



Hochschule Magdeburg-Stendal

Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit

Masterstudiengang Energieeffizientes Bauen und Sanieren

Thema:

**Optimierung und Umbau der heizungs- und
kältetechnischen Anlage eines Einkaufszentrums**

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of
Engineering“(M.Eng.)

Pariya Tajdary

Matrikelnummer: 30048739

Abgabedatum: 01.10.2024

Erstbetreuerin: Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow

Zweitbetreuer: M.Eng. Markus Goldmann

Danksagung

Zunächst möchte ich mich ganz herzlich bei Frau Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow, meiner Erstprüferin, bedanken. Während der gesamten Bearbeitungszeit meiner Masterarbeit konnte ich stets auf ihre wertvolle fachliche Unterstützung und ihr Vertrauen in meine Arbeit zählen. Besonders in schwierigen Phasen hat sie mir mit ihrem Rat sehr geholfen, wofür ich ihr besonders dankbar bin.

Mein Dank gilt auch besonders Herrn M.Eng. Markus Goldmann, Geschäftsbereichsleiter HKLS bei der Firma M&P Magdeburg GmbH, der mir als zweiter Prüfer während der Anfertigung meiner Masterarbeit zur Seite stand. Durch seine praxisnahen Hinweise und die umfassende Bereitstellung von Informationen konnte ich kontinuierlich Fortschritte machen und das Projekt erfolgreich abschließen.

Auch den Kolleginnen und Kollegen der Firma M&P Magdeburg möchte ich herzlich für ihre Unterstützung danken, insbesondere meinem Kollegen Christoph Burger. Seine Geduld, sein Fachwissen und seine Bereitschaft, mir jederzeit bei Fragen zu helfen, haben mich sehr inspiriert und ermutigt.

Ein großer Dank gilt meiner Familie: meinen Eltern und meinem Bruder, die mich immer unterstützt und motiviert haben, meinem Freund, der immer an mich geglaubt hat und meinen Freundinnen, die mir durch ihre moralische Unterstützung und ermutigenden Worte geholfen haben, auch in stressigen Zeiten nicht den Mut zu verlieren.

Aufgabenstellung

Die vorliegende Masterarbeit fokussiert sich auf den Umbau und Modernisierung technischer Anlagen in einem Einkaufszentrum in Heidenheim aus dem Jahr 1970.

Die Hauptaufgabe der Masterarbeit ist die Untersuchung von Verbesserungsvorschlägen für die wärme- und kältetechnische Versorgung, um die energetische Effizienz des Gebäudes zu steigern.

Grundlage dabei bilden folgende Daten: Gebäudebestandspläne, Fotodokumentation und ein erster Flächenumbauentwurf.

Ursprünglich war der Aufbau der Masterarbeit so geplant, dass zunächst der energetische Zustand des Gebäudes analysiert wird, um darauf aufbauend verschiedene Versorgungskonzepte vorzuschlagen und deren energetische Effizienz zu bewerten. Aufgrund unzureichender Informationen über die vorhandene Anlagentechnik und zahlreicher Änderungen im Laufe der Masterarbeit wurde diese Vorgehensweise angepasst und wie folgt vorgegangen.

Im ersten Schritt erfolgt eine detaillierte Bestandsaufnahme der Bauteile wie Außenwände, Dachkonstruktion, Fenster sowie der Temperaturanforderungen und des Raumklimas. Außerdem werden die U-Werte der Bauteile analysiert und Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz vorgeschlagen. Dieser Schritt bildet die Grundlage für alle weiteren Planungen und Berechnungen.

Anschließend erfolgt die Detailplanung der Heizungs-, Lüftungs- und Kältetechnik des Gebäudes. Sie umfasst die Heiz- und Kühllastberechnungen, die Auslegung der RLT-Anlagen sowie die Planung der Heiz- und Kühlkreise. Verschiedene Versorgungsmöglichkeiten und Geräte werden beschrieben. Außerdem wird das Rohrnetz unter Berücksichtigung der Heiz- und Kühllasten dimensioniert. Diese Planungen bilden das technische Rückgrat für die energetische Optimierung des Gebäudes.

Die Herausforderungen und notwendigen Anpassungen im Projektverlauf werden im nächsten Schritt beschrieben. Dabei wird auf die baulichen Änderungen, die Anpassung der Grundrisse sowie die Anpassung der TGA-Planung an neue Nutzungsanforderungen und geänderte Rahmenbedingungen eingegangen.

Darüber hinaus werden auf Basis der TGA-Planung energetische Berechnungen für das gesamte Gebäude durchgeführt. Auf Basis dieser Bilanzierungen erfolgt eine umfassende Bewertung der Energieeffizienz des Gebäudes und der vorgeschlagenen Maßnahmen. Die berechneten Bedarfswerte werden anschließend mit realen Verbrauchsdaten und Referenzwerten anderer Gebäude der gleichen Gebäudekategorie verglichen.

Die Masterarbeit wird ergänzend zum Planungsprozess Lph1-8 von der Firma M&P Magdeburg GmbH ausgeführt.

Ansprechpartner während der Bearbeitung sind Herr Goldmann der Geschäftsbereichsleiter HKLS M&P Magdeburg und Prof. Jagnow, Hochschule Magdeburg-Stendal.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	7
1. Baubeschreibung	8
1.1. Vorstellung des Untersuchungsobjekts	9
1.2. Ansicht des Gebäudes.....	9
1.3. Grundriss.....	10
1.3.1. Erdgeschoss	10
1.3.2. Obergeschoss	11
1.4. Temperatur	12
1.5. Raumklima Anforderungen	14
1.6. Bauteilen und U-Werten	15
1.6.1. Außenwand.....	16
1.6.2. Trennwand	17
1.6.3. Fenster	17
1.6.4. Andere Bauteile	18
1.6.5. Dachisolierung und neue U-Wert	18
2. TGA-Planung.....	21
2.1. Heizlastberechnung	22
2.1.1. Luftmengenermittlung	22
2.1.2. Ergebnisse der Heizlastberechnung	24
2.2. Kühllastberechnung.....	24
2.3. RLT-Anlage.....	25
2.4. Weitere Kühlungs- und Heizungsgeräte	27
2.4.1. Umluftgerät	29
2.4.2. Split-Klimaanlage.....	29
2.4.3. VRF-Klimasystem.....	30
2.4.4. Türluftschleier	31
2.5. Heizungs- und Kühlungskreis	33
2.5.1. Dynamischer Heiz-/Kühlkreis (HK1)	33
2.5.2. Dynamischer Heizkreis (HK2).....	33
2.5.3. Statischer Heizkreis (HK3).....	33
2.5.4. Schema	33
2.6. Rohrnetzberechnung	34

2.6.1. Software „Viptool Piping“	34
2.6.2. Beschreibung der Rohrnetzberechnung	34
2.6.3. Berechnung der Rohrdurchmesser für HK1 (Dynamischer Heiz-/Kühlkreis).....	35
2.7. Versorgungskonzept.....	36
2.7.1. Alte Versorgung	36
2.7.1.1. Heizung	37
2.7.1.2. Lüftungsanlage	37
2.7.2. Außenluft-Wärmepumpe.....	37
2.7.3. Wasser-Wasser-Wärmepumpe	39
2.7.4. Versorgungsschema	39
3. Änderungen während des Projekts.....	41
3.1. Baubeschreibung.....	42
3.2. Baumarkt	43
3.3. Grundrisse des Projekts	44
3.4. Luftmengenmittlung	45
3.5. Gewerbekälte und Entfeuchtung.....	45
3.6. Leerstand	47
3.7. Restaurant und Küche.....	48
3.8. WC-Räume.....	49
3.9. Lichtpunkthöhe	49
4. Bilanzierung.....	51
4.1. Software IBP:18599	52
4.2. Zonierung von Nichtwohngebäuden	53
4.2.1. Ablauf der Zonierung	53
4.2.2. Nutzungsrandbedingungen	54
4.2.3. Berücksichtigung der Konditionierung.....	56
4.2.4. Kombination der beiden Zonierungen	58
4.3. Beleuchtung	60
4.4. Heizung	63
4.5. Trinkwarmwasser.....	65
4.6. Kühlung	67
4.7. Belüftung	70
4.8. Gebäudeergebnisse	73

4.9. Verbrauchsdaten	76
Fazit	78
Ausblick	79
Literaturverzeichnis	80
Softwareverzeichnis	82
Abbildungsverzeichnis	83
Tabellenverzeichnis	85
Formelverzeichnis	86
Anhang	87
Selbstständigkeitserklärung.....	88

Einleitung

Angesichts zunehmender Umweltprobleme und steigender Energiekosten wird die energetische Sanierung des Gebäudebestandes immer wichtiger. Insbesondere bei älteren Gebäuden, die noch nicht den heutigen energetischen Standards entsprechen, besteht ein großes Potenzial zur Reduzierung des Energieverbrauchs. Eine optimierte technische Gebäudeausrüstung (TGA) kann helfen, den Energieverbrauch deutlich zu senken und gleichzeitig den Komfort und die Effizienz des Gebäudebetriebs zu steigern.

Die energetische Modernisierung von Gebäuden umfasst verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz von Heizung, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung. Dies kann durch den Einsatz von Wärmepumpen, die Erneuerung der Dämmung und intelligente Steuerungssysteme erreicht werden. Durch den Austausch veralteter Anlagen und den Einsatz neuer Technologien kann nicht nur der Energieverbrauch gesenkt, sondern auch der CO₂-Ausstoß reduziert und damit ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.

1. Baubeschreibung

1.1. Vorstellung des Untersuchungsobjekts

Das untersuchte Objekt ist ein Supermarkt, der sich in der Nattheimer Str. 100 in Heidenheim befindet. Das Gebäude wurde im Jahr 1974 errichtet und wird als ein Lebensmittelmarkt mit Konzessionärsflächen benutzt. Im Jahr 1989 wurde ein Baumarkt daneben angebaut, aber es wird in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt.

Die Technische Gebäudeausrüstung (TGA) ist im Wesentlichen überaltert und ist im Hinblick auf einen längerfristigen Weiterbetrieb des Markts erneuerungsbedürftig.

1.2. Ansicht des Gebäudes

Die folgenden Bilder zeigen verschiedene Ansichten des Gebäudes.



Abbildung 1: Ansichten des Gebäudes, Quelle: Google Maps, abgerufen am 16.05.2024 [1]

Die zwei oberen Bilder zeigen die Nordseite des Gebäudes und das untere Bild die Ostseite. Diese Bilder wurden von Google Maps aufgenommen.

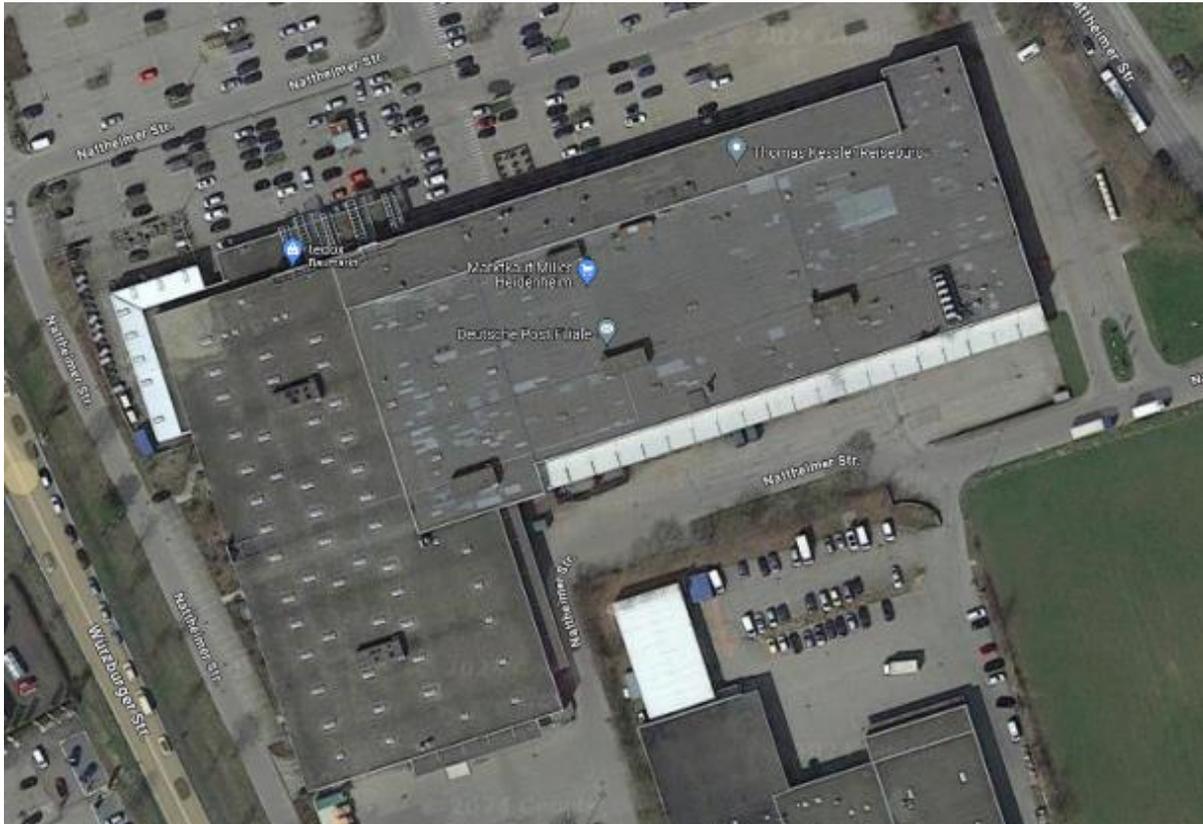


Abbildung 2: Luftbild des Supermarkts 89520 Heidenheim, Nattheimer Str. 100, Quelle: Google Maps, abgerufen am 16.05.2024 [1]

1.3. Grundriss

Der Supermarkt weist eine Grundfläche von 9829,2m² mit zwei Geschossen, Erdgeschoss und Obergeschoss.

Neben dem Supermarkt wurde ein Baumarkt mit 5034,3m² Grundfläche im Jahr 1989 angebaut. Darunter gibt es eine unbeheizte Tiefgarage.

1.3.1. Erdgeschoss

Das Erdgeschoss umfasst hauptsächlich Marktbereich, Lager und Konzessionärsflächen.

	Markt
	Konzessionär
	Restaurant
	Lager
	Kühl- und Vorbereitungsraum
	Technikraum
	Verwaltung, Sozial- und Personalraum
	WC-Kunden
	Baumarkt

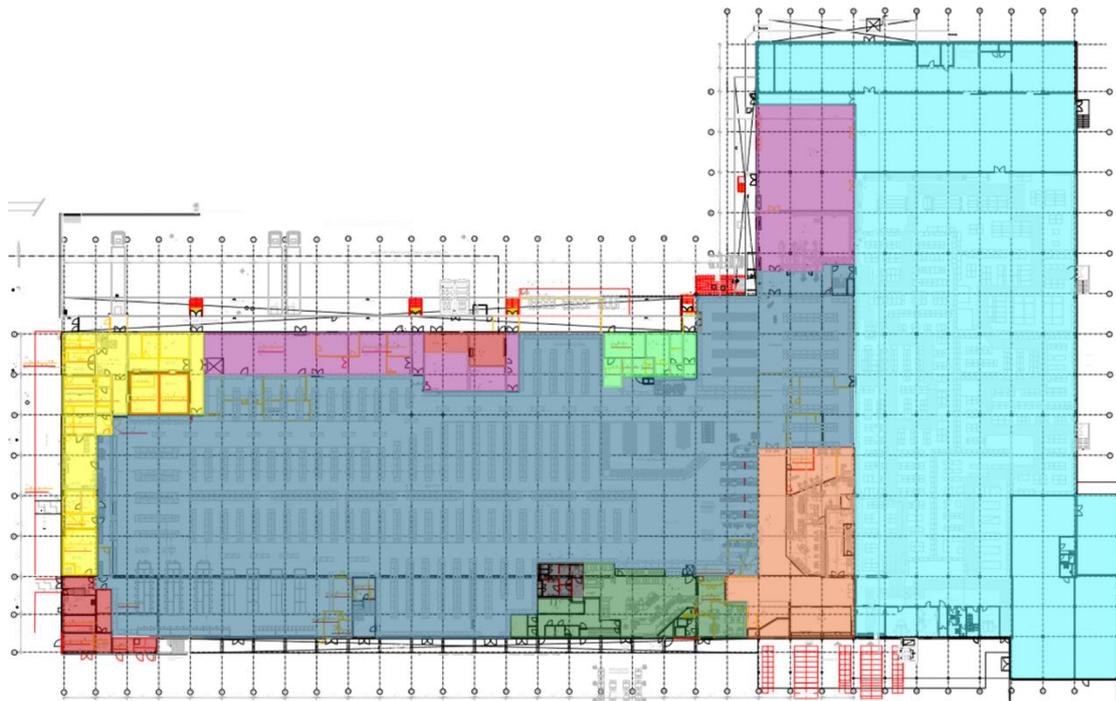


Abbildung 3: Grundriss Erdgeschoss [2] bearbeitet

1.3.2. Obergeschoss

Das Obergeschoss umfasst Verwaltung, Sozialbereiche für Mitarbeiter und Lagerräume.

- Lager
- Technikraum
- Verwaltung, Sozial- und Personalraum
- Leerstand
- Baumarkt

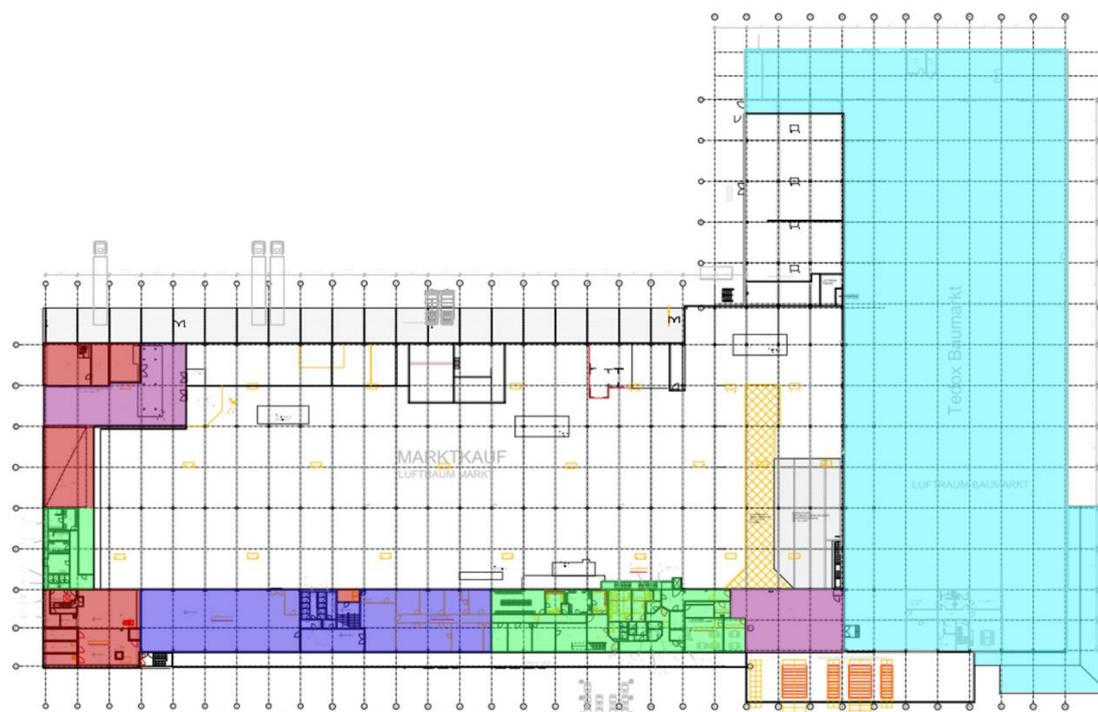


Abbildung 4: Grundriss Obergeschoss [2] bearbeitet

1.4. Temperatur

In diesem Projekt sind verschiedene Temperaturzonen erforderlich, um die unterschiedlichen Anforderungen der Räume zu erfüllen.

Die vorgelegte Baubeschreibung stammt aus dem Jahr 2021 und enthält mit Ausnahme der Kühlräume keine spezifischen Angaben zu den Raumtemperaturen. Auch der Bauherr hat dazu keine weiteren Informationen bereitgestellt. Aufgrund dieser fehlenden Angaben wurden die Temperaturwerte von anderen Supermärkten übernommen, um eine fundierte Grundlage für die Planung zu schaffen.

Es wurden verschiedene Temperaturbereiche ermittelt, die den spezifischen Anforderungen der einzelnen Räume entsprechen, um optimale Lager- und Komfortbedingungen zu gewährleisten. Diese wurden in den Plänen farblich gekennzeichnet, um eine klare visuelle Darstellung zu ermöglichen.

Diese Pläne sind nachstehend aufgeführt.

Legende:

	Verkaufsfläche 19 °C
	WC, Umkleide, Aufenthaltsraum, Shops, Restaurant 21 °C
	Lager, Putzraum, Küche, Vorbereitungsraum 16 °C
	Technikraum 5 °C (frostfrei)
	Büros und Leerstand 20 °C
	Flur 15 °C
	Kühlraum -25 °C bis 12 °C

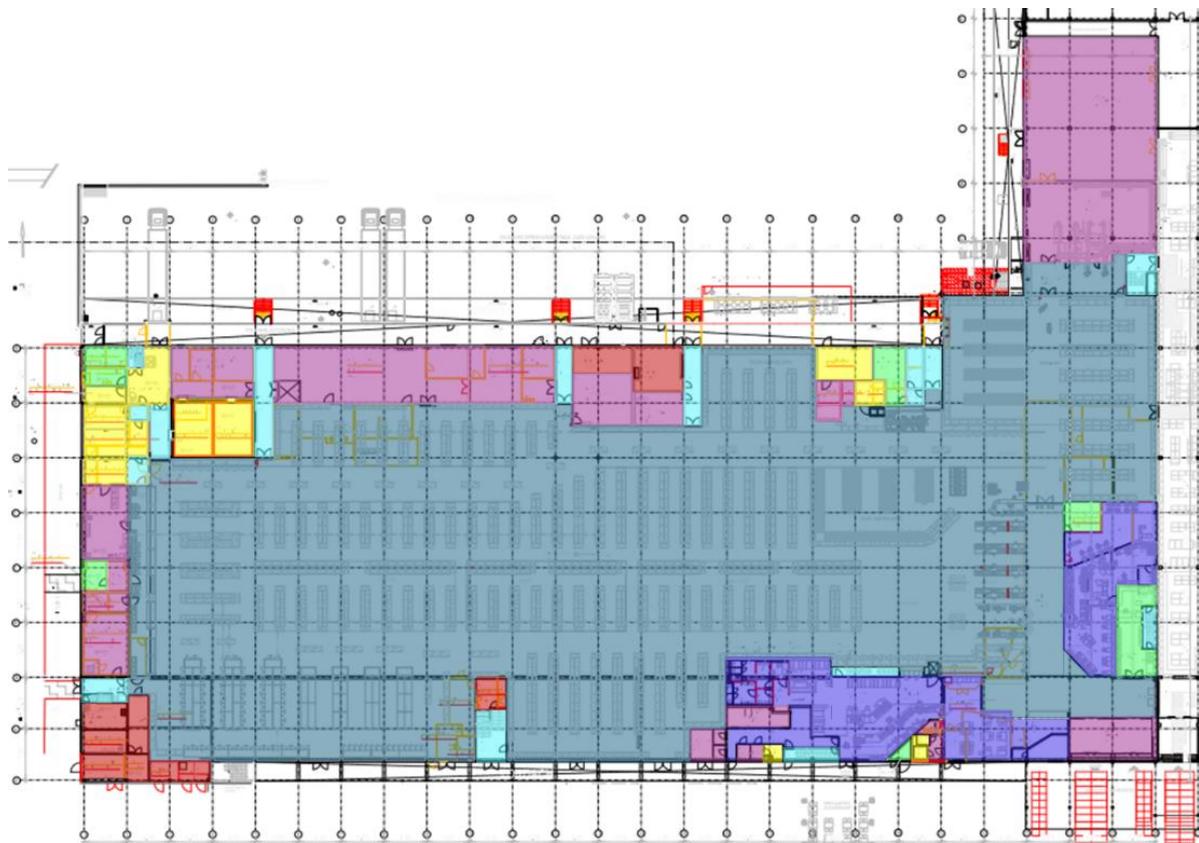


Abbildung 5: Grundriss Erdgeschoss, Temperaturbereiche [2] bearbeitet

Legende:

- WC, Umkleide, Aufenthaltsraum, Shops, Restaurant 21 °C
- Lager, Putzraum, Küche, Vorbereitungsraum 16 °C
- Technikraum 5 °C (frostfrei)
- Büros und Leerstand 20 °C
- Flur 15 °C
- Waschraum 24 °C

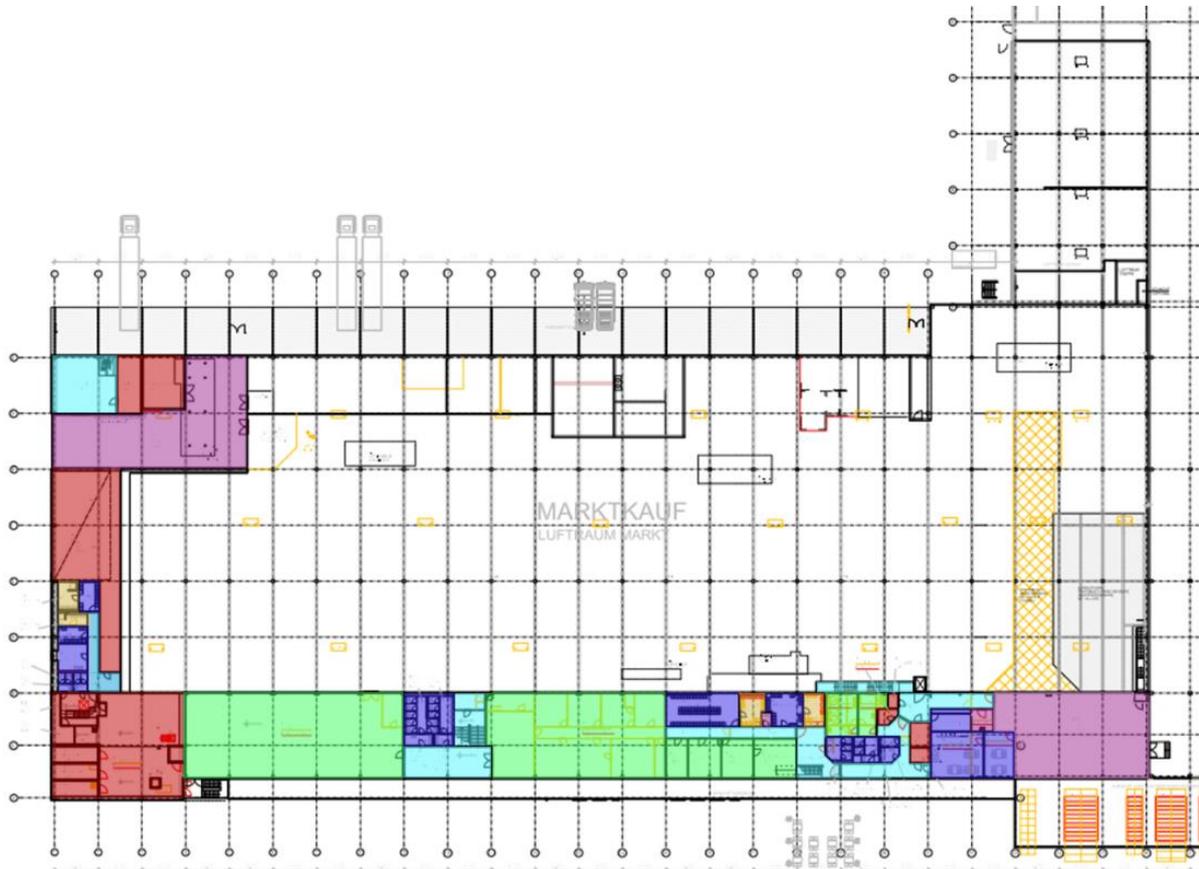


Abbildung 6: Grundriss Obergeschoss, Temperaturbereiche [2] bearbeitet

Die Kühlräume sind auf unterschiedliche Temperaturen eingestellt, um die Qualität und Haltbarkeit der jeweiligen Produkte zu gewährleisten. Diese Temperaturbereiche entsprechen den Vorgaben aus der Baubeschreibung. Nachfolgend sind die einzelnen Bereiche mit den jeweiligen Temperaturen aufgeführt:

- Tiefkühlraum -25 °C
- Mopro-Kühlraum 4-6 °C
- Obst- und Gemüse Kühlraum 8-12 °C
- Fischkühlraum 0-2 °C
- Wurstkühlraum 2-4 °C
- Fleischkühlraum 0-2 °C
- Konfiskatkühlraum 4-6 °C
- Fleisch- Auspackraum 0-2 °C

1.5. Raumklima Anforderungen

Die Planung von Heizung, Kühlung und Lüftung in einem Supermarkt ist entscheidend für den Betrieb des Gebäudes, die Qualität der gelagerten und verkauften Waren sowie das Wohlbefinden der Kunden und Mitarbeiter. Insbesondere im Lebensmitteleinzelhandel spielen die Temperaturregelung und die Luftqualität eine zentrale Rolle, um sowohl die Frische der Produkte zu sichern als auch ein angenehmes Einkaufserlebnis zu bieten. Gleichzeitig sind Energieeffizienz und die Minimierung der Betriebskosten wesentliche Ziele, die bei der technischen Planung berücksichtigt werden müssen [4]. Aus diesem Grund hat der Bauherr spezifische Anforderungen für die Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungssysteme in den verschiedenen Bereichen des Supermarktes gestellt. Diese Anforderungen orientieren sich an den aktuellen Standards und Normen der Bau- und Gebäudetechnik und bilden die Grundlage für das Versorgungskonzept.

In den folgenden Plänen sind die einzelnen Räume entsprechend ihrer Anforderungen an Kühlung, Lüftung und Heizung farblich gekennzeichnet.

