Netz, welcher den marktüblichen Strompreisschwankungen unterliegt, gewertet. Zudem benötigt das Gerät einen Kondensatablauf und muss regelmäßig gewartet werden, was zusätzliche Kosten verursacht.



Abbildung 94: Klimasplitgerät³⁷

Variante 3: Klima-Splitgerät mit ca. 4 kW Kühlleistung und 7 kW_p Photovoltaikanlage

In der 3. Variante wird der wesentliche Nachteil aus Variante 2 aufgegriffen und diese mit einer Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 7 kW_p ergänzt. Die Kosten für ein Klima-Splitgerät und die Photovoltaikanlage betragen geschätzt ca. 20.000 €. Der jährliche Strombedarf wird mit ca. 670 kWh angenommen, welche vorwiegend durch die Photovoltaikanlage abgedeckt werden.

Vorteile:

Kühlung und Entfeuchtung des Raumes bei Bedarf sind die Vorteile dieser Variante. Bei sommerlicher Überhitzung kann eine positive Auswirkung auf das Wohlbefinden der

³⁷ samsung-klimaanlage-duo-set-r32-inverter-kuehlen-und-heizen-2525-kw-bis-3535-m-optional-wifi.jpg (455x455) (klimaanlageshop.com)

Personen im Raum erwartet werden. Der überschüssige Strom aus der Photovoltaikanlage kann im Gebäude genutzt werden und Kosteneinsparungen erwirken oder ins Netz eingespeist werden.

Nachteile:

Ein Nachteil des Geräts ist, dass ein Kondensatablauf notwendig ist und es zudem regelmäßig gewartet werden muss, was zusätzliche Kosten verursacht.

5.3.3 Techno-ökonomische Analyse

Die Berechnung der realen und fiktiven Gesamtkosten erfolgte lt. ÖNORM M 7140. Die Norm beschreibt die dynamischen Rechenmethoden für den Barwert und die erweiterte Annuitätenmethode. Es wird die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Energiesystemen dargestellt und miteinander verglichen. ÖNORM M 7140 spiegelt eine möglichst realistische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wider. Die Berechnung lt. ÖNORM M 7140 für die beschriebenen Varianten 1 – 3 wird mithilfe Microsoft Excel durchgeführt. Für die Berechnung wurden folgende Parameter berücksichtigt:

- Kapitalgebundene Kosten
- Verbrauchsgebundene Kosten
- Betriebsgebundene und sonstige Kosten.

Es wurde in allen drei Varianten ein Zinssatz von 3% herangezogen. In Variante 1 wird für das Lüftungsgerät eine Nutzungsdauer von 15 Jahren angenommen, für den Erdwärmespeicher und die Lüftungskanäle wird eine Nutzungsdauer von 25 Jahren erwartet, für die Grabungsarbeiten 50 Jahre. Das bedeutet, dass nach jeweils 15 und 25 Jahren Erneuerungskosten anfallen werden. Der jährliche Energieeinsatz beträgt 120 kWh Strom.

In Variante 2 wird für die Klimaanlage, den Innengeräten und der damit verbundenen Arbeitszeit eine Nutzungsdauer von 15 Jahre angenommen. Für Material, Elektroinstallationen und Arbeiten ist eine Nutzungsdauer von 20 Jahre vorgesehen. Der jährliche Energieeinsatz beträgt 667 kWh Strom. Variante 2 (Split-Klimaanlage 4 kW) weist die höchsten verbrauchsgebundenen Kosten auf. Diese betragen pro Jahr 167 €.

Variante 3 basiert auf Variante 2 und unterscheidet sich durch das Hinzukommen der PV-Anlage. Die PV-Anlage wird mit einer Nutzungsdauer von 20 Jahren bewertet. Der jährliche Energieeinsatz beträgt 667 kWh Strom. Die verbrauchsgebundenen Kosten betragen aufgrund der Einspeisung des überschüssigen Stroms in das Netz kalkulierte Einnahmen in der Höhe von 1.583 €.

