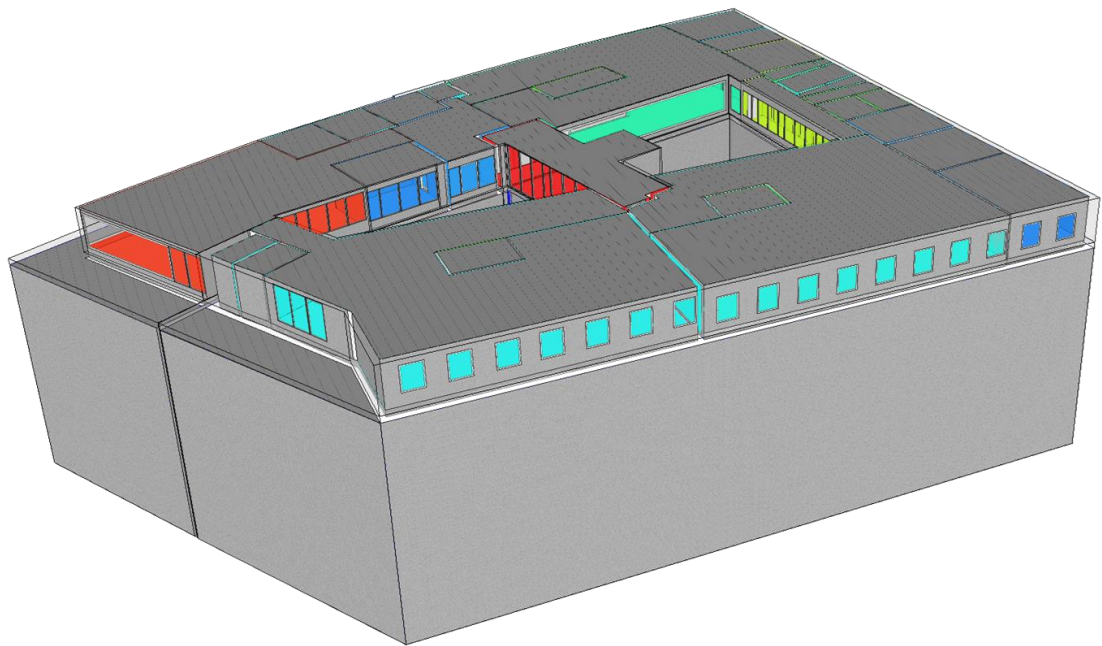
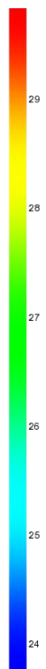


Diplomarbeit

Energieeffizienz Bürogebäude Bahnhofstrasse 4, 3073 Gümligen

Max Temp, °C



Diplomand	Loris Volken
Diplomlehrer	Roberto Di Cerbo
Schule	Teko Schweizerische Fachschule Olten
Klasse	O-TEU-21-T-a
Ausbildung	Dipl. Techniker HF, Energie und Umwelt
Jahr	2021 - 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Management Summary	1
2	Kurzer beruflicher Lebenslauf	2
2.1	Persönliche Daten	2
2.2	Berufserfahrung	2
2.3	Ausbildung	2
2.4	Kenntnisse und Fähigkeiten	2
3	Qualifikationsprofil	3
4	Projektinitialisierung	5
4.1	Pflichtenheft	5
4.1.1	Einleitung	5
4.1.2	Vorstellung Firma EPRO GROUP	6
4.1.3	Ausgangslage	7
4.1.4	Entstehung der Idee	7
4.1.5	Fachexperte	7
4.1.6	Inhalt	8
4.1.7	Erstellung des energetischen Zwillings	8
4.1.8	Analyse des Ist- Zustandes	8
4.1.9	Massnahmen zur theoretischen Effizienzsteigerung	8
4.1.10	Endergebnis und Erfolgskriterien	9
4.1.11	Abgrenzung	10
4.1.12	Rahmenbedingungen	11
4.1.13	Freigabe des Pflichtenheftes	11
4.2	Zielscheibe	12
5	Projektplanung	13
5.1	Projektstrukturplanung	13
5.2	Projektlaufplanung	14
5.3	Risikoanalyse	15
5.3.1	Risiken	15
5.3.2	Präventionsstrategie	16
6	Projektrealisierung	18
6.1	Analyse des IST- Zustandes	18
6.1.1	Gebäudehülle / Bauphysik	18
6.1.2	Wetterdatensatz	19
6.1.3	Gebäudetechnik	19
6.1.4	Gebäudezonen / Nutzungsprofil	21

6.1.5	Projektspezifische Nutzungen	22
6.2	Auswertung des IST- Zustandes	25
6.2.1	Auswertung Heizung installierte Leistung	25
6.2.2	Auswertung Kälte installierte Leistung.....	26
6.2.3	Energiebedarf Heizung	27
6.2.4	Energiebedarf Kälte	28
6.2.5	Auswertung der Lufttemperatur	29
6.2.6	Auswertung Luftqualität anhand der CO ₂ - Konzentration	31
6.3	Variante 1 – Anpassung der Sollwerte.....	32
6.3.1	Sollwerte.....	32
6.3.2	Auswertung Energiebedarf.....	33
6.3.3	Auswertung Raumlufttemperatur	34
6.3.4	Auswertung Raumluftqualität	36
6.4	Variante 2– Anpassung Fassade	37
6.4.1	Anpassung der U-Werte (Wärmedurchgangskoeffiziente)	37
6.4.2	Auswertung Energiebedarf.....	38
6.4.3	Auswertung Raumlufttemperatur	39
6.5	Evaluation der geeignetsten Variante	41
6.5.1	Heizung	41
6.5.2	Kälte.....	42
6.5.3	Umsetzbarkeit	42
6.5.4	Empfehlung.....	43
7	Projektabschluss.....	44
7.1	Projektüberwachung.....	44
7.2	Evaluation der Zielerreichung	45
7.3	Reflexion Weg zum Ziel.....	45
7.4	Lessons learnt	45
7.5	Ausblicke	46
8	Eigenständigkeitserklärung	47
9	Verzeichnisse.....	48
9.1	Abkürzungsverzeichnis.....	48
9.2	Abbildungsverzeichnis	48
9.3	Tabellenverzeichnis.....	49
9.4	Diagrammverzeichnis.....	49
9.5	Literaturverzeichnis	50
10	Anhang	51

1 Management Summary

In einer Welt mit fortschreitenden Auswirkungen des Klimawandels ist es als Betrieb unerlässlich, als Vorbild voranzuschreiten und nachhaltig zu denken und zu handeln. Die Firma EPRO GROUP läuft unter dem Leitsatz, dass integrale Lösungen, die nachhaltig überzeugen, gesucht und umgesetzt werden sollen. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, dort anzusetzen, wo zukunftsorientiert geplant wird, also in den eigenen Räumlichkeiten der Firma. Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht die Suche nach einer effizienteren Energieversorgung der Nutzflächen, durch optimale Einstellungen der Gebäudetechnik. Dadurch werden nicht nur nachhaltig Kosten gesenkt, sondern auch Umweltressourcen geschont.

Ausgangslage:

Die EPRO GROUP vermutet einen übermässig hohen Energieverbrauch ihrer Büroräume, insbesondere bei der Klimatisierung und Belüftung. Die Arbeitsumgebung umfasst Grossraumbüros, Einzelbüros, Besprechungsräume und eine Cafeteria, die im Sommer durch eine Kühldecke und im Winter durch Heizkörper klimatisiert werden. Es wird angenommen, dass die Temperaturregelung und Belüftung unzureichend sind und Räume häufig überkühlt oder überheizt werden. Die Aufgabe dieser Arbeit besteht darin, den Energieverbrauch zu analysieren, Ursachen für Ineffizienzen zu identifizieren und Optimierungsmassnahmen zu entwickeln.

Vorgehen

Im ersten Schritt wird ein energetischer Zwilling des Bürogeschosses mithilfe der Simulationssoftware IDA ICE erstellt, um den Ist-Zustand darzustellen. Dieser energetische Zwilling bildet die tatsächlichen Raumnutzungen, die technische Ausstattung, wie Heizkörper und Kühldecken, sowie die spezifischen Nutzungsprofile der Räumlichkeiten ab. Anschliessend wird die derzeitige Raumtemperatur sowie der Energie- und Leistungsbedarf erfasst. Darauf aufbauend werden verschiedene Massnahmen zur Optimierung der Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungstechnik konzipiert und bewertet, um deren Auswirkungen auf die Energieeffizienz zu ermitteln.

Ergebnisse

Die Analyse zeigt, dass die derzeitige Beheizung-Kühlung- und Belüftung zu hohe Energieverluste verursachen und die Temperaturregelung optimiert werden muss. Die Simulation ergibt, dass die Heizleistung in den meisten Räumen nicht ausreicht, um die gewünschten Sollwerte zu erreichen, während die Kühlung überdimensioniert ist. Durch die Anpassung der Sollwerte für Heizung und Kühlung sowie eine gezielte Steuerung der Lüftung kann eine Energieeinsparung von bis zu 38 % im Heizbetrieb und 59 % im Kühlbetrieb erreicht werden. Die Anpassung der Lüftungssollwerte und Betriebszeiten der Anlage trägt wesentlich zur Reduktion des Energiebedarfs bei, insbesondere durch eine Reduzierung des Frischluftbedarfs in den Abend- und Nachtstunden.

Ausblick

Die gewonnenen Erkenntnisse bieten wertvolle Ansatzpunkte für eine nachhaltige Optimierung der Büroflächen der EPRO GROUP. Der Firma wird vorgeschlagen, die Sollwerte der Raumluft wie auch die Raumtemperaturen im Sommer (kühlen) und im Winter (heizen) anzupassen. Langfristig gesehen wird empfohlen, die Fenster auszuwechseln, damit noch mehr Heizenergie eingespart werden kann. Dies ist jedoch eine Variante, die die EPRO GROUP mit der Immobilienverwaltung besprechen muss und die für das ganze Gebäude geprüft werden sollte.

2 Kurzer beruflicher Lebenslauf

2.1 Persönliche Daten

Name: Volken
Vorname: Loris
Geburtsdatum / -ort: 10.09.1992 in Thun
Staatsangehörigkeit: Schweiz
Familienstand: verheiratet
Kontakt Daten: Henri- Dunantstrasse 14, 3600 Thun
loris.volken@gmail.com
079 349 32 16



2.2 Berufserfahrung

01/24 - ... Fachspezialist Nachhaltiges Bauen, EPRO ENGINEERING
01/21 – 12/23 Gebäudetechnikplaner Fachrichtung Heizung, EPRO ENGINEERING
08/12 – 12/20 Gebäudetechnikplaner Fachrichtung Heizung, energieatelier AG

2.3 Ausbildung

10/21 - ... Weiterbildung Techniker HF Energie und Umwelt, Schweizerische Fachschule
TEKO
05/18 Weiterbildung BIM Koordination, Mensch und Maschine
08/08 - 07/12 Ausbildung zum Gebäudetechnikplaner Fachrichtung Heizung, energieatelier
AG

2.4 Kenntnisse und Fähigkeiten

Fremdsprachen: Englisch
PC- Kenntnisse: MS- Office
Autodesk Revit
Autocad MEP
IDA ICE

3 Qualifikationsprofil

A1	Unternehmens- und Führungsprozesse gestalten und verantworten	Im Rahmen einer Projektarbeit habe ich die Fähigkeit entwickelt, die Teamzusammenarbeit effektiv zu gestalten, zu reflektieren und zu optimieren. Anfangs haben wir klare Kommunikationsstrukturen festgelegt und die Projektaufgaben an die Teammitglieder verteilt. Regelmässige Teammeetings und Feedbackrunden ermöglichten die stetige Verbesserung unserer Arbeitsweise und des fertigen Produktes.
A2	Kommunikation situationsangepasst und wirkungsvoll gestalten	Im Verlaufe des Studiums an der TEKO wurden mehrere Semesterarbeiten im Rahmen der Präsenzveranstaltungen präsentiert. Unterstützend zum mündlichen Beitrag wurde jeweils eine PowerPoint erstellt. Beim Präsentieren wurde stets darauf geachtet, dass die Inhalte adressatengerecht vorgetragen werden.
A3	Die persönliche Entwicklung reflektieren und vorantreiben	Durch die Weiterbildung an der TEKO und die Veränderung meines Tätigkeitsbereiches im Betrieb habe ich meine digitalen Kompetenzen stetig weiterentwickelt. Die folgenden beiden Punkte dienen als Beispiele: <ul style="list-style-type: none"> • Aneignung verschiedener Simulationstools, um thermische Simulationen durchführen zu können. • Persönliche Weiterentwicklung im Rahmen meiner Tätigkeit als CAD-Verantwortlicher und durch das Weitergeben meines Wissens an Mitarbeiter/innen/innen.
B5	Projekte planen, leiten und evaluieren	Für den neuen Hauptsitz von der Firma Bosch habe ich die Heizungs- und Kälteanlage bis zur Ausführung geplant.
B6	Anlagen entwickeln	Im Projekt «Kirschenackerweg» in Ittigen habe ich den CO ₂ - Ausstoss für verschiedene Wärmeerzeuger berechnet und die Resultate ökologisch verglichen. Durch diesen Vergleich konnte eine Empfehlung für einen nachhaltigeren Wärmeerzeuger abgegeben werden.
B7	Projektierung von Anlagen beauftragen	Für diverse Projekte habe ich mit der Simulationssoftware IDA ICE Gebäudesimulationen durchgeführt, um die Kühl- und Heizlast sowie den thermischen Energieverbrauch zu ermitteln. Im Bereich der Photovoltaik habe ich im Rahmen einer Semesterarbeit eine Simulation der Sonneneinstrahlung an einem praktischen Beispiel erstellt.

B8	Daten erfassen und auswerten	<p>Bei der Planung des Bauvorhabens «Bern, Brünnen» habe ich für die Gebäudetechnik (Heizung, Kälte, Lüftung und Sanitär) ein Messkonzept erstellt, das den Energieverbrauch für jeden Verbraucher der folgenden Anlagen misst:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heizung • Kälte • Sanitär
B10	Wartung sicherstellen und Verfügbarkeit der Anlagen garantieren	<p>Im Projekt «Schleuniger AG, Thun» mussten für den Gebäudepark folgende Ziele erreicht werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Senkung des CO₂- Ausstosses • Senkung des Energiebedarfs. <p>Damit ich diese Ziele erreichen konnte, habe ich im ersten Schritt einen Energienachweis erstellt. Der Nachweis wurde nach der Norm 380/1 des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein erstellt. Durch diesen konnte das Sanierungspotential des Gebäudes berechnet werden.</p> <p>In einem zweiten Schritt wurde der Wärmeerzeuger für den Gebäudepark verglichen. Durch die Einsparung konnte dieser verkleinert werden. Mittels ökologischen Vergleichs der Wärmeerzeuger wurde die Gasheizung mit einer Wärmepumpe ersetzt, was zu einer Senkung des CO₂- Ausstosses geführt hat.</p>
B11	Prozesse analysieren und optimieren	<p>Durch die Erarbeitung des Gebäudeenergieausweis der Kantone konnte für verschiedene Postimmobilien Sanierungsvorschläge erarbeitet werden, um die Gebäudehüllen energieeffizienter zu machen.</p> <p>Durch ökologische und wirtschaftliche Berechnungen konnten in diversen Projekten die Umrüstung auf erneuerbare Energieträger veranlasst werden.</p>

4 Projektinitialisierung

Die Projektinitialisierung stellt den Grundstein für den gesamten Projektverlauf dar und ist entscheidend für den späteren Erfolg. In dieser Phase werden die Rahmenbedingungen für das Projekt geschaffen, die Ziele definiert und die Machbarkeit geprüft.

4.1 Pflichtenheft

Im Rahmen der Vorbereitungsarbeiten wurde ein Pflichtenheft gemäss Vorgaben erarbeitet. Diese Inhalte werden in diesem Kapitel abgebildet.

4.1.1 Einleitung

Um die Ausbildung zum Techniker HF Energie und Umwelt erfolgreich abzuschliessen, wird vom 09. September 2024 bis zum 04. November 2024 die Diplomarbeit erarbeitet. Mit dem vorliegenden Pflichtenheft gelingt es mir, meiner Arbeit eine sinnvolle Struktur zu verleihen. Zusätzlich dient es als Grundgerüst und Leitfaden, um die klare Zielsetzung nicht aus den Augen zu verlieren. Das Pflichtenheft hat die Aufgabe, die Vorgaben des Auftraggebers, das Richtziel, sowie den Umfang der Diplomarbeit festzulegen.

Im Rahmen meiner Projektarbeit setze ich mir zum Ziel, die Büroräumlichkeit der Firma EPRO GROUP hinsichtlich deren Energieverbrauch zu optimieren. Die Arbeit umfasst sowohl das Eruiieren des Ist- Zustandes mit Hilfe einer Simulation als auch die Ausarbeitung entsprechender Massnahmen, welche die Energieeffizienz steigern sollen.

4.1.2 Vorstellung Firma EPRO GROUP

Die EPRO GROUP ist eine Zusammenführung zweier Unternehmen, der EPROplan AG und der energieatelier AG. Die EPRO GROUP besteht aus vier eigenständigen Gesellschaften, von denen jede ihre Fachkompetenz in spezifischen Bereichen der Ingenieur- und Planungsdienstleistungen erbringt.

EPRO TRAFFIC konzentriert sich darauf, die Energieversorgung und Kommunikation im Verkehrssektor zu planen und zu optimieren.

EPRO SECURE widmet sich der Entwicklung integrierter Sicherheitslösungen für eine Vielzahl von Kunden. Durch die Planung und Implementierung umfassender Sicherheitsanlagen trägt sie dazu bei, den Schutz von Menschen, Einrichtungen und Vermögenswerten zu gewährleisten.

EPRO ADVICE bietet Bauherrenberatung, Koordination und Bauleitungsdienste an, um sicherzustellen, dass Bauprojekte reibungslos und effizient durchgeführt werden.

EPRO ENGINEERING ist auf die Planung der Gebäudetechnik im Hochbau spezialisiert und gliedert sich in verschiedene Fachbereiche, darunter Heizung, Lüftung, Elektro, Gebäudeautomation, Sanitär und Nachhaltiges Bauen. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit dieser Fachbereiche entsteht für jedes Projekt ein spezialisiertes Team.

Zum Kerngeschäft der EPRO ENGINEERING zählen die Planung und Umsetzung der technischen Gebäudeausrüstung, die von den genannten Fachbereichen betreut wird. Darüber hinaus bietet das Unternehmen Beratung und Analyse zur Entwicklung effizienter und ressourcenschonender Gebäude. Diese Ziele werden insbesondere durch Simulationen und Berechnungen des Fachbereichs Nachhaltiges Bauen unterstützt.



Abbildung 4-1 EPRO GROUP, Gesellschaften
(Quelle : <https://www.EPRO.ch/organisation/>)

4.1.3 Ausgangslage

Die Firma EPRO GROUP befindet sich im 4. Obergeschoss des Bürogebäudes an der Bahnhofstrasse 4 in 3073 Gümligen. Der grösste Teil der Mitarbeiter/innen der Firma EPRO GROUP arbeiten in Grossraumbüro und ein kleiner Teil in Einzel- oder Zweierbüros. Für Besprechungen verfügt das Bürogeschoss 3 Sitzungszimmer. Es gibt 3 WC- Anlagen über das Geschoss verteilt. Für die Verpflegung verfügt das Geschoss über eine Cafeteria mit einer kleinen Küche.

Für die Kühlung im Sommer, ist das Bürogeschoss mit einer Kühldecke in den Büroräumen und der Cafeteria ausgerüstet. Im Winter wird das Bürogeschoss mit Heizkörper beheizt und zur Sicherstellung der Luftqualität, hat das Gebäude eine Lüftungsanlage.

Die Vermutung der EPRO GROUP besteht darin, dass die Klimatisierung und Belüftung einen zu hohen Energieverbrauch aufweisen. Es wird vermutet, dass die Räume in den Sommer- und Wintermonaten oft eine zu tiefe oder zu hohe Raumtemperatur haben. Zudem könnte es sein, dass gewisse Räume überbelüftet werden.

Dies gilt es nun mit einer Gebäudesimulation herauszufinden.

Im Rahmen der Diplomarbeit befasse ich mich mit der Idee, die Beheizung, Kühlung und Klimatisierung der Büroflächen der Firma EPRO GROUP so zu optimieren, dass während dem ganzen Jahr eine optimale Raumtemperatur erreicht wird und die Raumluftqualität gemäss Norm eingehalten wird. Bei der Optimierung soll das oberste Ziel die Steigerung der Energieeffizienz sein.