Legende:

	Belüftet, beheizt, gekühlt
	Belüftet, gekühlt
	Belüftet, beheizt
	beheizt
	belüftet



Abbildung 7: Grundriss Erdgeschoss, Klimaanforderungen [2] bearbeitet

Legende:

	Belüftet, beheizt, gekühlt
	Belüftet, gekühlt
	Belüftet, beheizt
	beheizt
	belüftet
	Beheizt, gekühlt

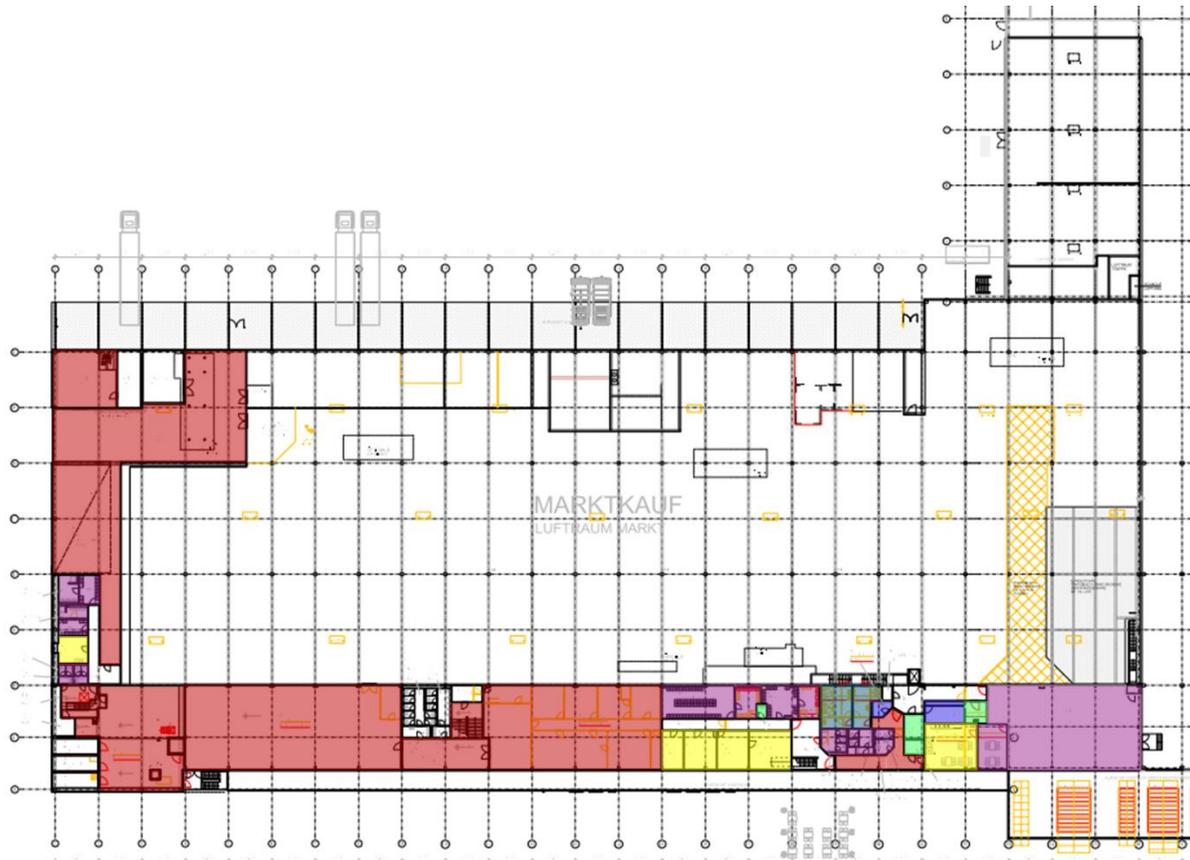


Abbildung 8: Grundriss Obergeschoss, Klimaanforderungen [2] bearbeitet

Obwohl es keine aktuelle Baubeschreibung vorliegt, wurde ein Auszug aus dem Jahr 2024 vorgelegt, der sich ausschließlich auf die Wärme- und Kälteversorgung konzentriert. Dieser Auszug gibt einen Überblick über die spezifischen Anforderungen an die verschiedenen Zonen der Verkaufsfläche. Diese werden im Folgenden erläutert:

- Obst und Gemüse kühlen
- Kassen kühlen und heizen
- Kühlmöbel TK / SB Wurst kühlen und heizen
- Verkaufsfläche allgemein lüften [2]

1.6. Bauteilen und U-Werten

Der U-Wert, auch Wärmedurchgangskoeffizient genannt, beschreibt den Wärmestrom durch ein Bauteil in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen der warmen und der kalten Seite. Er wird in der Einheit $W/(m^2 \cdot K)$ angegeben. Der U-Wert ist abhängig von der Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Materials und der jeweiligen Schichtdicke des Bauteils.

Zudem beeinflussen die Lage und der Einbauort des Bauteils sowie die umliegenden Außen- und Innentemperaturen den Wärmestrom. Mit Hilfe des U-Wertes lassen sich Wärmeverluste und die benötigte Heizleistung berechnen [5].

Zu den Aufbauten der Gebäudehülle liegen keine ausreichenden Informationen vor, es sind nur Daten zu den Außenwänden, den Trennwänden zwischen Supermarkt und Baumarkt und den Fenstern vorhanden. Aus diesem Grund wurden die übrigen U-Werte nach DIN 4108 ermittelt.

Die detaillierte U-Wert-Berechnung der Wände wurde mithilfe der Software „liNear Building“ durchgeführt, die in der liNear-Softwarefamilie das Herzstück zur Berechnung von Gebäudelasten bildet [6].

1.6.1. Außenwand

Alle Außenwände des Supermarktgebäudes haben die gleiche Konstruktion und damit die gleichen U-Werte.

U-Wert: 0,96 W/m²K

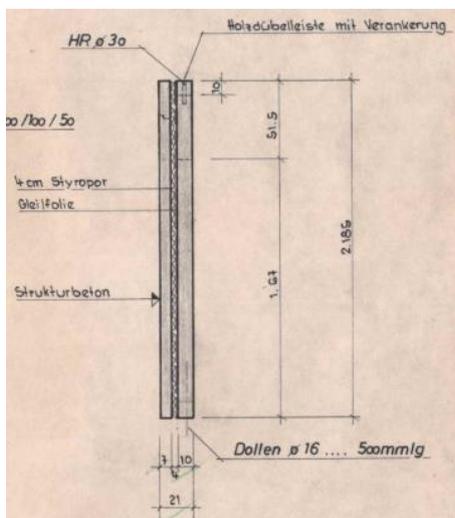


Abbildung 9: Schnitt von Außenwand [2]

Zusammengesetztes Bauteil | Temperaturverlauf

Nr. 9 Außenwand

Vordefinierte Werte verwenden

U-Wert W/(m²K)

Der Schichtaufbau erfolgt bei der Verwendung in senkrechten Bauteilen von innen nach außen (Schicht Nr. 1 ist innen).
Bei Fußböden, Decken und Dächern erfolgt der Aufbau immer von oben nach unten (Schicht Nr. 1 ist oben).

Typ	Baustoff-Nr.	Schichtbezeichnung	Dicke m	Breite m	λ W/(m·K)	ρ kg/m ³	c kJ/(kg·K)
1 einfach	5.5	DIN EN 12524: Beton armiert (mit 1% Stahl) (Lambda: 2.300)	0.1000		2.300	2300.0	1.000
2 einfach	8.10	DIN 4108-4: Expandierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13163 (Lambda: 0.050)	0.0400		0.050	20.0	1.450
3 einfach	5.5	DIN EN 12524: Beton armiert (mit 1% Stahl) (Lambda: 2.300)	0.0700		2.300	2300.0	1.000

Beispiel Rsi/Rse (m²K)/W Senkrechter Schichtaufbau

Gesamtdicke	0.210 m
Oberer Grenzwert	1.04 (m ² K)/W
Unterer Grenzwert	1.04 (m ² K)/W
Maximaler relativer Fehler	0.0 %
Wärmedurchgangswiderstand	1.04 (m ² K)/W
Wärmedurchgangskoeffizient	0.96 W/(m ² K)

Abbildung 10: Außenwandaufbau [eigene]

1.6.2. Trennwand

Die Trennwand zwischen dem Supermarkt und dem Anbaumarkt unterscheidet sich von den Außenwänden und sieht wie in den Abbildungen 11 und 12 dargestellt aus.

U-Wert: 0,54 W/m²K

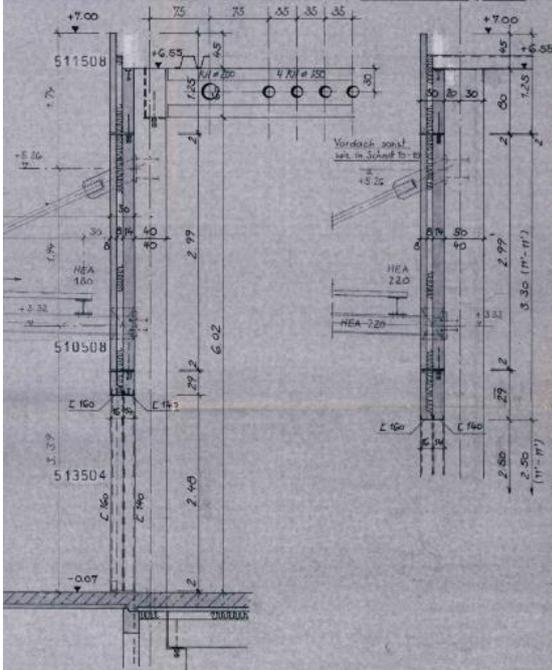


Abbildung 11: Schnitt von Außenwand [2]

Zusammengesetztes Bauteil | Temperaturverlauf

Nr. 13 | AW Tedox neu

Vordefinierte Werte verwenden

U-Wert: 0 W/(m²·K)

Der Schichtaufbau erfolgt bei der Verwendung in senkrechten Bauteilen von innen nach außen (Schicht Nr. 1 ist innen).
Bei Fußböden, Decken und Dächern erfolgt der Aufbau immer von oben nach unten (Schicht Nr. 1 ist oben).

Typ	Baustoff-Nr.	Schichtbezeichnung	Dicke m	Breite m	λ W/(m·K)	ρ kg/m ³	c kJ/(kg·K)
1 einfach	5.5	DIN EN 12524: Beton armiert (mit 1% Stahl) (Lambda: 2.300)	0.1400		2.300	2300.0	1.000
2 einfach	8.10	DIN 4108-4: Expandierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13163 (Lambda: 0.050)	0.0800		0.050	20.0	1.450
3 einfach	5.5	DIN EN 12524: Beton armiert (mit 1% Stahl) (Lambda: 2.300)	0.0800		2.300	2300.0	1.000

Beispiel Rsi/Rse: 0.13 | 0.04 (m²·K)/W Senkrechter Schichtaufbau

Gesamtdicke	0.300 m
Oberer Grenzwert	1.87 (m ² ·K)/W
Unterer Grenzwert	1.87 (m ² ·K)/W
Maximaler relativer Fehler	0.0 %
Wärmedurchgangswiderstand	1.87 (m ² ·K)/W
Wärmedurchgangskoeffizient	0.54 W/(m ² ·K)

Abbildung 12: Außenwandaufbau [eigene]

1.6.3. Fenster

Die meisten Fenster sind aus Kunststofffenster mit ISO-Doppelverglasung und Dreh-Kipp-Funktion und wurden nach Aussage des Marktleiters, erst vor ca. 6-7 Jahren erneuert. Der U-Wert beträgt 1,50 W/m²K [2].

1.6.4. Andere Bauteile

Tabelle 1 zeigt die U-Werte anderer Bauteile des Gebäudes.

Bauteil	DIN 4108
Dach	0,79 W/m ² K
Kellerdecke	0,81 W/m ² K
Fußboden gegen Erde	1,00 W/m ² K
Eingangstür	2,50 W/m ² K
Kühlraumwand/decke	0,10 W/m ² K

Tabelle 1: Bauteile U-Werte [3]

1.6.5. Dachisolierung und neue U-Wert

Der Bauherr verlangt die Dämmung des Daches, um den Wärmeverlust des Gebäudes zu reduzieren und die Energieeffizienz zu verbessern. Eine effektive Dachdämmung kann den Energieverbrauch und damit die Betriebskosten erheblich senken und ist eine wesentliche Maßnahme, um die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) zu erfüllen.

1.6.5.1. GEG-Anforderungen

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) ist ein Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Erzeugung von Wärme, Kälte und Strom für den Betrieb von Gebäuden unter Beachtung des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit und der nachhaltigen Entwicklung der Energieversorgung. In Anlage 7 des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sind die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten für Außenbauteile bei Änderungen an bestehenden Gebäuden festgelegt [7].

Für das Dach gelten folgende Werte.

Nummer	Erneuerung, Ersatz oder erstmaliger Einbau von Außenbauteilen	Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Raum-Solltemperatur $\geq 19\text{ °C}$	
		Zonen von Nichtwohngebäuden mit Raum-Solltemperatur von 12 bis $< 19\text{ °C}$	
Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{max}			
Bauteilgruppe: Dachflächen sowie Decken und Wände gegen unbeheizte Dachräume			
5a	Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächen einschließlich Dachgauben sowie gegen unbeheizte Dachräume abgrenzende Decken (oberste Geschossdecken) und Wände (einschließlich Abseitenwände): – Ersatz oder – erstmaliger Einbau Anzuwenden nur auf opake Bauteile	$U = 0,24\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$	$U = 0,35\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
5b	Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächen einschließlich Dachgauben sowie gegen unbeheizte Dachräume abgrenzende Decken (oberste	$U = 0,24\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$	$U = 0,35\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

	Geschossdecken) und Wände (einschließlich Abseitenwände): – Ersatz oder Neuaufbau einer Dachdeckung einschließlich der darunter liegenden Lattungen und Verschalungen oder – Aufbringen oder Erneuerung von Bekleidungen oder Verschalungen oder Einbau von Dämmschichten auf der kalten Seite von Wänden oder – Aufbringen oder Erneuerung von Bekleidungen oder Verschalungen oder Einbau von Dämmschichten auf der kalten Seite von obersten Geschossdecken Anzuwenden nur auf opake Bauteile		
5c	Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächen mit Abdichtung: – Ersatz einer Abdichtung, die flächig das Gebäude wasserdicht abdichtet, durch eine neue Schicht gleicher Funktion (bei Kaltdachkonstruktionen einschließlich darunter liegender Lattungen) Anzuwenden nur auf opake Bauteile	U = 0,20 W/(m ² ·K)	U = 0,35 W/(m ² ·K)

Tabella 2: Höchstwerte der U-Werte von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden [7]

Wie dargestellt, werden die U-Werte in zwei Kategorien unterteilt: „Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Raum-Solltemperatur $\geq 19\text{ °C}$ “ und „Zonen von Nichtwohngebäuden mit Raum-Solltemperatur von 12 bis $< 19\text{ °C}$ “. Da die Verkaufsfläche mit einer Solltemperatur von 19 °C einen großen Teil des Gebäudes ausmacht, wurden die U-Werte aus der Spalte „Nichtwohngebäude mit Raum-Solltemperatur $\geq 19\text{ °C}$ “ verwendet. Danach darf der U-Wert des Daches maximal $0,20\text{ W/(m}^2\text{·K)}$ betragen.

Um diese Anforderung zu erfüllen, wurden zwei unterschiedliche Konstruktionen gewählt. Die erste Konstruktion ist für den Dachbereich mit einer Höhe von 7 m vorgesehen (Abbildung 13), während die zweite Konstruktion für den nördlichen Bereich mit einer Höhe von 8,4 m (Abbildung 14) entwickelt wurde.

Die Berechnung der neuen Dachkonstruktionen wurde mithilfe der Ubakus-Website durchgeführt. „Ubakus.de“ ist eine Webseite, die bei der Planung von Wärmedämmung unterstützt. Sie bietet Informationen zu Wärmeverlusten, möglichen Feuchteproblemen und zur Ökobilanz.

Annahme U-Wert $\approx 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

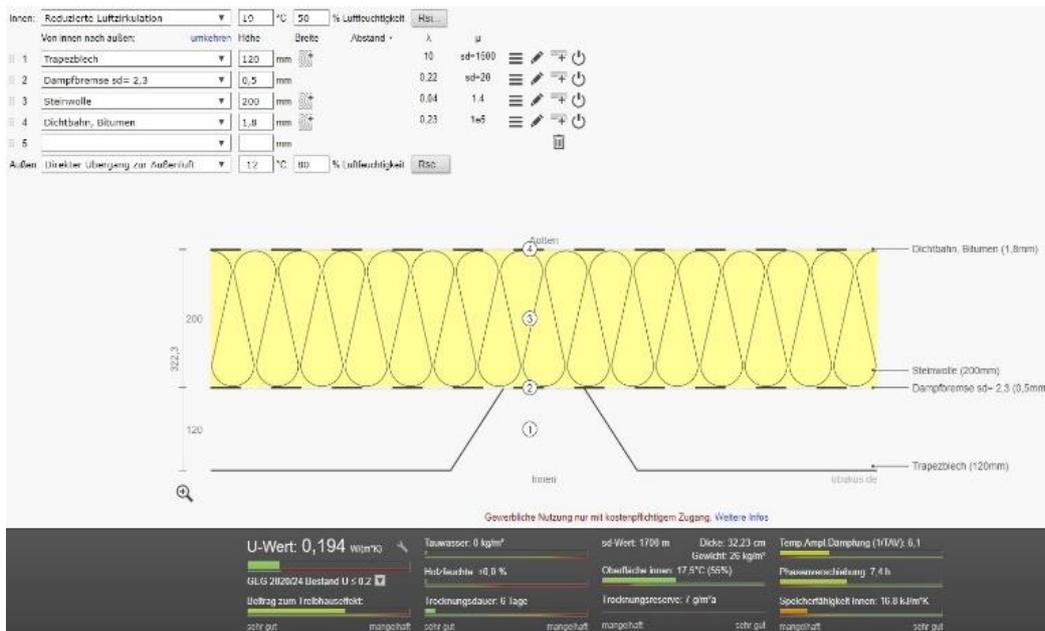


Abbildung 13: Dachaufbau 20cm Dämmung, Ubakus

U-Wert: 0,14 $\text{W/m}^2\text{K}$

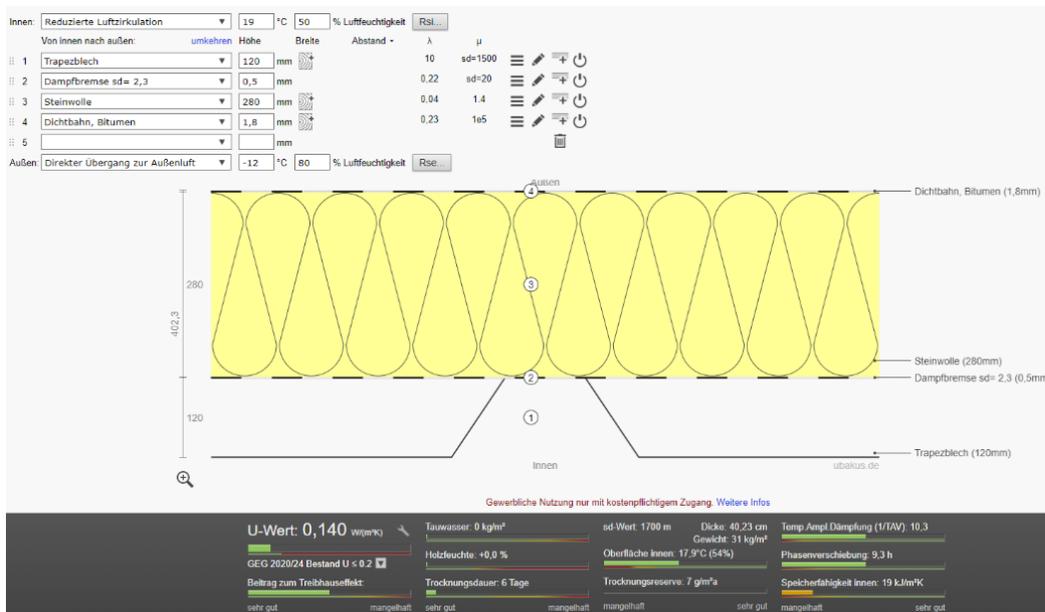


Abbildung 14: Dachaufbau 28cm Dämmung, Ubakus

2. TGA-Planung

In diesem Kapitel wird detailliert auf die Planung von Heizungs-, Lüftungs- und Kälteanlagen eingegangen. Die Heiz- und Kühllastberechnungen werden durchgeführt, um die erforderlichen Anlagenkapazitäten zu ermitteln. Darüber hinaus werden verschiedene Versorgungskonzepte wie z.B. der Einsatz von Wärmepumpen untersucht, um die Energieeffizienz des Gebäudes zu steigern.

Ziel der TGA-Planung ist es, durch optimierte technische Systeme die Energieeffizienz des Gebäudes zu verbessern und eine zuverlässige Versorgung mit Wärme und Kälte sicherzustellen.

2.1. Heizlastberechnung

Die Heizlastberechnung ist eine Leistungsberechnung [W, kW]. Sie betrachtet einen stationären Zustand unter den statistischen Auslegungsbedingungen (rechnerisch kältester Tag) und ohne Auftreten von Wärmegewinnen (Personen, Geräte, Sonne) [8].

Das Verfahren zur Berechnung der Heizlast ist in der DIN EN 12831 beschrieben.

Die Heizlast eines Gebäudes ergibt sich aus der Summe aller Transmissions- und Lüftungswärmeverluste zuzüglich einer Wiederaufheizleistung der einzelnen Räume, jeweils bezogen auf eine Rauminnentemperatur und eine Normaußentemperatur. (siehe Formeln 1 und 2).

$$\Phi_{HL,i}^{**} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + (\Phi_{hu,i})^*$$

Formel 1: Normheizlast eines Raumes "i"

$$\Phi_{HL,build} = \Phi_{T,build} + \Phi_{V,build} + (\Phi_{hu,build})^*$$

Formel 2: Normheizlast eines Gebäudes

Wobei:

Φ_T = Transmissionsheizlast [W]

Φ_V = Lüftungsheizlast [W]

Φ_{hu} = Wiederaufheizleistung nach Heizunterbrechung [W] (muss normalerweise mit dem Auftraggeber vereinbart werden; in diesem Projekt wird es weggelassen)

2.1.1. Luftmengenermittlung

Auf Wunsch des Bauherrn werden viele Räume wie z.B. die Verkaufsfläche und die Lager mit einer Lüftungsanlage ausgestattet. Für die Auslegung dieser RLT-Anlage müssen zunächst die erforderlichen Volumenströme berechnet werden. Anschließend wird auf Basis dieser Volumenströme und der aktualisierten U-Werte die Heizlast berechnet.

Die Berechnung der Volumenströme wird in zwei Hauptkategorien unterteilt:

Mindest-Außenluft-Volumenstrom: Dieser stellt sicher, dass genügend Frischluft zugeführt wird, um eine angemessene Luftqualität zu gewährleisten.

Der Mindest-Außenluft-Volumenstrom kann auf verschiedene Weise bestimmt werden:

Tabelle dargestellt. Diese Werte bilden die Grundlage für die genaue Bestimmung der internen und externen Lasten, die entscheidend zur Gesamtkühllast eines Gebäudes beitragen.

Raum	Temperatur °C	Person/m ²	Beleuchtung (W/m ²)	Zusatz (W/m ²)
01 Markt	24	0,15	10	-
02 Getränkemarkt	24	0,15	10	-
12 EDV+ USV	24	-	-	3500 W/24 h
78 Imbiss	24	0,15	10	-
80 Schlüsseldienst	24	0,15	10	-
81 Bäckerei	24	0,15	10	-
82 Friseur	24	0,15	10	-
83 Reisebüro	24	0,15	10	-
91 Mall	24	0,15	10	-
92 Vorraum Leergutautomat	24	0,15	10	-
1.02 Aufenthalt	24	0,5	10	15
1.03 Wasseraufbereitung	24	3 Person	10	500 W
1.08 ELA	24	-	-	2500 W/24 h
1.13 Marktleiter	24	5 Person	10	500 W
1.14 Sekret.	24	3 Person	10	800 W
1.20 Büro	24	0,1	10	300 W/Person
1.21 Besprechung	24	0,5	10	500 W
1.22 Sekretariat	24	0,1	10	300 W/Person
1.23 Büro Marktleiter	24	0,1	10	300 W/Person

Tabelle 4: Kühllast-Werte [3]

Die berechnete Gesamtkühllast für jeden Raum bildet die Grundlage für die weitere Planung und Dimensionierung der Kühlsysteme.

In Tabelle 5 wird die Gesamtkühllast des Gebäudes und der Verkaufsfläche dargestellt.

	Gesamt (W)	Verkaufsfläche (W)
nach Dachdämmung	267603	158985
pro m ²	36	29

Tabelle 5: Gesamtkühllast des Gebäudes [eigene]

2.3. RLT-Anlage

RLT-Anlage oder Raumluftechnische Anlagen regulieren das Klima in einem Raum. Dabei übernehmen sie sowohl die Lüftung als auch die Klimatisierung. Unter Klimatisierung versteht man das Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten der Raumlufte. Sie sorgen dafür, dass die Luftqualität in Innenräumen durch den kontrollierten Austausch von Außen- und Innenluft erhalten bleibt. Zudem filtern sie Schadstoffe und Gerüche und sorgen dafür, dass Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf einem angenehmen Niveau bleiben [10]

2.3.1. Auslegung der RLT-Anlage

Anhand der identifizierten Räume, die belüftet werden müssen, und der ermittelten Luftmengen wurden zwei große RLT-Anlagen konzipiert, die in der Lage sind, den gesamten Supermarkt effizient zu belüften und zu klimatisieren. Bei der Auslegung der Anlagen wurden sowohl die Sommer- als auch die Winterbedingungen berücksichtigt, um das ganze Jahr über eine optimale Raumtemperatur und Luftqualität zu gewährleisten. Die Anlagen wurden mit Wärmerückgewinnung ausgestattet, um die Energieeffizienz des Systems weiter zu steigern.

In Übereinstimmung mit der Baubeschreibung wurde beschlossen, als Entfeuchtung ein Nachheizregister in die Lüftungsgeräte integriert wird [2]. Die Entfeuchtung ist besonders wichtig, um eine zu hohe Luftfeuchtigkeit zu vermeiden, die sowohl das Raumklima als auch die Lagerung von Lebensmitteln beeinträchtigen könnte. Die Nacherhitzer sorgen dafür, dass die Zuluft auch bei niedrigen Außentemperaturen auf die gewünschte Temperatur gebracht wird. Der Nacherhitzer wird durch die Gewerbekälteanlage und eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Energie versorgt. Diese Systeme arbeiten zusammen, um die benötigte Wärmeleistung effizient bereitzustellen. Die Gewerbekälteanlage unterstützt das System durch die Nutzung der Abwärme, während die Wasser-Wasser-Wärmepumpe die restliche benötigte Wärme liefert. Diese Kombination gewährleistet eine nachhaltige und wirtschaftliche Erwärmung der Zuluft durch die Nacherhitzer.

In Tabelle 6 sind die wichtigsten Werte der RLT-Anlagen zusammengefasst. Die Tabelle enthält Angaben zu den Luftmengen, Temperaturen und Leistungen der Kühl- und Heizkomponenten, einschließlich der spezifischen Daten für die Nacherhitzer, die durch die Gewerbekälteanlage und eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe versorgt werden.

	Anteil Marktfläche	RLT 1	RLT 2	Summe
\dot{V}_{ZUL} (m ³ /h)	33000	28000	28000	56000
\dot{V}_{ABL} (m ³ /h)	31900	15000	23000	38000
Heizen				
t _{ZUL} (°C)	22	22	22	-
t _{Heizregister}	-	0	7	-
Q _{H RLT} (40/30°C) (kW)	-	207,34	141,37	348,7
t _R Raumtemperatur (°C)	19	-	-	-
Q _H aus Δt (t _{ZUL} -t _R) (kW) (22-19)	33,3	-	-	-
Kühlen/ Entfeuchten				
t _{E/A} Heizregister (°C)	-	29,9/13,5	27,7/13,5	-
x _{E/A} (g/kg)	-	12/9,2	12/9,2	-
Q _{K RLT} (6/12°C) (kW)	-	224,74	202,27	427,01
Nachheizen				
t _{E/A} Heizregister (°C)	-	13,5/18	13,5/18	-
x _{E/A} (g/kg)	-	9,2/9,2	9,2/9,2	-
Q _{H RLT} (40/30°C) (kW)	-	42,41	42,41	84,8
t _R Raumtemperatur (°C)	24	-	-	-
Q _K aus Δt (t _{ZUL} -t _R) (kW) (18-24)	66,4	-	-	-

Tabelle 6: Auslegungswerte der RLT-Anlage [3]

Die Leistung der Kühler und Erhitzer in den RLT-Anlagen spielt eine zentrale Rolle bei der Auslegung der Energieerzeuger des Gebäudes, insbesondere in Bezug auf die thermische Balance und Energieeffizienz des Gesamtsystems.

2.4. Weitere Kühlungs- und Heizungsgeräte

Die RLT-Anlage deckt zwar einen Großteil des erforderlichen Heiz- und Kühlbedarfs der einzelnen Räume ab, kann aber nicht alle Anforderungen vollständig erfüllen. Die restlichen Heiz- und Kühlleistungen, die nicht durch die RLT-Anlage bereitgestellt werden, müssen gemäß den Vorgaben der Baubeschreibung durch zusätzliche Systeme wie Deckenumluftgeräte oder Heizkörper sichergestellt werden. Nach der Ermittlung der erforderlichen Heiz- und Kühllasten für jeden Raum wurde eine detaillierte Analyse durchgeführt, um festzustellen, welcher Anteil dieser Lasten durch die RLT-Anlage abgedeckt wird und welcher Anteil durch die zusätzlichen Anlagen übernommen werden muss.

In Tabellen 7 und 8 sind die ermittelten Werte zusammengefasst. Für jeden Raum wird die gesamte Heiz- und Kühllast sowie die Lastaufteilung zwischen der RLT-Anlage und den ergänzenden Systemen dargestellt. Diese Übersicht ermöglicht eine eindeutige Zuordnung der verschiedenen Heiz- und Kühlsysteme zu den jeweiligen Räumen und erleichtert die Nachvollziehbarkeit der Anlagenplanung.