Folgende Kosten wurden bei den Berechnungen berücksichtigt:

Summe der kapitalgebundenen Kosten (Anschaffungskosten):

Variante 1:	28.446 €
Variante 2:	7.400 €
Variante 3:	19.900 €

Die Summe verbrauchsgebundenen Kosten betragen:

Variante 1: 60 €
 Variante 2: 167 €
 Variante 3: -1.583 €

Die Summe der betriebsgebundenen und sonstigen Kosten:

Variante 1: 325 €
 Variante 2: 117 €
 Variante 3: 156 €

In Abbildung 95 ist ersichtlich, dass Variante 3 anfangs kostenintensiver ist als Variante 2, was sich im weiteren Verlauf nach ca. 8 Jahren ändert. Variante 2 (Split-Klimaanlage 4 kW) weist die geringsten Anschaffungskosten, dafür die höchsten verbrauchsgebundenen Kosten auf. Variante 2 ist bis zum 8. Jahr am günstigsten. Variante 1 ist von Beginn an die kostenintensivste Variante, und verursacht nach dem 14. Jahr einen weiteren Kostenanstieg.

Abbildung 96 zeigt den Verlauf der fiktiven Gesamtkosten.

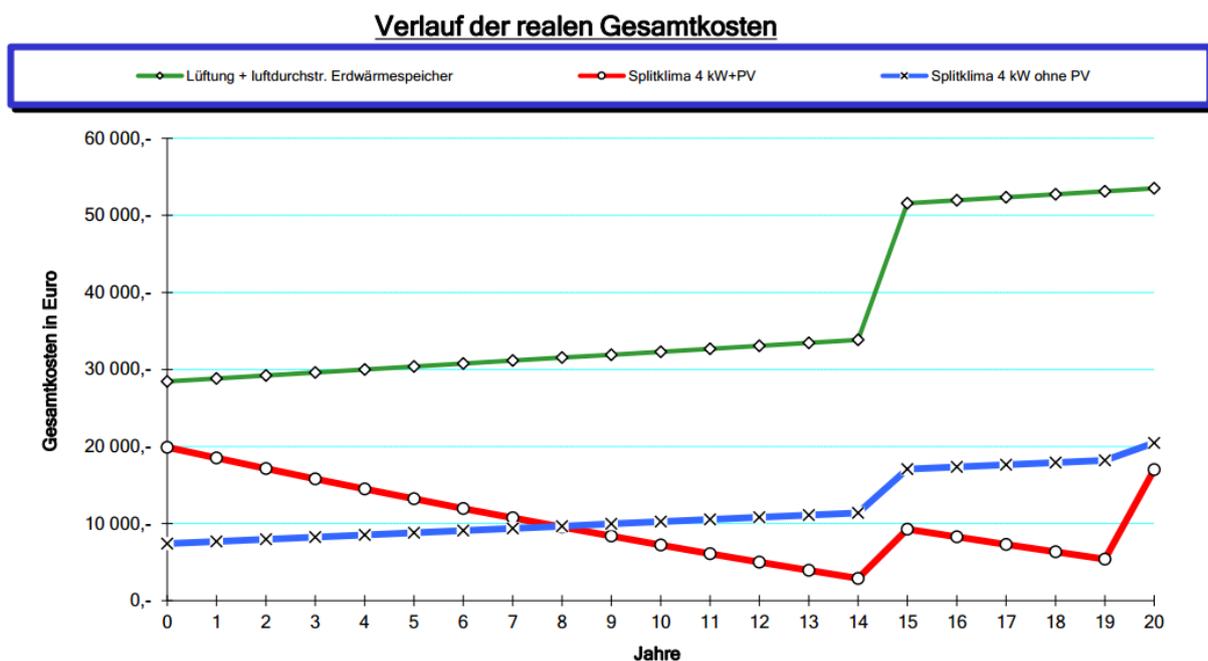


Abbildung 95: Verlauf der realen Gesamtkosten

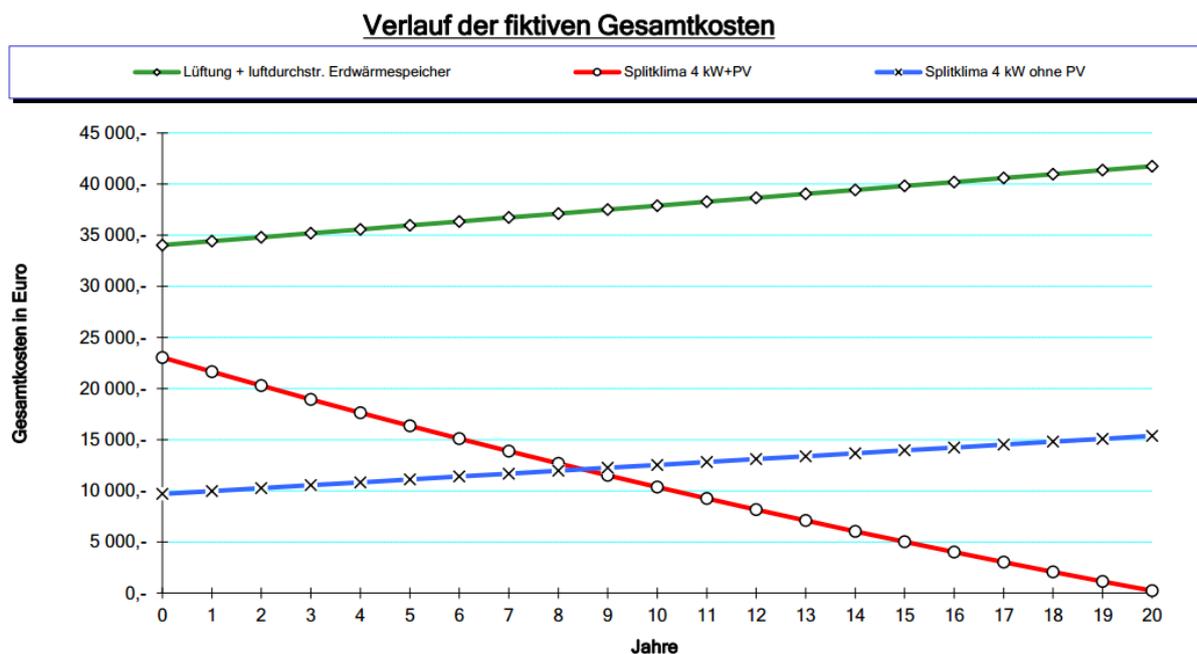


Abbildung 96: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten

5.3.4 Bewertung der Varianten nach der AHP-Methode

In diesem öffentlichen Gebäude stellen der Kühleffekt (25.3%) und technische Aspekte (24.0%) die wichtigsten Bewertungskriterien dar (n = 2). Nächstgereiht werden Herstellungskosten (13.4%), der Umgebungseinfluss (10.8%) sowie die Umsetzungswahrscheinlichkeit (10.4%). Ökologische Aspekte (8.4%) und Betriebskosten (7.7%) werden als untergeordnete Bewertungskriterien erachtet wie in Abbildung 97 ersichtlich.