4.1.4 Entstehung der Idee

In der am 30.09.2023 veröffentlichten Studie OptiPower wurde festgestellt, dass die Heizleistung in zehn untersuchten Bürogebäuden um 100% bis 300% überdimensioniert ist und die Ergebnisse bezüglich der Kühlleistung sogar noch ungünstiger ausfielen. Diese Erkenntnisse veranlassten die Firma EPRO ENGINEERING dazu, ihre Anlagen einer eingehenden Überprüfung und Simulation zu unterziehen. Als Unternehmen, das im Bereich des nachhaltigen Bauens tätig ist und auch thermische Gebäudesimulationen anbietet, strebt EPRO ENGINEERING danach, mit gutem Beispiel voranzugehen und die Gebäudetechnik in ihrem eigenen Bürogebäude zu optimieren.

4.1.5 Fachexperte

Die Rolle des Fachexperten übernimmt Moritz Zwahlen aus der Gesellschaft EPRO Engineering. Moritz Zwahlen ist Leiter des Bereiches Nachhaltiges Bauen. Zudem ist er der Auftraggeber dieser Projektarbeit.

Kontaktdaten

Name: Moritz
Vorname: Zwahlen
Funktion: Fachbereichsleiter Nachhaltiges Bauen
Adresse: EPRO ENGINEERING
Bahnhofstrasse 4
3073 Gümligen
Email: moritz.zwahlen@EPRO.ch
Telefon: +41 58 502 73 78

4.1.6 Inhalt

Im Rahmen dieser Diplomarbeit, sollen mögliche Massnahmen zur Senkung der Nutzenergie für die Büronutzung der Firma EPRO Engineering im 4. Obergeschoss an der an der Bahnhofstrasse 4 in 3073, Gümli-Gen erarbeitet werden.

Damit dieses Richtziel erreicht werden kann, werden in dieser Diplomarbeit folgende Ziele erarbeitet.

4.1.7 Erstellung des energetischen Zwillings

- Damit der Leistungs- und Energieverbrauch simuliert werden kann, muss das 4. Obergeschoss in der Simulationssoftware geometrisch modelliert werden.
- Um den Betrieb des 4. Obergeschoss abzubilden, ist es notwendig für die verschiedenen Raumnutzungen (Grossraumbüro, Einzel- und Gruppenbüro, Cafeteria und Sitzungszimmer) ein Nutzungsprofil zu erstellen.
- Die technischen Einrichtungen die sowohl die Gebäudetechnik (Heizkörper, Kühldecken und Lüftungsanlagen) inklusive der Raumregulierung, als auch die Beleuchtung und die elektrischen Geräte der Arbeitsplätze beinhalten, sind zu erfassen und im Simulationsmodell einzuarbeiten.

4.1.8 Analyse des Ist- Zustandes

- Der Ist- Zustand wird anhand des Simulationsmodell ausgewertet
- Die Raumlufttemperatur wird über das ganze Jahr betrachtet mit einer Detailbetrachtung der einzelnen Jahreszeiten
- Auswertung des Luftvolumenstrom, bzw. der Raumluftqualität bezüglich CO₂-Konzentration
- Auswertung des Leistungs- und Energiebedarfs

4.1.9 Massnahmen zur theoretischen Effizienzsteigerung

- Durch das erstellte Simulationsmodell und den ausgewerteten Ist- Zustand, können nun für das Bürogeschoss Massnahmen zur Optimierung definiert werden
- Massnahmen zur Optimierung der Lüftungsanlage
- Massnahmen zur Optimierung der Heiz- und Kühlanlagen

4.1.10 Endergebnis und Erfolgskriterien

Aus den vorgängig beschriebenen Zielen werden nun Endergebnisse und die dazu gehörenden Erfolgskriterien beschrieben. Ziel davon ist es, den Projektumfang definieren zu können und aufzuzeigen was nötig ist, damit die Ziele erreicht werden können.

Tabelle 4-1 Endergebnis und Erfolgskriterien

Endergebnis	Erfolgskriterien
Ein modellierter energetischer Zwilling zur Auswertung des Bürogeschoss.	<ul style="list-style-type: none"> • Der energetische Zwilling hat alle erforderlichen Daten im Modell. • Die Gebäudetechnik, Beleuchtung sowie die elektrischen Geräte sind im Modell eingearbeitet.
Nutzungsprofil des 4. Obergeschoss für die Räume Einzelbüro, Grossraumbüro, Cafeteria und Sitzungszimmer.	Das Nutzungsprofil bildet den Betrieb des 4. Obergeschosses mit einem Referenzmonat für die Raumnutzungen ab.
Ausgewertetes Simulationsergebnis Ist- Zustand	<ul style="list-style-type: none"> • Die Simulation bildet den Ist- Zustand ab. • Die Auswertungen zeigt Raumtemperatur, Raumluftqualität und den Leistungs- und Energiebedarf auf.
Definierte Massnahmen zur Optimierung des Leistungs- und Energieverbrauch mit Einhaltung der Raumluftqualität und der Raumtemperaturen	Die definierten Massnahmen zeigen unter Einhaltung der Raumluftqualität (CO ₂ -Konzentration) sowie der Einhaltung der Raumtemperaturen im Sommer und Winter, einen tieferen Energieverbrauch als beim Ist- Zustand auf.
Das Endergebnis der Diplomarbeit wird als PDF-Dokument pünktlich abgegeben.	Die Diplomarbeit ist vollständig, hat alle Anforderungen erfüllt und wurde pünktlich abgegeben.

4.1.11 Abgrenzung

Im Simulationsmodell wird das Bürogebäude an der Bahnhofstrasse 4 in 3073 Gümligen vollständig nachgebildet, um die Gebäudehöhe und den Standort präzise darzustellen. Der Schwerpunkt der Diplomarbeit liegt auf dem 4. Obergeschoss, in dem sich die Büroräumlichkeiten der EPRO GROUP befinden (siehe Abbildung 4-2). Die unteren Geschosse werden in der Gebäudesimulation nicht berücksichtigt.



Abbildung 4-2 Bürogebäude, Bahnhofstrasse 4, 3073 Gümligen
(Quelle: <https://www.EPRO.ch/organisation/>)

Für das Bürogebäude gibt es eine zentrale Wärmeerzeugung, eine Luftaufbereitungsanlage (Monoblock) und eine Kältemaschine, die das gesamte Gebäude beheizen, belüften und kühlen. Da diese Systeme das gesamte Gebäude versorgen, konzentriert sich die Diplomarbeit ausschliesslich auf die gebäudetechnischen Anlagen, die spezifisch das 4. Obergeschoss betreffen (siehe Abbildung 4-3).

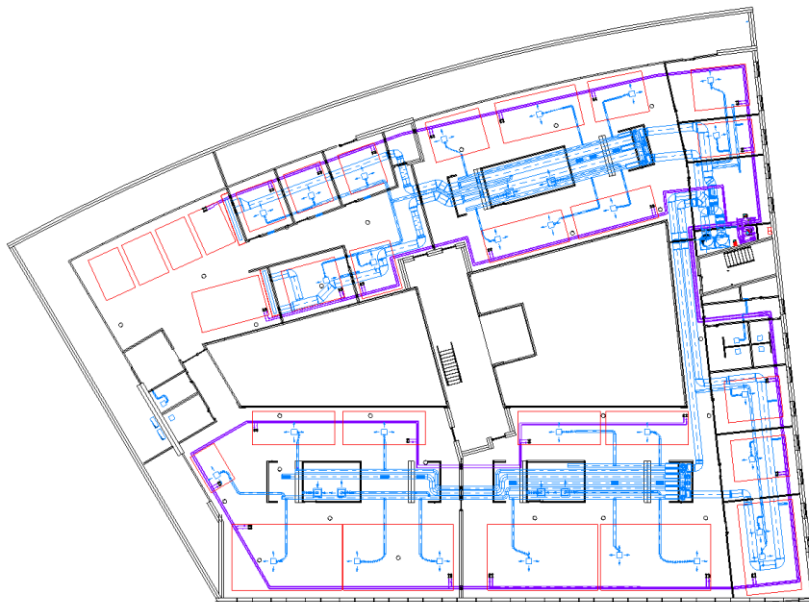


Abbildung 4-3 Gebäudetechnik, 4. Obergeschoss
(Quelle: Eigene Darstellung)

4.1.12 Rahmenbedingungen

Die gesetzlichen Bestimmungen und Normen sind einzuhalten.
Zur Verifizierung und zum Entwickeln der in dieser Aufgabe beschriebenen Simulation wird die Simulationssoftware IDA ICE verwendet.

4.1.13 Freigabe des Pflichtenheftes

Hiermit wird das vorliegende Pflichtenheft für das Projekt von allen beteiligten Personen zur Weiterführung freigegeben.

Diplomlehrer

Ort, Datum Olten, 19. August 2024



Roberto Di Cerbo

Fachexperte

Ort, Datum Gümligen, 19. August 2024

Moritz Zwahlen



Projektleiter

Ort, Datum Thun, 19. August 2024

Loris Volken



4.2 Zielscheibe

Richtziel: Mit Hilfe einer Gebäudesimulation soll der Energieverbrauch in den Räumlichkeiten der Firma EPRO Engineering eruiert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen dazu, mögliche Massnahmen zu definieren, damit die Nutzenergie gesenkt werden kann und die Raumtemperatur gemäss SIA eingehalten wird.

Ein modellierter energetischer Zwilling zur Auswertung des Bürogeschoss.
Nutzungsprofil des 4. Obergeschoss für die Räume Einzelbüro, Grossraumbüro, Cafeteria und Sitzungszimmer.
Ausgewertetes Simulationsergebnis Ist- Zustand
Definierte Massnahmen zur Optimierung des Leistungs- und Energieverbrauch mit Einhaltung der Raumluftqualität und der Raumtemperaturen
Das Endergebnis der Diplomarbeit wird als PDF- Dokument pünktlich abgegeben.

Endergebnisse

Sinn und Zweck

Nachhaltige Lösung zur Beheizung, Klimatisierung und Belüftung der Bürofläche im 4. Obergeschoss
Da die Firma EPRO GROUP in diesem Bereich tätig ist, will sie als Vorbild voran gehen.

EPRO GROUP

Kunde

Erfolgskriterien

Der energetische Zwilling hat alle erforderlichen Daten im Modell.
Die Gebäudetechnik, Beleuchtung sowie die elektrischen Geräte sind im Modell eingearbeitet.
Das Nutzungsprofil bildet den Betrieb des 4. Obergeschosses mit einem Referenzmonat für die Raumnutzungen ab.
Die Simulation bildet den Ist- Zustand ab.
Die Auswertungen zeigt Raumtemperatur, Raumluftqualität und den Leistungs- und Energiebedarf auf.
Die definierten Massnahmen zeigen unter Einhaltung der Raumluftqualität (CO₂-Konzentration) sowie der Einhaltung der Raumtemperaturen im Sommer und Winter, einen tieferen Energieverbrauch als beim Ist- Zustand auf.
Die Diplomarbeit ist vollständig, hat alle Anforderungen erfüllt und wurde pünktlich abgegeben.

5 Projektplanung

Die Projektplanung ist eine zentrale Phase des Projektmanagements, in der die Grundlage für die erfolgreiche Durchführung des Projekts geschaffen wird. In dieser Phase werden die zuvor definierten Ziele konkretisiert und in detaillierte Arbeitspakete übersetzt. In den folgenden Kapiteln 5.1 bis 5.3 werden die einzelnen Phasen der Planung dargestellt.

5.1 Projektstrukturplanung

Im Rahmen der Projektstrukturplanung wird das Projekt in einzelne Arbeitspakete unterteilt, die zusammen das Gesamtziel des Projekts abbilden. Abbildung 5-1 stellt den Projektstrukturplan der Diplomarbeit „Energieeffizienz Bahnhofstrasse 4, 3073 Gümligen“ als Strukturbaum dar, der gemäss dem 4-Phasen-Modell der Deutschen Gesellschaft für Projektmanagement (GPM) aufgebaut ist [1]. Jedes Arbeitspaket trägt dabei zum Erreichen der festgelegten Projektergebnisse bei und ermöglicht eine klare Zuordnung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten.

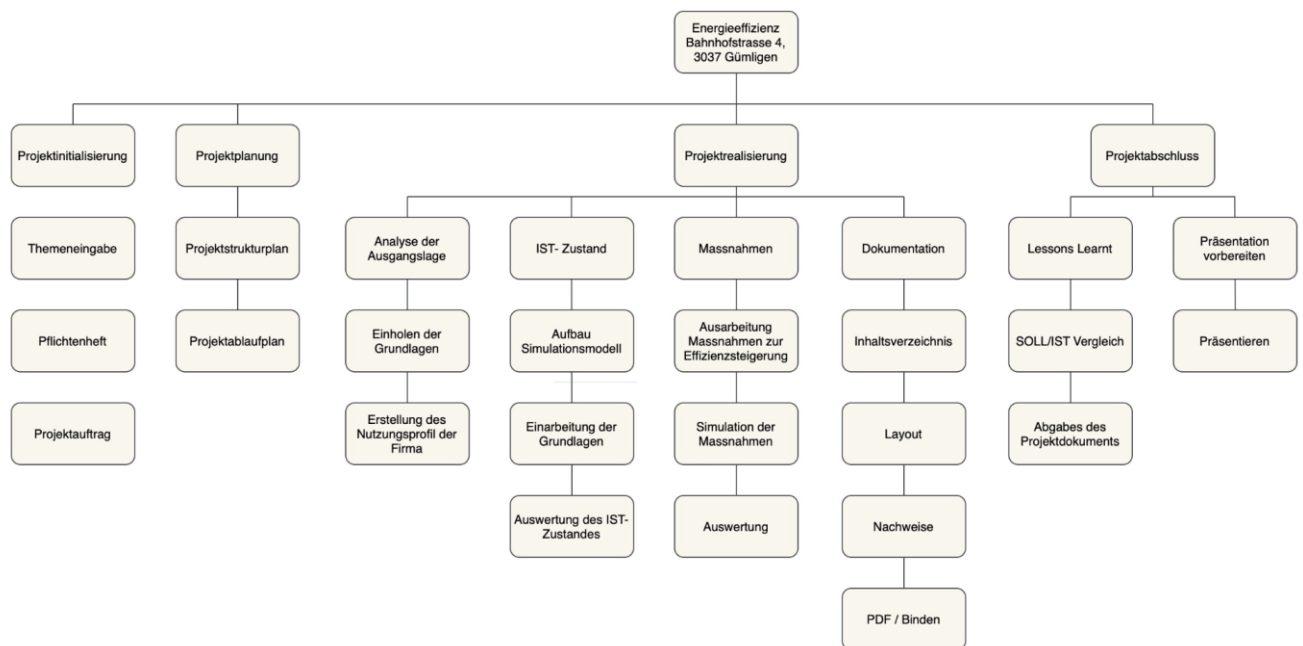


Abbildung 5-1 Projektstrukturplan
(Quelle: Eigene Darstellung)

5.2 Projektablaufplanung

Mit der Aufteilung der Arbeitspakete konnte für das Projekt der Projektablaufplan [2] mit den vier Phasen erstellt werden. Manche Phasen überschneiden sich teilweise, was jedoch notwendig ist, um sicherzustellen, dass der Abgabetermin eingehalten wird. Die Abbildung 5-2 zeigt die detaillierte Zuteilung der Arbeitsschritte zu den 4 Phasen des Modells.

Energieeffizienz Bahnhofstrasse 4, 3073 Gümligen

EPRO ENGINEERING
Loris Volken

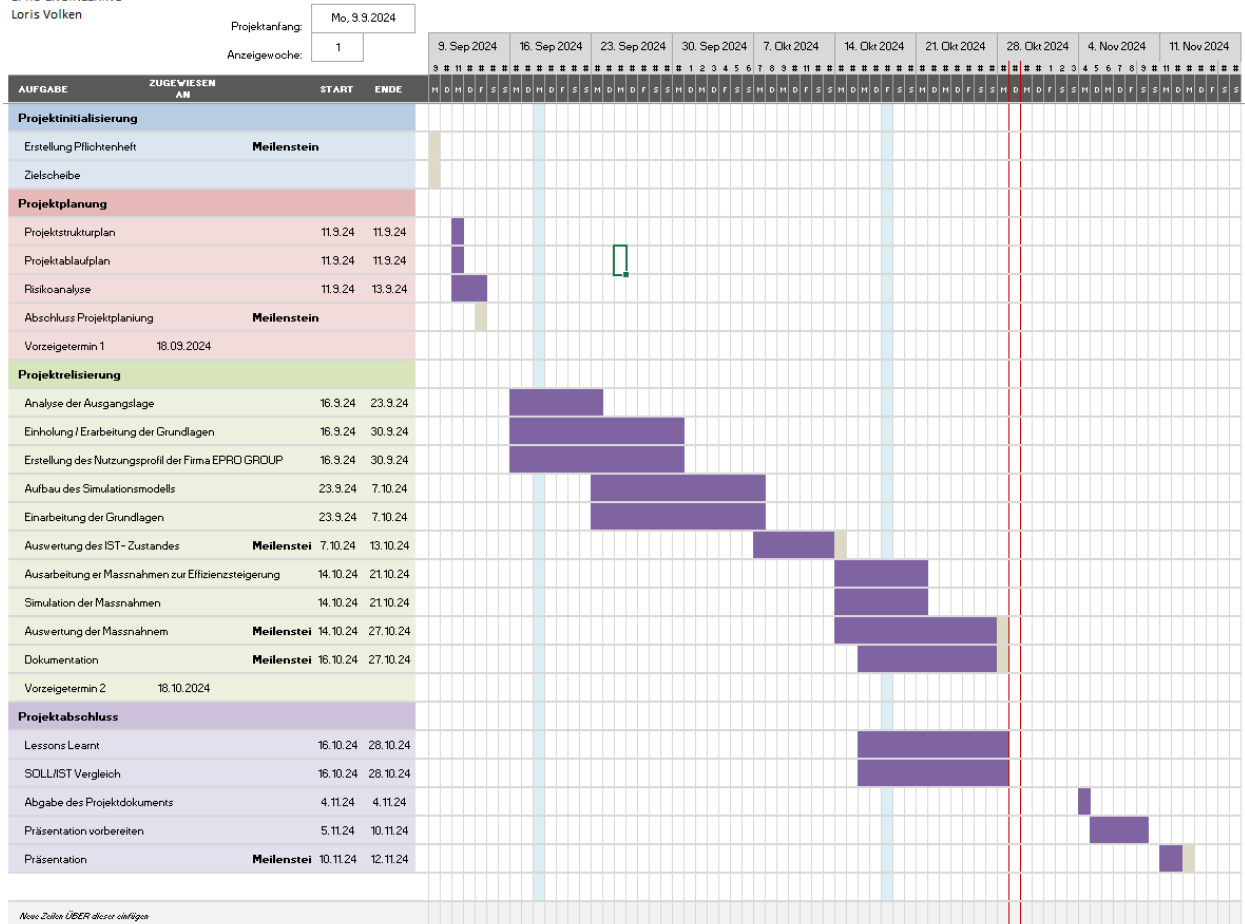


Abbildung 5-2 Projektablaufplan
(Quelle: Eigene Darstellung)

5.3 Risikoanalyse

Im Kapitel 5.3 wird die Risikoanalyse für das bearbeitete Projekt beschrieben. Es wurden potenzielle Risiken identifiziert, die den Erfolg des Projektes beeinträchtigen könnten. Die Analyse dient dazu, deren Eintrittswahrscheinlichkeit und mögliche Auswirkungen zu bewerten sowie geeignete Massnahmen zur Risikominderung zu entwickeln [3].

5.3.1 Risiken

Es wurden folgende Risiken gefunden:

Risiknummer	1
Risiko	keine Grundlagen der Bauphysik.
Eintretenswahrscheinlichkeit	eher wahrscheinlich
Auswirkung	Die Berechnungsgrundlagen der Bauteile der Gebäudehülle können nicht zugewiesen werden.
Folgen für das Projekt	Die Bauteile der Gebäudehülle können nicht mit den nötigen Informationen (wie zum Beispiel den Wärmedurchgangskoeffizient für den thermischen Zwilling) modelliert werden. Somit kann die thermische Simulation nicht durchgeführt werden.

Risiknummer	2
Risiko	Kein Zugriff auf das Gebäudeleitsystem.
Eintretenswahrscheinlichkeit	eher unwahrscheinlich
Auswirkung	Die Einstellungen der Gebäudetechnik können nicht überprüft werden.
Folgen für das Projekt	Für den IST- Zustand können nur Planungswerte und nicht die Werte des Betriebs EPRO eingestellt werden.

Risiknummer	3
Risiko	Grundlagen, resp. Revisionspläne, der Gebäudetechnik wurden nicht ausreichend dokumentiert.
Eintretenswahrscheinlichkeit	eher unwahrscheinlich
Auswirkung	Es könnten Fehler bei der Modellierung im Simulationsmodell auftreten.
Folgen für das Projekt	Durch die Fehler könnten Ungenauigkeiten bei der Auswertung entstehen.