Raum	ϕ _t W	ϕ _v , Inf W	ϕ _v , RLt W	ϕ _v , Abl W	Gesamt Q _z W	ULH W	ausgewählte ULH W	HK W	Q _k W	Q _k ,RLt W	Gesamt Q _k W	ULK W	ausgewählte ULK W	Split W
01 Markt	96222	11295	-33660		73857	73857	7100*12= 85200		158989	-67320	91669	91669	7800*12= 93600	
91 Mall	15377		-2142		13235	13235	7100*2= 14200		18389	-4284	14105	14105	7800*2= 15600	
02 Getränkemarkt	16099		-4182		11917	11917	7100*2= 14200		22034	-8364	13670	13670	7800*2= 15600	
03 Leergutlager	8788				8788	8788	4500*2= 9000							
92 Vorraum Leergutautomat	3108		-612		2496	2496	4000*1= 4000		3460	-1020	2440	2440	5000*1= 5000	
04 Getränkelager	18716	470	-2958		16228	16228	4300*4= 17200							
12 EDV+LUSV	100		-214		-114				4879	-183,6	4695,4			4695,4
11 Kassenbüro	1256	17	-306		967			967						
07 Vorbereitung OHG	-100		-204		-304									
08 Schnippelküche	82		-143		-61									
16 Lager	1329		-306		1023			1023						
18 Lager non food Elektro	1848		-408		1440	1440	3000*1= 3000							
21 Lager non food	3917	120	-714		3323	3323	4100*1= 4100							
22 Lager I	8390	272	-918		7744	7744	4100*2= 8200							
24 Frühmahllieferung	2276	48	-612		1712			1712						
37 Fisch Vorbereitung	367		-245		122									
38 Vobereitung Fleisch	2728	39	-1510		1257			1257						
39 Gewürze	-202		-82		-284									
41 Verpacken	-53		-347		-400									
42 Hausmeister, Pumi, Lager	800		-326		474			474						
71 Wasnerwirt	7707	206	-1394		6519									
83 Reisebüro	243		-170		73			1239	-510	729	729	5000*1= 5000		
82 Friseur	1239		-595		644	644	4000*1= 4000	2748	-595	2153	2153	5000*1= 5000		
01 Bäckerei	1769		-1258		511	511	4000*1= 4000	4453	-511	3942	3942	5000*1= 5000		
80 Schlüsselendienst	999		-272		727	727	4000*1= 4000	3111	-816	2295	2295	5000*1= 5000		
78 Imbiss	2118	30	-459		1689			1685	1554	-2346	-792			
64 WC Damen	436		-58		378			378						
66 Beh. WC	412		61	61	534			534						
67 WC Herren	367		-37		330			330						
68 Vorraum Herren	128		-27		101									
1.26 Aufenth. Raucher	1474	17	-136	561	1916			1916						
1.25 PUMI	-170		-82		-252									
1.03 Wasseraufbereitung	136		-68		68			970	-204	766				766
1.05 Elektro	41		-231		-190									
1.06 Kältemasch.	25		-289		-264									
1.08 ELA	24		-289		-265			2534	-102	2432				2432
1.14 Sekret.	1146		-82		1064			1064	2006	-224,8	1781,2			1781,2
1.13 Marktleiter	387		-95		292			292	2156	-285,6	1870,4			1870,4
1.09 K-WC DA Backer	233		-17		216			216						
1.10 K-WC H Backer	241		-20		221			221						
1.11 K-WC HE SSD	293		-51		242			242						
1.12 K-WC DA SSD	416		-51		365			365						
1.15 Waschr.H	949			153	1102			1102						
1.16 UMKLD	842		-119		724			724						
1.18 Waschr.H	1046			163	1209			1209						
1.19 UMKLD	1488		-258		1230			1230						
1.43 FL-WC D	540		-24		516			516						
1.42 FL-WC H	265		-24		241			241						
1.45 FL-UMKLD	386		-54		332			332						
1.46 FL-WASCHR.H	990			163	1153			1153						
1.47 FL-WASCHR.D	789			163	952			952						
1.48 FL-UMKLD	332		-54		278			278						
Summe			-56042		166076		171100	20413	228522	-86766	141756		149800	11545

Tabelle 7: Heizlast und Kühllast der verschiedenen Räume, die mit RLT-Anlage und weiter Anlagen ausgestattet sind [eigene]

Raum	ϕ_t W	ϕ_v , Inf W	ϕ_v , min W	Gesamt W	ULH W	ausgewählte ULH W	HK W	Qk W	Split-Klimaanlage W
05 Nottreppe	-167			-167					
13 Vorraum	-127			-127					
14 Fluchttreppe 2	336	9	223	568			568		
15 Fluchtflur 3	1117	30	742	1889			1889		
17 Heizung	1136	32	799	1967					
19 Fluchtflur 4	550	19	486	1055			1055		
20 neu Sprinkler	1317	23		1340					
23 Fluchtflur 5	440	21	522	983			983		
32 Flur	284			284					
29 Lager 4	143			143					
30 Wareneingangsbüro	2294	33	553	2880			2880		
27 Flur MZG 3	299			299					
40 Metzger Büro	860			860			860		
43 Fluchtflur 7	558	9	227	794			794		
44 Fluchttreppe 3	393	1	16	410					
52 E-Verteiler	86			86					
53 Fluchttreppenhaus 2	415	16	393	824			824		
54 Wirstoffraum	423	8	201	632					
55 Lager	-123			-123					
56 Lager	159	2	48	209					
57 Vorber.	71			71					
58 Vorber.	372			372					
61 Spülküche	-756			-756					
60 Küche	2204	31		2235					
62 TRHS	460	4	88	552					
63 Verteiler	254			254					
70 Fluchttreppe 1	-728			-728					
72 Lager	57			57					
73 Geschirrr.	55			55					
74 Lager	562			562					
77 Ext.Bank	743	4	92	839					
90 Rückraum Abholstation	346			346					
79 Windfang	2422	33	816	3271					
84 Umkleide	147			147					
85 Treppenhaus	-192			-192					
68 Vorraum Herren	128			128					
1.01 Lager	3956	163		4119	4119	4300*1= 4300			
1.02 Aufenthalt	2655	31		2686			2686	4661	4661
1.04 Empore	190			190					
1.17 PUMI	-272			-272					
1.27 Leerstand	9149	228		9377			9377		
1.20 Büro	903	10	260	1173			1173	1784	1784
1.21 Besprechung	1315	16		1331			1331	2478	2478
1.22 Sekretariat	1261	15	372	1648			1648	1828	1828
1.23 Büro Marktleiter	1878	20		1898			1898	2537	2537
1.24 Flur 3	-1520			-1520					
1.29 Fluchttreppenhaus 2	1554	36		1590			1590		
1.28 Technik 1	157			157					
1.30 Kunden WC H	1268			1268			1268		
1.31 Treppenraum 1	-3169	14	356	-2799					
1.32 Personal Flur	2173	20		2193			2193		
1.33 Kunden WC D	774			774					
1.34 Leerstand	12014	282		12296			12296		
1.50 Technik 3	1813			1813			1813		
1.36 Technik 2	2068	66		2134			2134		
1.41 TRH 3	502			502			502		
1.44 FL-Aufenthalt	928	9	215	1152			1152	1497	1497
1.49 FL-Flur	-710			-710					
1.52 Lager	6620			6620	6620	3500*2= 7000			
1.55 Flur 1	3428			3428			3428		
Summe				73067		11300	55116	14785	14785

Tabelle 8: Heizlast und Kühllast der verschiedenen Räume, die ohne RLT-Anlage und mit weiteren Geräten ausgestattet sind [eigene]

Wie in der Tabelle dargestellt, wurden Umluftkühlgeräte und Splitklimageräte für die Kühlung und Umlufterhitzer und Heizkörper für die Heizung als ergänzende Systeme gewählt. Die Integration dieser ergänzenden Systeme stellt sicher, dass alle Räume den erforderlichen Komfort in Bezug auf Klimatisierung und Heizung erhalten, insbesondere in Bereichen, in denen die Leistung der RLT-Anlage allein nicht ausreicht.

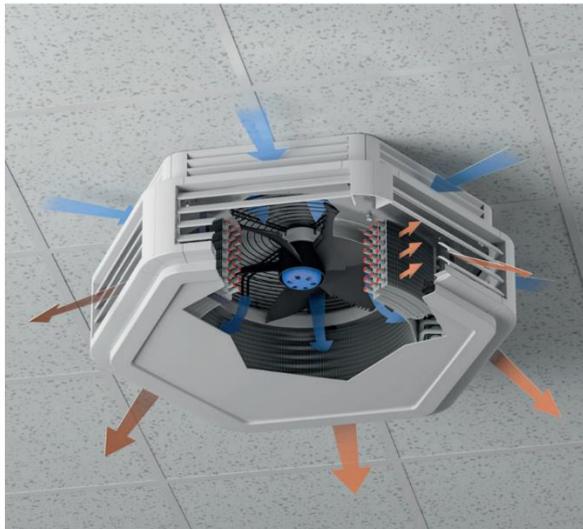
Die Tabelle zeigt auch die Gesamtleistung, die jedes einzelne Gerät zur Kühlung und Heizung der verschiedenen Räume bereitstellen muss.

- Heizkörper: $20413+55116= 75529$ W
- Umlufterhitzer: $171100+11300= 182400$ W
- Umluftkühler: 149800 W
- VRF- und Split-Klimaanlage: $11545+14785= 26330$ W

2.4.1. Umluftgerät

Ein Umluftgerät ist ein Gerät, das Luft zirkuliert, um eine gleichmäßige Temperatur- und Luftverteilung in den Räumen zu gewährleisten. Diese Geräte arbeiten, indem sie die Luft ansaugen, diese durch ein Heizelement erwärmen und dann die erwärmte Luft wieder in den Raum zurückführen. Dadurch wird die Raumluft je nach Betriebsart gleichmäßig erwärmt oder abgekühlt.

Beispiel Heizen



Beispiel Kühlen



Abbildung 17: Funktionsweise eines Umluftgerätes [11]

Als Hersteller der Umluftgeräte wurde in der Baubeschreibung „Kampmann“ festgelegt. Für die Verkaufs- und Konzessionärsflächen wurden Umluftgeräte eingesetzt, die sowohl kühlen als auch heizen können, um eine flexible Anpassung an unterschiedliche Temperaturanforderungen zu ermöglichen. In den Lagerräumen hingegen wurden Umluftgeräte installiert, die ausschließlich zum Heizen ausgelegt sind, da in diesen Bereichen keine Kühlfunktion erforderlich ist. Diese Auswahl ermöglicht es, die unterschiedlichen klimatischen Anforderungen der jeweiligen Bereiche effizient und wirtschaftlich zu erfüllen.

Insgesamt sind 21 Umluftgeräte mit Heiz- und Kühlfunktion vorgesehen. Davon sind 12 Geräte im Marktbereich installiert, wobei eines dieser Geräte im Obst- und Gemüsebereich ausschließlich für die Kühlung ausgelegt ist und laut der Baubeschreibung keine Heizfunktion benötigt. Die restlichen Geräte verteilen sich auf den Getränkemarkt, den Leergutvorraum, die Mall sowie die angrenzenden Läden. Zusätzlich wurden 13 Umluftheritzer in den Lagerbereichen im Erdgeschoss und Obergeschoss installiert.

2.4.2. Split-Klimaanlage

Eine Split-Klimaanlage ist ein Klimasystem, das aus zwei Hauptkomponenten besteht: einer Außeneinheit und einer oder mehreren Inneneinheiten, die jeweils direkt mit der Außeneinheit verbunden sind. Diese Bauweise ermöglicht eine flexible und effiziente Klimatisierung von Innenräumen. Die Außeneinheit enthält den Kompressor und den Kondensator, während die Inneneinheit mit einem Verdampfer und einem Ventilator ausgestattet ist.

Das System arbeitet mit einem Kältemittel, das in einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert. Das Kältemittel wird in der Außeneinheit verdichtet, gekühlt und verflüssigt. Anschließend strömt es in die Inneneinheit, wo es verdampft, dabei Wärme aus der Raumluft aufnimmt und

diese abkühlt. Die gekühlte Luft wird in den Raum geblasen, und das Kältemittel kehrt zur Außeneinheit zurück, um den Kreislauf von neuem zu beginnen [12].

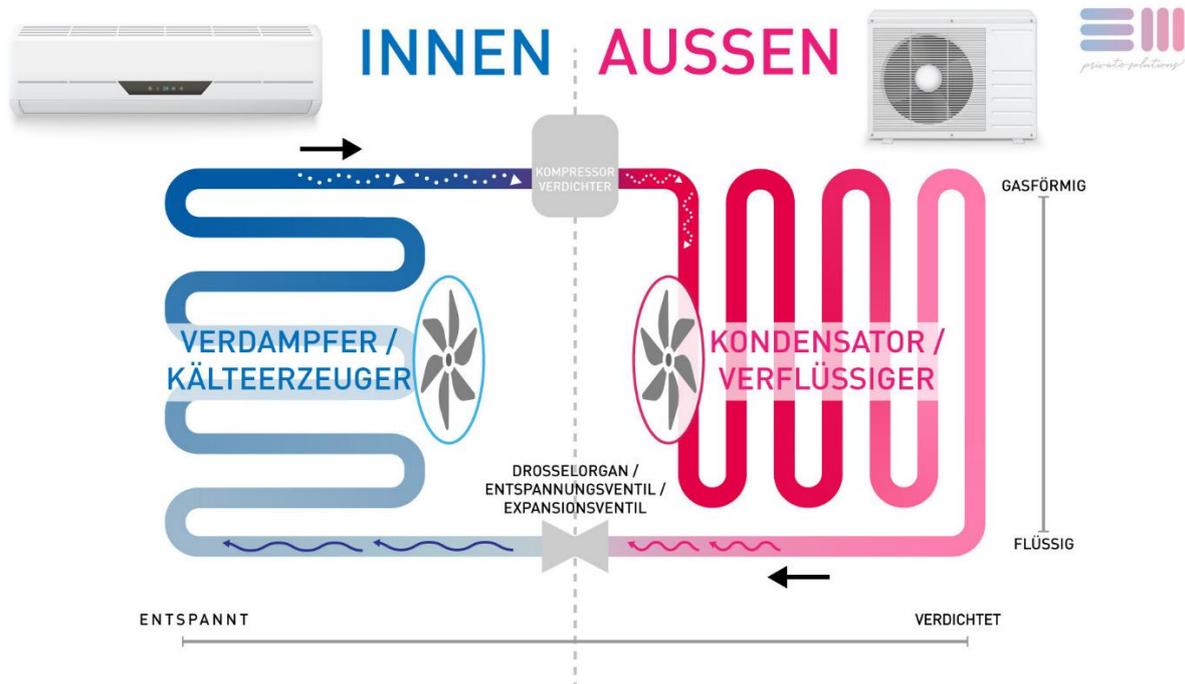


Abbildung 18: Kältekreislauf einer Split-Klimaanlage [12]

In diesem Gebäude sind 2 Split-Klimaanlagen, mit 2 Außeneinheiten auf dem Dach, für die Technikräume installiert, die jeweils über eine Winterregelung verfügen.

2.4.2.1. Erläuterung von Winterregelung

Die Winterregelung von Split-Klimaanlagen für Technikräume ist notwendig, um sicherzustellen, dass die Anlagen auch bei niedrigen Außentemperaturen zuverlässig funktionieren. Technikräume mit Servern, Telekommunikationsgeräten oder anderen empfindlichen elektronischen Geräten müssen das ganze Jahr über kontinuierlich gekühlt werden.

Unter normalen Bedingungen kann eine Klimaanlage bei niedrigen Außentemperaturen möglicherweise nicht effizient arbeiten, da das Kältemittel nicht genügend Wärme aufnehmen kann, um den Verdampfungsprozess in der Inneneinheit richtig zu unterstützen. Eine Winterregelung verhindert dieses Problem, indem sie die Außeneinheit so steuert, dass der Kältemittelkreislauf auch bei niedrigen Temperaturen optimal funktioniert. Sie kann z. B. die Drehzahl des Ventilators der Außeneinheit reduzieren, um eine zu starke Abkühlung des Kältemittels zu vermeiden, oder eine Heizung im Kompressor zur Stabilisierung der Betriebsbedingungen einsetzen. Diese Maßnahmen stellen sicher, dass die Klimaanlage das ganze Jahr über, auch bei sehr niedrigen Außentemperaturen, zuverlässig kühlt und so die empfindlichen technischen Geräte im Technikraum vor Überhitzung schützt [13].

2.4.3. VRF-Klimasystem

VRF steht für Variable Refrigerant Flow und bedeutet übersetzt variabler Kältemittelmassenstrom. VRF-Anlagen übernehmen gleichzeitig das Heizen, Kühlen und Entfeuchten eines Raumes oder Gebäudes. Eine VRF-Anlage besteht aus Innen- und Außengeräten, unterscheidet sich aber in Funktionsweise und Einsatzbereich wesentlich von Split-Klimasystemen [20].

VRF-Klimasysteme sind Weiterentwicklungen der Split-Raumklimageräte. Sie werden eingesetzt, um mehrere Räume oder Zonen eines Gebäudes gleichzeitig zu heizen oder zu kühlen. Dazu werden die Rauminnengeräte an ein zentrales, kompaktes Außengerät angeschlossen und können von den Raumnutzern individuell gesteuert und betrieben werden [18]. Der Grund dafür liegt in der Fähigkeit des VRF-Systems, den Kältemittelfluss variabel zu steuern. Die Kompressoren der Innengeräte des VRF-Klimasystems sind drehzahl geregelt. Dadurch kann die Durchflussmenge des Kältemittels von Raum zu Raum individuell geregelt werden. Das bedeutet, dass verschiedene Räume in einem Gebäude unabhängig voneinander geheizt oder gekühlt werden können. So kann z.B. in einem Raum gekühlt und in einem anderen Raum geheizt werden - alles über das gleiche System [21].



Abbildung 19: Verbindung zwischen Außeneinheit und Inneneinheiten in dem VRF-Klimasystem [19]

In diesem Gebäude wurde eine VRF-Klimaanlage auf dem Dach mit 8 Innengeräten als Kassettengerät zur Klimatisierung der Büro- und Aufenthaltsräume installiert.

2.4.4. Türluftschleier

Neben zu den bereits erwähnten Geräten wird im Windfang ein weiteres Gerät, der Türluftschleier, eingesetzt. Ein Türluftschleier ist ein Gerät, das normalerweise über oder seitlich von Türen in Gebäuden installiert wird. Türluftschleier sind besonders wirksam gegen Kälte, Wärme und verschmutzte Luft. Im Winter unterbrechen sie mit einem erwärmten Luftstrahl die Luftströmung im Eingangsbereich, so dass keine kalte Außenluft eindringen kann, während im Sommer die Hitze keine Chance gegen die Luftstrahlbarriere hat. So können die Türen im Sommer wie im Winter ständig geöffnet bleiben und der Energieverbrauch für Heizung und Klimatisierung wird trotzdem reduziert [4].

Dieses Gerät saugt Luft aus der Umgebung an, reinigt sie und erzeugt mit Hilfe von Ventilatoren einen starken Luftstrom, der durch eine Düse austritt. Dieser Luftstrom bildet einen unsichtbaren Vorhang, der den Luftaustausch zwischen innen und außen reduziert und die Raumtemperatur stabilisiert. Je nach Bedarf kann der Luftstrom erwärmt oder gekühlt werden, um den Komfort und die Effizienz in verschiedenen Klimazonen zu erhöhen.

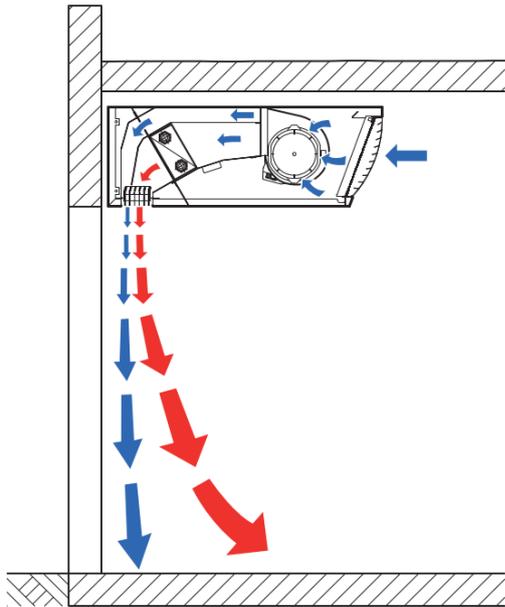


Abbildung 20: Funktionsweise eines Türluftschleiers [11]

Für das Gebäude wurden insgesamt vier dieser Türluftschleier mit einer Heizleistung von jeweils 9,3 kW ausgewählt.

Gesamtleistung: $9,3 \cdot 4 = 37,2 \text{ kW}$

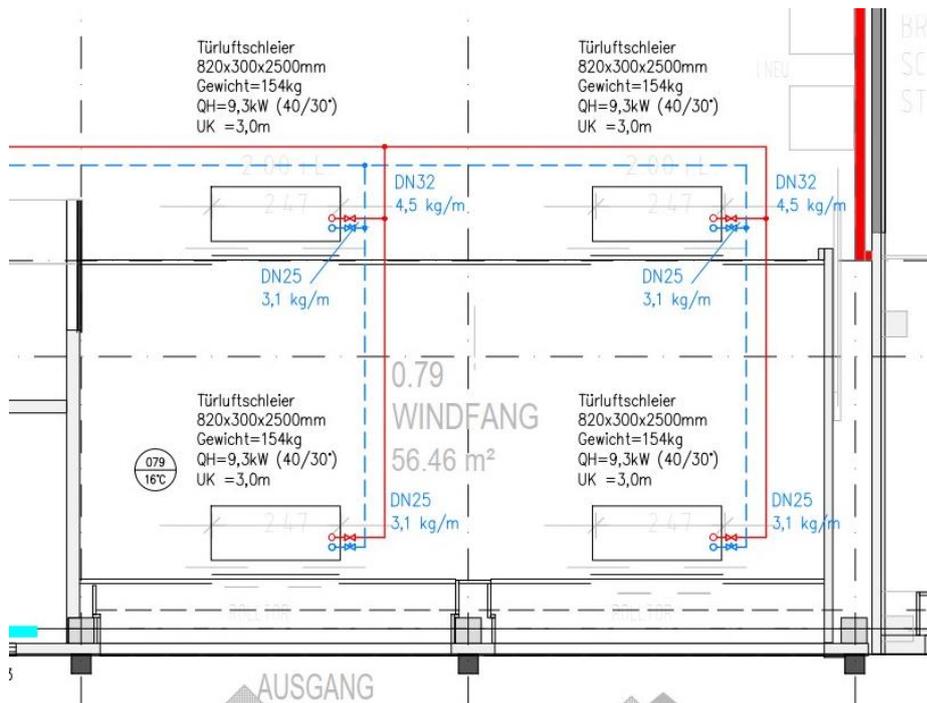


Abbildung 21: Planung der Türluftschleier im Windfang [eigene]

2.5. Heizungs- und Kühlungskreis

Die Heiz- und Kühlkreisläufe spielen eine wesentliche Rolle bei der effizienten Temperaturregelung der verschiedenen Gebäudebereiche. Die Kreisläufe sind speziell auf die Anforderungen des Supermarktes ausgelegt, um eine energieeffiziente und bedarfsgerechte Klimatisierung zu gewährleisten. Im Folgenden wird ein Überblick über die verschiedenen Heiz- und Kühlkreisläufe gegeben, die in diesem Zusammenhang eingesetzt werden.

Insgesamt sind drei Heizkreise vorgesehen: ein Multifunktionskreis, der zum Heizen und Kühlen genutzt wird, ein dynamischer Heizkreis und ein statischer Heizkreis. Die klare Trennung in dynamische und statische Kreise ermöglicht eine optimale Anpassung an die spezifischen Anforderungen der jeweiligen Heiz- und Kühlflächen.

2.5.1. Dynamischer Heiz-/Kühlkreis (HK1)

Dieser Kreislauf ist als multifunktionaler Heiz- und Kühlkreis ausgelegt und versorgt Umluftgeräte in den Verkaufs- und Konzessionärsflächen, die sowohl heizen als auch kühlen können. Die Temperatur wird je nach saisonalem Bedarf angepasst, wobei im Heizbetrieb eine Medientemperatur von 40/30°C und im Kühlbetrieb eine Medientemperatur von 6/12°C entsprechend der Baubeschreibung vorgesehen ist. Dieser Kreislauf bietet eine hohe Flexibilität und ermöglicht eine ganzjährige Klimatisierung des Supermarktes.

2.5.2. Dynamischer Heizkreis (HK2)

Dieser Heizkreis ist für die Versorgung von Umlufterhitzern im Lagerbereich und die Türluftschleier im Windfang ausgelegt und passt den Volumenstrom flexibel an den jeweiligen Wärmebedarf an. Diese dynamische Anpassung ermöglicht eine schnelle Reaktion auf Temperaturschwankungen und sorgt für eine effiziente Beheizung großer Flächen. Der Betrieb des dynamischen Kreislaufs erfolgt auch bei Medientemperaturen von 40/30°C.

2.5.3. Statischer Heizkreis (HK3)

Der dritte Kreislauf ist für die Versorgung der Heizkörper ausgelegt und arbeitet mit einem konstanten Durchfluss. Dieser Kreislauf sorgt für eine gleichmäßige Wärmeverteilung und wird mit einer Medientemperatur von 40/30°C betrieben. Der statische Kreislauf gewährleistet eine kontinuierliche und stabile Wärmeversorgung, was besonders in den Bereichen des Supermarktes wichtig ist, in denen eine konstante Raumtemperatur erforderlich ist.

2.5.4. Schema

Das folgende Schema zeigt die spezifische Anordnung und Funktionsweise der drei Heizkreise sowie deren Verbindung zum Verteiler. Diese schematische Darstellung soll die genaue Planung und Umsetzung des Heiz- und Kühlsystems im Supermarkt unterstützen und das Verständnis der komplexen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Kreisläufen erleichtern.

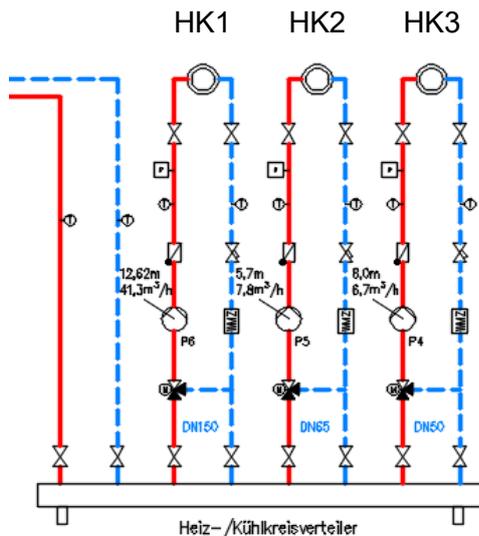


Abbildung 22: Anschluss der Heiz- und Kühlkreise an dem Verteiler [3]

2.6. Rohrnetzrechnung

Nach der Planung der Heiz- und Kühlkreise für das Gebäude wurde der Schwerpunkt auf der Rohrnetzrechnung gelegt. Dies ist ein wichtiger Schritt, um sicherzustellen, dass das System effizient und zuverlässig funktioniert.

2.6.1. Software „Viptool Piping“

Die Software „Viptool Piping“ von Viega wird in der Gebäudetechnik zur Auslegung und Berechnung von Rohrnetzen und Rohrleitungssystemen eingesetzt. Sie unterstützt bei der Dimensionierung von Trinkwasser-, Heizungs-, Gas-, und Abwassersystemen unter Berücksichtigung der aktuellen Normen und Regelwerke. Die Software ermöglicht realistische 3D-Planungen und bietet Module für spezielle Berechnungen, wie z.B. die Trinkwasserhygiene, hydraulische Abgleiche und die Integration in BIM-Prozesse."

2.6.2. Beschreibung der Rohrnetzrechnung

Die Rohrnetzrechnung beginnt mit der Eingabe aller relevanten Parameter, die das System betreffen. Dazu gehören:

- **Länge der Rohrleitungen:** Die Länge jeder Rohrstrecke wurde erfasst, da sie den Druckverlust entlang der Leitung beeinflusst.
- **Material der Rohre:** Das Rohrmaterial spielt eine wichtige Rolle, da verschiedene Materialien unterschiedliche Reibungseigenschaften haben, die wiederum den Druckverlust beeinflussen.
- **Anschlusswerte der Heiz- und Kühlgeräte:** Diese Werte bestimmen, wie viel Wärme oder Kälte durch das Rohrnetz transportiert werden muss, um die angeschlossenen Geräte optimal zu versorgen.
- **Ventileinstellungen:** Die Einstellungen der Ventile beeinflussen den Durchfluss und damit den Druckverlust in den einzelnen Strecken des Rohrnetzes.

Die Software verwendet die oben genannten Parameter, um den optimalen Rohrdurchmesser zu berechnen. Dabei werden mehrere Faktoren berücksichtigt:

- **Druckverlust (ΔP):** Um sicherzustellen, dass das Heiz- oder Kühlmedium mit ausreichendem Druck zu den Verbrauchern gelangt, wurde der Druckverlust entlang jeder Rohrstrecke berechnet.
- **Massenstrom:** Der Massenstrom wurde ermittelt, um die erforderliche Menge des Mediums festzulegen, die notwendig ist, um die gewünschten Heiz- oder Kühlleistungen zu erzielen.
- **Pumpenförderhöhe:** Die Software ermittelte die notwendige Förderhöhe der Pumpe, um den berechneten Druckverlust zu überwinden und den erforderlichen Massenstrom sicherzustellen.

Das Ergebnis dieser Berechnungen sind die optimalen Rohrdurchmesser, die das Gleichgewicht zwischen minimalem Druckverlust, ausreichendem Massenstrom und effizienter Pumpenleistung sicherstellen. Diese Dimensionierung stellt sicher, dass das Heiz- und Kühlsystem des Supermarkts effizient arbeitet und die gewünschten Temperaturen in allen Bereichen des Gebäudes zuverlässig erreicht werden.

Die Abbildung 23 zeigt einen Überblick über die Software „Viptool Piping“.