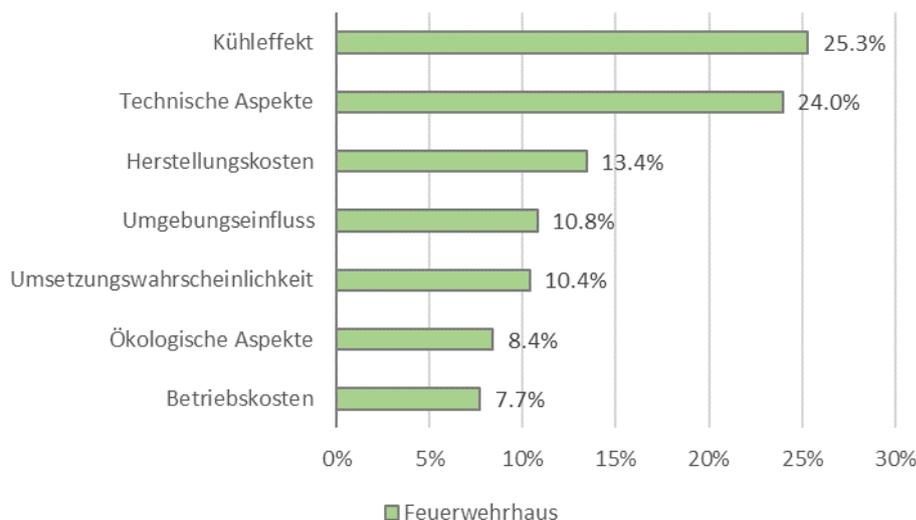


Abbildung 97: Priorisierung der Bewertungskriterien

In Folge der Priorisierung der Bewertungskriterien konnten die angedachten Maßnahmen bewertet werden. Dafür wurde ein Rating für jedes Kriterium einer Maßnahme mit den möglichen Ausprägungen 1 = „sehr schlecht“ bis 5 = „sehr gut“ durchgeführt (siehe Tabelle 11). Dahingehend erreicht die **Maßnahme „Splitklima 4 kW+PV“ die vergleichsweise höchste Bewertung (4.01)**.

Tabelle 11: Ergebnis der AHP-Bewertung für das Feuerwehrhaus Güssing

Bewertungskriterium	Priorität	Lüftungsgerät + luftdurchstr. Erd- wärmespeicher		Splitklima 4 kW+PV		Splitklima 4 kW ohne PV	
		Rating	Gewicht	Rating	Gewicht	Rating	Gewicht
Ökologische Aspekte	8.4%	4	0.34	3	0.25	1	0.08
Technische Aspekte	24.0%	2	0.48	4	0.96	4	0.96
Herstellungskosten	13.4%	2	0.27	3	0.40	4	0.54
Betriebskosten	7.7%	4	0.31	5	0.39	4	0.31
Kühleffekt	25.3%	4	1.01	5	1.27	5	1.27
Umgebungseinfluss	10.8%	4	0.43	4	0.43	4	0.43
Umsetzungswahrscheinlichkeit	10.4%	2	0.21	3	0.31	4	0.42
Gesamtbewertung	100.0%		3.95		4.01		4.00

5.3.5 Auswahl der Lösungen

Der technische Leiter der Stadtgemeinde Güssing Oliver Fandl erklärt, dass das Gebäude sich in einer Sanierungsphase befindet, in der auch ein neuer Schulungs- und Aufenthaltsraum geplant wird.

Die Variante einer Split-Klimaanlage in Kombination mit einer Photovoltaik-Anlage wird dafür bevorzugt. Dies soll auch bei der Planung und Umsetzung weiter berücksichtigt werden.

Die Nutzungshäufigkeit der Räume ist nicht sehr hoch, bei Nutzung ist aber eine hohe Personenanzahl vor Ort. Die sommerliche Überhitzung in den Räumen ist sehr hoch und eine Klimaanlage war bislang nicht vorhanden. Eine Photovoltaik-Anlage wäre auf einer Fläche von ca. 15 mal 16 Metern möglich (Netzebene 7).

Aufgrund der geringen Nutzungshäufigkeit der Räumlichkeiten wird der ursprünglich diskutierte Variante mit automatisierten Fensterantrieben, nicht weiterverfolgt.

Auch die Variante Erdreichwärmetauscher wurde im Sanierungskonzept nur rechnerisch berücksichtigt, aufgrund der geringen Nutzungshäufigkeit sowie Kühleffekt jedoch wieder verworfen.