Risikonummer	4
Risiko	Arbeitszeiten im Nutzungsprofil werden von den MA unzureichend ausgefüllt.
Eintretenswahrscheinlichkeit	wahrscheinlich
Auswirkung	Das Nutzungsprofil entspricht nicht dem eigentlichen Energieverbrauch des Betriebs.
Folgen für das Projekt	Die Simulation weist Fehler auf, da das Nutzungsprofil nicht dem Betrieb entspricht.

Die identifizierten Risiken werden in der folgenden Matrix visualisiert. Das Vorbeugen des Risikos Nr.1 hat höchste Priorität, da ohne die Grundlagen der Bauphysik nur eine ungenaue thermische Simulation durchgeführt werden kann.

Gewichtung	sehr hoch			1	
	hoch		2	4	
	mittel		3		
	niedrig				
		sehr unwahrscheinlich	unwahrscheinlich	wahrscheinlich	sehr wahrscheinlich
Wahrscheinlichkeit					

Abbildung 5-3 Risikoanalyse
(Quelle: Eigene Darstellung)

5.3.2 Präventionsstrategie

Nach der Identifizierung der Risiken werden im Kapitel 5.3.2 Präventionen für die Risiken beschrieben.

Risikonummer	1
Risiko	keine Grundlagen der Bauphysik
Prävention	Die Gebäudehülle resp. die Bauteile des Bürogebäudes können mit dem MuKE (Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich) oder mit dem Bauteilkatalog der EnDK (Konferenz Kantonaler Energiedirektoren) definiert werden.
Auswirkung	Die thermische Simulation kann mit einer geringen Ungenauigkeit durchgeführt werden.
Eintretenswahrscheinlichkeit nach Prävention	Immer noch wahrscheinlich aber die Gewichtung wird neu geringer eingestuft.

Risikonummer	2
Risiko	Kein Zugriff auf das Gebäudeleitsystem
Prävention	Keine Prävention. Zugriff möglich oder nicht.
Auswirkung	Die thermische Simulation kann mit einer geringen Ungenauigkeit durchgeführt werden.
Eintretenswahrscheinlichkeit nach Prävention	eher unwahrscheinlich
Risikonummer	3

Risiko	Grundlagen resp. Revisionspläne der Gebäudetechnik nicht ausreichend dokumentiert
Prävention	Keine Prävention möglich. Die Revisionspläne können nicht beeinflusst werden.
Auswirkung	Die thermische Simulation kann mit einer geringen Ungenauigkeit durchgeführt werden.
Eintretenswahrscheinlichkeit nach Prävention	eher unwahrscheinlich

Risiknummer	4
Risiko	Arbeitszeiten im Nutzungsprofil wird von den MA unzureichend ausgefüllt
Prävention	Aktiv auf Mitarbeiter/innen zugehen. Wichtigkeit der Nutzungsprofiles erklären.
Auswirkung	Das Nutzungsprofil wird vollständig ausgefüllt.
Eintretenswahrscheinlichkeit nach Prävention	Unwahrscheinlich und geringere Gewichtung

Zu den identifizierten Risiken wurde, wenn möglich, eine Prävention ausgearbeitet. Durch die Reduzierung der Risiken 1 und 4 kann das Projekt ohne grosse Gefährdung durchgeführt werden. Durch die Bearbeitung des thermischen Zwillings mit dem MuKE n und EnDK können jedoch geringe Abweichungen zum realen Gebäude entstehen. In der Abbildung 5-4 werden die Risiken nach der Prävention neu visualisiert.

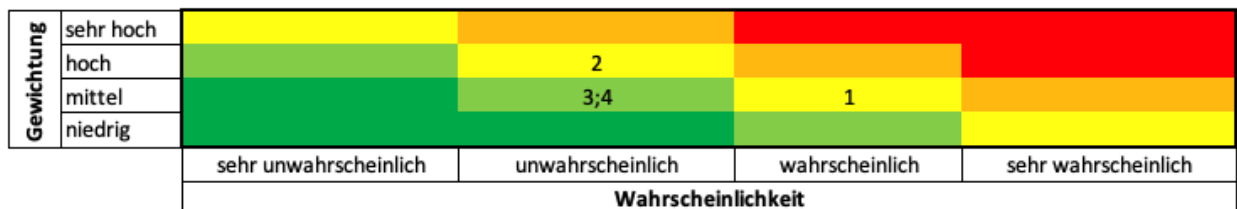


Abbildung 5-4 Risikoanalyse nach Prävention
(Quelle: Eigene Darstellung)

6 Projektrealisierung

Die beiden abgeschlossenen Phasen der Projektinitialisierung sowie der Projektplanung bilden die Basis für die Phase der Projektrealisierung. Im Kapitel 6 wird der IST- Zustand analysiert und mögliche Varianten für die Optimierung der Energieeffizienz erarbeitet und ausgewertet. Im folgenden Kapitel 6.1 wird der IST-Zustand der Büroräumlichkeit der Firma EPRO GROUP beschrieben.

6.1 Analyse des IST- Zustandes

Um den aktuellen Zustand des Gebäudes realitätsnah in der Simulationssoftware IDA ICE zu simulieren, müssen die Grundlagen des Gebäudes analysiert, aufbereitet und in das IST- Modell eingearbeitet werden.

6.1.1 Gebäudehülle / Bauphysik

Das Gebäude an der Bahnhofstrasse 4 in 3073 Gümligen wurde im Jahr 2000 errichtet. Als Ausgangslage für die Gebäudesimulation sind die bestehenden Bauteile massgebend. Die Materialien für die Berechnung der U-Werte (Wärmedurchgangskoeffizient), werden dem Architekturgrundriss und dem Gebäudeschnitt entnommen und in der Tabelle 6-1 aufgeführt. Die Architekturpläne sind im Anhang 1.1 zu entnehmen.

Tabelle 6-1 U-Werte der Bauteile

Bauteil	U-Wert [W/m ² K]	Beschreibung
Aussenwand	0.2313	Fassade Wellblech mit Backstein, Dämmung und Luftspalt
Innenwand	2.095	Backsteinwand
Dach	0.2537	Betondecke mit Dämmung und extensive Begrünung
Boden	0.9514	Betonboden mit Überzug Wärmedämmung und Belag

Fenster

Für die Fenster ist keine Grundlage der Architektur vorhanden. Die Fenster wurden jedoch seit dem Baujahr nicht saniert. Mit dem Merkblatt [4] können die Fenster mit dem Baujahr und der Materialisierung identifiziert und berechnet werden. Es gibt für das ganze Gebäude zwei Fenstertypen. Im Süd- und Ostteil wurden 2-fach verglaste Fenster mit Holz-Metall Rahmen eingesetzt und im Innenhof, im Norden und Westen des Gebäudes, Fenster mit Verbundprofilen. Das Merkblatt [4] legt für den Glastyp den g-Wert der Fenster fest, der definiert, wieviel Sonnenstrahlung durch das Glas hindurchgelassen wird. Der Tabelle 6-2 sind die genauen Daten für die beiden Fenstertypen zu entnehmen.

Tabelle 6-2 U- Werte der Fenster

Bauteil	U-Wert [W/m ² K]	g-Wert [%]	Fensteranteil [%]	Beschreibung
Fenster Süd / Ost	1.562	0.62	81	2fach verglast. Wärmeschutzglas und einer selektiven Schicht mit Gasfüllung (Argon) mit Holz/Holz-Metall Rahmen
Fenster Nord / West und Innenhof	1.704	0.62	88.5	2fach verglast. Wärmeschutzglas und einer selektiven Schicht mit Gasfüllung (Argon) mit Wärmegeprägten Verbundprofilen

6.1.2 Wetterdatensatz

Für die Gebäudesimulation werden Wetterdaten in der Simulationssoftware IDA ICE hinterlegt, die Referenzjahre abbilden. Die Wetterdatensätze der SIA 2028:2010 bestehen aus Daten von 40 Wetterstationen aus 12 unterschiedlichen Regionen [5]. Die Auswahl des Datensatzes liegt idealerweise auf einer Wetterstation, die sich in der gleichen Region wie das zu simulierende Gebäude befindet und möglichst eine ähnliche geografische Lage aufweist. Dabei ist auch die Höhe über dem Meeresspiegel zu berücksichtigen, die nicht zu stark abweichen soll.

Für die Bearbeitung der Büroräumlichkeit der EPRO GROUP wird die Klimastation Bern, Liebefeld eingesetzt.

Für den Energiebedarf wird der Standardjahresdatensatz aus der SIA 2028:2010 eingesetzt. Für die Kühllast- und Heizlastberechnung gibt es einen vordefinierten Datensatz gemäss SIA 2028:2010 Absatz 3.7 und 3.8 [5]

6.1.3 Gebäudetechnik

Die Bürofläche der EPRO GROUP wird aktiv gekühlt, beheizt und belüftet. In diesem Kapitel werden die technischen Anlagen und Systeme, die für die jeweiligen Prozesse eingesetzt werden, detailliert beschrieben.

Kühldecke

Die Bereiche OpenSpace, Gruppen- und Einzelbüros, der Empfang sowie die Cafeteria werden über eine aktive Kühldecke klimatisiert. Die benötigte Kälteenergie wird von einer auf dem Dach installierten Kältemaschine bereitgestellt. Die Kälteanlage arbeitet in zwei Betriebsarten: «Komfort» und «Bereitschaft». Der «Komfort-Modus» regelt die Kühlung während der Bürozeiten, während der «Bereitschaft-Modus» über Nacht aktiv ist. Beide Modi richten sich nach festgelegten Sollwerten für die Raumtemperatur, die je nach Betriebsart variieren.

Heizkörper

Die beheizten Räume sind mit Heizkörpern ausgestattet, die entweder unter oder vor den Fenstern installiert sind. Die Heizkörper werden über den Boden mit Energie versorgt, die durch eine zentrale Gasheizung für das gesamte Gebäude bereitgestellt wird.

Um Energie zu sparen, wird die Raumtemperatur nachts und sonntags durch eine Nachtabsenkung reduziert. Diese Absenkung passt den Sollwert der Heizung entsprechend an, um den Energieverbrauch zu minimieren.

Lüftung

Das gesamte Bürogebäude verfügt über eine mechanische Lüftungsanlage die durchgehend in Betrieb ist. Die OpenSpace-Bereiche und Sitzungszimmer sind miteinander verbunden und werden durch variable Volumenstromregler gesteuert. Sobald der CO₂-Gehalt in einem Sitzungszimmer steigt, wird der Frischluftstrom im OpenSpace-Bereich reduziert, während die Abluftmenge konstant bleibt. Dies wird durch die Überströmung der Luft aus den Sitzungszimmern in die OpenSpace-Bereiche erreicht.

Die Einzel- und Gruppenbüros verfügen über konstante Volumenstromregler, welche die Luftmengen in diesen Räumen steuern.

Die Cafeteria wird ebenfalls durch einen variablen Volumenstromregler angepasst, der sich nach dem CO₂-Gehalt der Luft richtet. Alle WC-Anlagen im Gebäude sind mit Abluftventilatoren ausgestattet, um eine kontinuierliche Entlüftung zu gewährleisten. Um die Luft auf die definierte Einblastemperatur zu bringen, ist beim Monoblock ein Kühlregister und ein Heizregister installiert. Diese sind der Heizungs- und Kälteanlage angeschlossen.

Die genaue Planung der erwähnten Systeme ist dem Anhang 1.2-1.3 zu entnehmen.

In der Tabelle 6-3 der folgenden Seite werden die Sollwerte für die Räume, welche aktiv gekühlt, beheizt und oder belüftet werden, aufgelistet.

Tabelle 6-3 Sollwerte Heizung, Kälte und Lüftung

Raumnummer	Name	Raumtemperatur Sommer		Raumtemperatur Winter		Luftqualität [ppm]
		Komfort [°C]	Bereitschaft [°C]	Heizen [°C]	Nachtabsenkung [°C]	
01	Openspace_Schadau	25.0	26.0	23.0	16.0	900.0
02	Openspace_Eicholz	25.5	26.5	23.0	16.0	1'000.0
03	OpenSpace_Marzili	25.0	26.0	22.0	16.0	1'000.0
31	Sitzungszimmer_Schadau	23.5	23.5			500.0
32	Sitzungszimmer_Eicholz	23.5	23.5			500.0
33	Sitzungszimmer_Marzili	23.5	23.5			500.0
41	Büro_Teamleiter	24.0	25.0	22.0	16.0	
42	Büro_Teamleiter	24.0	25.0	22.0	16.0	
43	Büro_Teamleiter	24.0	25.0	21.0	16.0	
44	Bürro_Teamleiter	24.5	25.0	22.0	18.0	
45	Büro_Teamleiter	24.5	25.0	22.0	19.0	
46	Büro_Geschäftsleitung_1	23.0	25.0	23.0	16.0	
47	Büro_Geschäftsleitung_2	24.0	25.0	23.0	16.0	
48	Büro_Geschäftsleitung_3	24.0	25.0	23.0	16.0	
49	Büro_Admin	23.0	25.0	23.0	16.0	
50	Empfang	24.0	25.0	23.0	16.0	
60	Cafeteria / Küche	24.0	25.0	23.0	16.0	900.0
73	WC_Damen			22.0	16.0	
80	Serverraum	-	-	20.0	16.0	-
91	Korridor_WC			22.0	16.0	

6.1.4 Gebäudezonen / Nutzungsprofil

Wie in der Abbildung 6-1 wird das 4. Obergeschoss in zehn Raumnutzungen aufgeteilt, die den vordefinierten Raumnutzungen der SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein) 2024 [6] entsprechen. Die Zuordnung ermöglicht es, Standardwerte für die Energie und Gebäudetechnik einzusetzen. Durch die Standardwerte können die Räume in der Simulationssoftware dargestellt werden.

Das Geschoss ist in vier grosse Bereiche mit zwei Eingängen unterteilt. Die Hauptflächen umfasst vor allem die Grossraumbüros und die Cafeteria. Ergänzt werden diese durch Einzel- und Gruppenbüros sowie diverse Nebenräume. Für die Grossraumbüros, die Einzel- und Gruppenbüros, die Sitzungszimmer und die Cafeteria wurden projektspezifische Nutzungsprofile erstellt. Diese werden im Kapitel 6.1.5 genauer beschrieben. Für die Bereiche WC, Verkehrsflächen, Serverraum und Nebenräume werden die Standardwerte der SIA 2024 [6] verwendet.

- Legende Zonen
- Openspace (Grossraumbüro)
 - Einzel-, Gruppenbüro
 - Sitzungszimmer
 - Serverraum
 - Empfang, Lobby
 - Küche, Teeküche
 - WC
 - Verkehrsfläche
 - Nebenraum
 - Steigzone



Abbildung 6-1 Zonenplan, EPRO GROUP
(Quelle: Eigene Darstellung)

6.1.5 Projektspezifische Nutzungen

Die Nutzungsprofile, die den grössten Einfluss auf die Bürofläche der EPRO GROUP haben, werden in diesem Kapitel genauer untersucht und beschrieben. Dazu gehören das Openspace (Grossraumbüros), die Einzel- und Gruppenbüros (Büro Teamleiter), die Sitzungszimmer und die Cafeteria. Die folgenden Auswertungen werden jeweils anhand der vier Beispielräume dargestellt.

Zeitplan

Für die Erstellung des Belegungsplans der Nutzung des Openspaces und der Einzel- und Gruppenbüros, wird eine Befragung der Arbeitszeiten und Abwesenheiten der Mitarbeiter/innen durchgeführt. Der Belegungsplan bildet die Nutzung von Räumen, Beleuchtung und elektrischen Geräten ab. Basierend auf diesen Daten kann ein Referenzmonat definiert werden, der als Grundlage für das gesamte Jahr dient. Zudem werden Abwesenheiten, wie Ferienzeiten oder Homeoffice, in der Gebäudesimulation berücksichtigt. Die Auswertungen der Zeitpläne finden sich im Anhang 2.2 bis 2.3.

Der Zeitplan für die Cafeteria wird auf Basis der maximalen Sitzplatzkapazität von 45 Personen sowie der Pausenzeiten der Mitarbeiter/innen entwickelt. Für die Sitzungszimmer werden die Outlook-Termine der jeweiligen Räume ausgewertet, um die Belegungszeiten exakt zu erfassen.

Flächen

Bei der Analyse der Raumflächen tritt hervor, dass die spezifischen Flächen pro Person von der SIA 2024 [6] abweichen. Die Openspace- Bereiche und die Cafeteria sind grosszügiger als in der SIA 2024. Bei den Sitzungszimmern ist die EPRO GROUP hingegen tiefer als die Norm während die meisten Einzel- Gruppenbüros diesen Standards genau entsprechen. [6] In der folgenden Tabelle 6-4 wird der Vergleich anhand von vier Beispielräumen aufgezeigt.

Tabelle 6-4 spezifische Fläche pro Person

Raumname	Raumnutzung SIA 2024 [-]	Spez. Fläche pro Person Projektspezifisch [m ² /P]	Spez. Fläche pro Person SIA 2024 [m ² /P]
01_Openspace_Schadau	Grossraumbüro	12.8	10.0
33_Sitzungszimmer_Marzili	Sitzungszimmer	2.0	3.0
41_Büro_Teamleiter	Einzel-, Gruppenbüro	13.1	14.0
60_Cafeteria / Küche	Küche, Teeküche	3.1	2.0

Interne Wärmequellen / Wärmeeinträge

Die SIA 2024 [6] beschreibt die internen Wärmequellen eines Gebäudes als Teil der Gesamtwärmebilanz. Die internen Wärmequellen tragen zur Erwärmung der Raumluft bei. Sie spielen eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit der Heiz- und Kühllast und dem Energiebedarf.

Zu den internen Wärmequellen zählen das Personal, die Beleuchtung und die elektronischen Geräte. Nachfolgend werden die genannten Quellen und deren Auswirkung auf die Raumtemperatur aufgeführt.

Personen

Personen geben Wärme über ihre Körpertemperatur an die Umgebung ab, wobei die Wärmeabgabe je nach Aktivitätsniveau und Anzahl der anwesenden Personen variiert. Laut SIA 2024 [5] wird für die Berechnung der Abwärmeleistung in allen Projektbereichen eine Wärmeeintragsleistung pro Person von 84 W im Sommer und 94 W im Winter verwendet.

Beleuchtung

In den folgenden Abschnitten wird die Beleuchtung für die projektspezifischen Räumlichkeiten, siehe Abbildung 6-2, beschrieben. Die genauen Leistungswerte der einzelnen Leuchten sind dem Anhang 3 zu entnehmen.

In den Openspace- und den Gruppen- und Einzelbüros sind über jeder Arbeitsinsel flexibel platzierte Deckenleuchten installiert. Zusätzlich sorgen im Openspace-Bereich vier Pendelleuchten für die Beleuchtung der Innenzone.

Die Cafeteria und der Empfangsbereich sind ebenfalls mit Pendelleuchten ausgestattet, wobei im Empfang zusätzlich Einbauspots eingesetzt werden. Die WC-Bereiche sind mit platzsparenden Deckeneinbauleuchten versehen. Die Beleuchtung wird durch Bewegungssensoren gesteuert, die auf die Anwesenheit der Mitarbeiter/innen reagieren, um den Energieverbrauch effizient zu regulieren. Diese Konfiguration wurde in die Simulation integriert.



Abbildung 6-2 Elektroplan, Bahnhofstrasse 4
(Quelle: Eigene Darstellung)

Durch die Analyse der bestehenden Leuchten mit dem Elektroplan und den dazugehörigen Datenblättern zeigt sich, dass die EPRO GROUP bereits sehr energieeffiziente Leuchten eingesetzt hat. Die spezifische Abwärmeleistung pro Fläche wird in der Tabelle 6-5 mit der SIA 2024 [6] aufgezeigt.

Tabelle 6-5 spezifische Leistung Leuchten

Raumname	Raumnutzung SIA 2024 [-]	spez. Leistung Leuchten Projektspezifisch [W/m ²]	spez. Leistung Leuchten SIA 2024 [W/m ²]
01_Openspace_Schadau	Grossraumbüro	4.2	9.8
33_Sitzungszimmer_Marzili	Sitzungszimmer	3.8	12.5
41_Büro_Teamleiter	Einzel-, Gruppenbüro	6.1	12.5
60_Cafeteria / Küche	Küche, Teeküche	5.1	5.1

Elektronische Geräte

In den folgenden Abschnitten wird die elektronische Ausstattung für die projektspezifischen Räumlichkeiten beschrieben. Die genauen Leistungswerte der einzelnen Geräte sind dem Anhang 3.2 zu entnehmen.

Arbeitsplätze (Openspace, Einzel- und Gruppenbüro)

Alle Mitarbeiter/innen der EPRO GROUP verfügen über die gleiche technische Ausstattung. Jeder Mitarbeitende ist mit einem Dell-Notebook und zwei Monitoren ausgerüstet. Die Mitarbeiter/innen/innen verteilen sich in den Openspace, Einzel- und Gruppenbüros und dem Empfang.