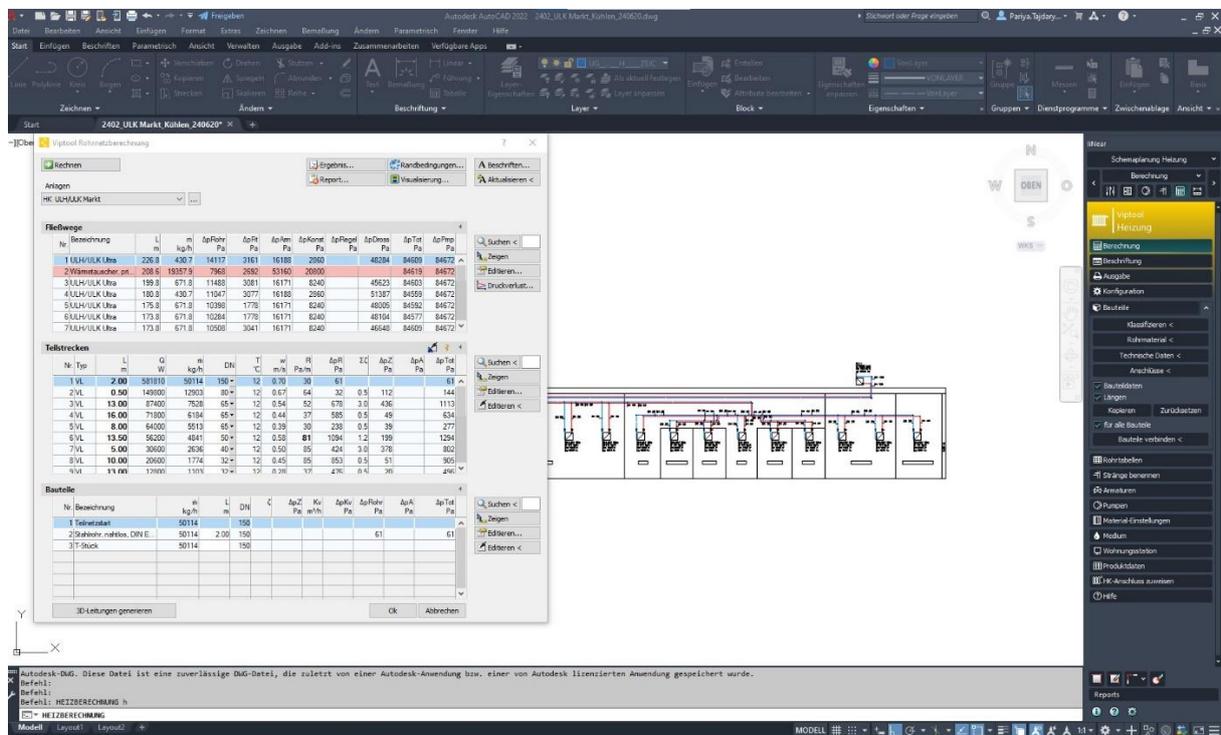


Abbildung 23: Die Berechnungsseite der Software „Viptool Piping“ [eigene]

2.6.3. Berechnung der Rohrdurchmesser für HK1 (Dynamischer Heiz-/Kühlkreis)

In diesem Projekt wurden zunächst die Rohrdurchmesser für die Leitungen zu den Umluftgeräten ermittelt. Zuerst wurden die Durchmesser für den Kühlkreis und dann für den Heizkreis berechnet.

Wie bereits in anderen Abschnitten erwähnt, beträgt die Vor- und Rücklaufstemperatur im Kühlkreis 6/12°C, während die Raumtemperatur bei 24°C liegt. Im Heizkreis hingegen liegt die Vor- und Rücklaufstemperatur bei 40/30°C und die Raumtemperatur bei 19°C. Außerdem ist die gesamte Kühlleistung in diesem Kreis größer als die gesamte Heizleistung.

Mit Bezug auf Formel 5 und aufgrund der höheren Kühlleistung und der geringeren Temperaturdifferenz wurde festgestellt, dass im Kühlkreis ein größerer Massenstrom erforderlich ist, und dieser größere Massenstrom dazu führt, dass die Rohrdurchmesser größer dimensioniert werden müssen.

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Formel 5: Leistung durch Stofftransport

Da die gleichen Rohrleitungen sowohl im Sommer für den Kühlbetrieb als auch im Winter für den Heizbetrieb verwendet werden, müssen die Rohrdurchmesser so dimensioniert werden, dass sie den höheren Anforderungen des Kühlbetriebes entsprechen. Das bedeutet, dass die größeren Durchmesser, die für den Kühlkreislauf berechnet wurden, auch für den Heizkreislauf verwendet werden.

Durch die Auswahl der größeren Rohrdurchmesser wird sichergestellt, dass das System im Kühlbetrieb ausreichend Kühlleistung bereitstellen kann, ohne dass der Durchfluss durch zu enge Rohrleitungen eingeschränkt wird. Gleichzeitig ist das System im Heizbetrieb in der Lage, die Heizleistung effizient zu transportieren, da die Rohrleitungen auf die maximalen Anforderungen des Systems ausgelegt sind.

2.7. Versorgungskonzept

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die Berechnung der Heizlast und der erforderlichen Kühl- und Heizleistung ausführlich beschrieben wurde, soll in diesem Abschnitt erstmals ein Blick auf die bisherige Energieversorgung des Gebäudes geworfen werden.

2.7.1. Alte Versorgung

Die technischen Anlagenteile der Sanitär- und Heizungstechnik des Gebäudes stammen größtenteils aus dem Errichtungsjahr des Gebäudes (1974). Einige Systeme wie Lüftungsanlagen, Kältemaschinen und Rückkühler wurden seitdem erneuert. Die Hauptheizungsanlage wurde 1990 installiert, mit einer zusätzlichen Heizungsanlage für das Obergeschoss, die 2003 hinzugefügt wurde. Der Umbau im Jahr 1994, der das Gebäude in einen Verbrauchermarkt verwandelte, erforderte größere Luftmengen, weshalb die Lüftungsanlagen ebenfalls aus diesem Jahr stammen. Ein Großteil der technischen Gebäudeausstattung hat inzwischen die rechnerische Lebensdauer (nach VDI 2067) überschritten, sodass ein Austausch und eine Erneuerung der Anlagenteile notwendig sind.

Anlagenkomponente	Rechn.Nutzungsdauer
Einheiten	Jahre
1 Heizung	
1.3.1.2 Spezialkessel für Öl- und Gasfeuerung	
- Spezialkessel für Öl- und Gasfeuerung, unter 120 kW	20
- Kessel über 120 kW als Spezialkessel für Öl- und Gasfeuerung als Guss- oder Stahlkessel	20
1.3.1.6 Brenner	
- Gasbrenner ohne Gebläse	20
- Gasbrenner mit Gebläse und Zubehör	16
- Ölbrenner mit Gebläse und Zubehör	12
2 Raumluftechnik, Raumkühltechnik	
2.1.2.2 Wärmerückgewinner	
- Platten-Wärmetauscher	20

- Kreislaufverbund-Wärmetauscher	15
- Rotations-Wärmetausche	15

Tabelle 9: Die Lebensdauer der technischen Gebäudeausrüstung gemäß VDI 2067, Tabelle A2-A3

2.7.1.1. Heizung

Die Wärmeerzeugung für Marktbereich, Lager und Konzessionsflächen erfolgt durch zwei Gas-Heizkessel (Viessmann Paromat-Duplex) mit einer Leistung von 760-875 kW bzw. 580-675 kW. Eine dritte Heizungsanlage, die für das Obergeschoss mit der Verwaltung, Sozialbereiche für Mitarbeiter, Kunden-WCs und Lagerräume zuständig ist, befindet sich in einem Heizungsraum im Erdgeschoss an der Ostseite des Gebäudes. Diese Anlage besteht aus einem Gas-Heizkessel mit Gebläsebrenner (Buderus Logano GE515, Baujahr 2003) mit einer Leistung von 401-455 kW. Das Wärmeverteilnetz mit dem Temperaturniveau 80/60°C, das überwiegend alte, nicht lastabhängig geregelte Pumpen verwendet, versorgt alle Erdgeschossbereiche des Gebäudes.

Die Wärmeübertragung erfolgt in den Büro- und Sozialbereichen durch Plattenheizkörper mit Thermostatventilen sowie im Lager- und Verkaufsbereich durch Deckenheizgeräte und über die Lüftungsanlagen mittels Heizregister.

2.7.1.2. Lüftungsanlage

Es gibt drei große Lüftungsanlagen von dem Firma Wolf Klimatechnik für Zu- und Abluft. Diese umfassen Kapazitäten von jeweils 20.000 bis 24.000 m³/h sowie eine Anlage mit ca. 35.000 m³/h, die alle im Jahr 1994 installiert wurden.

2.7.2. Außenluft-Wärmepumpe

In der Baubeschreibung wurde festgelegt, dass die Heizkessel durch Luft-Wasser-Wärmepumpen ersetzt werden. Diese Entscheidung wurde getroffen, um den steigenden Anforderungen an Energieeffizienz und Nachhaltigkeit zu entsprechen. Zunächst soll die Funktionsweise einer Wärmepumpe erläutert werden.

2.7.2.1. Funktionsprinzip

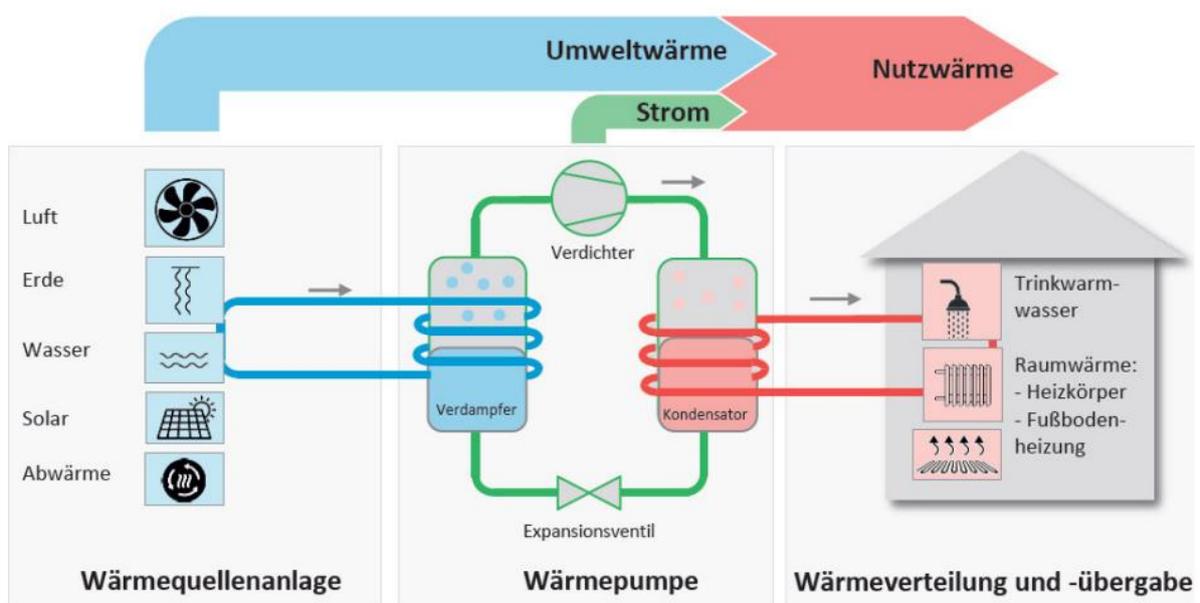


Abbildung 24: Wärmepumpe Kreislauf [14]

- in einer Wärmepumpe wird ein Kältemittel zirkulierend bewegt und durchläuft dabei verschiedene thermodynamische Zustandsänderungen
→ der Prozess heißt Kreisprozess.
- im Verdampfer nimmt das Kältemittel Wärme, hier aus der Luft auf.
- im Verflüssiger gibt es diese Wärme an das zu beheizendes Medium (Heizwasser, Trinkwasser, seltener Luft) ab
- Verdichter und Verdampfer werden auf unterschiedlichen Druckniveaus betrieben, daher verfügt die Anlage über einen mechanischen Verdichter (Kompressor) oder thermischen Antrieb sowie ein Expansionsventil [14]

Im Kühlfall arbeitet die Wärmepumpe im Prinzip umgekehrt zum Heizfall. Der grundlegende Prozess bleibt derselbe, aber die Richtung des Wärmestroms wird umgekehrt. Durch dieses System wird kontinuierlich Wärme aus dem Innenraum entnommen und nach außen abgegeben – so wird der Raum effektiv gekühlt. Diese Umkehrung des Prozesses macht eine Wärmepumpe zu einem vielseitigen Gerät, das sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen eingesetzt werden kann.

In diesem Projekt wurden alle benötigten Kühl- und Heizleistungen zusammengefasst und auf dieser Basis drei Luft-Wasser-Wärmepumpen ausgewählt.

Die Leistungsdaten sind in den Tabellen 10 und 11 dargestellt.

Heizen

Leistungsdaten		
Heizleistung	kW	183
Gesamtleistungsaufnahme	kW	81.9
Leistungsaufnahme Verdichter	kW	73.4
Stromaufnahme (E0)	A	150
Leistungsfaktor (E0)	-	0.79
COP	W/W	2.23
SCOP $LT^{(B2)}/MT^{(B3)}$	W/W	4.25/-
$\eta_{s,h} LT^{(B2)}/MT^{(B3)}$	%	167/-
Quelle		
Höhe über N.N.	m	0.0
Trockenkugelttemperatur	°C	-12.0
rel. Luftfeuchtigkeit Außenluft	%	86.9
Luftvolumenstrom	m ³ /h	126259
Leistungsaufnahme Lüfter	kW	8.10
Stromaufnahme Lüfter	A	15.9
Verfügbare Förderhöhe	Pa	0

Verbraucher		
Mediumart		Äthylengl.
(Konzentration)	%	35.0%
Verunreinigungsfaktor	m ² K/	0.000
Mediumtemp. Ein-/Austritt	°C	35.0/39.9
Fördervolumen	m ³ /h	35.41
Druckverlust	kPa	18.8
Schallangaben		
Errechnete Schallleistung	db(A)	88
Schalldruckpegel ^(C0) [10.0 m]	db(A)	56

Tabelle 10: Auslegungsdaten der Wärmepumpen zum Heizen [3]

Kühlen

Leistungsdaten		
Kühlleistung	kW	286
Gesamtleistungsaufnahme	kW	99.0
Leistungsaufnahme	kW	95.6
Stromaufnahme (E0)	A	170
Leistungsfaktor (E0)	-	0.84
EER	W/W	2.89
SEER ^(B0)	W/W	4.81
$\eta_{s,c}^{(B0)}$	%	189
SEPR ^(B1)	W/W	5.27
Quelle		
Höhe über N.N.	m	0.0
Trockenkugelttemperatur	°C	35.0
rel. Luftfeuchtigkeit Außenluft	%	41.0
Luftvolumenstrom	m ³ /h	79204
Leistungsaufnahme Lüfter	kW	2.18
Stromaufnahme Lüfter	A	5.03
Verfügbare Förderhöhe	Pa	0

Verbraucher		
Mediumart		Äthylengl.
(Konzentration)	%	35.0%
Verunreinigungsfaktor	m ² K/k	0.000
Mediumtemp. Ein-/Austritt	°C	12.0/7.0
Fördervolumen	m ³ /h	55.57
Druckverlust	kPa	43.1
Schallangaben		
Errechnete Schallleistung	db(A)	86
Schalldruckpegel ^(C0) [10.0 m]	db(A)	54

Tabelle 11: Auslegungsdaten der Wärmepumpen zum Kühlen [3]

2.7.3. Wasser-Wasser-Wärmepumpe

Während Luftwärmepumpen die Umgebungsluft über Ventilatoren ansaugen, nutzen Wasser-Wasser-Wärmepumpen das Grundwasser oder einen anderen Wasserkreislauf zur Wärmeabgabe. Die gewonnene Wärmeenergie kann dann zum Heizen oder zur Warmwasserbereitung genutzt werden [15].

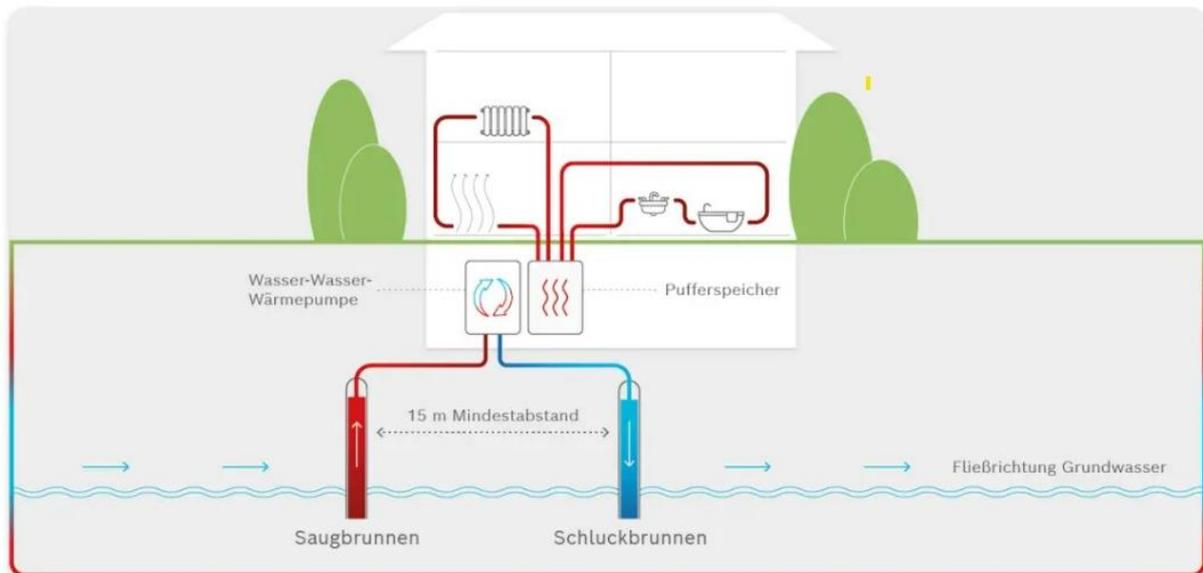


Abbildung 25: Funktionsprinzip einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe [15]

In diesem Projekt wird die Wärme aus dem Wasser der Gewerbekälte entnommen. Dieses Wasser hat eine relativ konstante Temperatur, was die Effizienz der Wärmepumpe erhöht.

Die Wasser-Wasser-Wärmepumpe wird dazu eingesetzt, die notwendige Heizleistung für den Nacherhitzer in der RLT-Anlage bereitzustellen. Dies ist besonders wichtig, da der Nacherhitzer ausschließlich im Sommer betrieben werden muss. In diesem Fall arbeiten die anderen drei Luft-Wasser-Wärmepumpen ausschließlich im Kühlbetrieb und können nicht gleichzeitig die notwendige Heizleistung bereitstellen. Aus diesem Grund wurde eine weitere Wärmepumpe ausgewählt. Zusätzlich benötigt der Nacherhitzer eine konstante Heizleistung von ca. 84 kW. Durch diesen zusätzlichen Versorger wird die Last auf die drei Luft-Wasser-Wärmepumpen reduziert, sodass sie sich vollständig auf ihre Kühlfunktion konzentrieren können.

2.7.4. Versorgungsschema

Die Abbildung 26 veranschaulicht, wie die Luft-Wasser-Wärmepumpen die verschiedenen Heizkreise versorgen und zusammen mit den anderen Systemkomponenten eine effiziente und flexible Wärme- und Kälteversorgung des Gebäudes ermöglichen.

Das Schema zeigt auch, wie der Nacherhitzer, die Gewerbekälte und die Luft-Wasser-Wärmepumpe miteinander und mit dem Gesamtsystem verbunden sind.

Die Verbindung dieser Komponenten stellt sicher, dass das System sowohl im Heiz- als auch im Kühlbetrieb effizient arbeitet. Durch den Einsatz von Umschaltventilen und Hydraulikmodulen kann das System flexibel an die jeweiligen Betriebsbedingungen angepasst werden, sodass die Energie optimal auf die verschiedenen Komponenten verteilt wird.

3. Änderungen während des Projekts

Im Laufe des Projekts sind zahlreiche unerwartete Probleme aufgetreten, die den Fortschritt der Arbeiten beeinträchtigten. Diese Hindernisse haben zu einer Verzögerung bei der Fertigstellung geführt, und es mussten zahlreiche Überarbeitungen vorgenommen werden, um sich den veränderten Bedingungen anzupassen. Ein zentrales Problem, das im Laufe des Projekts auftrat, war die unzureichende und teilweise verspätete Bereitstellung wichtiger Informationen durch den Bauherrn. Bei solchen Projekten ist es nicht ungewöhnlich, dass Informationen nicht rechtzeitig zur Verfügung gestellt werden oder dass der Bauherr selbst noch unsicher ist, welche spezifischen Anforderungen und Vorgaben letztendlich umgesetzt werden sollen. Diese Unsicherheiten führten dazu, dass bestimmte Teile der Arbeit mehrfach überarbeitet und an neue Rahmenbedingungen angepasst werden mussten.

In den folgenden Abschnitten werden die spezifischen Herausforderungen, die im Laufe der Arbeit aufgetreten sind, im Detail beschrieben. Dabei werden die Ursachen dieser Probleme erläutert, die Anpassungen beschrieben, die vorgenommen werden mussten, und es wird aufgezeigt, wie diese Erfahrungen letztlich den Verlauf und das Ergebnis der Masterarbeit beeinflusst haben. Trotz der Schwierigkeiten, die im Laufe des Projekts auftraten, konnten wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, die letztlich die Qualität der Arbeit letztlich verbessert haben.

3.1. Baubeschreibung

Eine Baubeschreibung ist ein wesentliches Dokument im Rahmen eines Bauprojektes, das detaillierte Informationen über die geplanten Baumaßnahmen, Leistungsumfang, Materialien, technischen Spezifikationen und Ausstattungsmerkmale eines Bauvorhabens enthält. Sie dient als Grundlage für die Planung, Ausschreibung und Ausführung des Projekts und stellt sicher, dass alle Beteiligten – vom Bauherrn über den Architekten bis hin zu den ausführenden Firmen– ein gemeinsames Verständnis der baulichen Anforderungen und Ziele haben [16].

3.1.1. Vorliegende Baubeschreibung des Projekts

Die vorliegende Baubeschreibung ist keine vollständige Baubeschreibung und stammt aus dem Jahr 2021 und entspricht möglicherweise nicht mehr den aktuellen Planungen und Anforderungen. Für das Projekt wurde lediglich ein zweiseitiges Dokument aus dem Jahr 2024 zur Verfügung gestellt, das sich jedoch ausschließlich auf die Wärme- und Kälteerzeugung konzentriert und zwei schematische Darstellungen der Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärtechnik (HLS) enthält.

Diese vorliegende Dokumentation weist erhebliche Lücken auf. So fehlen beispielsweise wesentliche Angaben zur Temperaturregelung in den verschiedenen Räumen sowie zu den U-Werten der Gebäudehülle, die für die energetische Bewertung und die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen an die Energieeffizienz von großer Bedeutung sind. Ohne diese Informationen ist es schwierig, eine fundierte Planung und Ausführung des Bauvorhabens zu gewährleisten, da wichtige Parameter für die technische Gebäudeausrüstung und die energetische Auslegung fehlen. Die unzureichenden Informationen haben zu Verzögerungen und Unsicherheiten im Weiteren Planungs- und Bauprozess geführt. Schließlich wurden die Temperaturwerte von anderen Supermärkten übernommen, und einige U-Werte nach DIN 4108 festgestellt, um eine fundierte Planungsgrundlage zu schaffen.

3.2. Baumarkt

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde ein Baumarkt berücksichtigt, der im Jahr 1989 an den Supermarkt angebaut wurde. Von Anfang an bestand jedoch Unklarheit über den Umgang mit der technischen Ausstattung dieses Baumarktes, insbesondere hinsichtlich der Versorgungstechnik und der Integration in das Gesamtkonzept.

Aufgrund der Unklarheiten seitens des Bauherrn wurde zunächst davon ausgegangen, dass auch die Heizlast des Baumarktes in die Planung einbezogen werden muss. Dies erforderte einen erheblichen zeitlichen und technischen Aufwand, da umfangreiche Heizlastberechnungen für dieses Gebäude durchgeführt werden mussten. Ein besonderes Problem stellte dabei das Fehlen spezifischer technischer Daten dar, insbesondere der U-Werte des Baumarktes, die für die Berechnung der energetischen Anforderungen notwendig sind. Ein besonderes Problem stellte dabei das Fehlen spezifischer technischer Daten, insbesondere der für die Berechnung der energetischen Anforderungen notwendigen U-Werte des Baumarktes, dar. Diese U-Werte konnten nur auf Basis von Annahmen gemäß der II. Wärmeschutzverordnung ermittelt werden. (mit Ausnahme der Außenwand)

Bauteil	DIN 4108
Dach	0,30 W/m ² K
Fenster	3,10 W/m ² K
Kellerdecke	0,55 W/m ² K
Fußboden gegen Erde	1,00 W/m ² K
Eingangstür	2,50 W/m ² K

Tabelle 12: U-Werte der Hülle gemäß II. Wärmeschutzverordnung 1984 [3]

Ebenso fehlten genaue Angaben zu den Raumtemperaturen, was die Genauigkeit der Heizlastberechnungen zusätzlich beeinträchtigte. Das gesamte Gebäude wurde als ein Raum mit 19°C angenommen.

Die geschätzte Heizlast des Baumarktes beträgt 240363 W, was einen erheblichen Einfluss auf die Planung der gesamten Versorgungstechnik gehabt hätte. Diese Unsicherheit führte zu einem erheblichen Mehraufwand, da die Versorgungssysteme diese zusätzlichen Lasten hätten bewältigen müssen.

Darüber hinaus war in den vorliegenden Plänen des Baumarktes die Leitungsverbindung zwischen den beiden Gebäuden unklar. Es konnte nicht eindeutig festgestellt werden, wie die technischen Systeme des Baumarktes mit denen des Supermarktes verbunden sind, was zu weiteren Planungsunsicherheiten führte. Aufgrund dieser Unklarheiten war es nicht möglich, eine fundierte Entscheidung darüber zu treffen, ob und in welchem Umfang die Versorgung des Baumarktes in das Gesamtkonzept integriert werden sollte.

Erst nach mehreren Monaten wurde von Seiten des Bauherrn mitgeteilt, dass der Baumarkt vorerst nicht in das Versorgungskonzept integriert werden soll. Diese späte Entscheidung führte zu einer erheblichen Verschwendung von Zeit und Ressourcen, da die bis dahin durchgeführten Berechnungen und Planungen obsolet wurden und nicht mehr in das endgültige Versorgungskonzept einfließen. Diese Verzögerungen und der unnötige Aufwand haben den Projektfortschritt erheblich beeinträchtigt und die Planung unnötig verkompliziert.

3.3. Grundrisse des Projektes

Für die Planung und Berechnung der technischen Gebäudeausrüstung, insbesondere der Heiz- und Kühllasten, sind die Gebäudegrundrisse von zentraler Bedeutung. Sie bilden die Grundlage für alle räumlichen und funktionalen Berechnungen, die zur korrekten Dimensionierung der Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage erforderlich sind. Ein genauer Grundriss ist daher für eine zuverlässige und effiziente Planung entscheidend.

Leider wurden diese Pläne im Laufe des Projekts mehrfach geändert und neu eingereicht, was erhebliche Auswirkungen auf den Fortschritt der Arbeit hatte. Mindestens dreimal wurden die Raumdaten angepasst und die daraus resultierenden Berechnungen neu durchgeführt. Besonders problematisch war, dass nicht nur bestehende Räume angepasst werden mussten, sondern auch neue Räume hinzugefügt wurden, was die Komplexität und den Arbeitsaufwand erheblich erhöhte.

Neben der Heizlast musste auch die Kühllast jedes Mal neu berechnet werden, da es sich um zwei unterschiedliche Berechnungsmodelle handelt. Jede Grundrissänderung erforderte somit eine komplette Neuermittlung des Kühlbedarfs. Diese ständigen Anpassungen erhöhten das Risiko von Ungenauigkeiten und Berechnungsfehlern erheblich und machten den gesamten Planungsprozess noch komplexer und zeitaufwändiger.

Die wiederholten Änderungen hatten direkte Auswirkungen auf die Auslegung der Wärmepumpe und anderer technischer Geräte. Da sich auch die Raumnutzungen auch mehrfach änderten, mussten die Raumtemperaturen und die Auswahl der technischen Geräte immer wieder angepasst werden.

Die letzte Anpassung der Grundrisse mit den neuen Raumnummern erfolgte erst wenige Tage vor der Abgabe der Leistungsphase 3. Diese späten Änderungen stellten eine erhebliche Herausforderung dar, da alle betroffenen Räume innerhalb kürzester Zeit neu berechnet und nummeriert werden mussten. Diese Überarbeitung nahm zwei volle Arbeitstage in Anspruch.

Ein konkretes Beispiel für die Auswirkungen dieser Veränderungen ist der Raum 1.55 im Obergeschoss. In der ersten Planungsphase wurde dieser Raum mit einem Umluft heater ausgestattet, da die damalige Nutzung als Lager besondere Anforderungen an die Beheizung stellte. Nur eine Woche vor der Abgabe der Leistungsphase 3 wurde der Raum jedoch umgenutzt und als Flur definiert. Diese neue Nutzung erforderte nicht nur eine Neuberechnung der Heizlast, sondern auch eine Anpassung der technischen Ausstattung. Der gewählte Umluft heater wurde durch Heizkörper ersetzt. Dies hatte direkte Auswirkungen auf die Planung der Heizkreise und die Berechnung der entsprechenden Schemen.

Diese nachträglichen Änderungen stellten die Planerinnen und Planer unter erheblichen Druck, da die Anpassungen kurzfristig umgesetzt werden mussten, um alle notwendigen Berechnungen und Planungen rechtzeitig abzuschließen. Der enge Zeitrahmen und die komplexen Anforderungen erhöhten das Risiko von Fehlern und führten zu einer zusätzlichen Belastung, die den gesamten Planungsprozess weiter erschwerte.

3.4. Luftmengenermittlung

Die Luftmengenermittlung ist ein zentraler Bestandteil der Planung und Auslegung von RLT-Anlagen. Die genaue Bestimmung der erforderlichen Luftmengen ist von entscheidender Bedeutung, da sie die Grundlage für die Dimensionierung der Anlagen bildet und sicherstellt, dass die thermischen und hygienischen Anforderungen der Räume erfüllt werden. Bei der Luftmengenermittlung wird festgelegt, welche Räume zu belüften sind und wie sich die Belüftung auf die Heizlast des Gebäudes auswirkt.

Aufgrund unzureichender und unvollständiger Angaben in der Baubeschreibung sowie unklarer Anforderungen des Bauherrn hinsichtlich der Behandlung der einzelnen Räume konnte zu Beginn des Projektes keine korrekte Luftmengenermittlung durchgeführt werden. Dies führte dazu, dass die RLT-Anlage nicht von Anfang an richtig dimensioniert werden konnte. Jedes Mal, wenn neue Informationen zur Verfügung gestellt wurden, änderten sich die erforderlichen Luftmengen für die einzelnen Räume, was wiederum direkte Auswirkungen auf die Heizlastberechnungen hatte. Diese ständigen Änderungen hatten nicht nur großen Einfluss auf die Auslegung der RLT-Anlage, sondern auch auf die Auswahl anderer technischer Geräte wie z.B. der Wärmepumpe.