6 Öffentlicher Kühlspot

Nach Rücksprache mit den Entscheidungsträgern der Stadtgemeinde könnten sie sich einen Kühlspot am Hauptplatz in Güssing vorstellen. Dort gibt es bereits einen Brunnen und einige Gastronomiebetriebe (z.B. Eisgeschäft) und dieser Ort wird von vielen Personen frequentiert. Durch Beschattung mit Segeln (hoch genug, damit darunter der Markt stattfinden kann) oder Montage von Verdunstungskühlungseinrichtungen könnte dort ein Kühlspot geschaffen werden. Eine Zusammenarbeit mit KLAR! (Klimawandel Anpassungsregionen) könnte angestrebt werden. Zur Entwicklung des Kühlspots gab es einige Abstimmungs-Workshops.

6.1 Trinkbrunnen mit Sprühnebefunktion

Hinsichtlich der Installation von Kühlspots in der Stadt wurde eine Recherche vorhandener Systeme durchgeführt. Als Beispiel konnte eine Lösung der Stadt Wien identifiziert werden. Hier sind im Rahmen der Cooling-Offensive der Stadt von April bis September 75 mobile Trinkbrunnen (die „Brunnhildes“) an stark frequentierten Orten, wie am Rathausplatz, in der Mariahilfer Straße und bei Großereignissen wie dem Donauinselfest, im Einsatz. Diese verfügen zusätzlich über eine Nebelsprühfunktion zum Abkühlen an heißen Tagen³⁸. Die drei Meter hohen mobilen Trinkbrunnen wurden vom Unternehmen Tromayer Metalltechnik speziell für die Stadt Wien entwickelt.

Nachdem für die Stadt Güssing vor allem die Sprühnebefunktion wesentlich ist, finden sich im Produktportfolio des Unternehmens passende Möglichkeiten für Trinkbrunnen. Alle Varianten sind aus rostfreierem, geschliffenem Edelstahl und verfügen über einen integrierten Wasserfilter. Details zu den möglichen Trinkbrunnen-Varianten sind in Tabelle 12 aufgelistet.

³⁸ Stadt Wien (2023): Brunnen in Wien, <https://www.wien.gv.at/wienwasser/versorgung/brunnen.html> (abgerufen am 04.05.2023)

Tabelle 12: Details zu den Trinkbrunnen (TriBu) der Firma Tromayer Metalltechnik ³⁹

	TriBu 20	TriBu 26	TriBu 30
Flächenmaß	560 x 560 mm	960 x 960 mm	Durchmesser: 1 m
Höhe	2,0 m	2,6 m	3,0 m
Gewicht	130 kg	300 kg	420 kg
Wasseranschluss	Unterflurhydrant o- der Wasserleitung	Über- und Unter- flurhydrant oder Wasserleitung	Über- und Unter- flurhydrant oder Wasserleitung
Extras	-	- Fernbetrieb durch So- larpanel möglich - Sonderausstattungen möglich	- Betrieb ohne elektri- sche Bauteile - Fernbetrieb durch Solarpanel möglich
			
Systempreis (netto)	5.650,00 €	9.400,00 €	14.900,00 €
Extras			
Sprühnebeldüsen	990,00 €	990,00 €	990,00 €
App-Steuerung mit Solarpanel	-	1.210,00 €	1.210,00 €
Monatliche Kosten für Server-App und SIM Betreu- ung		36,20 €	36,20 €

In Wien wird die App Variante genutzt und die Sprühnebelfunktion bei Überschreiten einer gewissen Temperaturgrenze in den Dauerbetrieb gesetzt. Zu den Zeiten, an denen der Dauerbetrieb nicht aktiv ist, kann die Sprühnebelfunktion trotzdem per Knopfdruck für einen kurzen Zeitraum aktiviert werden. In Wien wurden außerdem so gut wie alle Trinkbrunnen auf Hydranten montiert, wobei von Tromayer Metalltechnik auch andere Montagearten angeboten werden.