Die elektrischen Leistungen werden mit dem Energiemessgerät MAX HAURI AG KWE-PMB05-SW gemessen.

Dieses Messgerät hat eine Genauigkeit von +/- 2%. Ein Arbeitsplatz erzeugt eine Abwärmeleistung von 81.5 W. Diese Leistung setzt sich aus den Bildschirmen und dem Notebook zusammen. Die Leistung wird für jedes der Geräte separat gemessen.

Sitzungszimmer

In den Sitzungszimmern steht ein grosser -BenQ Bildschirm zur Verfügung, der für Präsentationen und Bildschirmübertragungen genutzt wird.

Cafeteria

Die Cafeteria bietet eine Kaffeemaschine, drei Kühlschränke, drei Spülmaschinen sowie zwei Dampfgarer/Mikrowellen, um den Mitarbeitenden eine angenehme Pausenzeit zu ermöglichen. Die elektrischen Leistungen für die Cafeteria betragen 12.44 kW.

Vergleicht man die spezifischen Leistungen mit den SIA-Werten [6], zeigt sich, dass die EPRO GROUP bei den Arbeitsplätzen eine geringere spezifische Abwärmeleistung aufweist. Im Gegensatz dazu ist die Abwärmeleistung in den Sitzungszimmern und der Cafeteria, bedingt durch die grosszügige Ausstattung, höher als die in der Norm festgelegten Werte. Sämtliche Leistungsangaben vom Kapitel 6.1.4 sowie der Elektroplan sind im Anhang 3 aufgelistet.

Tabelle 6-6 spezifische Leistung, elektrische Geräte

Raumname	Raumnutzung SIA 2024 [-]	spez. Leistung elektr. Geräte Projektspezifisch [W/m ²]	spez. Leistung elektr. Geräte SIA 2024 [W/m ²]
01_Openspace_Schadau	Grossraumbüro	6.3	15.0
33_Sitzungszimmer_Marzili	Sitzungszimmer	14.7	8.0
41_Büro_Teamleiter	Einzel-, Gruppenbüro	6.2	11.0
60_Cafeteria / Küche	Küche, Teeküche	89.9	40.0

Die in diesem Kapitel ermittelten Daten werden in das Simulationsmodell eingearbeitet. Die Auswertung des Modells stellt den IST-Zustand dar und wird im nachfolgenden Kapitel 6.2 beschrieben.

6.2 Auswertung des IST- Zustandes

Um mögliche Massnahmen für die Energieoptimierung zu definieren, erfolgt eine Simulation. Die detaillierte Auswertung der Simulation ist den folgenden Kapiteln zu entnehmen. Anschliessend werden im Kapitel 6.3 und 6.4 die entsprechenden Varianten vorgestellt. Die detaillierten Auswertungen der in den folgenden Kapiteln dargestellten Diagrammen 6-1 bis 6-10 sind dem Anhang 4 zu entnehmen.

6.2.1 Auswertung Heizung installierte Leistung

Aus den Simulationsergebnissen tritt hervor, dass die aktuell installierte Heizleistung für die hohen Sollwerte bei den meisten Räumen nicht ausreichend ist. Somit wird die Raumtemperatur, resp. der Sollwert, bei fast allen Räumen nicht erreicht.

Bei der Heizlastberechnung werden keine internen Wärmequellen wie Personen, elektrische Geräte oder Leuchten miteingerechnet. Das Gebäude wird in leerem Zustand berechnet. [7]

Zu beachten ist, dass die Sollwerte projektspezifisch sind und nicht nach Norm [6] eingestellt sind.

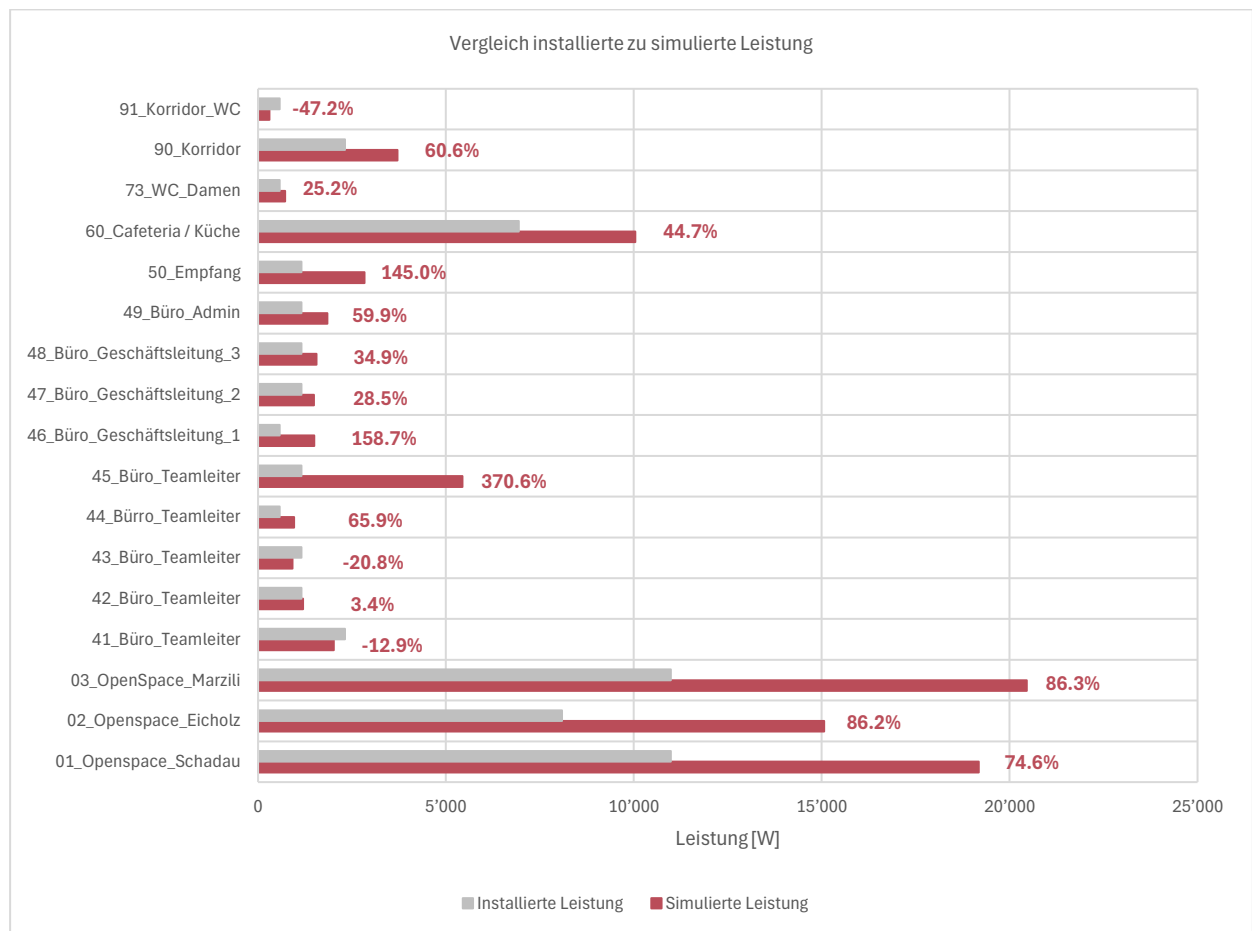


Diagramm 6-1 Vergleich installierte zu simulierte Leistung, Heizung

Um den Sollwert von 23°C einzuhalten, was fast bei allen Räumen zutrifft, müsste ca. 70% mehr Leistung installiert werden.

6.2.2 Auswertung Kälte installierte Leistung

Aus den Simulationsergebnissen tritt hervor, dass erhebliche Unterschiede zwischen der installierten Leistung, in Grau dargestellt, und der simulierten Leistung, in Lila dargestellt, bestehen. Es ist zu beachten, dass die mechanische Lüftung, die mit einer Untertemperatur in den Raum eingeblasen wird, in diesem Diagramm nicht dargestellt ist. Diese bleibt in beiden Fällen gleich, da sie durch die CO₂-Konzentration in der Luft geregelt wird.

Im Diagramm 6-2 wird die Abweichung der aktiv gekühlten Räume in Prozent aufgezeigt.

Anders als bei der Heizlastermittlung werden interne Wärmeeinträge bei der Kühllastermittlung berücksichtigt. [7]

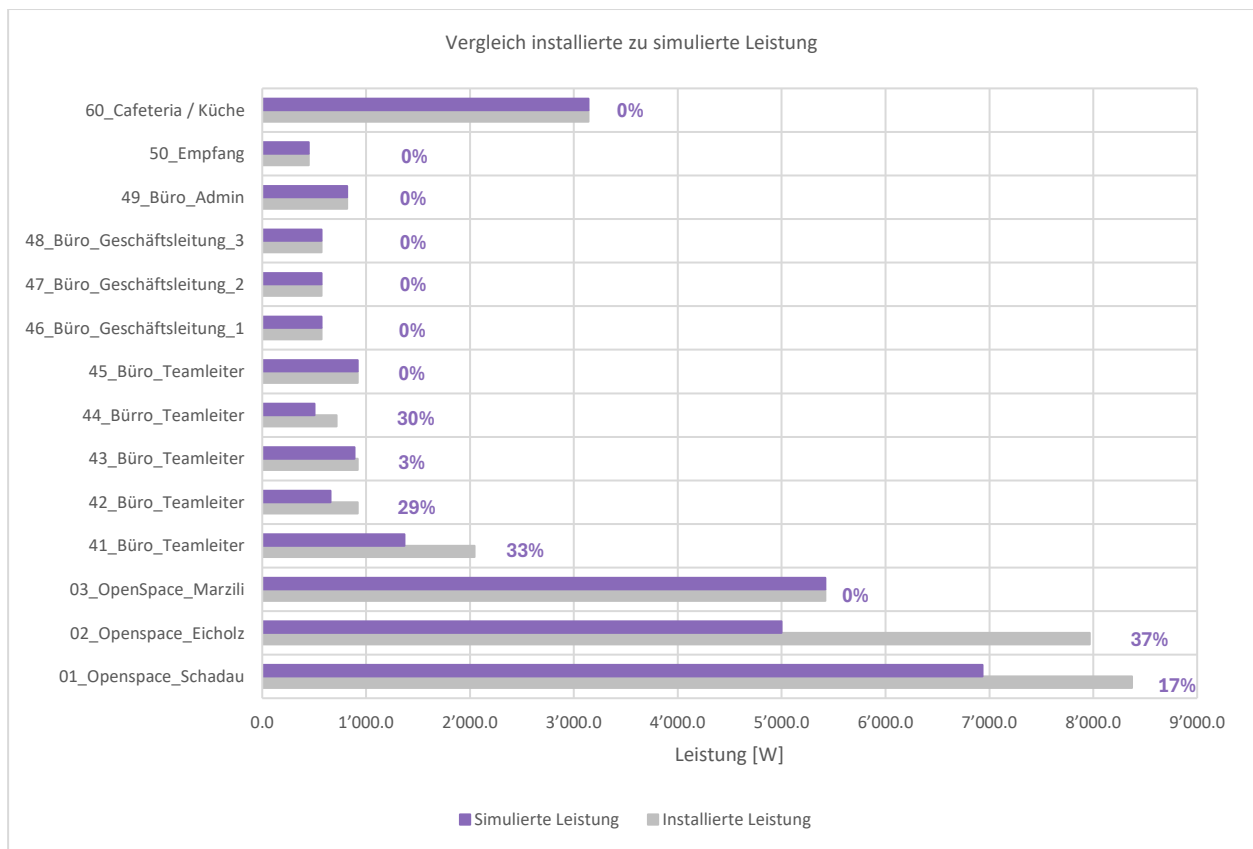


Diagramm 6-2 Vergleich Kälte installierte zu simulierte Leistung

Betrachtet man die gesamte Bürofläche, ergibt sich eine Abweichung von 17 % zwischen der installierten und der simulierten Leistung.

6.2.3 Energiebedarf Heizung

Das Diagramm 6-3 zeigt den jährlichen thermischen Nutzenergiebedarf der Heizung auf. Der Bedarf für die Heizkörper beträgt 44'603 kWh/a. Um den Sollwert von 22 °C in der Lüftungsanlage zu erreichen, wird diese zusätzlich über das Heizregister erwärmt, was zu einem weiteren Energieverbrauch von 59'418 kWh/a führt.

Das Diagramm zeigt auf, dass die grössten Wärmeverluste in den Openspace-Bereichen und der Cafeteria auftreten, da hier die Fassaden- und Fensterflächen am umfangreichsten sind. Einzel- und Gruppenbüros hingegen weisen aufgrund ihrer geringeren Fassadenfläche einen niedrigeren jährlichen Heizenergiebedarf auf. Da die Sitzungszimmer innenliegend sind und nicht aktiv beheizt werden, haben sie keinen Heizwärmebedarf.

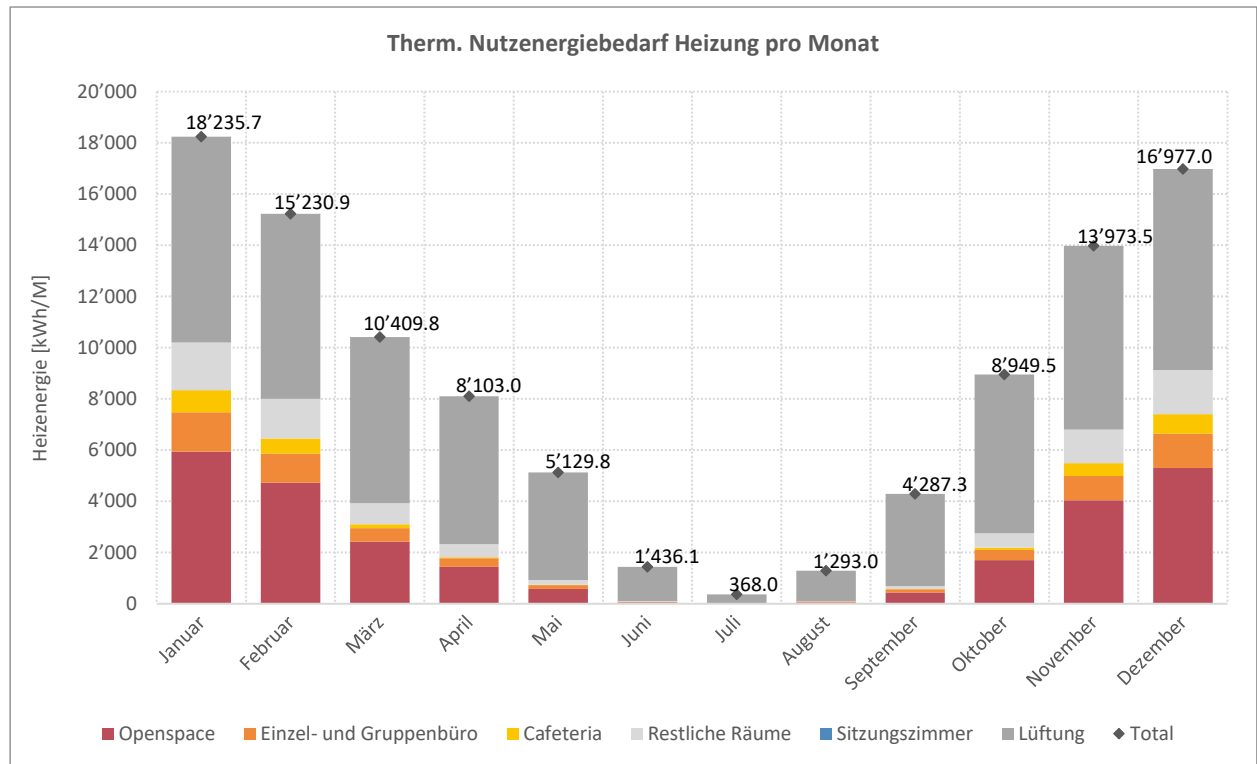


Diagramm 6-3 Thermischer Nutzenergiebedarf Heizung pro Monat

Im Vergleich zur SIA 2024 liegen die Hauptnutzungen mit dem spezifischen Heizwärmebedarf pro m² zwischen dem Standardwert für einen Neubau und dem Wert für bestehende Gebäude [6]. Dies verdeutlicht die Tabelle 6-7.

Tabelle 6-7 Vergleich Heizwärmebedarf spezifischer Projektwert mit SIA 2024

Raumnutzung [-]	Projektspezifisch [kWh/m ²]	SIA 2024 Bestand [kWh/m ²]	SIA 2024 Standardwert [kWh/m ²]
Openspace	38.8	46.8	1.3
Sitzungszimmer	0.0	102.5	17.7
Einzel- Gruppenbüro	32.3	69.3	10.7
Cafeteria	21.3	105.4	0.6

6.2.4 Energiebedarf Kälte

Das Diagramm 6-4 stellt die Analyse des Ist-Zustands des Energiebedarfs für die Kühlung dar. Die Kühldecke benötigt jährlich 15'439 kWh an Kälteenergie. Zusätzlich wird die Zuluft über das Kühlregister heruntergekühlt, was weitere 1'934 kWh/a erfordert.

Der Juli verzeichnet mit 5'165.5 kWh den höchsten monatlichen Energiebedarf. Durch den Einsatz effizienter Beleuchtung und elektrischer Geräte, die weniger Energie als in der SIA 2024 [6] benötigen, sowie die geringe Personendichte, ist der Kühlenergiebedarf, entgegen der Erwartungen, niedriger als der Heizenergiebedarf.

Die Hauptverbraucher der Kühlung sind die Openspace-Bereiche, die Einzel- und Gruppenbüros sowie die Cafeteria. Diese Raumtypen machen den grössten Anteil des gesamten Kälteenergiebedarfs aus. Die Sitzungszimmer werden nicht aktiv gekühlt und haben aus diesem Grund keinen Energiebedarf.

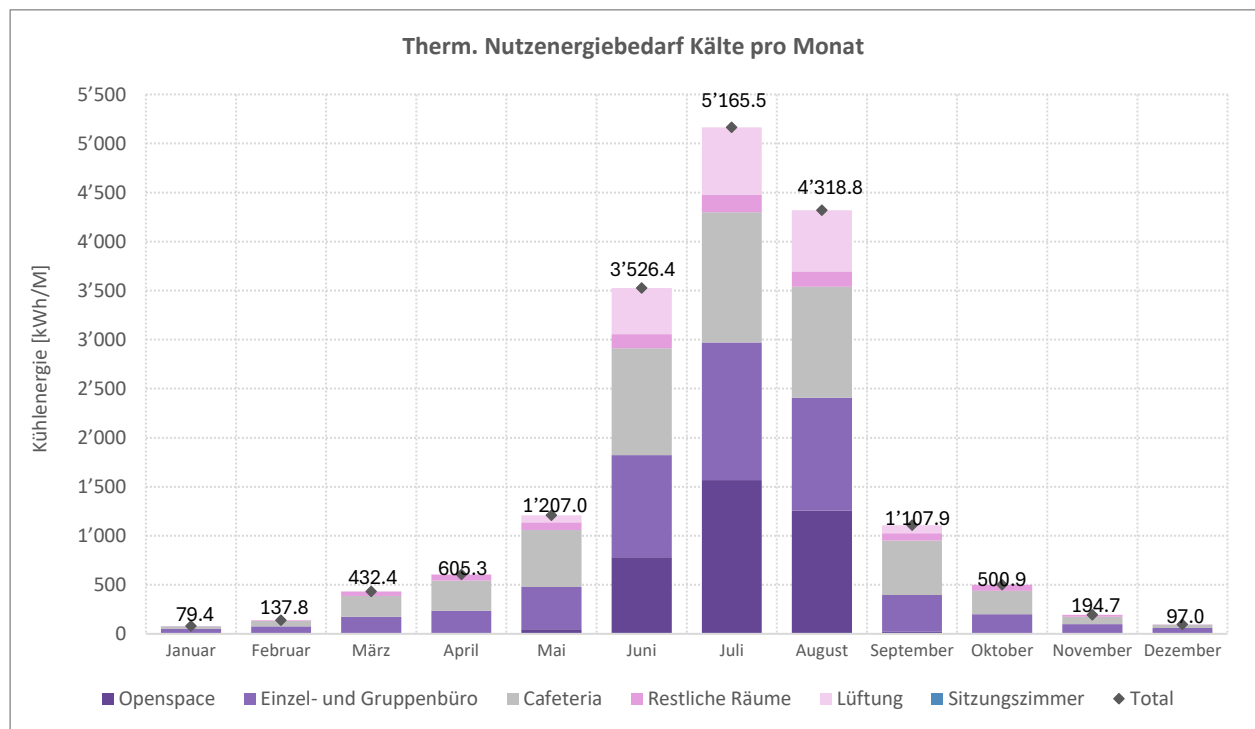


Diagramm 6-4 Thermischer Nutzenergiebedarf Kälte pro Monat

Vergleicht man die projektspezifischen Werte mit dem SIA 2024 [6] für bestehende Gebäude und Neubauten zeigt sich, dass der mittlere Wert des Openspace unter dem Normwert liegt. Hingegen befindet sich der spezifische Kältebedarf der Einzel- Gruppenbüros deutlich über den Werten der SIA. Diese Feststellung ist der folgenden Tabelle 6-8 zu entnehmen.