Ein Beispiel hierfür ist die anfängliche Annahme, dass nur die Marktfläche und das Lager belüftet werden müssen. Es war jedoch unklar, wie die Konzessionärsflächen und andere Räume zu behandeln sind, so dass keine zuverlässige Heizlastberechnung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus wurde vom Bauherrn verlangt, dass der flächenbezogene Gesamt-Außenluftwechsel $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ berücksichtigt wird. Auf dieser Basis wurden die Luftmengen als Auslegungswerte für die RLT-Anlage festgelegt und ein Gerät mit einer Heizregisterleistung von 180 kW ausgewählt. Anschließend wurde eine Wärmepumpe dimensioniert, die auf der Summe dieser Leistung und den ermittelten Heizlasten basierte.

Später wurde jedoch die Anforderung an den Außenluftwechsel auf $6 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ erhöht, und es wurden weitere Räume festgelegt, die belüftet werden sollten. Diese Änderungen hatten erhebliche Auswirkungen auf die Planung, da die Luftmengen und Heizlasten erneut angepasst werden mussten. Letztendlich führte dies dazu, dass statt einer RLT-Anlage zwei Anlagen ausgewählt wurden und statt zwei Wärmepumpen drei Wärmepumpen dimensioniert und installiert werden mussten. Die ständigen Anpassungen und Änderungen während des Projektes verdeutlichen die Herausforderungen, die durch unklare Vorgaben und unvollständige Planungsdaten entstehen können. Diese Prozesse führten zu einer wiederholten Überarbeitung der technischen Planung, was den Projektfortschritt weiter verzögerte und die Komplexität der Planung erheblich erhöhte.

3.5. Gewerkekälte und Entfeuchtung

Zu Beginn des Projektes wurde davon ausgegangen, dass ein Teil der benötigten Wärmeversorgung durch die Nutzung der Abwärme aus der Gewerkekälte bereitgestellt wird. Diese Annahme war jedoch unsicher, da vom Bauherrn keine verlässlichen Informationen über die tatsächlich verfügbare Abwärmemenge zur Verfügung gestellt wurden. Aufgrund dieser Unsicherheit konnte diese Option nicht sicher in die Planung einbezogen werden und es wurde entschieden, die gesamte benötigte Heizleistung durch die Wärmepumpe abzudecken.

In der Baubeschreibung aus dem Jahr 2024 wurde geschrieben, dass als Entfeuchtung ein Nachheizregister im Lüftungsgerät integriert werden soll. Obwohl diese Entfeuchtung in der Baubeschreibung erwähnt wurde, war die genaue Umsetzung und die damit verbundenen Anforderungen lange Zeit unklar. Aufgrund dieser Unklarheit wurde die erste Auslegung der

RLT-Anlagen ohne Berücksichtigung der Entfeuchtung durchgeführt. Als schließlich klar wurde, dass die Entfeuchtung ein wesentlicher Bestandteil des Lüftungskonzeptes sein würde, musste die gesamte Auslegung der RLT-Anlage überarbeitet werden, um sicherzustellen, dass die Anlage die gewünschten Feuchtigkeitswerte erreichen und gleichzeitig die thermischen und hygienischen Anforderungen in den Räumen erfüllen kann.

Um die gewünschte Luftfeuchtigkeit zu erreichen, musste die Zuluft deutlich stärker gekühlt werden als ursprünglich geplant. Dies führte dazu, dass die Leistung der Kühler in der RLT-Anlage erhöht werden musste, um die notwendige Kühlung zu gewährleisten.

Nachdem die detaillierte Auslegung durchgeführt wurde, stellte sich heraus, dass allein für dieses Nachheizregister eine große Wärmeleistung von fast 84 kW erforderlich ist. Dieses Erkenntnis hatte einen erheblichen Einfluss auf das gesamte Versorgungskonzept des Gebäudes.

Der Bauherr verlangte daraufhin, die erforderliche Wärmeleistung für das Nachheizregister durch die Abwärme der Gewerbekälte zu decken und, falls diese Leistung nicht ausreichen sollte, eine zusätzliche Wasser-Wasser-Wärmepumpe zu installieren. Da jedoch noch keine verlässlichen Daten über die tatsächliche Abwärmeleistung der Gewerbekälte vorlagen, wurde entschieden, dass die gesamte benötigte Leistung von 84 kW nur durch die Wärmepumpe bereitgestellt wird.

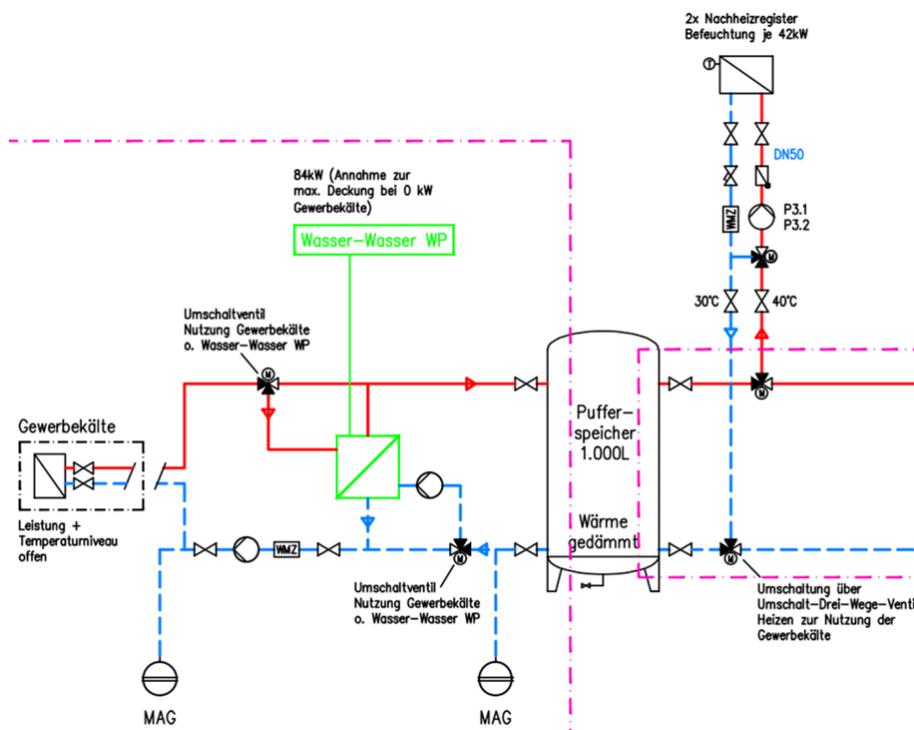


Abbildung 27: die Verbindung des Nachheizregisters mit der Gewerbekälte und der Wasser-Wasser-Wärmepumpe [3]

Die Abbildung 27, in der die Verbindung des Nachheizregisters mit der Gewerbekälte und der Wasser-Wasser-Wärmepumpe dargestellt ist, zeigt, wie allein diese Entscheidung das gesamte Versorgungskonzept beeinflusst und erheblich verkompliziert hat.

3.6. Leerstand

Bei einem Leerstand handelt es sich um ungenutzte oder unvermietete Gebäude oder Gebäudeteile in privatem oder öffentlichem Eigentum. Diese Flächen sollen jedoch wieder oder neu genutzt werden [17].

3.6.1. Leerstandsräume im Projekt

Im Obergeschoss des Supermarktes, an der Nordseite des Gebäudes, befinden sich zwei Leerstandsräume mit einer Gesamtfläche von fast 600 m².

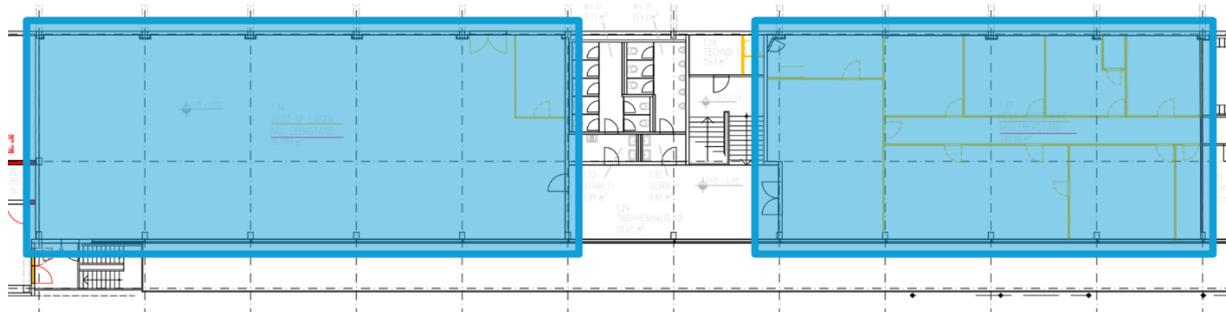


Abbildung 28: Leerstandsräume an der Nordseite des Gebäudes [2] bearbeitet

Der Umgang mit diesen Räumen wurde im Laufe des Projektes aufgrund von Unklarheiten und unzureichenden Informationen seitens des Bauherrn mehrmals geändert. Ursprünglich war einer dieser Räume als Bürofläche vorgesehen. In späteren, überarbeiteten Grundrissen wurden die Büros jedoch gestrichen und die Fläche als Leerstand definiert. Es war immer unklar, wie mit diesen Räumen umgegangen werden sollte, und aufgrund ihrer Größe konnten sie nicht einfach ignoriert werden, da sie die Energieeffizienz des gesamten Gebäudes beeinflussen können. Wenn diese Räume nicht berücksichtigt werden, könnte dies zu einer ineffizienten Verteilung der Heiz- und Kühllasten führen, was die Betriebskosten in erheblich erhöhen würde. Sie sollten beheizt oder belüftet werden, um Schäden durch Feuchtigkeit oder Temperaturschwankungen zu vermeiden.

Da keine konkreten Angaben zur Nutzung der Räume vorlagen, wurden diese zunächst wie Technikräume behandelt und mit einer Temperatur von 5°C berücksichtigt. Diese Annahme hatte erhebliche Auswirkungen auf die Heizlastberechnung und beeinflusste auch die angrenzenden Räume.

Im weiteren Verlauf des Projektes wurde jedoch entschieden, dass diese Räume in Zukunft möglicherweise vermietet werden sollen. Daher wurde festgelegt, dass diese Räume auf mindestens 20°C zu beheizen sind. Diese Änderung führte zu einer kompletten Anpassung der Heizlastberechnungen für die betroffenen Räume und die angrenzenden Bereiche.

Außerdem wurde beschlossen, Heizkörper an den Fenstern zu installieren, um die geforderte Raumtemperatur sicherzustellen. Bis heute ist jedoch nicht klar, ob diese Entscheidungen, insbesondere die Wahl der Heizkörper, tatsächlich die beste Lösung für die zukünftige Nutzung dieser Räume darstellen. Die Unsicherheiten und ständigen Anpassungen haben das Projekt deutlich komplizierter gemacht und zu einem erhöhten Planungsaufwand geführt.

3.7. Restaurant und Küche

Auf der Nordseite des Gebäudes, gleich nach dem Eingang auf der linken Seite, befinden sich ein Restaurant mit dazugehöriger Küche sowie mehrere Lager- und Vorbereitungsräume.

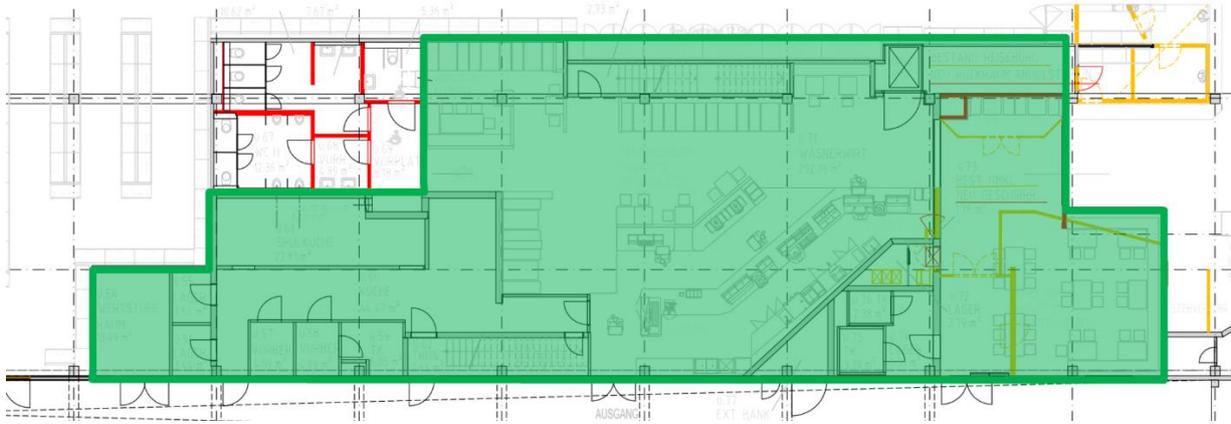


Abbildung 29: Restaurant und Küche auf der Nordseite des Gebäudes [2] bearbeitet

Auch bei diesen Räumen war von Anfang an unklar, wie sie klimatisiert und versorgt werden sollten. Der Bauherr hat im Laufe des Projektes keine detaillierten Informationen über die spezifischen Anforderungen an die Beheizung und Belüftung dieser Bereiche zur Verfügung gestellt.

Obwohl die Heizlast für die Räume berechnet und der ungefähre Luftvolumenstrom für diesen Bereich ermittelt wurde, sind diese Werte nicht in die Gesamtheizlast und den Gesamtvolumenstrom einbezogen, die durch die geplante Wärmepumpe abgedeckt werden sollen. Dies bedeutet, dass die derzeitige Planung keine ausreichende Kapazität für die Beheizung, Belüftung oder Kühlung dieser Räume vorsieht, was zu Problemen bei der Temperaturregelung und der Luftqualität führt. Eine unzureichende Lüftung, insbesondere in der Küche, könnte die Abluftkapazität beeinträchtigen, da hier hohe Anforderungen an die Luftabsaugung gestellt werden.

Sollte in Zukunft entschieden werden, diese Bereiche zu klimatisieren, wird dies entweder erhebliche Auswirkungen auf die aktuelle Planung haben oder es könnte notwendig werden, nachträglich zusätzliche Systeme zu installieren. Dies könnte die Integration neuer Komponenten wie zusätzliche Wärmepumpen, separate Klimageräte oder erweiterte Lüftungssysteme bedeuten, was wiederum zu höheren Kosten und möglichen Bauverzögerungen führen könnte.

Systeme, die nicht von Anfang an für den gesamten Gebäudebedarf ausgelegt sind, können häufiger ausfallen und höhere Wartungskosten verursachen. Außerdem kann die Energieeffizienz des Gebäudes beeinträchtigt werden, was die Nachhaltigkeitsziele des Projekts gefährden kann.

Insgesamt zeigt sich, dass die Nichtberücksichtigung von Küchen- und Restaurantflächen in der aktuellen Planung zu erheblichen Herausforderungen führen kann. Eine frühzeitige und umfassende Planung ist entscheidend, um diese Risiken zu minimieren und ein effizientes, flexibles und kostengünstiges Gebäude zu gewährleisten.

3.8. WC-Räume

Im Obergeschoss, auf der Nordseite des Gebäudes und zwischen den Leerstandsräumen, befinden sich zwei WC-Räume.

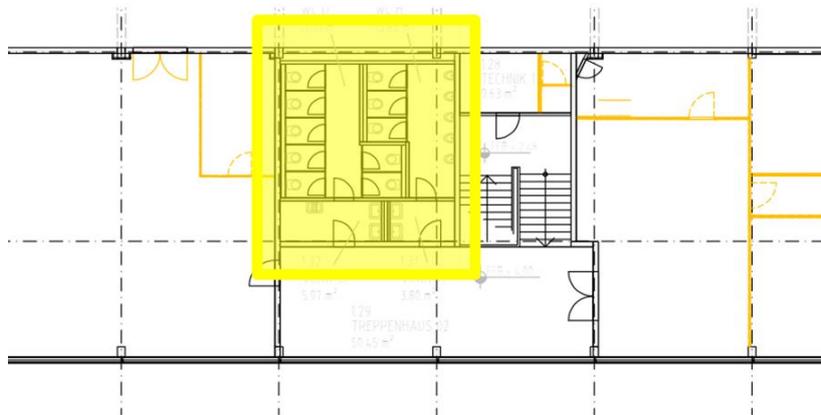


Abbildung 30: WC-Räume im Obergeschoss [2] bearbeitet

Diese Räume wurden von Anfang an als WC-Räume definiert und entsprechend in die Planung einbezogen. Im Rahmen der Planung wurde für diese Räume die Heizlast berechnet und auf Basis der ermittelten Luftmengen wurden die Abluft- und Zuluftkanäle geplant.

Eine Woche vor der Abgabe der Leistungsphase 3 teilte der Bauherr jedoch mit, dass die Nutzung dieser Räume nun unklar sei und sie nicht mehr als WC-Räume genutzt werden sollten. Trotz dieser Änderung blieb offen, welche zukünftige Nutzung für diese Räume vorgesehen ist, was dazu führte, dass sie vorerst ohne konkrete Planungsgrundlagen in der weiteren Planung unberücksichtigt bleiben mussten.

Diese kurzfristige Änderung erforderte eine umfangreiche Überarbeitung und Anpassung der bereits geplanten Kanäle und Heizkreise. Diese unerwartete Anpassung zeigt einmal mehr, welche Herausforderungen unklare oder sich ändernde Nutzungsanforderungen insbesondere in fortgeschrittenen Planungsphasen mit sich bringen können.

3.9. Lichtpunkthöhe

Bei der Planung der technischen Gebäudeausrüstung ist die richtige Berücksichtigung der Lichtpunkthöhe von entscheidender Bedeutung, insbesondere bei der Anordnung von Geräten wie Umluftgeräten, Luftdurchlässen und Beleuchtungseinrichtungen. Diese verschiedenen Elemente dürfen sich nicht gegenseitig behindern, weshalb ihre Höhen genau aufeinander abgestimmt werden müssen.

In der Baubeschreibung von 2021 wurde die Lichtpunkthöhe mit 3,6m angegeben. Diese Angabe bedeutet, dass alle anderen technischen Einrichtungen, wie beispielsweise Umluftgeräte und Lüftungsdurchlässe, oberhalb dieser Höhe installiert werden müssen, um Kollisionen zu vermeiden und eine effiziente Raumnutzung sicherzustellen.

Allerdings entstand im Verlauf des Projekts Verwirrung, als im Musterschema von 2024 die Umluftgeräte mit einer Unterkante von 3,3m definiert wurden. Diese Angabe widerspricht der ursprünglich angegebenen Lichtpunkthöhe von 3,6m und führte zu Unsicherheiten in der Planung. Es wurde unklar, welche Lichtpunkthöhe tatsächlich gilt und wie die anderen technischen Geräte im Raum richtig anzuordnen sind.

Wenn die Umluftgeräte tiefer als die Beleuchtung installiert werden, können Probleme wie unzureichende Beleuchtung oder Behinderung der Luftverteilung auftreten. Dies kann zu einem ineffizienten Betrieb der Systeme führen und den Komfort und die Funktionalität der betroffenen Räume beeinträchtigen.

Letztendlich wurde aufgrund der Unklarheiten davon ausgegangen, dass die Lichtpunkthöhe unter 3,3m liegen muss, um die Installation der Umluftgeräte zu ermöglichen. Es wird vermutet, dass die neue Baubeschreibung diese Annahme übernimmt, obwohl dies nicht offiziell bestätigt wurde.

Diese unterschiedlichen Höhenangaben und die daraus resultierende Verwirrung verdeutlichen, wie wichtig eine klare und einheitliche Planung ist. Solche Widersprüche können zu erheblichen Planungsunsicherheiten führen, da die Positionierung der technischen Anlagen eng miteinander verknüpft ist. Die fehlende Abstimmung zwischen den verschiedenen Gewerken kann letztlich zu ineffizienten Installationen, zusätzlichen Anpassungen und potenziell höheren Kosten führen. Um solche Probleme zu vermeiden und einen reibungslosen Projektablauf zu gewährleisten, ist es daher wichtig, dass alle technischen Spezifikationen und Höhenangaben frühzeitig eindeutig definiert und in allen Planungsphasen konsequent angewendet werden.

4. Bilanzierung

Bei der Gebäudebilanzierung nach DIN 18599 wird in der Regel wie folgt vorgegangen: Der Energiebedarf des Gebäudes wird anhand von Faktoren wie Bauart, Nutzung und Anlagentechnik ermittelt. Dieser Bedarf wird dann mit dem tatsächlich gemessenen Energieverbrauch des Gebäudes verglichen. Auf dieser Basis können mögliche Optimierungsmaßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz des Gebäudes identifiziert und bewertet werden.

Bei diesem Gebäude wurde der Prozess jedoch umgekehrt. Anstatt zuerst den Energiebedarf des bestehenden Gebäudes zu berechnen und mit dem Verbrauch zu vergleichen, wurden direkt verschiedene Varianten und Maßnahmen simuliert, da keine ausreichenden Daten über das bestehende Gebäude vorlagen.

Es wurden spezifische Maßnahmen berücksichtigt, wie z.B. das Dach zu dämmen und alte technische Anlagen durch moderne Technologien wie Wärmepumpen zu ersetzen. Diese Maßnahmen wurden als Variante in die Software eingegeben und der Energiebedarf unter diesen neuen Bedingungen berechnet.

Anschließend wurde analysiert, wie sich der neue Energiebedarf zum tatsächlichen Verbrauch des Gebäudes verhält. Auf diese Weise konnte festgestellt werden, ob die vorgeschlagenen Maßnahmen zu einer Reduzierung des Energiebedarfs führen. Dieser umgekehrte Ansatz ermöglichte eine direkte Bewertung der Effizienz der neuen Variante und lieferte fundierte Ergebnisse für die Optimierung der Energieversorgung des Gebäudes.

4.1. Software IBP:18599

Die Softwarelösung „IBP:18599“ des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) ist eine professionelle Anwendung, die speziell für die Anforderungen der DIN V 18599 entwickelt wurde.

Mehrzonenmodell, Berücksichtigung der Beleuchtung, komplexe Konfigurationen der Heizungs-, Lüftungs- und Kältetechnik, iterative Bilanzierung: Die DIN V 18599 setzt neue Maßstäbe für Nachweis- und Bewertungsverfahren zur energetischen Bilanzierung von Gebäuden, sowohl hinsichtlich der darstellbaren Komplexität als auch hinsichtlich der Anforderungen an eine professionelle Software für die tägliche Planungs- und Beratungspraxis [22].

4.1.1. Funktionsweise der Software IBP:18599

Die Software „IBP:18599“ basiert auf dem Rechenkern „IBP18599kernel“. Dieser Rechenkern ermöglicht die detaillierte Parametrisierung und Berechnung kompletter Gebäudemodelle nach der Norm. Er bietet eine kompakte und validierte Rechenleistung, die es erlaubt, auch komplexe Gebäudekonfigurationen exakt abzubilden [22].

Die Abbildung 31 zeigt einen Überblick über die Software IBP:18599.

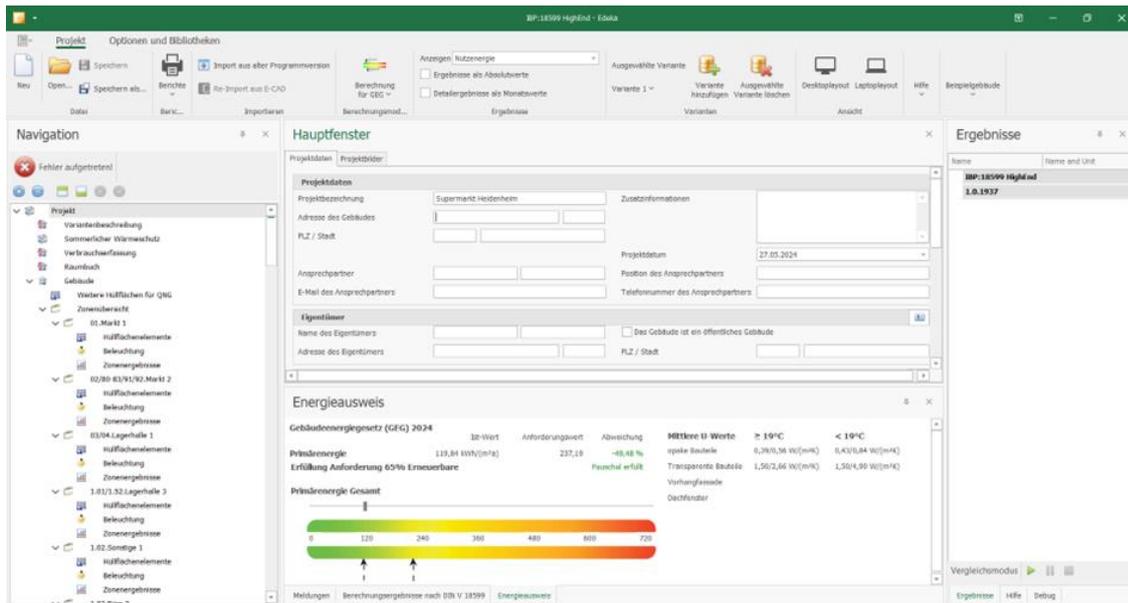


Abbildung 31: Hauptseite der Software IBP:18599

4.2. Zonierung von Nichtwohngebäuden

Ein wesentlicher Bestandteil der Bilanzierungsmethodik nach DIN V 18599 ist die Idealisierung eines Nichtwohngebäudes als ein Mehr-Zonen-Modell. Darin sind die einzelnen Zonen die grundlegende räumliche Berechnungseinheit, d. h., dass jede Zone für sich bilanziert wird und anschließend die einzelnen Zonenergebnisse zusammengeführt werden [23].

4.2.1. Ablauf der Zonierung

Bevor die eigentliche energetische Bilanzierung durchgeführt werden kann, ist das Gebäude zu zonieren. Dazu werden die Bereiche eines Gebäudes zu Zonen zusammengefasst, die ähnliche Nutzenergiemengen bzw. ähnliche Wärmesenken und -quellen aufweisen, sodass möglichst homogene Gebäudebereiche entstehen. Diese Bereiche müssen jedoch nicht räumlich verbunden sein. Aber auch eine bauliche Trennung zwischen Zonen ist nicht zwingend erforderlich [23],

Nur so viele Zonen gebildet werden, dass die wichtigsten energetischen Unterschiede innerhalb des Gebäudes angemessen berücksichtigt werden können. Zu viele Zonen sind zu vermeiden, da sie den Berechnungsaufwand erheblich erhöhen können, ohne das Bilanzierungsergebnis in entsprechender Weise zu verbessern [24].

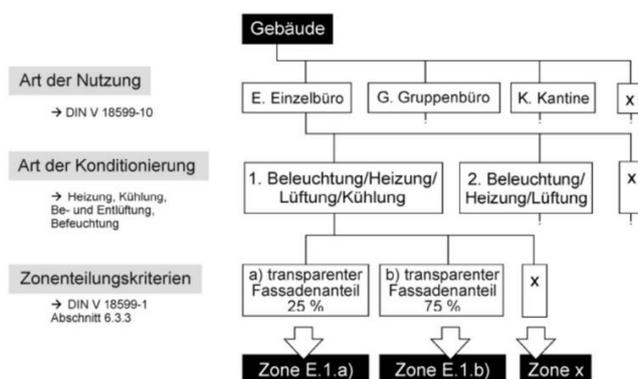


Abbildung 32: Ablauf der Zonierung [24]

Die Abbildung 32 zeigt schematisch den Ablauf der Zonierung von Nichtwohngebäuden nach DIN V 18599-1.

4.2.2. Nutzungsrandbedingungen

Für eine Bilanzierung nach DIN V 18599 ist die Gebäudenutzung ein maßgebliches Kriterium für die Einteilung der Zonen. In Teil 10 der Norm werden Richtwerte für unterschiedliche Nutzungen angegeben. Die angegebenen Nutzungsrandbedingungen sind im Sinne der Norm als Richtwerte zu verstehen, die anzunehmen sind, wenn keine genaueren Werte vorliegen.

Die nutzungsspezifischen Randbedingungen in DIN V 18599-10 beziehen sich auf

- Nutzungs- und Betriebszeiten,
- Beleuchtung,
- Raumklima und
- Wärmequellen [23]

Das Gebäude wurde zunächst entsprechend seiner Nutzung in 10 verschiedene Zonen unterteilt, die in den Abbildungen 33 und 34 aufgelistet und anschließend in Grundrissen dargestellt sind.