Weitere Details zur Entwicklung des Kühlspots sind in Arbeitspaket 5 zu finden.

³⁹ <https://www.tmt-metall.at/active-cooling/>; aufgerufen am 24.05.2023 um 17:00

7 Fazit

Die Analyse der Demonstrationsgebäude mit den Temperaturmessungen zeigte, dass es in den Sommermonaten ein massives Überhitzungsproblem besteht. Die Raumtemperaturen lagen teilweise bei über 35 °C, auch in der Nacht gab es keine signifikante Abkühlung. Es zeigte sich auch, dass es schwierig ist, für bestehende Gebäude ein sinnvolles Kühlsystem zu finden, welches für die Unternehmen, aber auch für die Besitzer der Wohngebäude sowie die Erhalter der öffentlichen Gebäude finanzierbar ist.

Es zeigte sich, dass vor allem die Nachtlüftung über die Fenster sowie die Nachtlüftung über die Brandschutzklappen relativ einfach und kostengünstig umgesetzt werden können.

Untersucht und bewertet wurde auch der Einsatz von Split-Klimaanlagen, mit und ohne PV-Anlagen. Bei einigen Gebäuden gab es zusätzliche Anforderungen, etwa bei der Firma Vulcolor. Hier muss zusätzlich auf die Hygiene Rücksicht genommen werden. Gelöst wurde dieses Problem, indem die Nachtlüftung über Ventilator mit einem Filter versehen wird. Auch beim BORG gibt es die Situation, dass sich in der Nachbarschaft ein Heizwerk befindet. Die Staubentwicklung ist entsprechend hoch, daher musste etwa die Nachtlüftung über die Fenster ausgeschlossen werden.

Wichtige Entscheidungsgrundlagen sind nicht nur die Investitionskosten, auch die Betriebskosten müssen berücksichtigt werden. Weiters wurden ökologische und technische Aspekte, der Kühleffekt, der Umgebungseinfluss sowie die Umsetzungswahrscheinlichkeit betrachtet.

Aufgrund dieser intensiven techno-ökonomischen Analyse, der folgenden Bewertung mit der AHP-Methode und Gespräche mit Stakeholdern beschlossen die Inhaber mehrerer Gebäude, Vorschläge zur Kühlung der Gebäude auch umzusetzen.