Tabelle 6-8 Vergleich Kühlbedarf spezifischer Projektwert mit SIA 2024

Raumnutzung [-]	Projektspezifisch [kWh/m ²]	SIA 2024 Bestand [kWh/m ²]	SIA 2024 Standardwert [kWh/m ²]
Openspace	5.4	6.9	25.2
Sitzungszimmer	0.0	0.0	8.1
Einzel- Gruppenbüro	26.2	4.4	15.4
Cafeteria	40.7	0.0	0.0

6.2.5 Auswertung der Lufttemperatur

Die Auswertung der Lufttemperatur wird für alle projektspezifischen Beispierräume aufgezeigt. Der Temperaturverlauf der Räume wird pro Jahreszeit ausgewertet.

Das Diagramm 7.5 zeigt die deutliche Nachtabsenkung während einer Winterwoche. Durch den eingestellten Sollwert überschreiten die Räume Openspace_Schadau, Büro_Teamleiter und die Cafeteria tagsüber den unteren Grenzwert von 21°C. Am Mittag ist die Cafeteria durch die hohe Personenbelegung sogar über 23°C. Beim Sitzungszimmer ist der Verlauf der Personenbelegung ersichtlich. Da dieser Raum nicht aktiv beheizt wird, sinken die Temperaturen im Verlauf des Tages. Am Samstag wird das Gebäude nur bis um 12:00 Uhr beheizt und wechselt von da an bis Montagmorgen in die Nachtabsenkung.

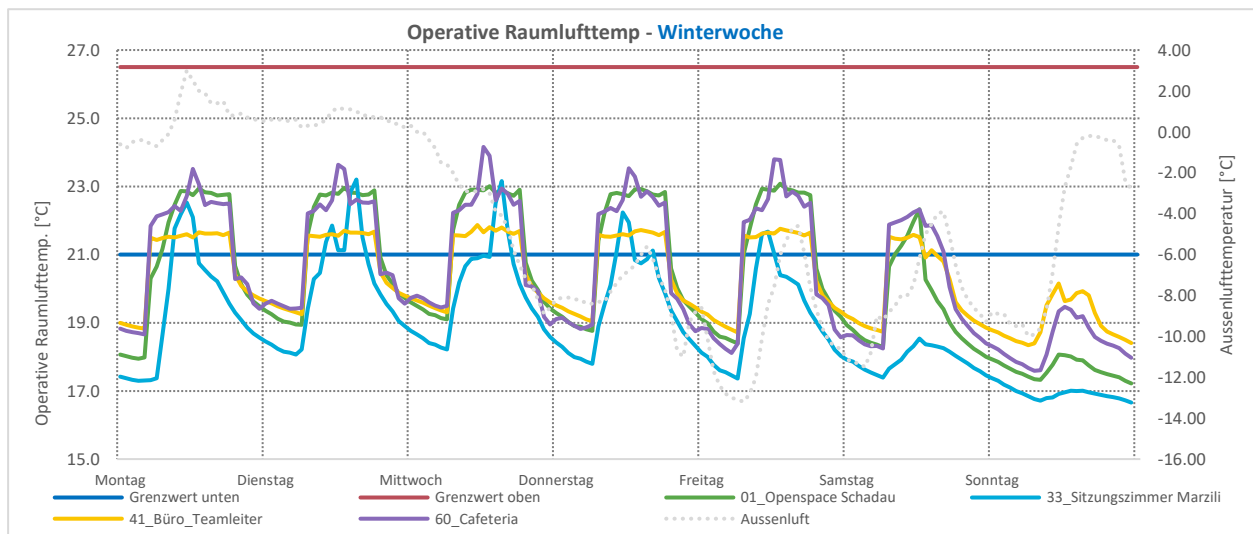


Diagramm 6-5 Operative Raumlufttemperatur, Winterwoche

In der Frühlingswoche erreicht die Cafeteria am Mittag bereits über 25°C. Bei der Nachtabsenkung kommen die Räume Openspace und Sitzungszimmer nur noch knapp unter 21°C. Die Einzel- Gruppenbüros (41_Büro_Teamleiter) sind konstant über 21°C.

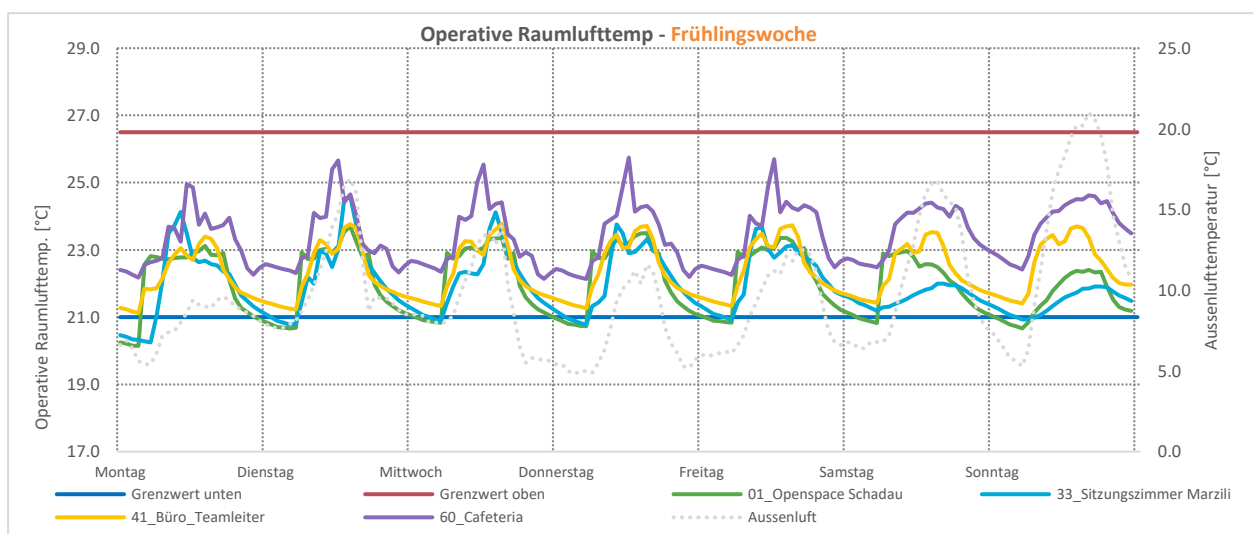


Diagramm 6-6 Operative Raumlufttemperatur, Frühlingswoche

In der Sommerwoche, siehe Diagramm 6-7, befindet sich die Cafeteria am Mittag trotz der geringen Belegung und unter aktiver Kühlung über dem Grenzwert von 26.5°C und erreicht einen Spitzenwert von 28.8 °C. Die Sitzungszimmer werden nicht aktiv gekühlt und überschreiten durch die Belegung ebenfalls die 26.5°C. Dies geschieht nur bei voller Belegung. Die Einzel- und Gruppenbüros sowie die Openspace-Bereiche haben einen Tagesverlauf zwischen 23.5 und 25.5°C.

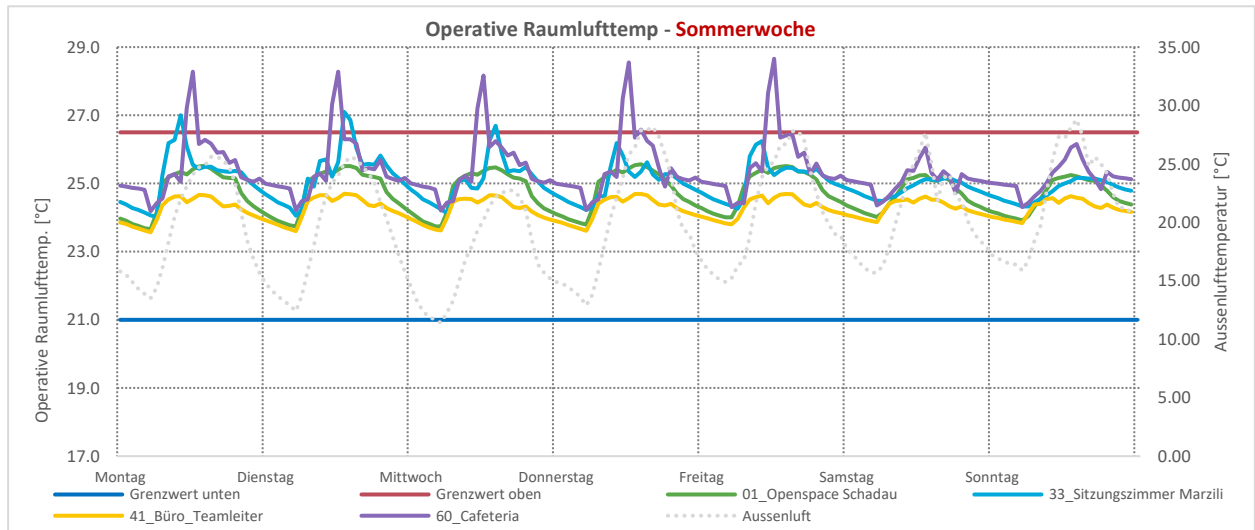


Diagramm 6-7 Operative Raumlufttemperatur, Sommerwoche

Die Herbstwoche im Diagramm 6-8 verhält sich relativ gleich wie die Frühlingswoche. Die wärmste Raumtemperatur erreicht die Cafeteria am Mittag. Die Sitzungszimmer bleiben warm, da die Bürofläche teilweise wieder beheizt wird.

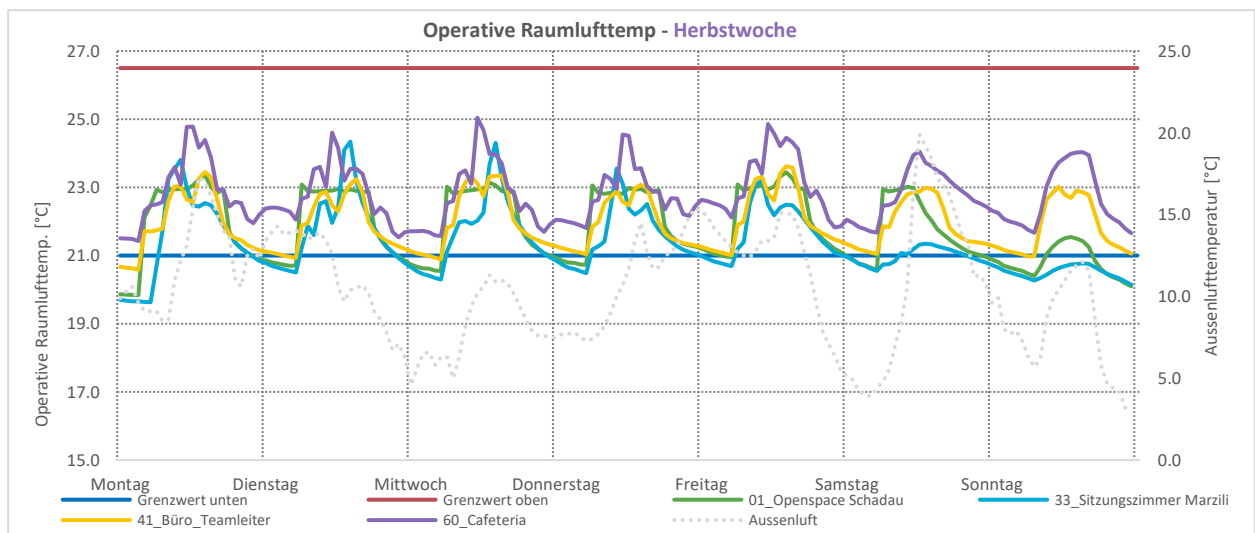


Diagramm 6-8 Operative Raumlufttemperatur, Herbstwoche

6.2.6 Auswertung Luftqualität anhand der CO₂- Konzentration

Die Luftqualität, welche anhand der CO₂-Konzentration beurteilt wird, wird für das ganze 4. Obergeschoss ausgewertet und anhand der vier projektspezifischen Beispielräume aufgezeigt. Die CO₂- Konzentration erreicht im Winter und Sommer den Grenzwert von 1'400 ppm nie [8]. Wie in den beiden Diagrammen 6-9 und 6-10 ersichtlich, wird durch den minimal eingestellten Frischluftanteil, der Infiltration aufgrund undichter Bauteile und der tiefen Personenbelegung im Openspace- Bereich die CO₂- Konzentration nie hoch ansteigen.

In den Sitzungszimmern kann die CO₂- Konzentration aufgrund der grossen Personenanzahl während Besprechungen und der geringen Fläche am höchsten ausfallen. Die Lüftungsanlage schaltet bei 500 ppm ein. Die Überströmung in den Openspace- Bereich ist hingegen tiefer, da die Sitzungstüre zu ist. Die meisten Sitzungen finden am Montag und Dienstag statt, auch dies ist den beiden Diagrammen deutlich zu entnehmen.

In den Bereichen der Einzel- Gruppenbüro (Büro_Teamleiter) wird konstant Luft eingblasen und abgesaugt. Durch die konstante Be- und Entlüftung sowie die grosszügigen Flächen und der Infiltration steigt die CO₂- Konzentration im Sommer und Winter nur knapp über 800 ppm an.

Die Cafeteria weist am Mittag die höchste Konzentration auf. Im Winter steigt sie während dem Mittag auf über 1'000 ppm. Im Sommer ist der CO₂ Anteil geringer, da viele Mitarbeiter/innen/innen ihre Mittagspause auf der Terrasse verbringen.

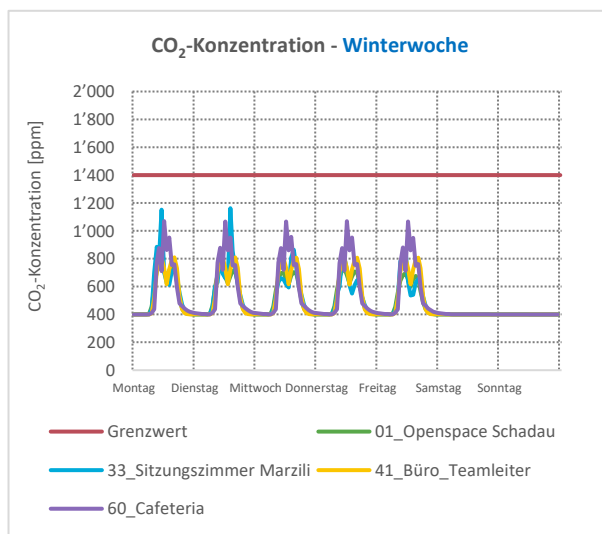


Diagramm 6-9 CO₂- Konzentration, Winterwoche

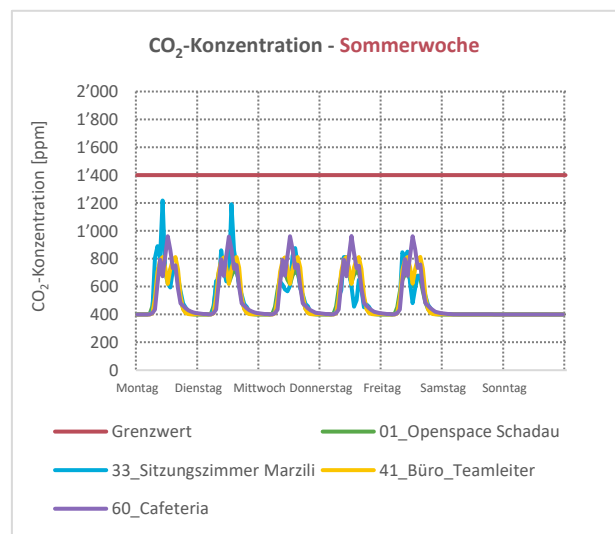


Diagramm 6-10 CO₂- Konzentration, Sommerwoche

Die in diesem Kapitel analysierten Daten der Erhebung bilden die Grundlage dafür, in den folgenden Kapiteln 6.3 und 6.4 Varianten zur Optimierung der Energieeffizienz zu entwickeln.

6.3 Variante 1 – Anpassung der Sollwerte

Aus der Analyse des IST- Zustands stechen zwei wesentliche Aspekte deutlich heraus. Dies betrifft einerseits die Sollwerte für die Heizung, Kälte und Lüftung, welche projektspezifisch eingestellt sind und andererseits die Fenster, welche eine schlechte Wärmeisolierung aufweisen.

Im Kapitel 6.3.1 werden Anpassungen an den Sollwerten vorgenommen und anschliessend die Veränderungen ausgewertet. Dies ist eine niederschwellige Anpassung, welche die EPRO GROUP vornehmen kann, um das Gebäude energetisch zu optimieren. Die detaillierten Auswertungen der in den folgenden Kapiteln dargestellten Diagrammen 6-11 bis 6-17 sind dem Anhang 5 zu entnehmen.

6.3.1 Sollwerte

Die Sollwerte der Heizung und Kälte werden gemäss der Auslegetemperatur der SIA 2024 [6] angepasst. Bei einer anschliessenden Testsimulation dreier Einzelräume ist die operative Raumtemperatur der Heizung zu tief. Aus diesem Grund wird der Sollwert der Heizung auf 22°C eingestellt, wobei die SIA 2024 [6] eine Temperatur von 21°C empfiehlt. Die Nachtabsenkung bei der Heizungsanlage wird mit einem Sollwert von 16°C eingestellt.

Der Sollwert der Raumkälte wird auf 26°C erhöht.

Die Lüftung läuft im Moment das ganze Jahr durch. Bei dieser Anlage werden zwei Änderungen vorgenommen. Es wird der gleiche Zeitplan wie bei der Nachtabsenkung hinterlegt. Dies bedeutet, dass die Lüftungsanlage um 20.00 Uhr ausgeschaltet wird. Am Morgen wird sie am Montag jeweils um 04.00 Uhr und von Dienstag bis Freitag um 06.00 Uhr wieder einschaltet. Am Wochenende ist die Lüftungsanlage ausgeschaltet.

Die Luftqualität wird gemäss der SIA 382/1-2014 in den Räumen nach RAL 3 eingestellt, was bedeutet, dass ein CO₂- Pegel von 1'000 bis 1'400 ppm vorzuweisen ist [8].

Eine Übersicht der vorgenommenen Anpassungen zeigt die Tabelle 6-9.

Tabelle 6-9 Neue Sollwerte

Gewerk [-]	Sollwerte [-]
Heizung	22°C / 16°C
Kälte	26°C
Lüftung	1400 ppm und Zeitplan

6.3.2 Auswertung Energiebedarf

Durch die Anpassung der Sollwerte, wie im Kapitel 6.3.2 beschrieben, ist der Energiebedarf der Heizungs- und Kälteanlage erheblich zurückgegangen.

Der Energiebedarf der Heizung im 4. Obergeschoss konnte insgesamt um 38 % gesenkt werden, was nun einem Verbrauch von 37'173 kWh pro Jahr entspricht. Diese Reduktion ist vor allem auf zwei Massnahmen zurückzuführen: Zum einen wird durch den angepassten Zeitplan der Lüftung und einen höheren Sollwert von 1'400 ppm eine Einsparung von 54 % beim Heizregister erzielt. Zum anderen wird der Energiebedarf der Raumheizung mit der Reduktion der Raumtemperatur von 1°C, um weitere 18 % reduziert.

Durch die Einstellung der Raumtemperatur auf 26 °C im Sommer und die Optimierung der Lüftungsanlage, beträgt der jährliche Energiebedarf für die Klimatisierung der Büroflächen der EPRO GROUP nun 7'074 kWh. Dies entspricht einer Reduktion von 59 %. Im Kühlbetrieb konnte die Lüftungsanlage den Energieverbrauch um 6 % senken, während die Kühldecke eine Einsparung von 66 % aufweist.

In dem Diagramm 6-11 wird in Grau der bestehende Energieverbrauch und in Rot bzw. Lila der Energieverbrauch nach der Sollwertanpassung pro Monat aufgezeigt.