1	2	Nutzungs- und Betriebszeiten ^a										Beleuchtung				
		Nutzung Beginn	Nutzung Ende	tägliche Nutzungsstunden	jährliche Nutzungstage	jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit	jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit	tägliche Betriebsstunden RL und Kühlung ^g	jährliche Betriebsstunden für jeweils RL, Kühlung und Heizung ^c	tägliche Betriebsstunden Heizung	Wärterwert der Beleuchtungsstärke	Höhe der Nutzenebene	Minderungsfaktor Bereich Scheinleuchte	Relative Abwesenheit	Raumindex	Teilbereichsbeiwert für Beleuchtung
		–	–	t _{nutz,d}	d _{nutz,a}	t _{Tag}	t _{Nacht}	t _{v,op,d}	d _{op,a}	t _{h,op,d}	E _m	h _{ru}	k _A	C _A	k	F _T
		Uhr	Uhr	h/d	d/a	h/a	h/a	h/d	d/a	h/d	lx	m				
1	Einzelbüro	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13	500	0,8	0,84	0,3	0,9	0,7
2	Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13	500	0,8	0,92	0,3	1,25	0,7
3	Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätze)	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13	500	0,8	0,93	0	2,5	1
4	Besprechung, Sitzung, Seminar	07:00	15:00	11	250	2543	207	13	250	13	500	0,8	0,93	0,5	1,25	1
5	Schallerhalle	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13	200	0,8	0,87	0	1,5	1
6	Einzelhandel/Kaufhaus	08:00	20:00	12	300	3009	591	14	300	14	300	0,8	0,93	0	2,5	1
7	Einzelhandel/Kaufhaus (Lebensmittelabteilung mit Kühlprodukten) ^h	08:00	20:00	12	300	3009	591	14	300	14	300	0,8	0,93	0	2,5	1

15	Küche – Vorbereitung, Lager	10:00	23:00	13	300	2411	1489	15	300	15	300	0,8	1	0,5	1,5	1
16	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13	200	0,8	1	0,9	0,8	1
17	Sonstige Aufenthaltsräume	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13	300	0,8	0,93	0,5	1,25	1

1	2	Nutzungs- und Betriebszeiten ^a										Beleuchtung				
		Nutzung Beginn	Nutzung Ende	tägliche Nutzungsstunden	jährliche Nutzungstage	jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit	jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit	tägliche Betriebsstunden RL und Kühlung ^g	jährliche Betriebsstunden für jeweils RL, Kühlung und Heizung ^c	tägliche Betriebsstunden Heizung	Wärterwert der Beleuchtungsstärke	Höhe der Nutzenebene	Minderungsfaktor Bereich Scheinleuchte	Relative Abwesenheit	Raumindex	Teilbereichsbeiwert für Beleuchtung
		–	–	t _{nutz,d}	d _{nutz,a}	t _{Tag}	t _{Nacht}	t _{v,op,d}	d _{op,a}	t _{h,op,d}	E _m	h _{ru}	k _A	C _A	k	F _T
		Uhr	Uhr	h/d	d/a	h/a	h/a	h/d	d/a	h/d	lx	m				
18	Nebenflächen (ohne Aufenthaltsräume)	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13	100	0,8	1	0,9	1,5	1
19	Verkehrsräume ^b	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13	100	0,2	1	0,8	0,8	1
20	Lager, Technik, Archiv ^b	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13	100	0,8	1	0,98	1,5	1
41	Lagerhallen, Logistikhallen	00:00	24:00	24	365	4407	4353	24	365	24	150	0	1,0	0,6	2,4	0,4

Abbildung 33: Nutzungs- und Betriebszeiten nach DIN V 18599-10 Spalte 1-17

1	2	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28-29											
												Raumklima										Wärmequellen	
												Raum-Solltemperatur Heizung ^a	Raum-Solltemperatur Kühlung	Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb	Minimale Temperatur Auslegung Heizung	Maximale Temperatur Auslegung Kühlung	Feuchteanforderung ^d	Mindestaußenluftvolumenstrom ^e	Mindestaußenluftvolumenstrom für Gebäude (Klasse II Schadstoffarm DIN EN 15251)	Relative Abwesenheit RLT	Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit RLT	Personen ^f	Arbeitsstätten ^g
$\theta_{h,soll}$	$\theta_{c,soll}$	$\Delta\theta_{NA}$	$\theta_{h,min}$	$\theta_{c,max}$	-	\dot{V}_A	$\dot{V}_A Geb$	ϵ_{RLT}	$F_{t,RLT}$	$q_{l,p}$	$q_{l,fac}$												
°C	°C	K	°C	°C		m³/(h·m²)	m³/(h·m²)			W/(m²·d)	W/(m²·d)												
1	Einzelbüro	21	24	4	20	26	m. T.	4	2,5	0,3	0,7	30	42										
2	Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	21	24	4	20	26	m. T.	4	2,5	0,3	0,7	30	42										
3	Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätze)	21	24	4	20	26	m. T.	6	2,5	0,2	1	42	60										
4	Besprechung, Sitzung, Seminar	21	24	4	20	26	m. T.	15	2,5	0,5	0,5	96	8										
5	Schalterhalle	21	24	4	20	26	m. T.	2	1,25	0,5	1	36	24										
6	Einzelhandel/Kaufhaus	21	24	4	20	26	m. T.	4	2,5	0,5	1	84	24										
7	Einzelhandel/Kaufhaus (Lebensmittelabteilung mit Kühlprodukten) ^h	21	24	4	20	26	m. T.	4	2,5	0,5	1	84	85										

15	Küche – Vorbereitung, Lager	21	24	4	20	26	m. T.	15	-	-	-	56	180
16	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	21	24	4	20	26	-	15	5	0,7	1	0	0

1	2	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28-29											
												Raumklima										Wärmequellen	
												Raum-Solltemperatur Heizung ^a	Raum-Solltemperatur Kühlung	Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb	Minimale Temperatur Auslegung Heizung	Maximale Temperatur Auslegung Kühlung	Feuchteanforderung ^d	Mindestaußenluftvolumenstrom ^e	Mindestaußenluftvolumenstrom für Gebäude (Klasse II) Schadstoffarm DIN EN 15251 ^h	Relative Abwesenheit RLT	Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit RLT	Personen ^f	Arbeitsstätten ^g
$\theta_{h,soll}$	$\theta_{c,soll}$	$\Delta\theta_{NA}$	$\theta_{h,min}$	$\theta_{c,max}$	-	\dot{V}_A	$\dot{V}_A Geb$	ϵ_{RLT}	$F_{t,RLT}$	$q_{l,p}$	$q_{l,fac}$												
°C	°C	K	°C	°C		m³/(h·m²)	m³/(h·m²)			W/(m²·d)	W/(m²·d)												
17	Sonstige Aufenthaltsräume	21	24	4	20	26	m. T.	7	2,5	0,5	0,8	92	8										
18	Nebenflächen (ohne Aufenthaltsräume)	21	24	4	20	26	-	0,15	-	-	-	0	0										
19	Verkehrsflächen ^b	21	24	4	20	26	-	0	-	-	-	0	0										
20	Lager, Technik, Archiv ^b	21	24	4	20	26	-	0,15	-	-	-	0	0										
41	Lagerhallen, Logistikhallen	12	26	-	12	28	-	1	-	-	-	0	0										

Abbildung 34: Nutzungs- und Betriebszeiten nach DIN V 18599-10 Spalte 18-29

Um eine klare visuelle Darstellung zu ermöglichen, werden die Zonen in den Plänen farblich gekennzeichnet.

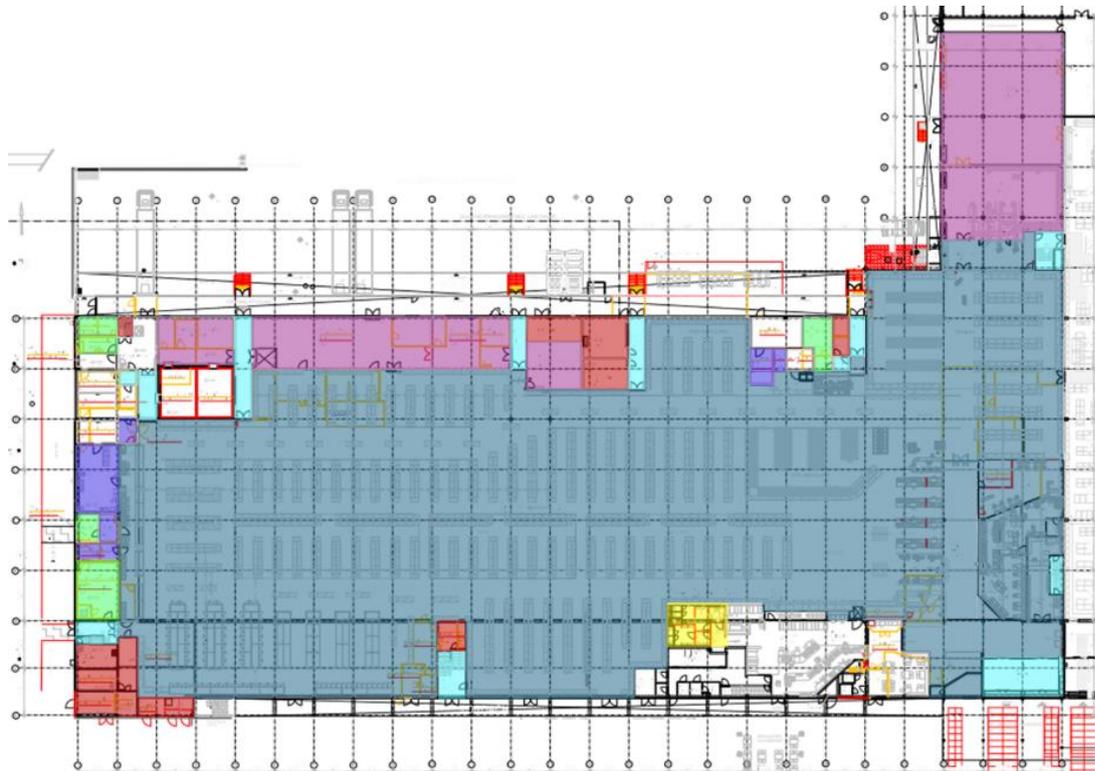


Abbildung 35: Zonierung des Erdgeschosses nach Nutzungsart [2] bearbeitet

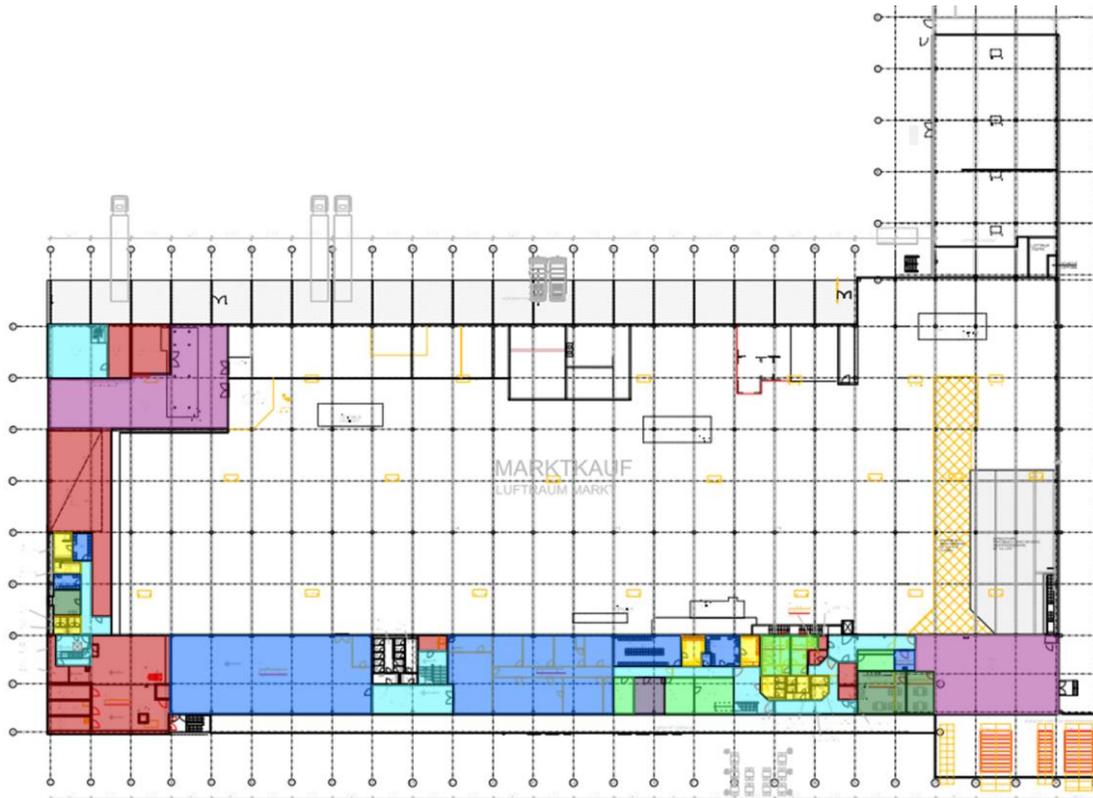


Abbildung 36: Zonierung des Obergeschosses nach Nutzungsart [2] bearbeitet

Legende:

- 2 – Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)
- 4 – Besprechung, Sitzung, Seminar
- 7 - Einzelhandel/Kaufhaus (Lebensmittelabteilung mit Kühlprodukten)
- 15 - Küche- Vorbereitung, Lager
- 16 - WC- und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden
- 17 - Sonstige Aufenthaltsräume
- 18 - Nebenflächen (ohne Aufenthaltsräume)
- 19 - Verkehrsflächen
- 20 - Lager, Technik, Archiv
- 41 - Lagerhallen, Logistikhallen

4.2.3. Berücksichtigung der Konditionierung

Wenn es bauliche oder anlagentechnische Unterschiede innerhalb einer Nutzung gibt, dann sind gleiche Nutzungen in unterschiedlichen Zonen zu bilanzieren. Die zusätzlichen Zonenteilungskriterien beziehen sich einerseits auf Unterschiede in der Konditionierung und andererseits auf Unterschiede in der Be- und Entlüftung [23].

Wie in Kapitel 2 ausführlich beschrieben, werden in diesem Supermarkt verschiedene Heiz- und Kühlsysteme eingesetzt. Diese unterschiedlichen Systeme, wie z.B. RLT-Anlagen, Umluftgeräte und andere Klimageräte, bilden die Grundlage für die Zonierung des Gebäudes.

Bereiche, die z.B. durch RLT-Anlagen konditioniert werden, werden von Bereichen unterschieden, die durch andere Heiz- oder Kühlsysteme versorgt werden. Diese Differenzierung nach Anlagen ermöglicht eine genaue Analyse der Energieeffizienz in den jeweiligen Bereichen und erlaubt eine entsprechende Bilanzierung des Energieeinsatzes.

In den Abbildungen 37 und 38 werden Zonenpläne vorgestellt, die eine klare Visualisierung der räumlichen Aufteilung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Konditionierung ermöglichen.

Legende:

- Heizkörper / VRF-Klimaanlage
- RLT 1 / Split-Klimaanlage
- Heizkörper / RLT 1
- Heizkörper
- Heizkörper / RLT 2
- RLT 1
- Umluftherhitzer
- Heizkörper / RLT 1 / VRF-Klimaanlage
- keine Konditionierung
- Umluftherhitzer / RLT 2
- Türluftschleier
- Umluftgerät (Kühlen und Heizen) / RLT 1/2
- Umluftherhitzer / RLT 1
- Umluftgerät (Kühlen und Heizen) / RLT 1



Abbildung 37: Zonierung des Erdgeschosses nach Konditionierung [2] bearbeitet

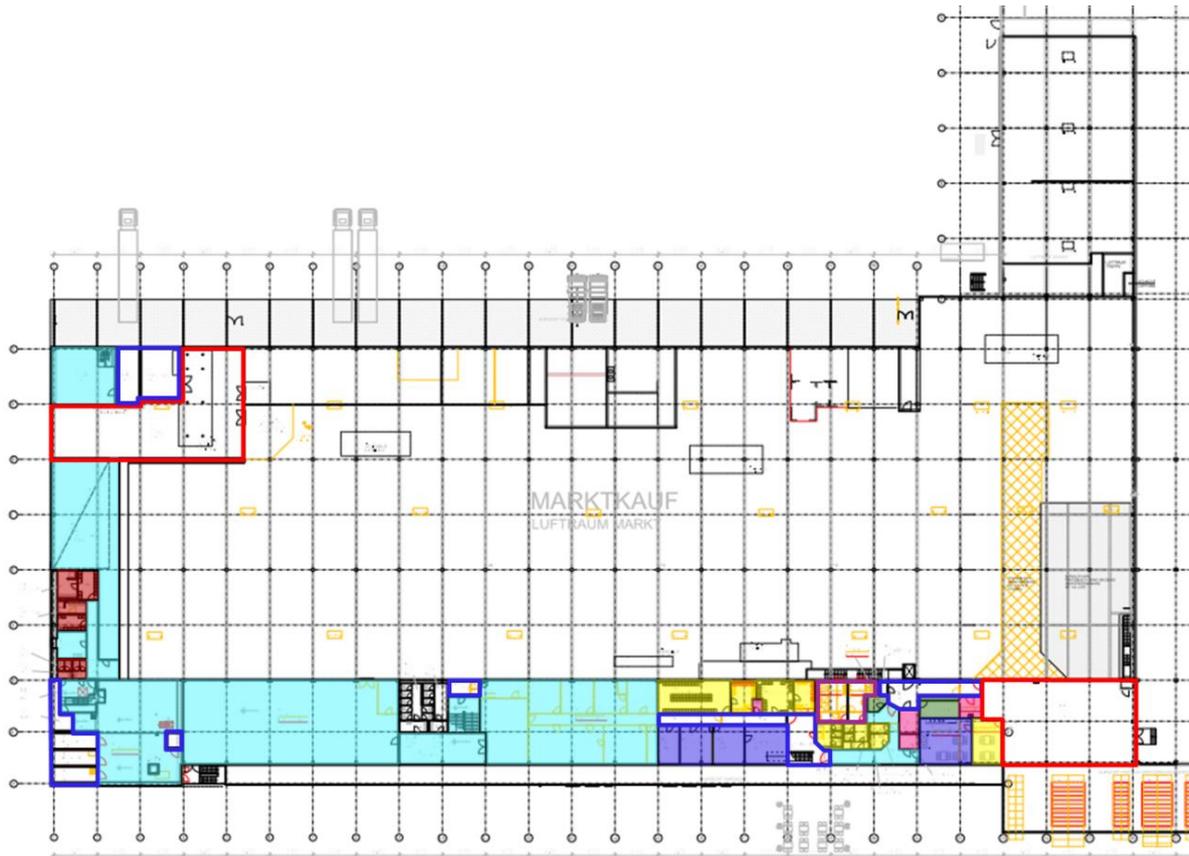


Abbildung 38: Zonierung des Obergeschosses nach Konditionierung [2] bearbeitet

4.2.4. Kombination der beiden Zonierungen

Die Kombination der beiden Zonierungen – der Nutzung und der Konditionierung – führt zur Erstellung der endgültigen Zonierung des Gebäudes.

Insgesamt wurden dabei 35 Zonen definiert und in den Abbildungen 39 und 40 dargestellt.

Die Zahl nach dem Strich in der Legende, wie z.B. „- 41“, steht für die jeweilige Nutzungsart der Zone.

Legende:

	Umluftherhitzer / RLT 2 – 41
	Türluftschleier - 19
	Umluftgerät (Kühlen und Heizen) / RLT 1/2 – 7
	Heizkörper / RLT 1 - 7
	Heizkörper - 19
	Heizkörper / RLT 1 - 2
	RLT 1 / Split-Klimaanlage - 20
	Heizkörper / RLT 2 - 20
	keine Konditionierung - 20
	Heizkörper / RLT 2 - 41
	keine Konditionierung - 15
	Heizkörper - 15
	Umluftherhitzer / RLT 1 - 41
	Umluftgerät (Kühlen und Heizen) / RLT 1 - 7
	RLT 1 - 15
	Heizkörper – 2

- keine Konditionierung – 19
- Heizkörper / RLT 2 - 2
- Heizkörper / RLT 1 - 16



Abbildung 39: Endgültige Zonierung des Erdgeschosses [2] bearbeitet

Legende:

- Heizkörper / RLT 1 - 18
- Heizkörper - 19
- RLT 1 / Split-Klimaanlage - 20
- keine Konditionierung - 20
- Umlufterhitzer – 41
- Heizkörper / RLT 1 - 17
- Heizkörper / VRF-Klimaanlage - 17
- RLT 1 / VRF-Klimaanlage – 2
- Heizkörper / RLT 1 / VRF-Klimaanlage - 2
- RLT 1 - 20
- Heizkörper / RLT 1 - 16
- keine Konditionierung - 19
- Heizkörper / VRF-Klimaanlage – 2
- RLT 1 - 18
- Heizkörper / VRF-Klimaanlage – 4
- Heizkörper - 18
- Heizkörper - 20
- Heizkörper / RLT 2 - 16
- Heizkörper - 17
- Heizkörper / RLT 2 – 18

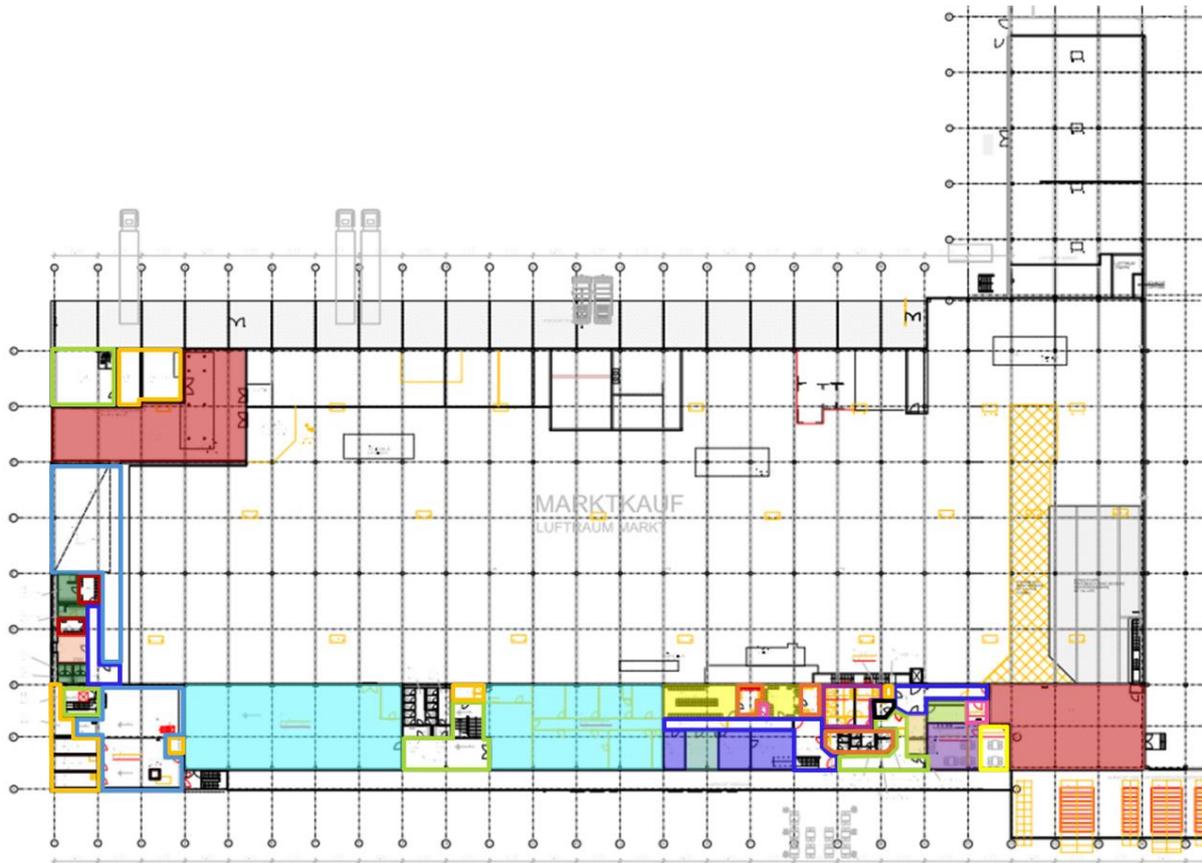


Abbildung 40: Endgültige Zonierung des Obergeschosses [2] bearbeitet

4.3. Beleuchtung

Für die Berechnung des Energiebedarfs für Beleuchtung sind die einzelnen Gebäudezonen in weitere beleuchtungstechnische Berechnungsbereiche zu unterteilen, wenn relevante Unterschiede hinsichtlich der Tages- und Kunstlichtversorgung sowie des Systems zur Tageslicht- und Präsenzkontrolle vorliegen [23].

Die Abbildung 41 zeigt die IBP-Software und die Einteilung der Beleuchtungsbereiche. Für die einzelnen Zonen werden basierend auf der spezifischen Nutzung der jeweiligen Bereiche geeignete Beleuchtungseinstellungen gewählt und es wird unterschieden, ob es sich um Bereiche mit oder ohne Tageslichtfenster handelt, was die Einstellungen der Kunstlichtsysteme wesentlich beeinflusst. Diese Einstellungen werden z.B. an die Beleuchtungsart, Leuchten, Wartungsfaktor, die Präsenzsteuerung und die Tageslichtregelung angepasst.

In der Tabelle 11 wird die gewählten Einstellungen für jede Zone dargestellt.

Diese Einstellungen müssen vom Bauherrn angegeben werden, aber in diesem Projekt wurden keine spezifischen Angaben gemacht, deswegen werden sie auf der Grundlage anderer ähnlicher Supermärkte angenommen.

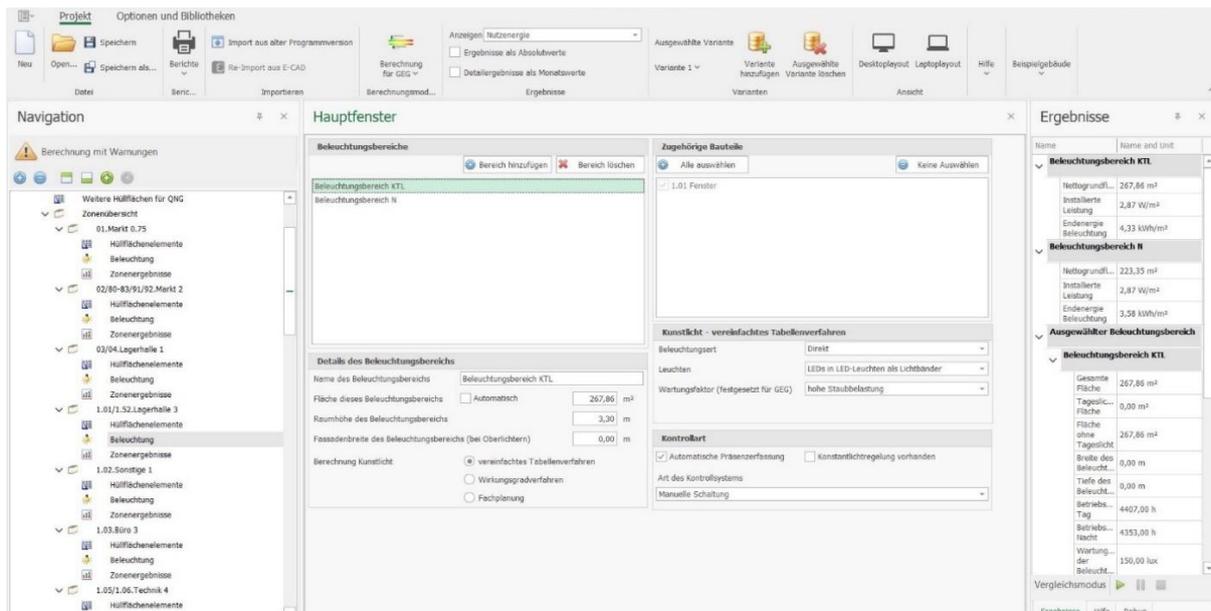


Abbildung 41: Beleuchtungsbereiche in der IBP-Software

	Beleuchtungsart	Leuchten	Wartungsfaktor	Präsenzfassung	Konstantlichtregelung	Kontrollsystem
Büro/Besprechung	Direkt	LED-Leuchten Sonstige	üblich		X	Manuell
Aufenthalt	Direkt	LED-Leuchten Sonstige	üblich	X		TL abhängig ausschaltend
Lager	Direkt	LED-Leuchten Lichtbänder	Hohe Staubbelastung	X		TL abhängig ausschaltend
Flur	Direkt	LED-Leuchten Sonstige	üblich	X		TL abhängig ausschaltend
Markt	Direkt	LED-Leuchten Lichtbänder	üblich		X	TL abhängig An/Aus
Küche (Vorbereitung)	Direkt	LED-Leuchten Sonstige	Hohe Staubbelastung		X	Manuell
Sanitär	Direkt	LED-Leuchten Sonstige	üblich	X		Manuell
Technik	Direkt	LED stabförmig	Hohe Staubbelastung	X		Manuell
Nebenfläche (Umkleide)	Direkt	LED-Leuchten Sonstige	üblich	X		Manuell

Tabelle 13: Beleuchtungseinstellung für jede Zone [3] bearbeitet

Für die Zonen „Flur“ und „Lager“, wenn die Räume keine Fenster haben, werden sie manuell ein- und ausgeschaltet. Da kein Tageslicht in den Raum fällt, ist eine tageslichtabhängige Steuerung nicht sinnvoll.

In der Zone Küche (Vorbereitung) ist für einige Räume keine Konstantlichtregelung vorgesehen, da diese Regelung dafür sorgt, dass die Beleuchtungsstärke im Raum entsprechend dem sich ändernden Tageslicht gleichbleibend auf dem erforderlichen Niveau bleibt. [24] Wenn die Räume keine Fenster (Tageslicht) haben, benötigen sie auch keine Konstantlichtregelung.