Auf Grundlage dieser Vorarbeiten werden die Erkenntnisse zusammengeführt und ein übergeordnetes System entwickelt. Dieses Gesamtsystem wird im nachfolgenden Deliverable 4.2 beschrieben werden.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Gebäude der Fa. Vulcolor.....	3
Abbildung 2: Messung der Temperaturen im August 2020.....	4
Abbildung 3: Messung der Temperaturen im September 2020.....	5
Abbildung 4: Messung der Temperaturen im September 2020 beim Bedienpult Separator.....	5
Abbildung 5: Produktionshalle der Fa. Vulcolor.....	7
Abbildung 6: Vorwärmung mit Abwärme von Fallstromverdampfer.....	8
Abbildung 7: Außenlufttemperatur und mögliche Kühlleistung.....	9
Abbildung 8: Klimagerät.....	10
Abbildung 9: PV-Anlage.....	11
Abbildung 10: Verlauf der realen Gesamtkosten.....	13
Abbildung 11: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten.....	14
Abbildung 12: Priorisierung der Bewertungskriterien Vulcolor Naturfarben GmbH.....	15
Abbildung 13: Produktionshalle der Fa. Guttomat.....	16
Abbildung 14: Die Temperatur wurde in verschiedenen Höhen gemessen.....	17
Abbildung 15: Messung der Temperaturen im September 2020 bei der Fa. Guttomat.....	18
Abbildung 16: Messung der Temperaturen im Juli 2020 in der Produktionshalle bei der Fa. Guttomat.....	19
Abbildung 17: Messung im Pilotbetrieb der Braundrauchentlüftung (Ansteuerung mit Messkoffer).....	20
Abbildung 18: Messung der Raumlufftemperatur während des Testbetriebs.....	20
Abbildung 19: Schaltschrank der Braundrauchentlüftung für den Test der Nachtlüftung im Sommer.....	21
Abbildung 20: Messkoffer GET.....	22
Abbildung 21: Produktionshalle der Fa. Guttomat mit der Fensterfront, Pfeile markieren die Klappen der Braundrauchentlüftungsanlage.....	23
Abbildung 22: Abbildung Verlauf der realen Gesamtkosten.....	27
Abbildung 23: Abbildung Verlauf der realen Gesamtkosten.....	28
Abbildung 24: Priorisierung der Bewertungskriterien Guttomat Sektionaltore GmbH..	29
Abbildung 25: Das Gebäude der Fa. Auto Doczekal.....	30
Abbildung 26: Temperaturverlauf Werkstatt Auto Doczekal.....	31
Abbildung 27: Behaglichkeitsfeld Autohaus Doczekal.....	32
Abbildung 28: Temperatur in der Werkstatt Auto Doczekal.....	33
Abbildung 29: Simulation Temperaturverlauf ohne Nachtkühlung in der Werkstatt Auto Doczekal.....	34
Abbildung 30: Simulation Temperaturverlauf mit Nachtkühlung (einfacher Luftwechsel) in der Werkstatt Auto Doczekal.....	35
Abbildung 31: Simulation Temperaturverlauf mit Nachtkühlung und Ventilator 2.000 m ³ /h in der Werkstatt Auto Doczekal.....	35
Abbildung 32: Ausschnitt des Gebäudeplans.....	36
Abbildung 33: Klimasplitgerät.....	37

Abbildung 34: PV-Anlage	38
Abbildung 35: Verlauf der realen Gesamtkosten	40
Abbildung 36: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten	40
Abbildung 37: Priorisierung der Bewertungskriterien Auto Doczekal GmbH	41
Abbildung 38: EFH Doczekal – Südwest-Ansicht	43
Abbildung 39: Simulation der Temperaturen im Schlafzimmer	44
Abbildung 40: Simulation der Raumtemperatur im Wohnraum	45
Abbildung 41: Einstellung der Push-Nachricht zum Öffnen der Fenster via homee	46
Abbildung 42: Einstellung der Push-Nachricht zum Schließen der Fenster via homee	46
Abbildung 43: Berechnung des luftdurchströmten Erdreichwärmetauschers	47
Abbildung 44: Verlauf der realen Gesamtkosten	50
Abbildung 45: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten	50
Abbildung 46: Priorisierung der Bewertungskriterien EFH Doczekal	51
Abbildung 47: Wohnhausanlage Krottendorf – Nordostansicht	53
Abbildung 48: Benötigte Kühllast Wohnzimmer	53
Abbildung 49: Benötigte Kühllast Schlafzimmer	54
Abbildung 50: Temperaturverlauf Wohnzimmer mit Nachtlüftung	55
Abbildung 51: Temperaturverlauf Wohnzimmer mit Split-Klimaanlage	55
Abbildung 52: Balkonkraftwerk mit 600 - 800 W Ausgangsleistung	57
Abbildung 53: Verlauf der realen Gesamtkosten	60
Abbildung 54: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten	61
Abbildung 55: Priorisierung der Bewertungskriterien Wohnhausanlage Krottendorf ...	61
Abbildung 56: Visualisierung EFH Scher-Deutsch Süd-West Ansicht	63
Abbildung 57: Temperaturverlauf im Estrich im Einfamilienhaus Scher-Deutsch	64
Abbildung 58: Temperatursensor am Rohr der Fußbodenheizung montiert	64
Abbildung 59: Simulation der Raumtemperaturen im Schlafzimmer	65
Abbildung 60: Simulation der Raumlufftemperaturen im Wohnraum	66
Abbildung 61: Simulation der Kühllast am 21.07.: Einfamilienhaus Scher-Deutsch	68
Abbildung 62: Verlauf der realen Gesamtkosten	70
Abbildung 63: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten	71
Abbildung 64: Priorisierung der Bewertungskriterien EFH Scher-Deutsch	71
Abbildung 65: Kindergarten Güssing	73
Abbildung 66: Messungen Kindergarten Güssing	74
Abbildung 67: Messungen Kindergarten Güssing	75
Abbildung 68: Behaglichkeit in der Kinderkrippe	76
Abbildung 69: Test der Nachtlüftung Gruppenraum	77
Abbildung 70: Nachtlüftung OG Schlafrum	78
Abbildung 71: Test der Nachtlüftung, Messdaten	78
Abbildung 72: Geöffnete Fenster im Gruppenraum beim Test der Nachtlüftung 2022	79
Abbildung 73: Messwerte beim Test der Nachtlüftung 2022	80
Abbildung 74: Verlauf der realen Gesamtkosten	85
Abbildung 75: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten	86
Abbildung 76: Priorisierung der Bewertungskriterien Kindegarten	86