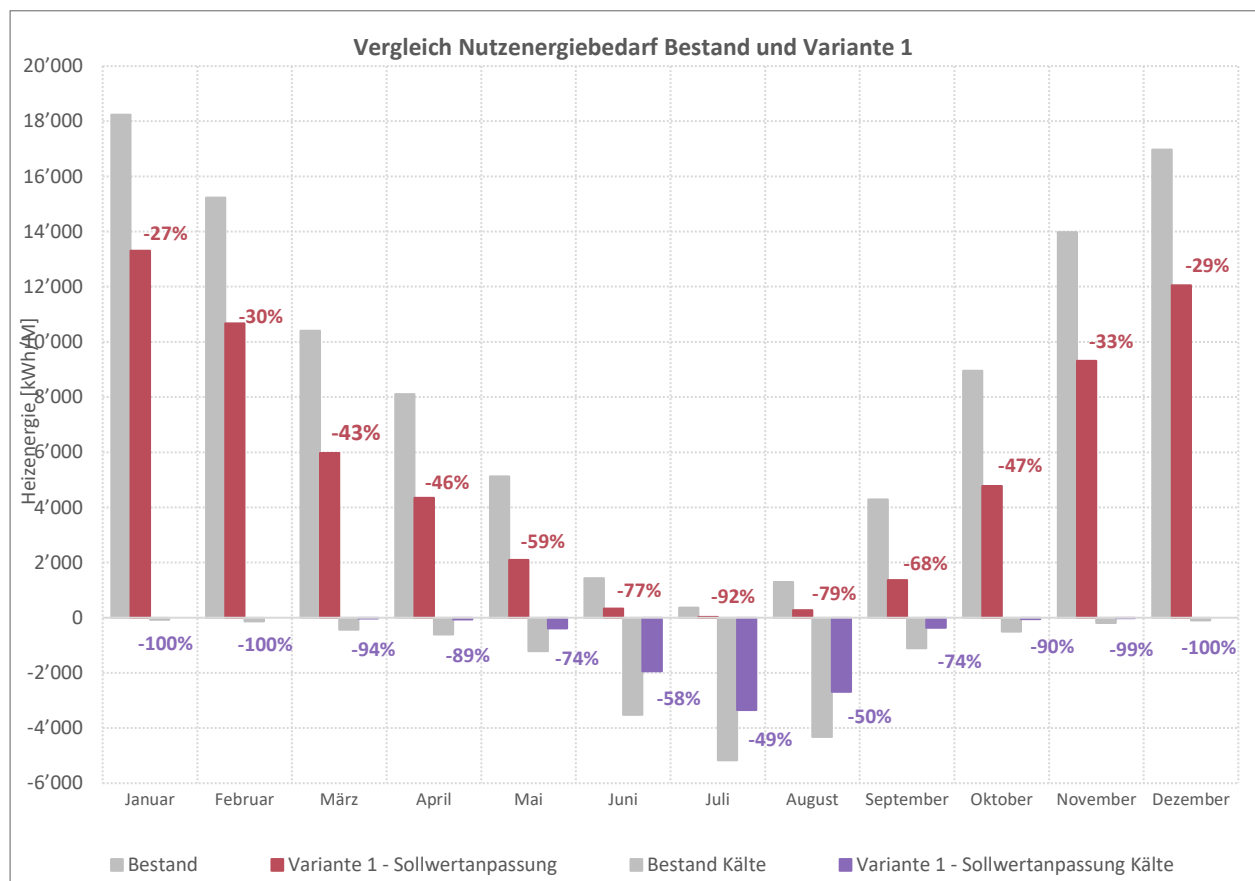


Diagramm 6-11 Vergleich Nutzenergiebedarf Bestand und Variante 1

6.3.3 Auswertung Raumlufttemperatur

Die Anpassung der Heizungs-, Kälte- und Lüftungsanlage zeigt in allen vier Jahreszeiten eine Auswirkung. Im Winter führt die Nachtabenkung mit der ausgeschalteten Lüftungsanlage zu einer schnelleren Abkühlung der Räume, während im Sommer die Raumtemperatur langsamer sinkt. Die eingestellte Raumtemperatur von 22 °C im Winter ist notwendig, um die unteren Grenzwerte zu erreichen und eine angenehme Raumtemperatur zu gewährleisten. Während der Bürozeiten liegen die Temperaturen in allen Räumen über dem festgelegten Mindestwert. In den Sitzungszimmern hängt die Raumtemperatur stark von der Nutzung ab. Bei hoher Belegung und intensiver Nutzung erwärmen sich die Räume signifikant. Dies lässt die hellblaue Linie im untenstehenden Diagramm 6-12 erkennen. Bei Nichtnutzung sinken die Temperaturen wieder.

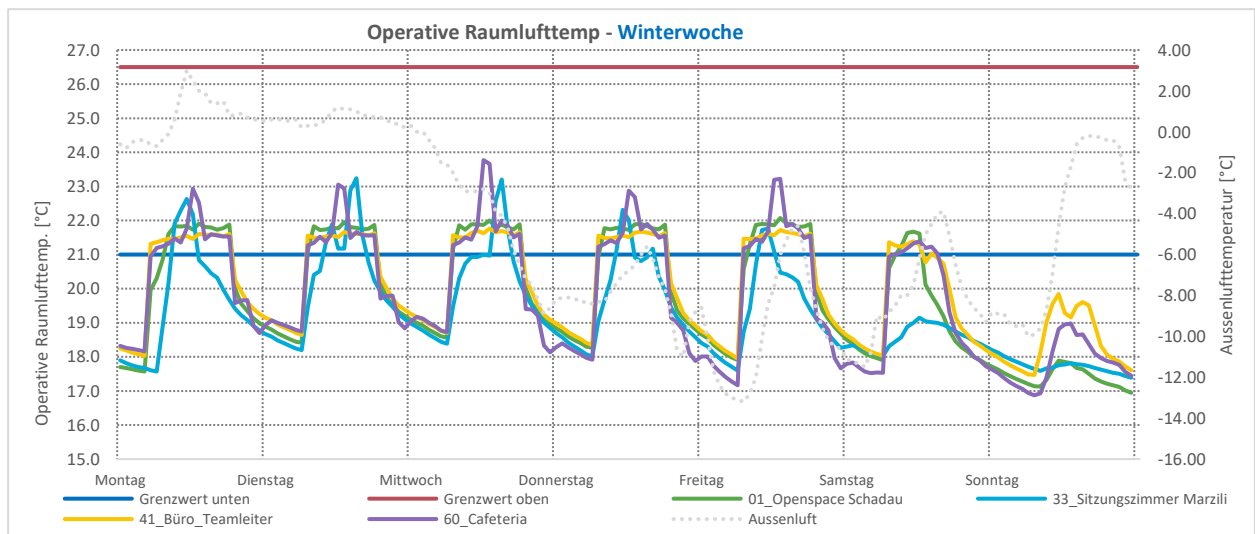


Diagramm 6-12 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 1, Winterwoche

In der Frühlingswoche, in der teilweise gekühlt oder auch geheizt wird, liegen die Raumtemperaturen zwischen dem oberen und dem unteren Grenzwert. Die Nachtauskühlung lässt nur noch die Openspace-Bereiche unter 21°C fallen, da in diesen Räumlichkeiten mehr Fensterflächen vorhanden sind.

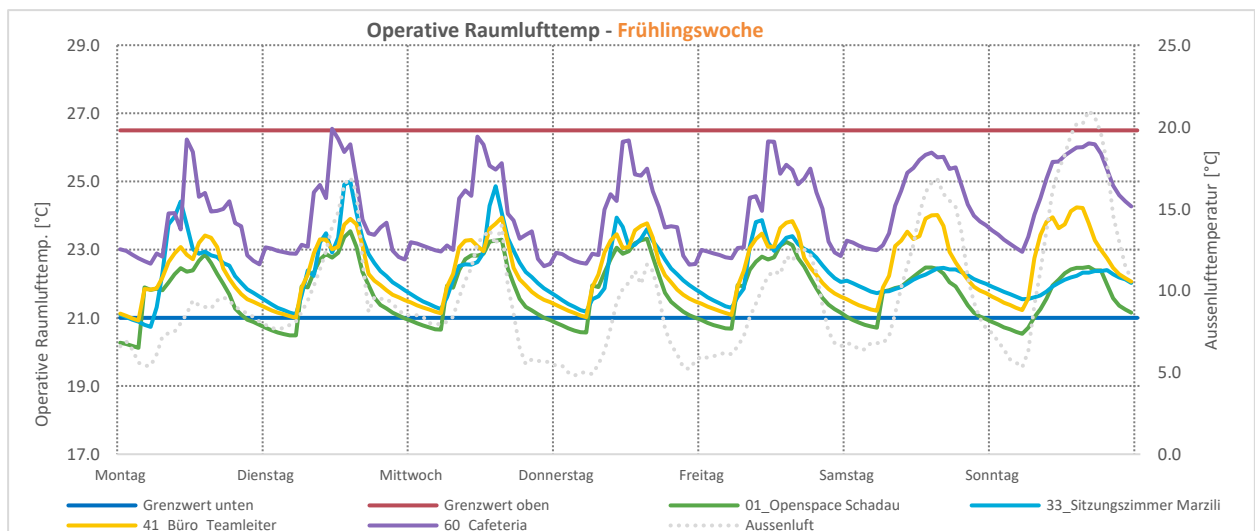


Diagramm 6-13 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 1, Frühlingswoche

Im Sommer sind die Büroflächen (Openspace und Büro_Teamleiter) im Bereich des oberen Grenzwertes. Dank der aktiven Kühlung übersteigen die Raumtemperaturen den Grenzwert von 26,5°C jedoch nicht. In der Cafeteria steigt die Temperatur zur Mittagszeit, wenn die Belegung am höchsten ist, kurzzeitig auf über 29 °C. Dies ist auf die hohe Personenzahl, den grossen Fensteranteil und auf die Nutzung der elektrischen Geräte zurückzuführen. Nach der Mittagszeit sinkt die Temperatur in der Cafeteria wieder. Die Sitzungszimmer erwärmen sich, ähnlich wie im Winter, entsprechend der Nutzung und der Anzahl anwesender Personen.

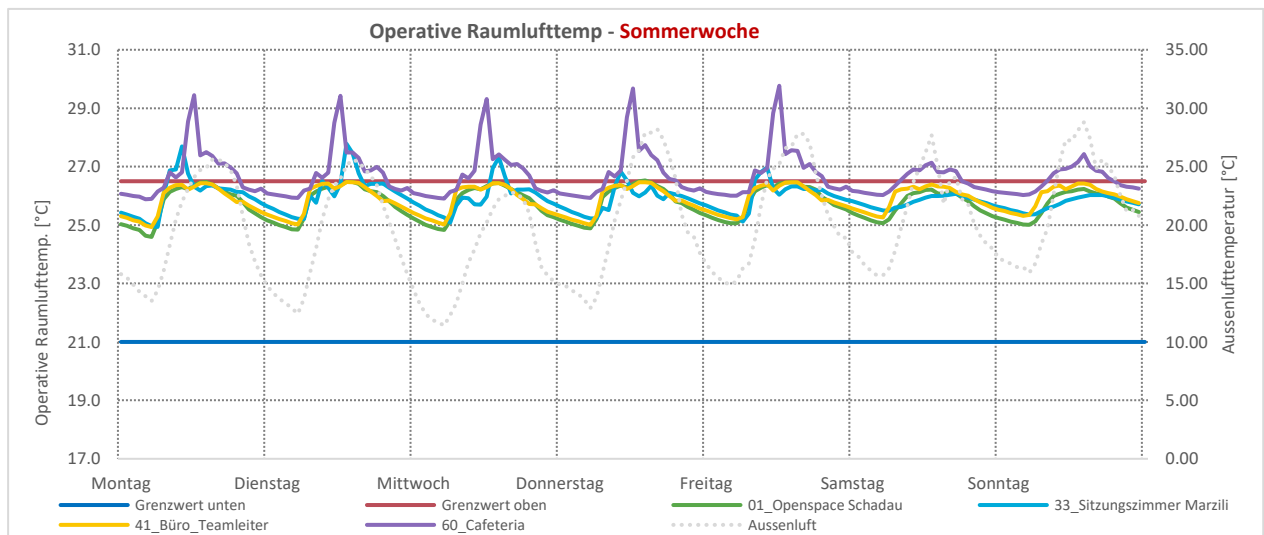


Diagramm 6-14 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 1, Sommerwoche

Im Herbst verhalten sich die Temperaturen ähnlich wie im Frühling. Die Cafeteria erreicht am Mittag erneut Höchstwerte von knapp über 26°C. Die Raumtemperaturen aller Räume bleiben jedoch zwischen dem unteren und oberen Grenzwert.

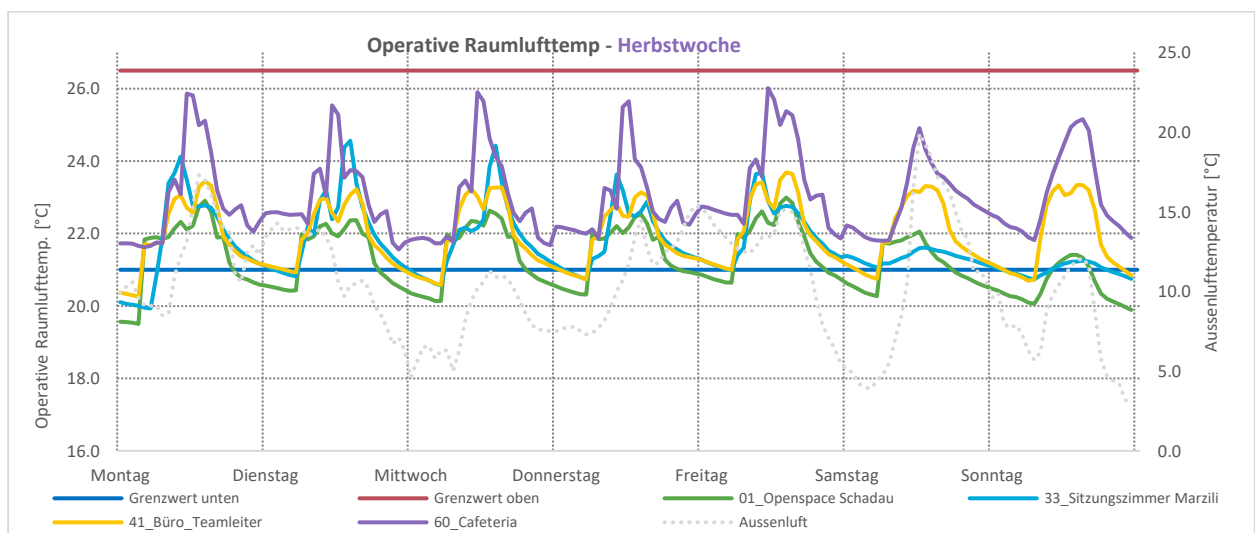


Diagramm 6-15 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 1, Herbstwoche

6.3.4 Auswertung Raumlufthqualität

Wie in dem Diagramm 6-16 und Diagramm 6-17 deutlich zu erkennen ist, hat die Sollwertanpassung der Lüftungsanlage kaum Einfluss auf die Raumlufthqualität. Dies lässt sich durch die geringe Personenbelegung, die natürliche Infiltration der undichten Bauteile sowie den konstanten Betrieb der Lüftungsanlage erklären. In keiner der Auswertungen wird der in der Norm festgelegte Grenzwert erreicht [8].

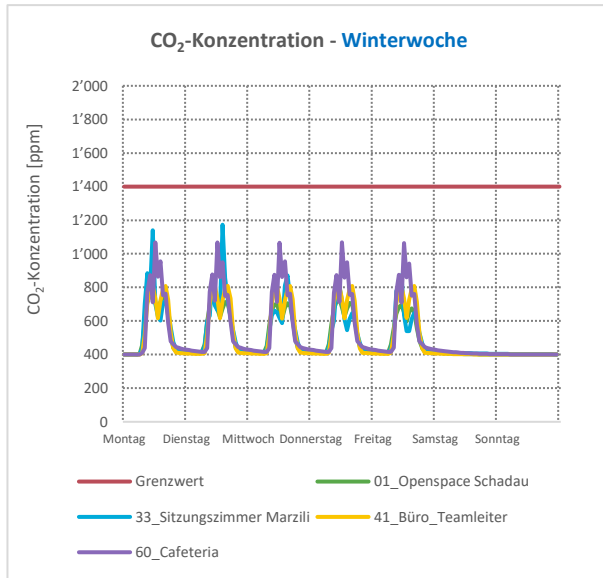


Diagramm 6-16 CO₂-Konzentration, Winterwoche V1

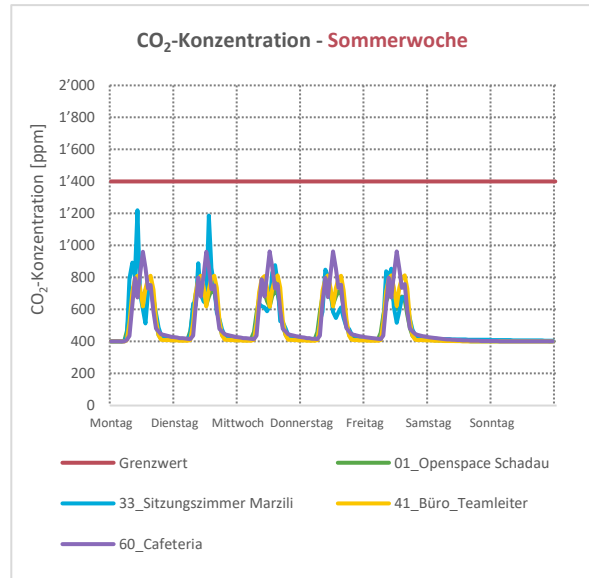


Diagramm 6-17 CO₂-Konzentration, Sommerwoche V1

6.4 Variante 2– Anpassung Fassade

Aufbauend auf die Variante 1 sollen für die zweite Variante die Fassade, die Fenster und das Dach überprüft und mit aktuellen Grenzwerten abgeglichen werden. Das Gebäude der Bahnhofstrasse 4 wurde im Jahr 2000 gebaut. Die damaligen Grenzwerte der U- Werte entsprechen nicht mehr dem heutigen Standard und weisen eine schlechte Wärmeisolierung auf. In dieser Variante werden die U-Werte gemäss den Grenzwerten der MuKEn (Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich) angepasst und mit den bereits angepassten Sollwerten nochmals ausgewertet.

Da die zweite Variante auf der Variante 1 basiert, werden untenstehend lediglich jene Werte dargestellt, die eine Veränderung aufweisen. Die detaillierten Auswertungen der in den folgenden Kapiteln dargestellten Diagrammen 6-18 bis 6-22 sind dem Anhang 6 zu entnehmen.

6.4.1 Anpassung der U-Werte (Wärmedurchgangskoeffiziente)

Die aktuellen U-Werte, wie in Tabelle 6-10 dargestellt, werden gemäss MuKEn [9] angepasst. Für die Anpassung werden die Grenzwerte Für Bauteile, welche dem Aussenklima ausgesetzt sind oder weniger als 2m im Erdreich liegen gewählt. Die Aussenwand und das Dach erreichen bereits ohne Anpassung den Grenzwert der gemäss MuKEn vorgeschrieben wird. Somit besteht bei dieser Variante die einzige Optimierungsmöglichkeit im Ersetzen der Fenster.

Tabelle 6-10 U- Werte Projektspezifisch / MuKEn

Bauteil	U-Wert [W/m ² K] Projektspezifisch	U-Wert [W/m ² K] MuKEn Grenzwert
Aussenwand	0.2313	0.25
Innenwand	2.095	-
Dach	0.2537	0.25
Boden	0.9514	0.25
Fenster Süd / Ost	1.562	1.0
Fenster Nord / West und Innenhof	1.704	1.0

6.4.2 Auswertung Energiebedarf

Die Variante der Sollwertanpassung trägt durch die verbesserte Wärmedämmung der Fenster zu einer weiteren Senkung des Energiebedarfs der Heizung bei. Dadurch reduziert sich der jährliche Heizenergiebedarf um weitere 20 % zur Variante 1 und erreicht somit einen Wert von 51'463 kWh/a.

Im Bereich der Kälte führt die verbesserte Wärmedämmung der Fenster in Kombination mit der Nachtausschaltung der Lüftungsanlage hingegen zu einem negativen Effekt auf den Energiebedarf. Da die Wärme besser im Gebäude gehalten wird, steigt der Energiebedarf für die Kühlung. Dies resultiert in einem zusätzlichen Kälteenergiebedarf von 3'979 kWh/a, was einem Anstieg um 56 % im Vergleich zu Variante 1 entspricht.