4.3.1. Beleuchtungsergebnis

Die Ergebnisse der Nutz-, End- und Primärenergie der Beleuchtung des Gesamtgebäudes sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

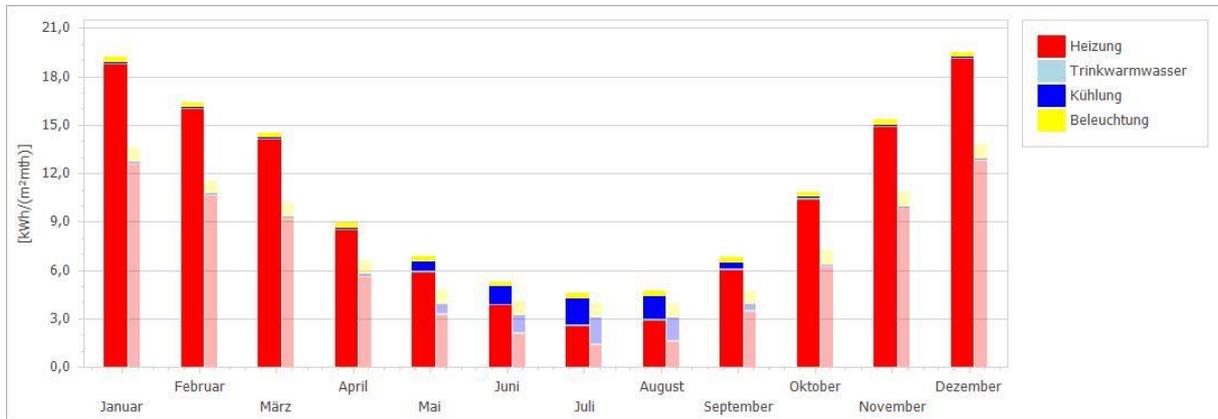


Abbildung 42: Monatliche Nutzenergie [eigene]

Name	Gesamt kWh/(m²a)	Jan kWh/(m²mth)	Feb kWh/(m²mth)	Mar kWh/(m²mth)	Apr kWh/(m²mth)	Mai kWh/(m²mth)	Jun kWh/(m²mth)	Jul kWh/(m²mth)	Aug kWh/(m²mth)	Sep kWh/(m²mth)	Okt kWh/(m²mth)	Nov kWh/(m²mth)	Dez kWh/(m²mth)
Nutzenergie	133,78	19,29	16,45	14,60	9,00	6,93	5,36	4,63	4,76	6,86	10,92	15,38	19,60
> Heizung	123,02	18,81	16,02	14,12	8,52	5,89	3,82	2,52	2,87	6,02	10,40	14,91	19,12
Trinkwarmwasser	1,86	0,16	0,14	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16
> Kühlung	5,09	0,00	0,00	0,00	0,01	0,56	1,07	1,63	1,41	0,38	0,04	0,00	0,00
Dampfbefeuchtung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beleuchtung	3,82	0,33	0,29	0,32	0,31	0,32	0,31	0,32	0,32	0,31	0,32	0,32	0,33
Anwenderstrom	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
> Referenzgebäude Nutzenergie	96,26	13,68	11,65	10,29	6,69	4,85	4,14	4,02	4,02	4,82	7,28	10,92	13,90

Abbildung 43: Gesamtnutzenergie der Beleuchtung [eigene]

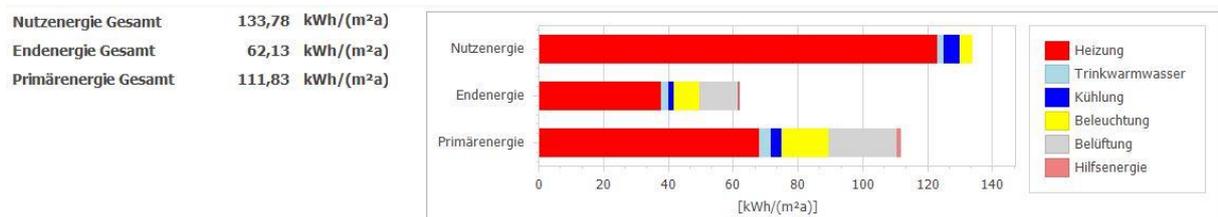
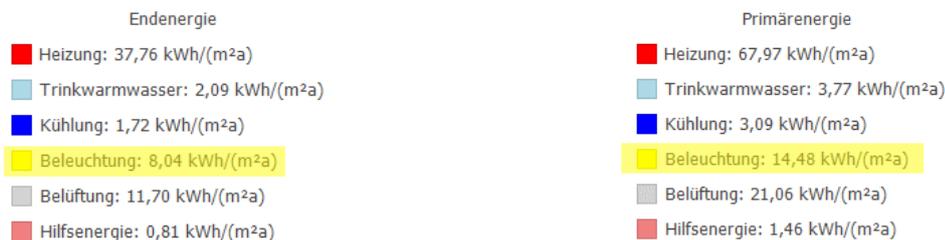


Abbildung 44: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene]



Wie bereits erwähnt, basieren die Einstellungen und Berechnungen auf Daten, die von ähnlichen Supermärkten übernommen wurden und nicht direkt auf die tatsächlichen Gegebenheiten dieses Supermarktes übertragbar sind. Daher sind Abweichungen in den Ergebnissen zu erwarten.

4.4. Heizung

Nach der Berechnung des Energiebedarfs für die Beleuchtung folgt die Bewertung der Heizungsanlage, die in die Schritte Wärmeübergabe, -verteilung, -speicherung und -erzeugung unterteilt wird.

Der Teil „Heizung“ in der IBP-Software sieht wie in der Abbildung 45 aus. Auf die Verteilkreise und die Wärmeübergabe wurde bereits in Kapitel 2 ausführlich eingegangen. Die Daten wurden hauptsächlich genauso eingetragen, wie es dort beschrieben wurde, wobei die Konfiguration entsprechend der Anforderungen des Projekts erfolgt ist.

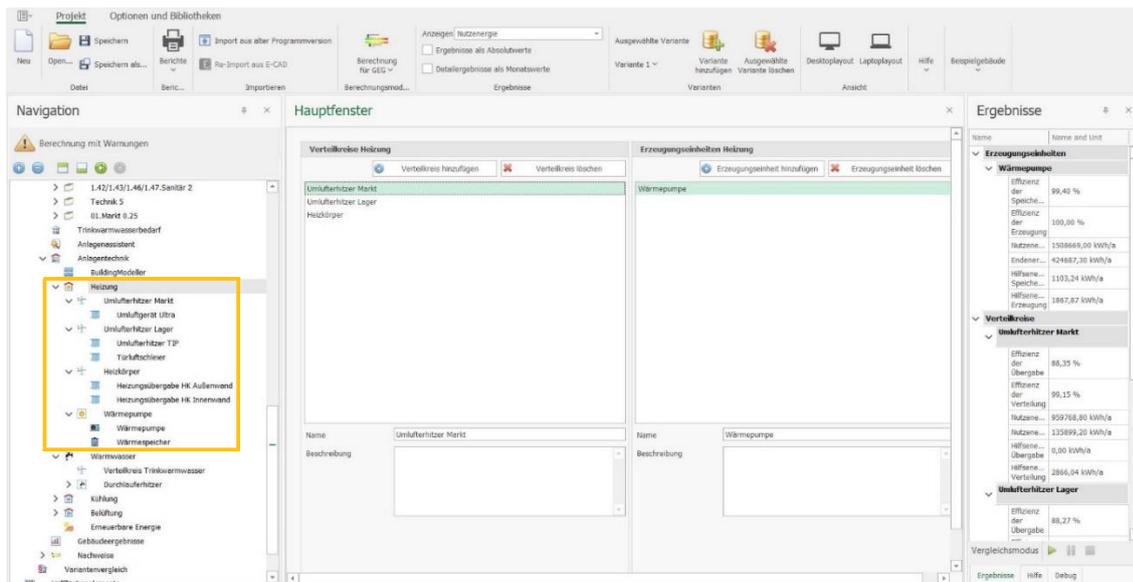


Abbildung 45: Heizungsbereich in der IBP-Software

Im Bereich der „Wärmepumpe“ wurden die Daten jedoch anders erfasst.

Wie in Kapitel 2 beschrieben, sind in diesem Gebäude insgesamt drei Wärmepumpen für die Beheizung vorgesehen. In der Software müssten diese drei Wärmepumpen separat eingegeben werden, da aber alle die gleichen Eigenschaften haben, wurde zur Vereinfachung der Berechnung nur eine Wärmepumpe mit der Gesamtleistung 550 kW eingegeben.

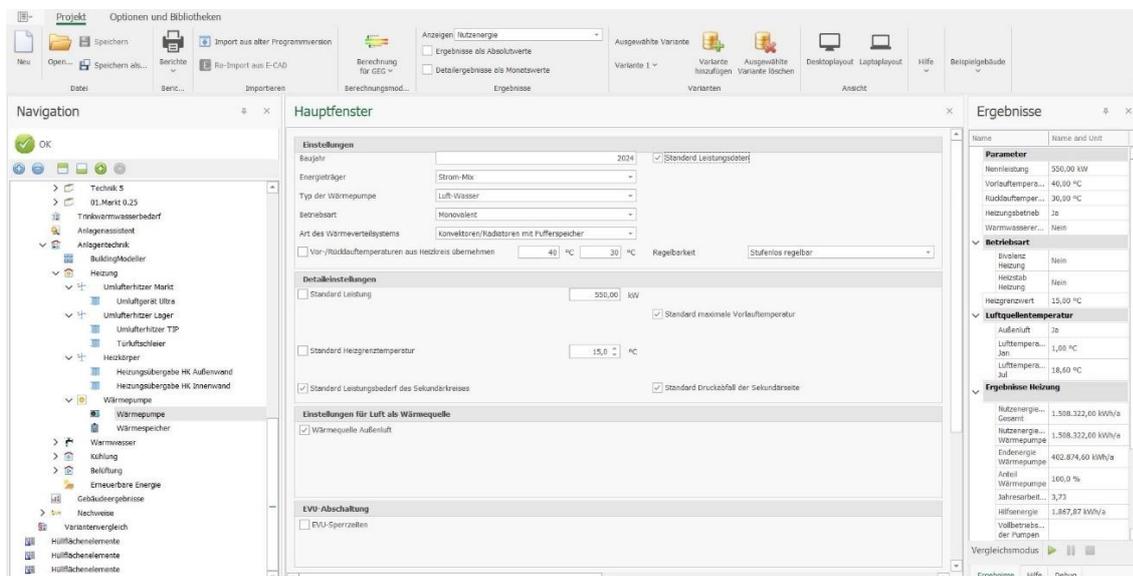


Abbildung 46: Wärmepumpe-Hauptfenster in der IBP-Software

4.4.1. Heizungsergebnis

Die Ergebnisse der Nutz-, End- und Primärenergie der Heizung des Gesamtgebäudes sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Die in den Abbildungen dargestellte Ergebnisse für Heizung beinhaltet sowohl die Energie für Heizen als auch die Energie der Heizregister.

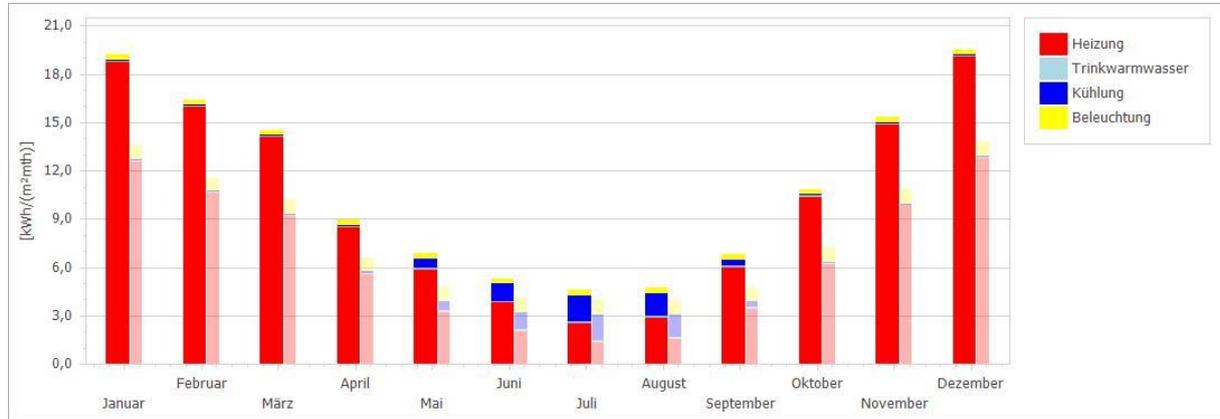


Abbildung 47: Monatliche Nutzenergie [eigene]

Name	Gesamt kWh/(m²a)	Jan kWh/(m²mth)	Feb kWh/(m²mth)	Mar kWh/(m²mth)	Apr kWh/(m²mth)	Mai kWh/(m²mth)	Jun kWh/(m²mth)	Jul kWh/(m²mth)	Aug kWh/(m²mth)	Sep kWh/(m²mth)	Okt kWh/(m²mth)	Nov kWh/(m²mth)	Dez kWh/(m²mth)
✓ Nutzenergie	133,78	19,29	16,45	14,60	9,00	6,93	5,36	4,63	4,76	6,86	10,92	15,38	19,60
✓ Heizung	123,02	18,81	16,02	14,12	8,52	5,89	3,82	2,52	2,87	6,02	10,40	14,91	19,12
Nutzenergie Heizen	116,48	17,44	14,88	13,23	8,14	5,82	3,79	2,52	2,86	5,94	10,20	13,94	17,71
Nutzenergie für das Heizregister	6,54	1,36	1,14	0,89	0,38	0,08	0,03	0,01	0,01	0,07	0,20	0,97	1,41
Nutzwärme für Absorptionskälte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Trinkwarmwasser	1,86	0,16	0,14	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16
> Kühlung	5,09	0,00	0,00	0,00	0,01	0,56	1,07	1,63	1,41	0,38	0,04	0,00	0,00
Dampfbefeuchtung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beleuchtung	3,82	0,33	0,29	0,32	0,31	0,32	0,31	0,32	0,32	0,31	0,32	0,32	0,33
Anwenderstrom	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
> Referenzgebäude Nutzenergie	96,26	13,68	11,65	10,29	6,69	4,85	4,14	4,02	4,02	4,82	7,28	10,92	13,90

Abbildung 48: Gesamtnutzenergie der Heizung [eigene]

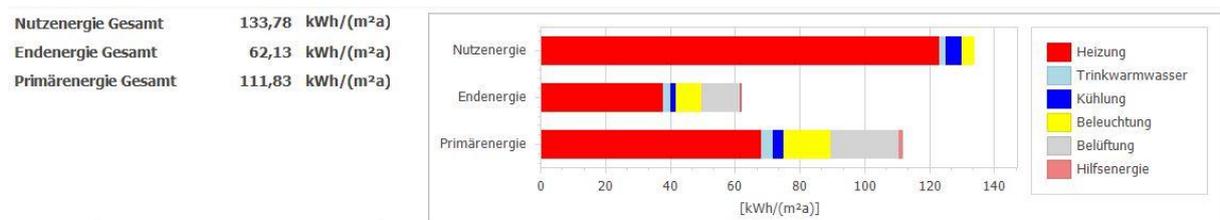


Abbildung 49: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene]

Endenergie		Primärenergie	
Heizung:	37,76 kWh/(m²a)	Heizung:	67,97 kWh/(m²a)
Trinkwarmwasser:	2,09 kWh/(m²a)	Trinkwarmwasser:	3,77 kWh/(m²a)
Kühlung:	1,72 kWh/(m²a)	Kühlung:	3,09 kWh/(m²a)
Beleuchtung:	8,04 kWh/(m²a)	Beleuchtung:	14,48 kWh/(m²a)
Belüftung:	11,70 kWh/(m²a)	Belüftung:	21,06 kWh/(m²a)
Hilfsenergie:	0,81 kWh/(m²a)	Hilfsenergie:	1,46 kWh/(m²a)

Die Berechnung der Heizung basiert auf den Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) und verwendet Standardnutzungsdaten. Diese können jedoch von den tatsächlichen Betriebsbedingungen abweichen.

Das GEG sieht für einen Supermarkt in den meisten Räumen eine Raumsolltemperatur von 21°C vor. In diesem Projekt wurde jedoch mit unterschiedlichen Temperaturen geplant, so

wurde z.B. die Verkaufsfläche, die den größten Anteil an der Gesamtfläche hat, mit einer Solltemperatur von 19 °C berechnet.

Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)	
Raum-Solltemperatur Heizung	21,00 °C
Raum-Solltemperatur Kühlung	24,00 °C
Minderungsfaktor k_A	20,00 °C
Maximaltemperatur Auslegung Kühlung	26,00 °C
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb	4,00 K
Feuchteanforderung	

Abbildung 50: Standardwerte gemäß GEG [eigene]

Dies bedeutet, dass es zu Abweichungen zwischen den tatsächlichen Bedingungen und den von der Software berechneten Werten kommen kann. Daher ist es wahrscheinlich, dass die Endenergie für die Heizung in der Realität niedriger ist als die berechnete Endenergie, da niedrigere Solltemperaturen zu einem geringeren Heizenergiebedarf führen.

4.5. Trinkwarmwasser

Alles, was in Kapitel 2 und in dieser Masterarbeit beschrieben wurde, bezieht sich auf die Versorgung durch die Wärmepumpe. Da die Warmwasserbereitung elektronisch über Durchlauferhitzer erfolgte, wurde dies in der TGA-Planung nicht beschrieben.

Die Angaben zur Trinkwasserbereitung waren für die Bilanzierung erforderlich, da deren Energiebedarf nach DIN 18599 in die Gesamtenergiebilanz des Gebäudes eingeht. Trotz der elektronischen Versorgung über Durchlauferhitzer musste der Energieverbrauch berücksichtigt werden, weshalb die entsprechenden Daten von anderen Planern übernommen wurden, um den Warmwasserbedarf korrekt zu erfassen.

Nach der Zonierung wurde zunächst, wie in Abbildung 51 dargestellt, eine Liste der Trinkwarmwasserbedarfe erstellt. Für jeden Bedarfspunkt wurde die entsprechende Zapfstelle in der jeweiligen Zone, der Richtwert des Trinkwasserbedarfs nach DIN 18599-10, Tabelle 7, sowie der flächenbezogene Bedarf ermittelt.

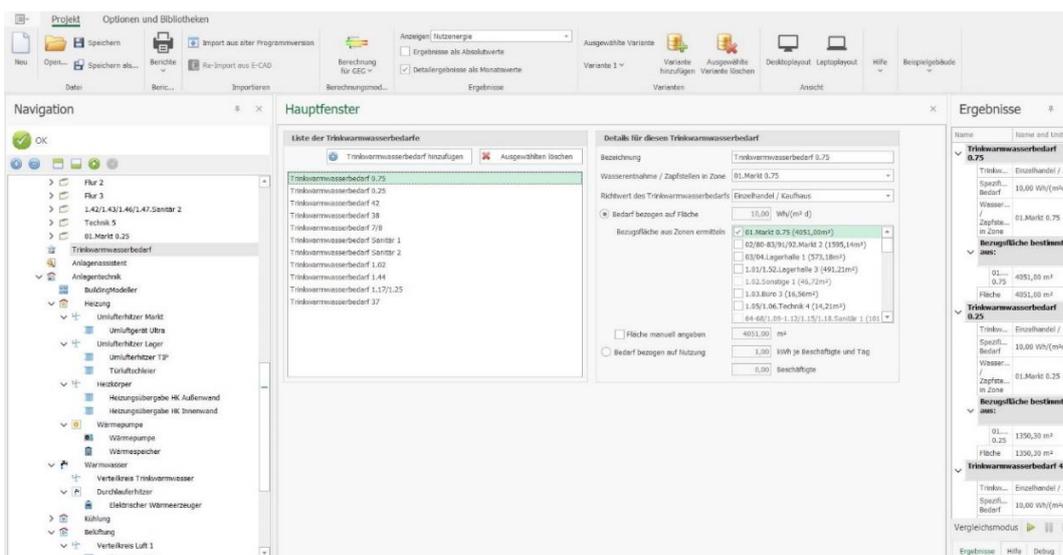


Abbildung 51: Liste der Trinkwarmwasserbedarfe IBP-Software

Die Verteilkreise und die Wasserübergabe sind in Abbildung 52 dargestellt.

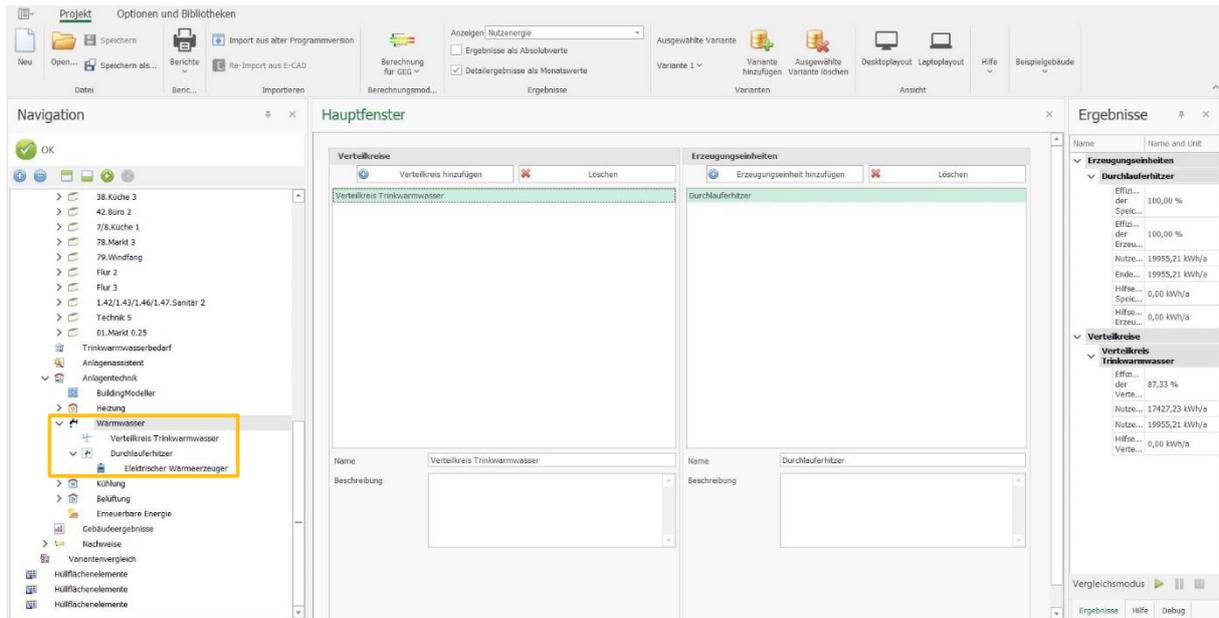


Abbildung 52: Warmwasserbereich in der IBP-Software

4.5.1. Warmwasserergebnis

Die Ergebnisse der Nutz-, End- und Primärenergie für das Trinkwarmwasser des Gesamtgebäudes sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

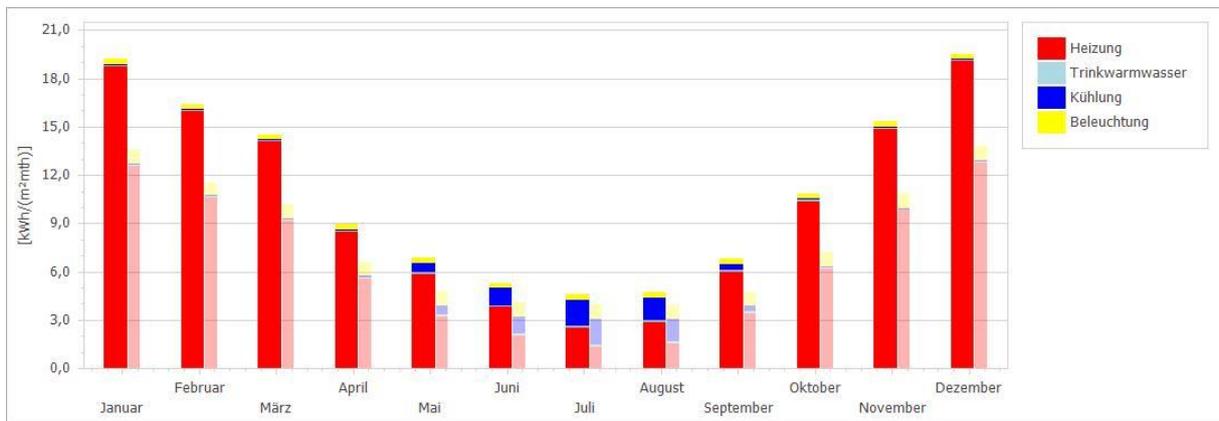


Abbildung 53: Monatliche Nutzenergie [eigene]

Name	Gesamt kWh/(m²·a)	Jan kWh/(m²·mth)	Feb kWh/(m²·mth)	Mar kWh/(m²·mth)	Apr kWh/(m²·mth)	Mai kWh/(m²·mth)	Jun kWh/(m²·mth)	Jul kWh/(m²·mth)	Aug kWh/(m²·mth)	Sep kWh/(m²·mth)	Okt kWh/(m²·mth)	Nov kWh/(m²·mth)	Dez kWh/(m²·mth)
✓ Nutzenergie	133,78	19,29	16,45	14,60	9,00	6,93	5,36	4,63	4,76	6,86	10,92	15,38	19,60
> Heizung	123,02	18,81	16,02	14,12	8,52	5,89	3,82	2,52	2,87	6,02	10,40	14,91	19,12
Trinkwarmwasser	1,06	0,16	0,14	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16
> Kühlung	5,09	0,00	0,00	0,00	0,01	0,56	1,07	1,63	1,41	0,38	0,04	0,00	0,00
Dampfbefeuchtung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beleuchtung	3,82	0,33	0,29	0,32	0,31	0,32	0,31	0,32	0,32	0,31	0,32	0,32	0,33
Anwenderstrom	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
> Referenzgebäude Nutzenergie	96,26	13,68	11,65	10,29	6,69	4,85	4,14	4,02	4,02	4,82	7,28	10,92	13,90

Abbildung 54: Gesamtnutzenergie des Trinkwarmwassers [eigene]

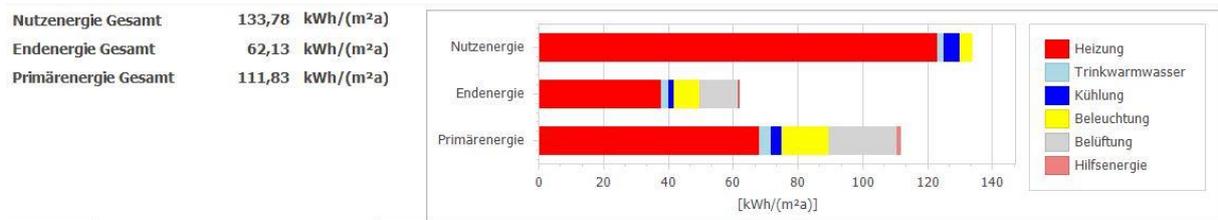


Abbildung 55: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene]

Endenergie		Primärenergie	
Heizung:	37,76 kWh/(m ² a)	Heizung:	67,97 kWh/(m ² a)
Trinkwarmwasser:	2,09 kWh/(m ² a)	Trinkwarmwasser:	3,77 kWh/(m ² a)
Kühlung:	1,72 kWh/(m ² a)	Kühlung:	3,09 kWh/(m ² a)
Beleuchtung:	8,04 kWh/(m ² a)	Beleuchtung:	14,48 kWh/(m ² a)
Belüftung:	11,70 kWh/(m ² a)	Belüftung:	21,06 kWh/(m ² a)
Hilfsenergie:	0,81 kWh/(m ² a)	Hilfsenergie:	1,46 kWh/(m ² a)

Bei der Bilanzierung wurde, wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, das Restaurant mit Küche, Spülbereich und Vorbereitungsräumen nicht berücksichtigt. Dies führt zu einer Unterschätzung des Energiebedarfs für Trinkwarmwasser, da für die verschiedenen Tätigkeiten in diesem Bereich große Mengen an Warmwasser benötigt werden. D.h. der berechnete Energiebedarf für Trinkwarmwasser ist nicht zuverlässig und liegt unter dem tatsächlichen Bedarf.

4.6. Kühlung

Der nächste Schritt ist die Bewertung des Kühlsystems. Der Teil „Kühlung“ in der IBP-Software sieht wie in Abbildung 56 aus. Die Verteilkreise und die Wärmeübergabe wurden, wie bei der „Heizung“ bereits in Kapitel 2 ausführlich beschrieben.

Bei der „Heizung“ war nur ein Wärmeerzeuger für mehrere Verteilkreise vorhanden, hier wird aber für jeden Verteilkreis ein Erzeuger verwendet.

Die meisten Bereiche wurden auch hier, wie in Kapitel 2 beschrieben eingetragen, allerdings gibt es einige Unterschiede zwischen dem, was geplant wurde und dem, was hier erfasst werden konnte.

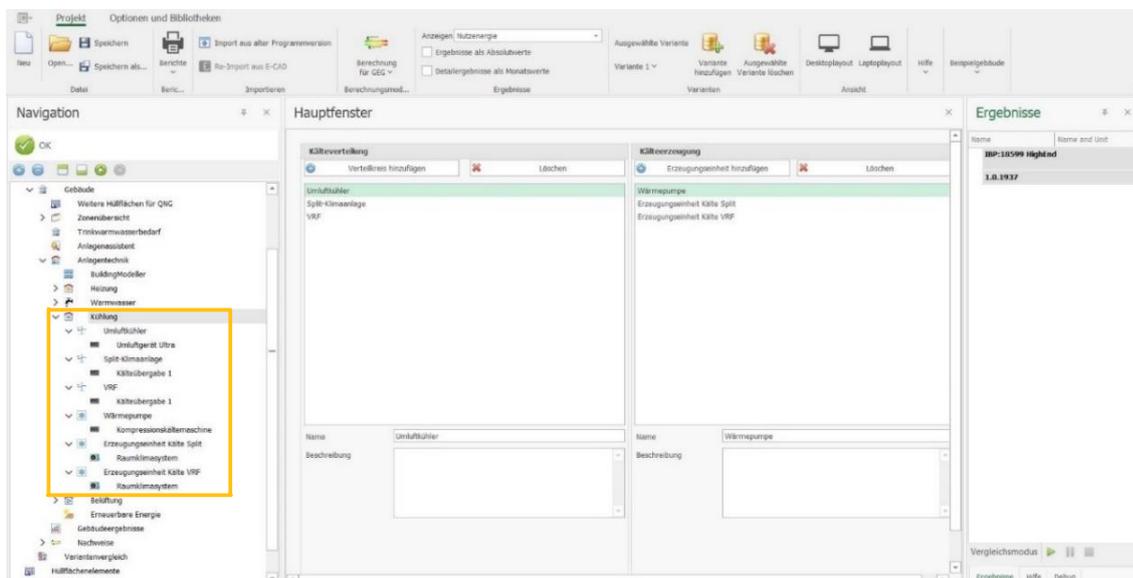


Abbildung 56: Kühlbereich in der IBP-Software

Im Bereich der Kompressionskältemaschine in der Kälteerzeugung wird das verwendete Kältemittel festgelegt. Die Software listet mehrere Kältemitteloptionen auf (Abbildung 57), jedoch ist das tatsächlich in der Wärmepumpe verwendete Kältemittel R32 nicht verfügbar. Daher wurde ein Kältemittel mit ähnlichen Eigenschaften ausgewählt, um ein möglichst genaues Ergebnis zu erhalten.

Abbildung 57: Kältemitteloptionen in der IBP-Software

Zu diesem Zweck wurde das Kältemittel R410A ausgewählt. Die nachstehenden Abbildungen zeigen, dass R410A im Vergleich zu den anderen in der Software verfügbaren Optionen sehr ähnliche Eigenschaften aufweist, obwohl es ein um 2/3 höheres Treibhauspotenzial (GWP) besitzt.

Dadurch wird sichergestellt, dass die Berechnungen so nahe wie möglich an den realen Betriebsbedingungen durchgeführt werden können.