Abbildung 77: BORG und ECOLE Güssing, südseitige Fassade	88
Abbildung 78: Raumtemperaturen im September 2020	89
Abbildung 79: Gebäude des Gymnasiums St. Pölten	90
Abbildung 80: Überströmöffnung Gang / Klasse	90
Abbildung 81: Automatischer Fensterantrieb.....	91
Abbildung 82: Automatischer Fensterantrieb.....	91
Abbildung 83: Manuelle Nachtlüftung bei Schulbetrieb	92
Abbildung 84: Test der Nachtlüftung der Räume 3, 5, 8 und 11	92
Abbildung 85: Klimagerät	94
Abbildung 86: Dezentrales Lüftungsgerät für eine Klasse	95
Abbildung 87: Kühllast Raum 5, Simulation BORG	96
Abbildung 88: Simulation Temperaturen im Raum 5 entlang eines Tages.....	96
Abbildung 89: Verlauf der realen Gesamtkosten.....	99
Abbildung 90: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten.....	99
Abbildung 91: Priorisierung der Bewertungskriterien BORG	100
Abbildung 92: Nordwestseitige Fassade des Feuerwehrhauses.....	102
Abbildung 93: Berechnung des luftdurchströmten Erdreichwärmetauschers	103
Abbildung 94: Klimasplitgerät	104
Abbildung 95: Verlauf der realen Gesamtkosten.....	106
Abbildung 96: Verlauf der fiktiven Gesamtkosten.....	107
Abbildung 97: Priorisierung der Bewertungskriterien	107

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnungen zu Vulcolor.....	8
Tabelle 2: Ergebnis der AHP-Bewertung für die Vulcolor Naturfarben GmbH.....	15
Tabelle 3: Ergebnis der AHP-Bewertung für die Firma Guttomat Sektionaltore GmbH.....	29
Tabelle 4: Ergebnis der AHP-Bewertung für die Firma Auto Doczekal.....	41
Tabelle 5: Ergebnis der AHP-Bewertung für das EFH Doczekal	51
Tabelle 6: Beispiele Systemkosten	58
Tabelle 7: Ergebnis der AHP-Bewertung für die Wohnhausanlage Krottendorf	62
Tabelle 8: Ergebnis der AHP-Bewertung für das EFH Scher-Deutsch.....	72
Tabelle 9: Ergebnis der AHP-Bewertung für den Kindergarten Güssing.....	87
Tabelle 10: Ergebnis der AHP-Bewertung für das Gymnasium St. Pölten.....	100
Tabelle 11: Ergebnis der AHP-Bewertung für das Feuerwehrhaus Güssing	108
Tabelle 12: Details zu den Trinkbrunnen (TriBu) der Firma Tromayer Metalltechnik ...	110