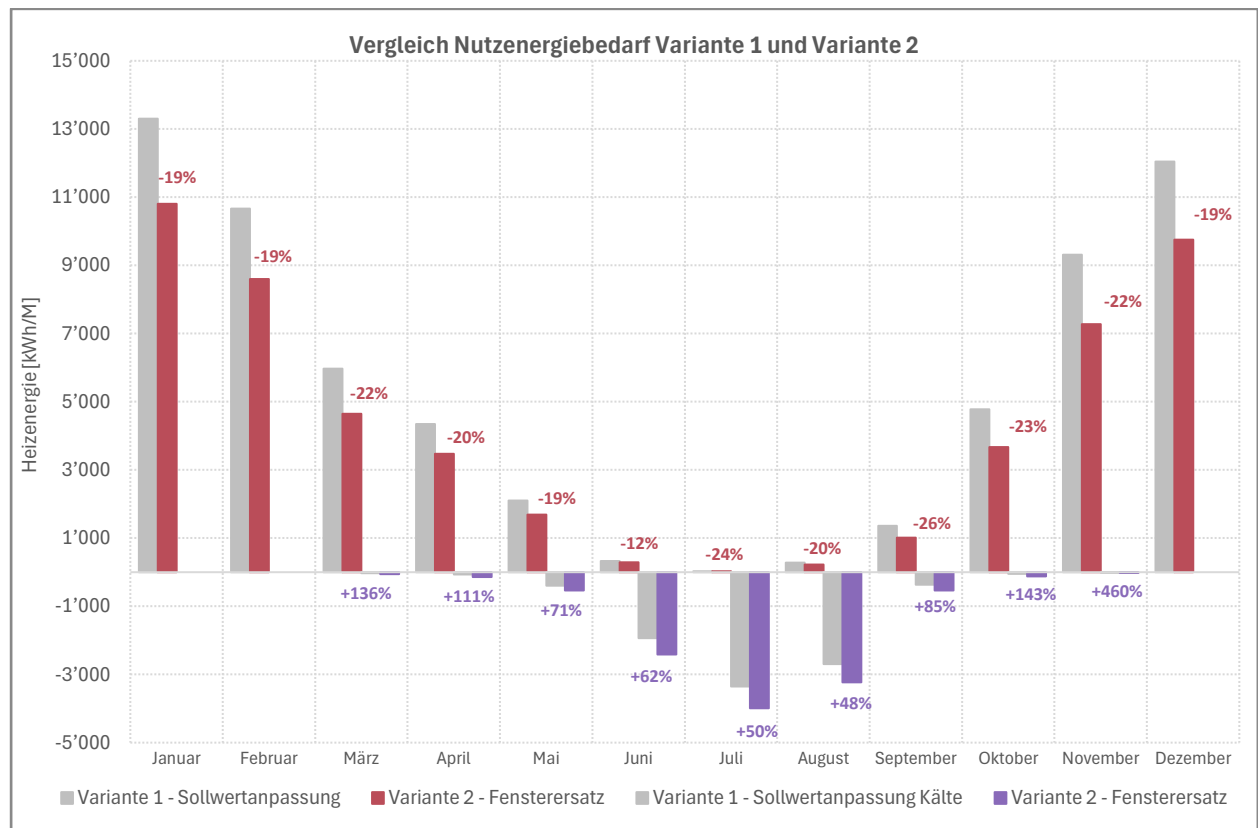


Diagramm 6-18 Vergleich Nutzenergiebedarf Variante 1 und Variante 2

6.4.3 Auswertung Raumlufttemperatur

Durch die Simulation mit dem Fensterersatz wird ersichtlich, dass die Raumtemperaturen höher sind und die Räume bei der Nachtauskühlung wärmer bleiben. Besonders auffällig ist dies in der Cafeteria, da der Fensteranteil hier am grössten ist. Die Openspace-Bereiche und Einzel- sowie Gruppenbüros (Büro_Teamleiter) weisen in der Nacht eine höhere Erwärmung auf als in Variante 1.

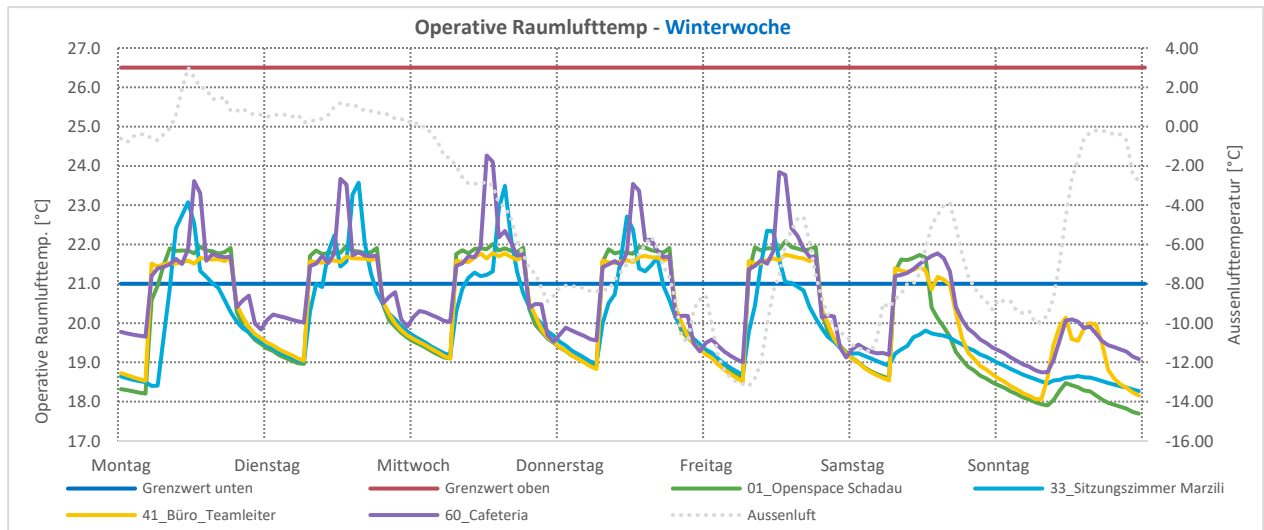


Diagramm 6-19 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 2, Winterwoche

Die Frühlingswochen sind im Vergleich ebenfalls höher als bei der Variante ohne Fensterersatz. Am Mittwoch, wenn die Aussentemperatur zwischen 10-15°C beträgt, erreicht die Cafeteria bereits im Frühling mehrmals den oberen Grenzwert der Raumtemperaturen. Bei der Nachtauskühlung erreichen die Temperaturen in keinem Raumtyp den unteren Grenzwert.

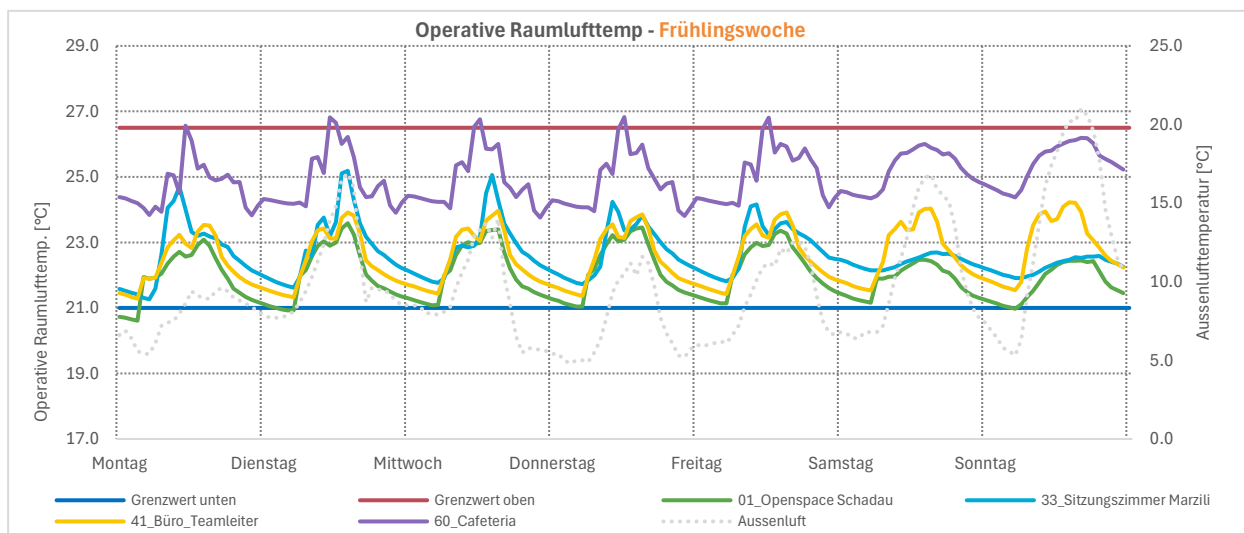


Diagramm 6-20 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 2, Frühlingswoche

Im Sommer ist der überdurchschnittliche Anstieg der Temperatur während der Mittagszeiten in der Cafeteria erneut markant. Der Grenzwert wird bereits vor dem Mittag bei einer Aussentemperatur von 20-25°C überschritten. Die Sitzungszimmer übertreten diesen, wenn sie genutzt werden. Dank der aktiven Kühlung bleiben die Openspace und Einzel- Gruppenbüros stets unter dem Grenzwert.

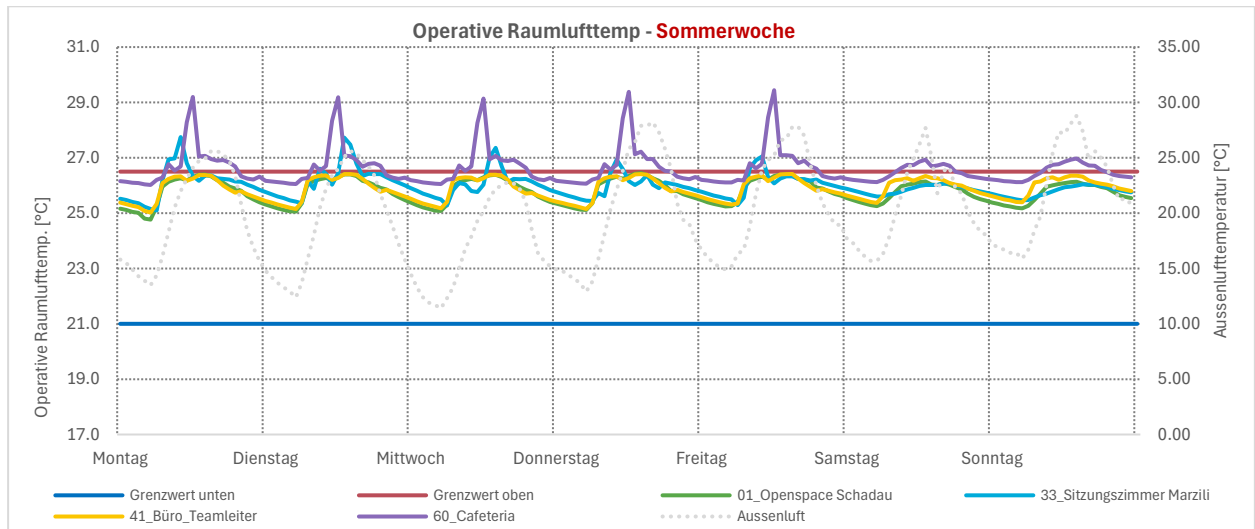


Diagramm 6-21 Auswertung Raumlufthtempur Variante 2, Sommerwoche

Die Herbstwoche weist ein fast identisches Bild wie die Frühlingswoche auf. Verglichen mit Variante 1, erreicht die Cafeteria nun den oberen Grenzwert der Raumtemperatur. Dies geschieht aufgrund der vorgenommenen Wärmeisolation der Fenster. Jegliche Raumtemperaturen bleiben auch in dieser Variante zwischen dem unteren und oberen Grenzwert.

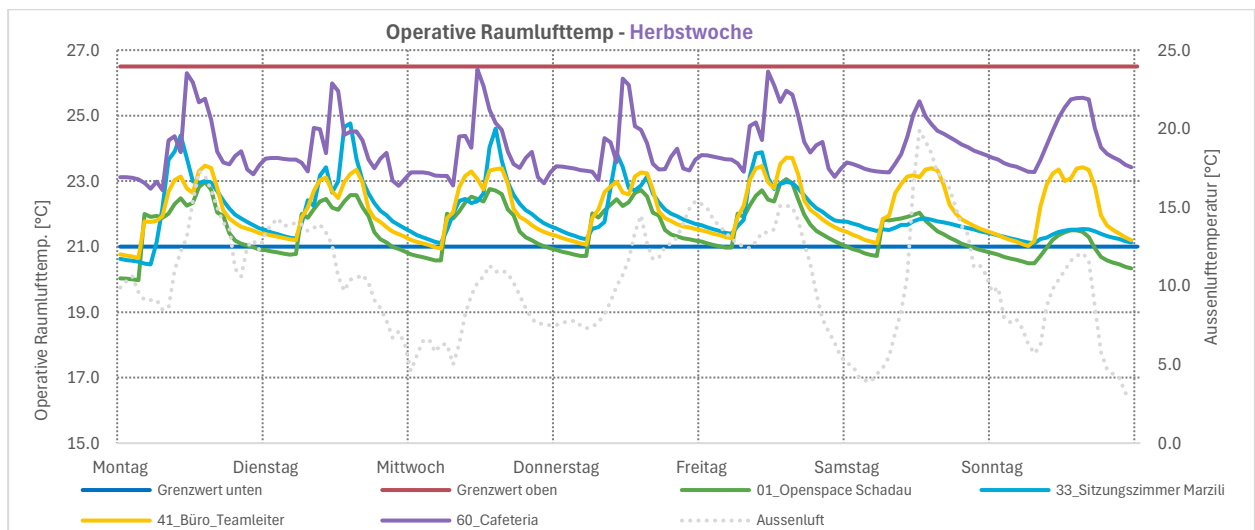


Diagramm 6-22 Auswertung Raumlufthtempur Variante 2, Herbstwoche

6.5 Evaluation der geeignetsten Variante

Nach der Erarbeitung und Auswertung der Varianten 1 und 2 folgt in diesem Kapitel die Evaluation der geeignetsten Lösung für die EPRO GROUP. Beide Varianten werden hinsichtlich ihres Energieeinsparpotenzials analysiert. Ziel der Evaluation ist es, die Option zu identifizieren, die nicht nur den grössten Beitrag zur Energieeffizienz leistet, sondern auch praktisch am besten umsetzbar ist. Die Ergebnisse dieser Analyse dienen als Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der optimalen Lösung, um den Heiz- und Kälteenergiebedarf nachhaltig zu reduzieren.

6.5.1 Heizung

Das Diagramm 6-23 veranschaulicht den Verlauf des Energiebedarfs für die Heizung und zeigt eine Vergleichsanalyse zwischen dem aktuellen Zustand und den beiden Optimierungsvarianten. Der Heizenergiebedarf im Bestand liegt bei 104'394 kWh pro Jahr und stellt 100% des Ausgangswertes dar. Durch die Umsetzung von Variante 1 kann der Energiebedarf um 38% auf etwa 64'540 kWh pro Jahr gesenkt werden, was 62% des ursprünglichen Bedarfs entspricht.

Variante 2 bietet eine noch grössere Einsparung und reduziert den Energiebedarf auf 51'463 kWh pro Jahr, was einer Reduktion von 51% gegenüber dem aktuellen Zustand entspricht und den Bedarf auf 49% des Ausgangswertes senkt. Ausserdem sinkt die Temperatur während der Nachtauskühlung aufgrund der verbesserten Wärmedämmung der Fenster langsamer ab.

Beide Varianten würden erheblich zur Senkung des Heizenergiebedarfs beitragen, wobei Variante 2 die grössere Effizienzsteigerung bietet.

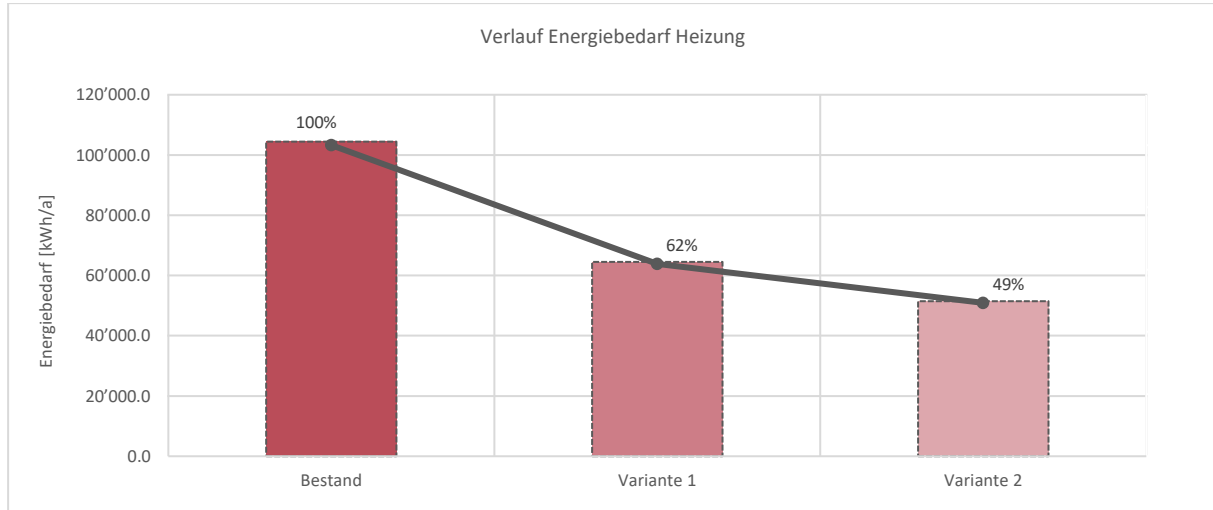


Diagramm 6-23 Verlauf Energiebedarf Heizung

6.5.2 Kälte

Das Diagramm 6-24 zeigt den Verlauf des Energiebedarfs für die Kühlung und vergleicht den aktuellen Stand mit den beiden Optimierungsvarianten. Der Energiebedarf im Bestand liegt bei etwa 17'373 kWh pro Jahr, was als 100% des Ausgangswertes dargestellt wird.

Mit Variante 1 kann der Energiebedarf auf etwa 41% des ursprünglichen Bedarfs gesenkt werden. Dies entspricht rund 7'074 kWh pro Jahr und bedeutet eine Einsparung von 59% gegenüber dem Bestand.

Variante 2 zeigt im Vergleich zu Variante 1 einen höheren Energiebedarf, da die bessere Wärmeisolation der Fenster die Raumtemperatur besser isoliert, liegt aber dennoch bei 64% des Ausgangswertes, was etwa 11'054 kWh pro Jahr entspricht und eine Einsparung von 36% gegenüber dem aktuellen Zustand darstellt. Durch die verbesserte Wärmedämmung der Fenster sinkt und steigt die Raumtemperatur grundsätzlich langsamer.

Das Diagramm verdeutlicht, dass Variante 1 die grössere Reduktion des Kälteenergiebedarfs erreicht, während Variante 2 eine geringere Einsparung ermöglicht.

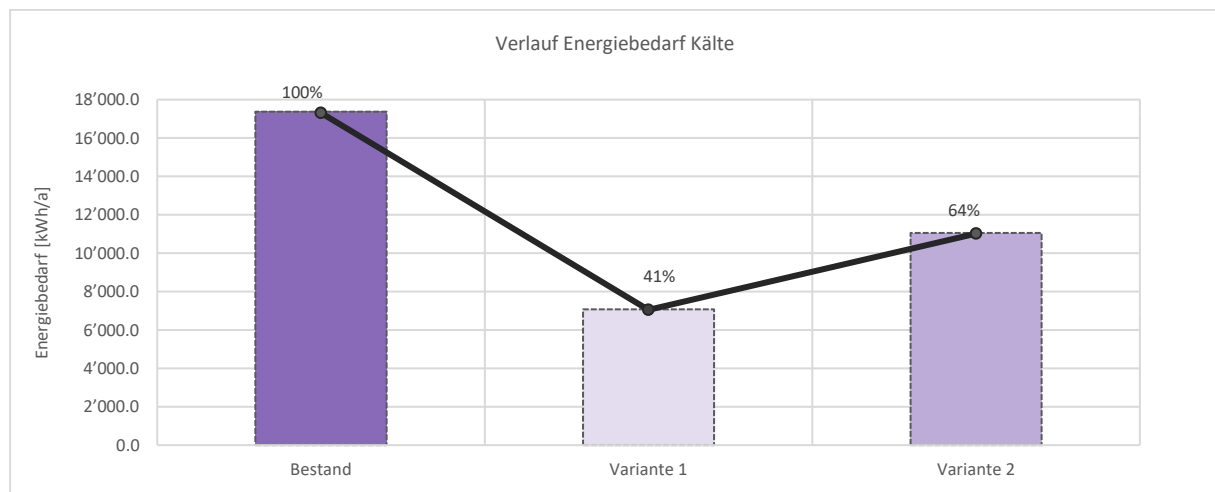


Diagramm 6-24 Verlauf Energiebedarf Kälte

6.5.3 Umsetzbarkeit

Variante 1 zeichnet sich durch eine hohe Umsetzbarkeit aus, da die erforderlichen Anpassungen direkt von der EPRO GROUP mit Hilfe des Hauswartes, der Zugriff auf das Gebäudeleitsystem hat, durchgeführt werden kann. Diese Variante umfasst die Anpassung der Sollwerte für Heizung, Kühlung und Lüftung, was keine baulichen Veränderungen und somit auch keine Genehmigungen oder umfangreiche externe Planungen erfordert. Eine Umsetzung wäre daher zeitnah realisierbar.

Im Gegensatz dazu gestaltet sich die Umsetzbarkeit von Variante 2 als finanziell aufwändiger und herausfordernder. Diese Variante erfordert bauliche Massnahmen, wie der Ersatz der Fenster, damit der Energiebedarf weiter reduziert werden kann. Solche baulichen Veränderungen sind in der Regel genehmigungspflichtig und bedürfen der Zusammenarbeit mit der Immobilienverwaltung sowie spezialisierten Fachunternehmen. Diese Abhängigkeit von externen Akteuren könnte den Zeitrahmen der Umsetzung erheblich verlängern und zu einer eingeschränkten Kontrolle für die EPRO GROUP führen.

Die Koordination und die Abstimmung mit verschiedenen Parteien erfordern einen erhöhten organisatorischen Aufwand und können das Risiko für Verzögerungen und unerwartete Kostensteigerungen erhöhen.

Zusammengefasst ist Variante 1 aufgrund ihrer einfachen, internen Umsetzung wesentlich praktikabler und schneller umsetzbar als Variante 2.

6.5.4 Empfehlung

Auf Basis der durchgeführten Analyse und der hohen Umsetzbarkeit von Variante 1 wird empfohlen, diese Option zur Energieoptimierung in den Büroräumlichkeiten der EPRO GROUP zu wählen. Variante 1 bietet eine effiziente und wirtschaftliche Lösung, die eine erhebliche Einsparung im Energieverbrauch ermöglicht und gleichzeitig ohne nennenswerte externe Abhängigkeiten umgesetzt werden kann. Die Anpassung der Sollwerte für Heizung, Kühlung und Lüftung sollte daher als erste Massnahme realisiert werden, um schnelle und kosteneffiziente Ergebnisse zu erzielen. Für zukünftige Optimierungen kann die EPRO GROUP mit der Immobilienverwaltung prüfen, ob weitere Massnahmen, wie in Variante 2 beschrieben, zu einem späteren Zeitpunkt umgesetzt werden könnten.

7 Projektabschluss

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die gesamte Erarbeitung der Simulationen sowie deren Auswertung und den entsprechenden Interventionen beschrieben wird, folgt im letzten Teil der Dokumentation ein Rückblick auf die komplette Arbeit. Abschliessend erfolgt ein Ausblick dazu, wie das vorliegende Projekt weiter ausgearbeitet und optimiert werden könnte.

7.1 Projektüberwachung

Bei den Projektphasen «Projektinitialisierung» und «Projektplanung» konnten alle Termine wie vorgesehen eingehalten werden. Bevor mit der Analyse des IST- Zustandes begonnen werden konnte, musste lange auf die Dokumente der Immobilienverwaltung mit den Plänen zur Architektur und zur Bauphysik gewartet werden. Als Lösung wurde ein Termin beim Bauinspektorat bei der Gemeinde Gümligen vereinbart, um die Baueingabepläne der Bahnhofstrasse 4 einzusehen. Die Pläne konnten für fünf Arbeitstage ausgeliehen werden, damit alle bauphysikalischen und architektonischen Grundlagen in das Simulationsmodell eingearbeitet werden konnten. In der angefügten Abbildung 8.1. wird deutlich, dass sich aus diesem Grund sowohl der Aufbau des Simulationsmodells als auch die Erarbeitung der Grundlagen verzögerte. Bei der Bearbeitung des Gebäudemodells konnte Zeit eingeholt werden, da ich mir die Handhabung des IDA ICE ohne grosse Schwierigkeiten aneignen konnte. Die Dokumentation hat sich am Ende nur um ein paar Tage verzögert und konnte rechtzeitig abgeschlossen werden.

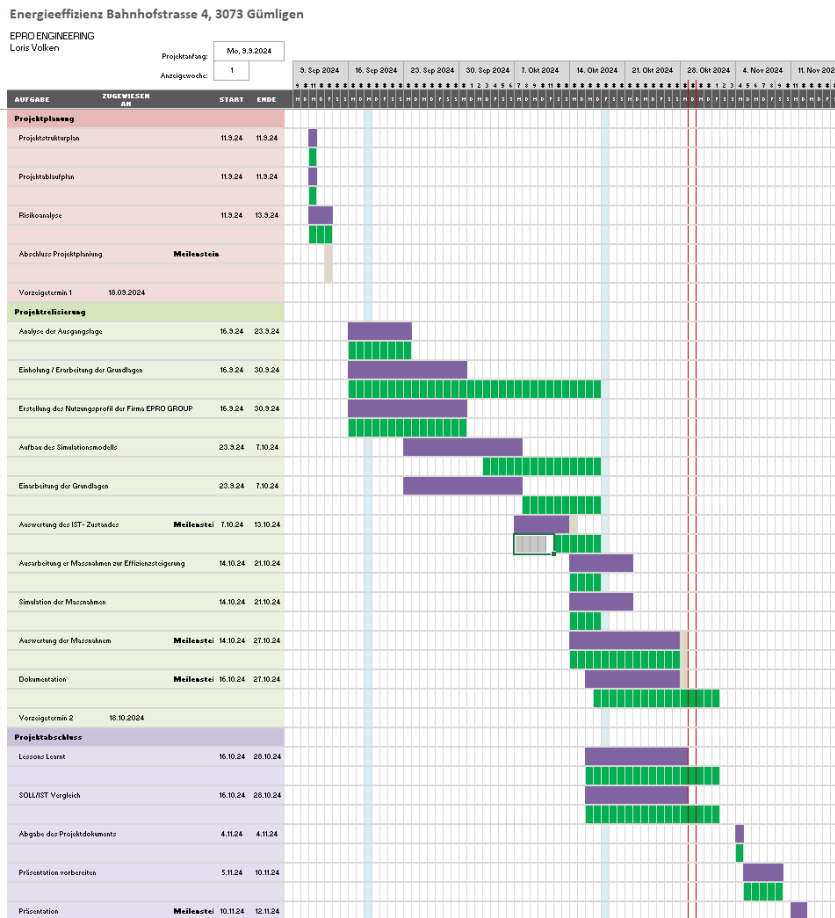


Abbildung 7-1 Zeitüberwachung Soll/IST
(Quelle: Eigene Darstellung)

7.2 Evaluation der Zielerreichung

Das Hauptziel des Projekts, einen energetischen Zwilling des 4. Obergeschosses zu erstellen, wurde vollständig erreicht. Sämtliche erforderlichen Daten, einschliesslich Gebäudetechnik, Beleuchtung und elektronischer Geräte, wurden erfolgreich in das Simulationsmodell integriert. Dieses Modell bildet die räumlichen und technischen Gegebenheiten des Gebäudes realitätsgetreu ab und dient als Grundlage für die weiteren Analysen. Die Nutzungsprofile für die verschiedenen Raumtypen wie Openspace (Grossraumbüro) Einzel- und Gruppenbüro Sitzungszimmer und Cafeteria wurden durch die Befragung der Mitarbeiter/innen und Auswertung der Outlookeinträge erstellt und anschliessen als Zeitpläne in das Simulationsmodell eingearbeitet.

Durch die Erstellung des energetischen Zwillings in der Simulationssoftware IDA ICE, konnte der IST- Zustand abgebildet und die Raumtemperaturverläufe, die Raumluftqualität und der Leistungs- und Energiebedarf ausgewertet werden. Auf der Basis der ausgewerteten Daten ergab sich ein Lösungsansatz, um den Energieverbrauch unter Einhaltung der Raumluftqualität und der Raumtemperatur zu minimieren. Auf diesem Ansatz aufbauend, wurde eine weitere Option ausgearbeitet, die eine interessante Alternative darstellt. Da diese Variante grössere Umbauarbeiten auslösen würde, ist eine Umsetzung derzeit nicht möglich.

Die ausgearbeiteten Massnahmen zur Optimierung der Energieeffizienz führen zu grossen Reduktionen des Energiebedarfes. Durch die Erarbeitung zweier Varianten konnte für die EPRO GROUP eine geeignete Lösung für eine sofortige Umsetzung zur Reduktion des Energieverbrauchs gefunden werden.

7.3 Reflexion Weg zum Ziel

Der Projektstart erforderte eine umfassende Grundlagenerarbeitung mit Befragungen der Mitarbeiter/innen, Analysieren der Architektur und Gebäudetechnik und der Modellierung des Gebäudes in der Simulationssoftware IDA ICE. Bei der Beschaffung der Grundlagen der Architektur und Bauphysik war der Verzug der Immobilienverwaltung hinderlich, da nicht sicher war ob die Grundlagen verfügbar sind. Durch die Mithilfe des Bauinspektorates der Gemeinde Gümligen wurden trotzdem alle Grundlagen für die detaillierte Modellierung zur Verfügung gestellt.

Mit der ersten Simulation, die den IST- Zustand analysierte, wurde die Grundlage für alle weiteren Simulationen aufgebaut. Die Erstellung der Auswertungsdateien und Diagramme konnte für die weiteren Simulationen wieder verwendet werden. Dadurch konnten die Analysen der beiden Varianten wesentlich schneller durchgeführt werden als die des IST- Zustandes. Bei Fragen über die Simulationssoftware konnte mich mein Mitarbeiter/innen oder mein Fachexperte zielführend unterstützen. Durch diesen Support konnte die Simulation effizient durchgeführt werden.

Die Dokumentation wurde anschliessend nach der Fertigstellung der Auswertung aller Daten erstellt.

7.4 Lessons learnt

Das zentrale Element für den Erfolg dieser Projektarbeit war die Erstellung eines präzisen und umfassenden energetischen Zwillings. Diese digitale Modellierung der Büroräume bildete die Grundlage für alle nachfolgenden Analysen und Optimierungen. Der energetische Zwilling ermöglichte nicht nur eine detaillierte Simulation des Ist-Zustands, sondern auch die Bewertung potenzieller Optimierungsmassnahmen in einer realitätsgetreuen Umgebung.

Im Verlauf der Diplomarbeit führte die intensive Auseinandersetzung mit der Simulationssoftware IDA ICE zu einem kontinuierlichen Kompetenzzuwachs im Umgang mit der Software. Dieser Fortschritt ermöglichte es, die Analysen und Auswertungen zunehmend effizienter durchzuführen, was sich positiv auf die Gesamtqualität und Aussagekraft der Arbeit auswirkte. Die vertiefte Kompetenz in der Anwendung von IDA ICE war nicht nur für die aktuelle Projektarbeit von Nutzen, sondern schafft auch einen entscheidenden Mehrwert für künftige Projekte.

Ein wichtiger Erkenntnisgewinn aus dieser Arbeit ist, dass die Genauigkeit des Simulationsmodells massgeblich von der Qualität und Vollständigkeit der bestehenden Daten abhängt. Die Bereitstellung von präzisen und aktuellen Daten aus den Bereichen Bauphysik Gebäudetechnik und Architektur ist entscheidend, um das Modell realitätsnah zu gestalten und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse sicherzustellen. In der vorliegenden Arbeit führte der verspätete Zugriff auf einige dieser Grundlagen zu Verzögerungen im Projektverlauf. Um dies künftig zu vermeiden, sollte die Organisation und Beschaffung notwendiger Unterlagen möglichst frühzeitig beginnen. Hierbei kann eine proaktive Kommunikation helfen, Verzögerungen zu vermeiden und sicherzustellen, dass alle erforderlichen Daten rechtzeitig zur Verfügung stehen.

Die Projektarbeit hat das Verständnis für die komplexen Zusammenhänge innerhalb eines Gebäudes gefördert. Durch die detaillierte Analyse der baulichen und technischen Aspekte, wie etwa der Heizungs-, Lüftungs- und Kühlsysteme, wurde deutlich, wie eng diese Faktoren miteinander verknüpft sind und welchen Einfluss sie auf die Energieeffizienz und das Raumklima haben. Die Arbeit ermöglichte einen umfassenden Einblick in die energetischen Wechselwirkungen und die Bedeutung einer gut abgestimmten Gebäudetechnik. Dieses vertiefte Verständnis trägt dazu bei, Gebäude nicht nur als statische Konstruktionen, sondern als dynamische Systeme zu begreifen, in denen viele Prozesse ineinandergreifen und sich gegenseitig beeinflussen. Dieses Wissen ist von unschätzbarem Wert für die künftige Planung und Optimierung von Gebäuden.

7.5 Ausblicke

Im Laufe eines Projektes beziehungsweise der Diplomarbeit tauchten immer wieder neue spannende Ideen auf. Eine vielversprechende Möglichkeit für zukünftige Arbeiten wäre die Erweiterung der energetischen Analyse auf das gesamte Gebäude. Dies könnte wertvolle Erkenntnisse darüber liefern, wie die unterschiedlichen Stockwerke energetisch zusammenwirken und ob weitere Einsparpotenziale durch eine gesamtheitliche Optimierung erschlossen werden können. Eine solche umfassende Simulation würde jedoch eine enge Abstimmung mit der Immobilienverwaltung erfordern, da der Zugang zu detaillierten Gebäudeplänen sowie die Kooperation bei der Bereitstellung zusätzlicher Daten unerlässlich wären. Zudem müsste eine Abstimmung über etwaige Umbauten oder Anpassungen an der Gebäudetechnik erfolgen. Ein solcher Ansatz könnte wertvolle Grundlagen für eine ganzheitliche Energieoptimierung des gesamten Gebäudekomplexes schaffen und zur weiteren Nachhaltigkeit und Effizienzsteigerung beitragen.

8 Eigenständigkeitserklärung

Die Die Verfasserinnen und Verfasser bestätigen mit ihrer Unterschrift, dass die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als die angegebenen Hilfsmittel erstellt wurde.

Die aus fremden Quellen (einschliesslich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Inhalte sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht vorgelegt worden.

Unterschriften:

Datum/Ort: 04.11.2024 / Thun

Loris Volken



9 Verzeichnisse

9.1 Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°C	Grad Celsius
CO ₂	Kohlendioxid
EnDK	Konferenz Kantonaler Energiedirektoren
g-Wert	Gesamtenergiedurchlassgrad
IDA ICE	Integrated Design and Analysis – Indoor Climate and Energy
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
kWh/a	Kilowattstunden pro Jahr
kWh/m ²	Kilowattstunden pro Quadratmeter
m ² /P	Quadratmeter pro Person
MuKEn	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
ppm	Parts per million
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
W	Watt
W/m ²	Watt pro Quadratmeter
W/m ² K	Watt pro Quadratmeter und Kelvin

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1 EPRO GROUP, Gesellschaften (Quelle : https://www.EPRO.ch/organisation/)	6
Abbildung 4-2 Bürogebäude, Bahnhofstrasse 4, 3073 Gümligen (Quelle: https://www.EPRO.ch/organisation/)	10
Abbildung 4-3 Gebäudetechnik, 4. Obergeschoss (Quelle: Eigene Darstellung)	10
Abbildung 5-1 Projektstrukturplan (Quelle: Eigene Darstellung).....	13
Abbildung 5-2 Projektablaufplan (Quelle: Eigene Darstellung)	14
Abbildung 5-3 Risikoanalyse (Quelle: Eigene Darstellung).....	16
Abbildung 5-4 Risikoanalyse nach Prävention (Quelle: Eigene Darstellung)	17
Abbildung 6-1 Zonenplan, EPRO GROUP (Quelle: Eigene Darstellung).....	21
Abbildung 6-2 Elektroplan, Bahnhofstrasse 4 (Quelle: Eigene Darstellung)	23
Abbildung 7-1 Zeitüberwachung Soll/IST (Quelle: Eigene Darstellung)	44

9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1 Endergebnis und Erfolgskriterien	9
Tabelle 6-1 U-Werte der Bauteile	18
Tabelle 6-2 U- Werte der Fenster.....	18
Tabelle 6-3 Sollwerte Heizung, Kälte und Lüftung	20
Tabelle 6-4 spezifische Fläche pro Person.....	22
Tabelle 6-5 spezifische Leistung Leuchten	23
Tabelle 6-6 spezifische Leistung, elektrische Geräte	24
Tabelle 6-7 Vergleich Heizwärmebedarf spezifischer Projektwert mit SIA 2024.....	27
Tabelle 6-8 Vergleich Kühlbedarf spezifischer Projektwert mit SIA 2024.....	28
Tabelle 6-9 Neue Sollwerte	32
Tabelle 6-10 U- Werte Projektspezifisch / MuKE n	37

9.4 Diagrammverzeichnis

Diagramm 6-1 Vergleich installierte zu simulierte Leistung, Heizung.....	25
Diagramm 6-2 Vergleich Kälte installierte zu simulierte Leistung	26
Diagramm 6-3 Thermischer Nutzenergiebedarf Heizung pro Monat	27
Diagramm 6-4 Thermischer Nutzenergiebedarf Kälte pro Monat	28
Diagramm 6-5 Operative Raumlufttemperatur, Winterwoche.....	29
Diagramm 6-6 Operative Raumlufttemperatur, Frühlingswoche	29
Diagramm 6-7 Operative Raumlufttemperatur, Sommerwoche	30
Diagramm 6-8 Operative Raumlufttemperatur, Herbstwoche	30
Diagramm 6-9 CO ₂ - Konzentration, Winterwoche.....	31
Diagramm 6-10 CO ₂ - Konzentration, Sommerwoche	31
Diagramm 6-11 Vergleich Nutzenergiebedarf Bestand und Variante 1.....	33
Diagramm 6-12 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 1, Winterwoche	34
Diagramm 6-13 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 1, Frühlingswoche	34
Diagramm 6-14 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 1, Sommerwoche	35
Diagramm 6-15 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 1, Herbstwoche.....	35
Diagramm 6-16 CO ₂ - Konzentration, Winterwoche V1	36
Diagramm 6-17 CO ₂ - Konzentration, Sommerwoche V1	36
Diagramm 6-18 Vergleich Nutzenergiebedarf Variante 1 und Variante 2	38
Diagramm 6-19 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 2, Winterwoche	39
Diagramm 6-20 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 2, Frühlingswoche	39
Diagramm 6-21 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 2, Sommerwoche	40
Diagramm 6-22 Auswertung Raumlufttemperatur Variante 2, Herbstwoche.....	40
Diagramm 6-23 Verlauf Energiebedarf Heizung	41
Diagramm 6-24 Verlauf Energiebedarf Kälte	42

9.5 Literaturverzeichnis

- [1] J. R. Stefan Thöni, «Klassisches Phasenmodell (4-Phasenmodell),» in *Projektmanagement*, Olten, Teko Schweizerische Fachschule, Olten, 2022, p. S.12.
- [2] J. R. Stefan Thöni, «Projektlaufplan,» in *Projektmanagement*, Olten, Teko Schweizerische Fachschule, Olten, 2022, p. S.40.
- [3] J. R. Stefan Thöni, «Risikoanalyse,» in *Projektmanagement*, Olten, Teko Schweizerische Fachschule, Olten, 2022, p. S. 96.
- [4] Konferenz Kantonalen Energiedirektoren, «Konferenz Kantonalen Energiedirektoren,» 18 10 2024. [Online]. Available: https://www.endk.ch/de/ablage/ftw-simplelayout-filelistingblock/Merkblatt_Fenster_D_2021.pdf/view.
- [5] S. I.-. u. Architektenverein, SIA 2028, Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2010.
- [6] S. I.-. u. Architektenverein, SIA 2024, Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2021.
- [7] S. I.-. u. Architektenverein, SIA 380/2:2022 Energetische Berechnungen von Gebäuden - Dynamisches Verfahren für Bedarfsabklärungen, Leistungs- und Energiebedarf, Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2022.
- [8] S. I.-. u. Architektenverein, SIA 382/1, Lüftungs- und Klimaanlage- Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, S.22, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2007.
- [9] K. K. Energiedirektoren, «Mustervorschriftn der Kantone im Energiebereich (MuKE n), S.22,» Konferenz Kantonalen Energiedirektoren, Ausgabe 2014, Nachführung 2018.
- [10] S. I.-. u. Architektenverein, «Interne Wärmeeinträge und Feuchtequellen,» in *SIA 380/2:2022 Energetische Berechnungen von Gebäuden - Dynamisches Verfahren für Bedarfsabklärungen, Leistungs- und Energiebedarf*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2022, p. S.10.

10 Anhang

- 1 Pläne
 - 1.1 Architektur
 - 1.2 Lüftung
 - 1.3 Kühldecke
 - 1.4 Zonenplan
- 2 Nutzungsprofil
 - 2.1 Zonenplan
 - 2.2 Mitarbeiterliste Nutzungsprofil
 - 2.3 Auswertung Sitzungszimmer
- 3 Interne Wärmequellen
 - 3.1 Beleuchtung
 - 3.2 Elektrische Geräte
- 4 Auswertung IST- Zustand
 - 4.1 Heizlast
 - 4.2 Kühllast
 - 4.3 Energiebedarf
 - 4.4 Lufttemperatur
 - 4.5 Luftqualität
- 5 Auswertung Variante 1
 - 5.1 Energiebedarf
 - 5.2 Raumlufthtemperatur
 - 5.3 Raumlufthqualität
- 6 Auswertung Variante 2
 - 6.1 Energiebedarf
 - 6.2 Raumlufthtemperatur
 - 6.3 Raumlufthqualität