Kältemittel	Häufigkeit BEG 2023	GWP	Sicherheit	Effizienz (thermodyn.)
R32	sehr häufig	gering (675)	schwer entflammbar	hoch
R410-A	sehr häufig	hoch (2088)	keine Flammenausbreitung	hoch

Abbildung 58: Kältemittel-Eigenschaften [8]

	Kältemittel	Bezeichnung	ODP (Ozonabbaupotenzial)	GWP (Treibhauspotenzial)
Ozonschicht-abbauende Kältemittel	R12	Dichlordifluormethan	1000	10900
	R22	Chlordifluormethan	0.055	1810
In der Luft stabile Kältemittel	R125	Pentafluorethan	0	3500
	R32	Difluormethan	0	675
	R410A	Gemisch (R125+R32)	0	2088
Nicht ozonschicht-abbauende und in der Luft nicht stabile Kältemittel	R717	Ammoniak	0	0
	R744	Kohlendioxid	0	1
	R600A	Isobutan	0	3
	R290	Propan	0	3

Abbildung 59: Klimawirksamkeit von Kältemitteln [9]

4.6.1. Kühlungsergebnis

Die Ergebnisse der Nutz-, End- und Primärenergie der Kühlung des Gesamtgebäudes sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Die in den Abbildungen dargestellte Ergebnisse für Kühlung beinhaltet sowohl die Energie für Kältebedarf als auch die Energie der Kühlregister.

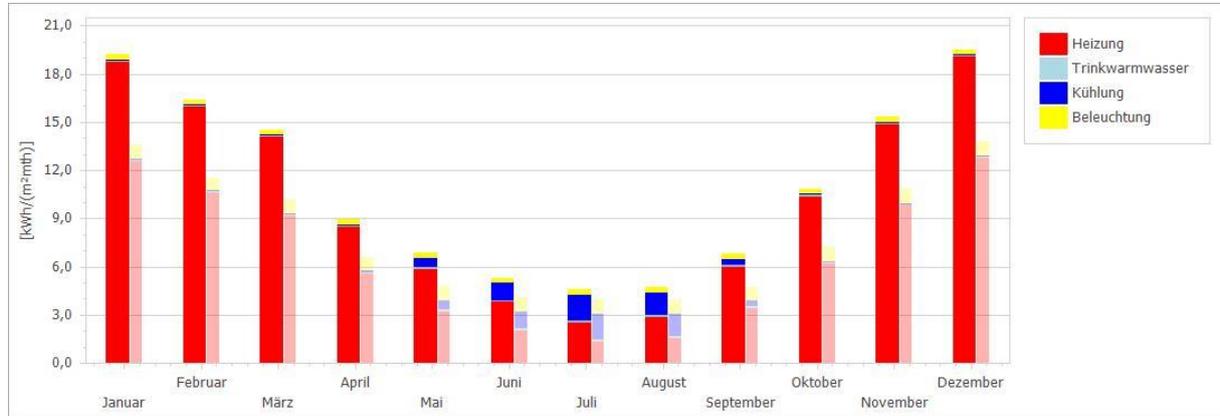


Abbildung 60: Monatliche Nutzenergie [eigene]

Name	Gesamt kWh/(m²a)	Jan kWh/(m²mth)	Feb kWh/(m²mth)	Mar kWh/(m²mth)	Apr kWh/(m²mth)	Mai kWh/(m²mth)	Jun kWh/(m²mth)	Jul kWh/(m²mth)	Aug kWh/(m²mth)	Sep kWh/(m²mth)	Okt kWh/(m²mth)	Nov kWh/(m²mth)	Dez kWh/(m²mth)
✓ Nutzenergie	133,78	19,29	16,45	14,60	9,00	6,93	5,36	4,63	4,76	6,86	10,92	15,38	19,60
> Heizung	123,02	18,81	16,02	14,12	8,52	5,89	3,82	2,52	2,87	6,02	10,40	14,91	19,12
Trinkwarmwasser	1,86	0,16	0,14	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16
✓ Kühlung	5,09	0,00	0,00	0,00	0,01	0,56	1,07	1,63	1,41	0,38	0,04	0,00	0,00
Kältebedarf	0,25	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie für das K...	4,84	0,00	0,00	0,00	0,01	0,53	1,02	1,53	1,35	0,37	0,03	0,00	0,00
Dampfbefeuchtung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beleuchtung	3,82	0,33	0,29	0,32	0,31	0,32	0,31	0,32	0,32	0,31	0,32	0,32	0,33
Anwenderstrom	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
> Referenzgebäude Nutzenergie	96,26	13,68	11,65	10,29	6,69	4,85	4,14	4,02	4,02	4,82	7,28	10,92	13,90

Abbildung 61: Gesamtnutzenergie der Kühlung [eigene]

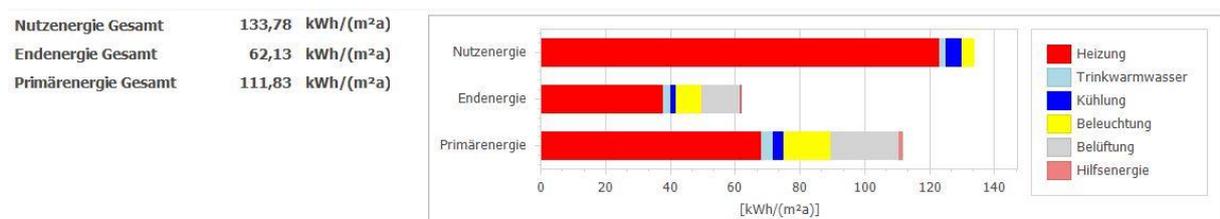


Abbildung 62: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene]



In diesem Projekt wurde für die Kühlung in allen Räumen eine Raumtemperatur von 24°C angenommen. Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) sieht auch für einen Supermarkt in den meisten Räumen die gleiche Raumsolltemperatur vor. Für das Lager wird jedoch, wie in Abbildung 58 dargestellt, eine Temperatur von 26 °C ermittelt.

Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)	
Raum-Solltemperatur Heizung	12,00 °C
Raum-Solltemperatur Kühlung	26,00 °C
Minderungsfaktor k_A	12,00 °C
Maximaltemperatur Auslegung Kühlung	28,00 °C
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb	0,00 K
Feuchteanforderung	

Abbildung 63: Standardwerte gemäß GEG [eigene]

Das bedeutet, dass es wie bei der "Heizung" zu Abweichungen zwischen den tatsächlichen Bedingungen und den von der Software berechneten Werten kommen kann. So ist es wahrscheinlich, dass die Endenergie für Kühlung in der Realität niedriger ist als die berechnete Endenergie, da niedrigere Solltemperaturen zu einem geringeren Kühlbedarf führen.

Diese Abweichung wird jedoch geringer sein als bei der "Heizung", da dort eine viel größere Fläche (Verkaufsfläche) betroffen ist, beim Kühlen aber nur Lagerhallen.

Auf der anderen Seite weisen zwar die Kältemittel R32 und R410A gemäß Abbildung 53 beide eine hohe Effizienz auf, hat das in der Software ermittelte Kältemittel (R410A) eine geringere Energieeffizienz und damit einen höheren Energieverbrauch [27]. Aus diesem Grund ist die berechnete Endenergie höher als in der Realität.

4.7. Belüftung

Der letzte Schritt der Bilanzierung ist die Bewertung des Lüftungssystems.

Der Teil „Belüftung“ in der IBP-Software sieht wie in Abbildung 51 aus. Die Verteilkreise und die Wärmeübergabe wurden wie in den anderen Bereichen bereits in Kapitel 2 ausführlich beschrieben.

In diesem Bereich gab es jedoch im Gegensatz zu den anderen Bereichen so viele Unterschiede zwischen dem, was geplant wurde und dem, was mit der Software erfasst werden konnte.

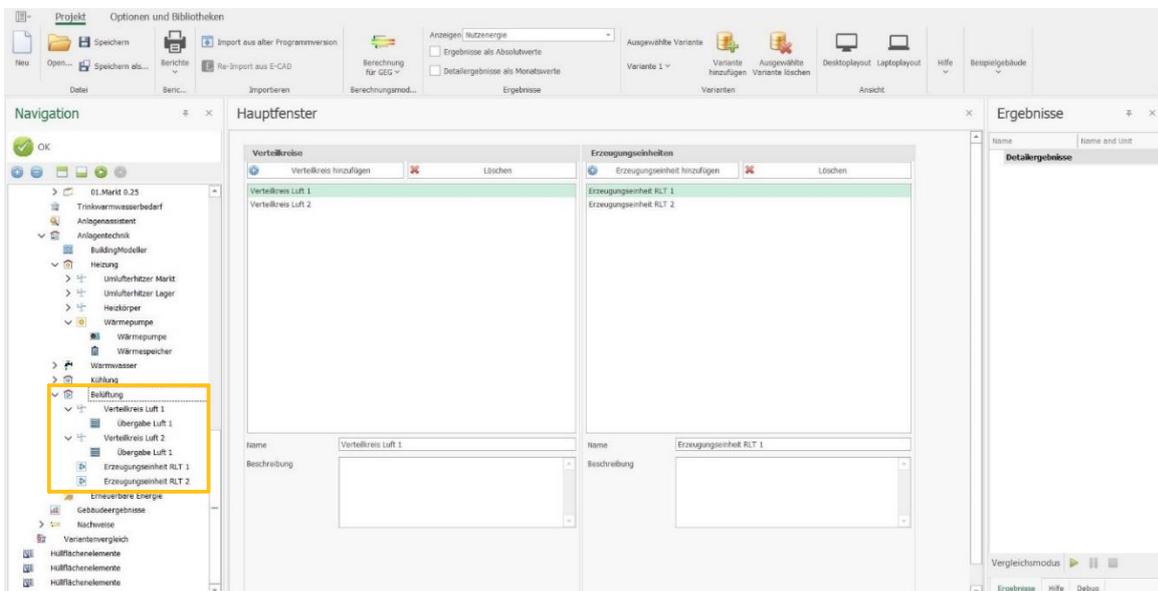


Abbildung 64: Belüftungsbereich in der IBP-Software

In diesem Gebäude wurden insgesamt zwei große RLT-Geräte, wie in Kapitel 2 erläutert, 17 Abluftanlagen sowie eine Umluftanlage für die Bedientheke vorgesehen. Die Abluftanlagen sind so ausgelegt, dass sie die überströmende Luft aus den großen RLT-Geräten nach außen abführen. Dadurch wird der Zuluftvolumenstrom der großen RLT-Anlagen größer als der Abluftvolumenstrom.

In der Software konnte diese Aufteilung jedoch nicht korrekt vorgenommen werden. Die Abluft wird dort standardmäßig so behandelt, als ob die Zuluft direkt von außen kommt, und nicht aus einem anderen Gerät mit höherer Temperatur. Dies hätte zu erheblichen Abweichungen von den tatsächlichen Betriebsbedingungen führen können. Aus diesem Grund wurde beschlossen, die Abluftanlagen bei der Berechnung zu vernachlässigen und die Luftmengen so einzugeben, als ob sowohl die Zu- als auch die Abluft vollständig über die großen RLT-Geräte geführt würde.

Das Umluftgerät für die Bedientheke wurde in der Bilanzierung nicht berücksichtigt, da es sich um ein spezielles Gerät handelt, das über einen Leerteil als Direktverdampfer aus der Gewerbekälte verfügt. Da die Gewerbekälte in der verwendeten Software nicht berücksichtigt werden konnte, wurde auch dieses Gerät in der Berechnung vernachlässigt. Daher wurde die Luftmenge für Zu- und Abluft der Bedientheke in der Luftmenge der großen RLT-Anlagen berücksichtigt, um eine vollständige Erfassung der Luftströme in der Bilanzierung zu gewährleisten.

Wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, wird die Verkaufsfläche des Supermarktes von beiden RLT-Anlagen versorgt. In der Software konnte jedoch in den Belüftungseinstellungen bei der Übergabe der Deckungsanteil für den Markt nicht korrekt ermittelt werden, da jede Unterschreitung von 100% nicht berücksichtigt wurde. In der Realität werden 25% der Luftmenge der Verkaufsfläche durch RLT-Anlage 1 und 75% durch RLT-Anlage 2 bereitgestellt. Um dies in der Software abzubilden, bestand die einzige Möglichkeit darin, die Verkaufsfläche in zwei Zonen aufzuteilen: eine Zone mit 25% der Fläche und eine zweite Zone mit 75% der Fläche.

4.7.1. Belüftungsergebnis

Die Ergebnisse der End- und Primärenergie der Belüftung des Gesamtgebäudes sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

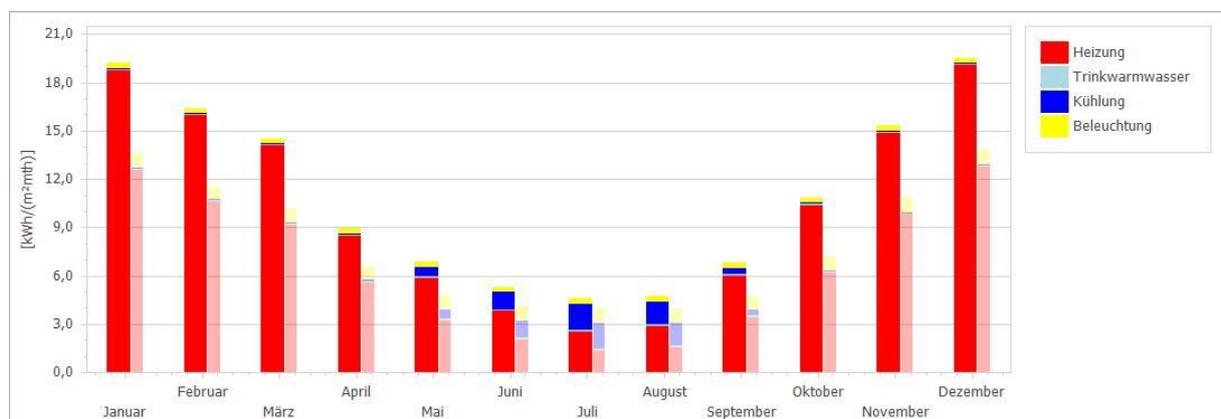


Abbildung 65: Monatliche Nutzenergie [eigene]

Die Belüftungsenergie wird in der Nutzenergie nicht separat als eigene Kategorie ausgewiesen, sondern ist in den Bereichen "Nutzenergie für das Heizregister" und "Nutzenergie für das Kühlregister" integriert. Diese Energie wird benötigt, um die zugeführte Außenluft auf die gewünschte Raumtemperatur zu bringen, bevor sie in die Räume

eingeblassen wird. Das bedeutet, dass der Energieaufwand für die Belüftung indirekt in diesen Kategorien enthalten ist.

Name	Gesamt kWh/(m²a)	Jan kWh/(m²mth)	Feb kWh/(m²mth)	Mar kWh/(m²mth)	Apr kWh/(m²mth)	Mai kWh/(m²mth)	Jun kWh/(m²mth)	Jul kWh/(m²mth)	Aug kWh/(m²mth)	Sep kWh/(m²mth)	Okt kWh/(m²mth)	Nov kWh/(m²mth)	Dez kWh/(m²mth)
✓ Nutzenergie	133,78	19,29	16,45	14,60	9,00	6,93	5,36	4,63	4,76	6,86	10,92	15,38	19,60
✓ Heizung	123,02	18,81	16,02	14,12	8,52	5,89	3,82	2,52	2,87	6,02	10,40	14,91	19,12
Nutzenergie Heizen	116,48	17,44	14,88	13,23	8,14	5,82	3,79	2,52	2,86	5,94	10,20	13,94	17,71
Nutzenergie für das Heizregister	6,54	1,36	1,14	0,85	0,38	0,08	0,03	0,01	0,01	0,07	0,20	0,57	1,41
Nutzwärme für Absorptionskälte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Trinkwarmwasser	1,86	0,16	0,14	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16
✓ Kühlung	5,09	0,00	0,00	0,00	0,01	0,56	1,07	1,63	1,41	0,38	0,04	0,00	0,00
Kältebedarf	0,25	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie für das Kühlregister	4,84	0,00	0,00	0,00	0,01	0,53	1,02	1,53	1,33	0,37	0,03	0,00	0,00
Dampfbefeuchtung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beleuchtung	3,82	0,33	0,29	0,32	0,31	0,32	0,31	0,32	0,32	0,31	0,32	0,32	0,33
Anwenderstrom	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
> Referenzgebäude Nutzenergie	96,26	13,68	11,65	10,29	6,69	4,85	4,14	4,02	4,02	4,82	7,28	10,92	13,90

Abbildung 66: Gesamtnutzenergie der Heiz- und Kühlregister [eigene]

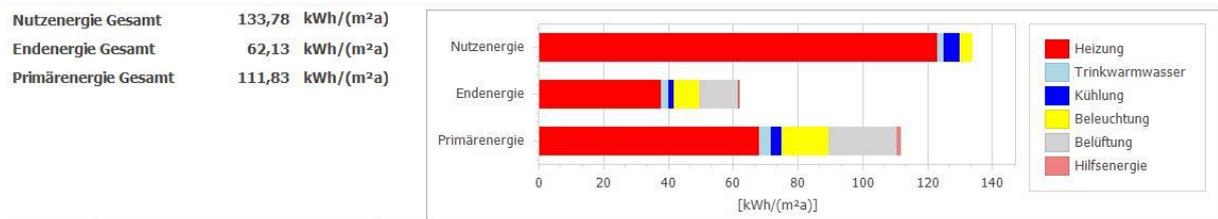


Abbildung 67: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene]



Obwohl die Luftmengen, die ursprünglich über die Abluftanlagen abgeführt werden sollten, und die Luftmengen, die nun über die Abluft der großen RLT-Anlagen abgeführt werden, gleichgeblieben sind, könnten die RLT-Anlagen aufgrund der höheren Luftmengen mehr Energie verbrauchen. Da RLT-Anlagen für bestimmte Luftmengen ausgelegt sind, die ihrer Kapazität und ihren Effizienzgrenzen entsprechen, können zusätzliche Luftmengen zu einer Überlastung der Anlagen führen. Dies kann zu einem höheren Energiebedarf sowohl für den Betrieb der Ventilatoren als auch für die Temperaturregelung der Zu- und Abluft führen.

Durch die Vernachlässigung der Umluftanlage für die Bedientheke ist die Energiebilanz unvollständig und führt zu Abweichungen bei der Endenergie.

Auf der anderen Seite sieht das Gebäudeenergiegesetz (GEG) für Supermärkte einen flächenbezogenen Gesamt-Außenluftwechsel von 4 m³/h·m² vor und wurde in der Software auch so berechnet. In der Realität wurde für diesen Supermarkt jedoch ein flächenbezogener Gesamt-Außenluftwechsel von 6 m³/h·m² ermittelt, da die Übertemperatur nur 3 K beträgt. Diese höhere Luftwechselrate wurde gewählt, um ein größeres Luftvolumen zur Verfügung zu stellen, so dass die RLT-Anlagen sowohl beim Heizen als auch beim Kühlen eine höhere Leistung erbringen können. Aus diesem Grund ist die von der IBP-Software berechnete Luftmenge und damit die Endenergie um 25 % geringer als in der Realität.

In Kapitel 2 wurde bereits ausführlich beschrieben, dass die Entfeuchtung in den RLT-Anlagen sowie die Nutzung der Abwärme der Gewerbekälte für die Nacherhitzer wesentliche Bestandteile des Versorgungskonzeptes sind. Diese Maßnahmen haben einen erheblichen Einfluss auf die Energiebilanz des Gebäudes, da sie sowohl den Kühl- als auch den

Heizwärmebedarf beeinflussen. Diese wurden jedoch in der Bilanzierung nicht berücksichtigt, da die verwendete Software diese komplexen Parameter nicht abbilden kann.

Die Entfeuchtung erfordert zusätzliche Kühlleistung, um die Luftfeuchtigkeit auf das gewünschte Niveau zu senken. Dies führt zu einem erhöhten Energiebedarf der RLT-Anlagen, insbesondere der Kühler, der in der Berechnung nicht berücksichtigt wird. Aus diesem Grund ist die von der IBP-Software berechnete Nutzenergie für das Kühlregister und damit die Endenergie der Belüftung geringer als in der Realität.

4.8. Gebäudeergebnisse

Die energetische Bilanzierung eines Gebäudes beginnt in der Regel mit einer Bestandsaufnahme der vorhandenen Energieströme. Dabei wird der Energiebedarf für Heizung, Lüftung, Trinkwarmwasser, Beleuchtung und Kühlung auf Basis der vorhandenen technischen Ausstattung und der baulichen Eigenschaften berechnet, um die tatsächlichen Verbrauchswerte mit den theoretischen Werten zu vergleichen. So kann abgeschätzt werden, ob und in welchem Umfang Effizienzmaßnahmen erforderlich sind.

In diesem Projekt war eine detaillierte Bestandsaufnahme des Gebäudes nicht möglich, da die erforderlichen Informationen nicht verfügbar waren. Stattdessen wurde die energetische Bilanzierung auf Basis einer geplanten Dachisolierung und der Anpassung der Versorgungstechnik durchgeführt. Die Berechnungen basieren auf den technischen Spezifikationen der neuen Systeme und deren geschätzter Effizienz und Leistung.

Abbildung 68 zeigt die Ergebnisse der Primärenergieberechnung des Gebäudes nach dem GEG 2024. Der maximal zulässige Primärenergiebedarf eines Gebäudes nach den Anforderungen des GEG 2024 beträgt 243,4 kWh/(m²a). Der "Ist-Wert" der Primärenergie liegt bei diesem Gebäude mit 111,63 kWh/(m²a) deutlich unter dem vorgeschriebenen Grenzwert und somit werden die Anforderungen erfüllt.

Zusätzlich zeigt diese Abbildung, dass die Anforderung, 65 % der Energie aus erneuerbaren Quellen zu beziehen, pauschal erfüllt ist.

Gebäudeenergiegesetz (GEG) 2024

	Ist-Wert	Anforderungswert	Abweichung
Primärenergie	111,63 kWh/(m ² a)	243,40	-54,14 %
Erfüllung Anforderung 65% Erneuerbare			Pauschal erfüllt

Primärenergie Gesamt

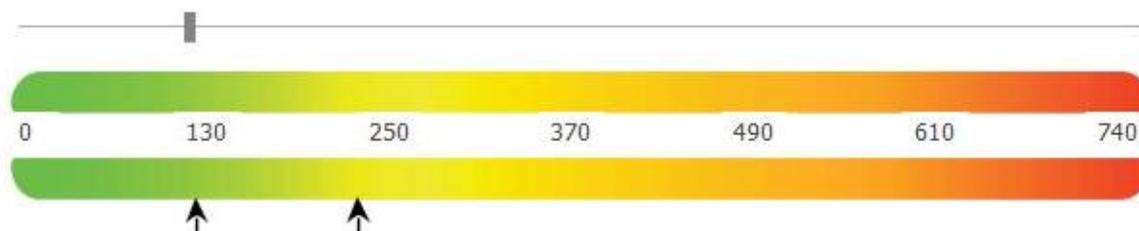


Abbildung 68: Energieausweis [eigene]

Abbildung 69 zeigt die grafische Darstellung der Gebäudeergebnisse. Die wichtigsten Kennwerte sind der Jahresprimärenergiebedarf mit 111,83 kWh/(m²a) und der Jahresendenergiebedarf mit 62,13 kWh/(m²a).

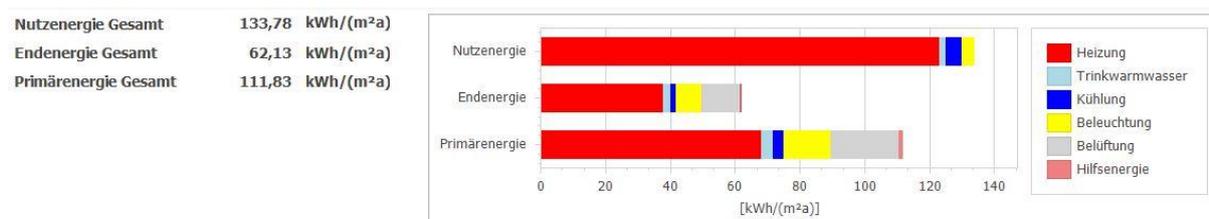


Abbildung 69: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene]



Die Primärenergie wird aus der Endenergie berechnet, multipliziert mit dem entsprechenden Primärenergiefaktor. Da die gesamte Energieversorgung des Gebäudes über den Strom-Mix erfolgt, beträgt der nicht erneuerbare Primärenergiefaktor 1,8 (Abbildung 70). Dieser wird für die Ausstellung eines Energieausweises verwendet, da nur die nicht erneuerbare Primärenergie bewertet wird. Die Differenz zum Gesamt-Primärenergiefaktor von 2,8, der auch die erneuerbaren Anteile enthält, wird nicht berücksichtigt. Dies ist wichtig, da die Reduzierung des Anteils nicht erneuerbarer Energie ein zentrales Ziel des GEG ist, um die Umweltbelastung durch fossile Energieträger zu minimieren und die Nutzung erneuerbarer Energien zu fördern.

Name	Primärenergiefaktor (nicht erneuerbarer Anteil) [-]	Gesamt Primärenergiefaktor [-]
Fernkälte, allgemeiner Fall	0,00	0,00
Kälte für andere Verbraucher	0,00	0,00
Nah/Fernwärme aus Heizwerk, allgemeiner Fall	0,00	0,00
Wärme für andere Verbraucher	0,00	0,00
Nah/Fernwärme aus KWK, erneuerbarer Brennstoff	0,00	0,70
Nah/Fernwärme aus KWK, fossiler Brennstoff	0,70	0,70
Erdgas	1,10	1,10
Flüssiggas	1,10	1,10
Heizöl	1,10	1,10
Steinkohle	1,10	1,10
Braunkohle	1,20	1,20
Holz	0,20	1,20
Nah/Fernwärme aus Heizwerk, fossiler Brennstoff	1,30	1,30
Biogas	0,40	1,40
Bioöl	0,40	1,40
Eingespeist: KWK	2,80	2,80
Eingespeist: PV oder Wind	2,80	2,80
Strom-Mix	1,80	2,80

Abbildung 70: Energieträger aus der IBP-Software

Die Nutzenergie dieses Supermarktes ist deutlich höher als die Endenergie. Dies bedeutet, dass die Effizienz der Anlagentechnik sehr hoch ist und nur etwa 46 % der benötigten Nutzenergie (62,13 / 133,78) durch zugeführte Endenergie bereitgestellt werden müssen. Wie bereits beschrieben, sind aber auch einige Energieverbräuche nicht korrekt in der Bilanzierung berücksichtigt, so dass diese Differenz tatsächlich geringer sein kann.

Um die ermittelte Endenergie des Supermarktes bewerten zu können, wurden die ermittelten Werte mit Referenzwerten aus der Fachliteratur verglichen. Hierzu diente die Bekanntmachung „Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), welches spezifische Referenzwerte für verschiedene Gebäudekategorien bereitstellt. Die

Werte für "Märkte" wurden herangezogen (Abbildung 71), eine fundierte Einschätzung der energetischen Performance des Gebäudes vornehmen zu können. Der Vergleich ermöglichte eine kritische Bewertung des energetischen Zustands des Supermarktes nach dem Umbau.

Lfd.-Nr.	Gebäudekategorie	TEK Heizung	TEK Warmwasser	TEK Lüftung	TEK eingebaute Beleuchtung	Kühlung			TEK Sonstiges
						TEK Kälte	TEK Hilfsenergie für Kälte	TEK Be- und Entfeuchtung	
1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	8
kWh/(m ² ·a)									
48	Märkte	48,7	6,2	7,3	17,3	2,8	2,1	0,0	10,5

Abbildung 71: Teilenergiekennwerte (TEK) nach Gebäudekategorie „Märkte“ [28]

Den größten Anteil am Energiebedarf hat die Heizung mit 37,76 kWh/(m²a).

Nach dieser Bekanntmachung bezieht sich der angegebene Wert für die Heizung auf eine Nettogrundfläche von 5000 m² und ist auf die tatsächliche Energiebezugsfläche des jeweiligen Gebäudes umzurechnen und dazu mit den nachfolgenden Umrechnungsfaktoren zu multiplizieren, bevor sie dem Vergleichswert Wärme zugerechnet werden. Mit der Gebäudegröße ändert sich auch das A/V-Verhältnis (Hüllfläche zu Volumen) [28]. Der Umrechnungsfaktor (Formel 7) wurde für Gebäude verwendet, da die Nettogrundfläche 9829,2 beträgt.

$$A_{NGF} \text{ bis } 500 \text{ m}^2 \quad f_{(A_{NGF} \leq 500)} = 1,46$$

Formel 6: Umrechnungsfaktor für A NGF bis 500m² [28]

$$A_{NGF} \text{ von } 500 \text{ bis } 50.000 \text{ m}^2 \quad f_{(500 < A_{NGF} < 50.000)} = 4,53 A_{NGF}^{-0,215} + 0,27$$

Formel 7: Umrechnungsfaktor für A NGF von 500 bis 50.000 m² [28]

$$A_{NGF} \text{ ab } 50.000 \text{ m}^2 \quad f_{(A_{NGF} \geq 50.000)} = 0,71$$

Formel 8: Umrechnungsfaktor für A NGF ab 50.000 m² [28]

Das Ergebnis der Berechnung für die gegebene Formel mit A NGF 9829,2 ist ungefähr 0,91. Die berechnete Endenergie muss dann mit 48,7 * 0,91 = 44,32 verglichen werden. Dies deutet darauf hin, dass der Endenergiebedarf für die Heizung mit 37,76 kWh/(m²a) zwar relativ höher ist als in den anderen Bereichen, aber im Vergleich zu den durchschnittlichen "Märkten" immer noch relativ gut ist.

Gemäß der Bekanntmachung bezieht sich der angegebene Wert für Warmwasser auf eine zentrale Warmwasserbereitung. Bei dezentraler elektrischer Warmwasserbereitung ist dieser Wert mit dem Faktor 0,90 zu multiplizieren und dem Vergleichswert Strom zuzuordnen. Mit der

Umrechnung wird berücksichtigt, dass bei einer dezentralen Warmwasserbereitung Verteilungsverluste entfallen, die bei einer zentralen Warmwasserbereitung vorhanden sind [28]. Die berechnete Endenergie muss dann mit 6,2 * 0,90 = 5,58 verglichen werden.

Der ermittelte Endenergiebedarf für Trinkwarmwasser beträgt 2,09 kWh/(m²a), während der Vergleichswert bei ca. 5,58 kWh/(m²a) liegt. Der deutlich niedrigere Wert könnte darauf hindeuten, dass einige Verbrauchsstellen, wie z.B. das Restaurant und der Spülbereich, nicht vollständig in die Bilanzierung einbezogen wurden. Hier besteht die Gefahr, dass der tatsächliche Energiebedarf unterschätzt wird.

Der Endenergiebedarf für die Belüftung liegt mit 11,70 kWh/(m²a) über dem üblichen Vergleichswert von 7,3 kWh/(m²a). Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der Bilanzierung erhebliche Abweichungen zur Realität bestehen und die in der Bilanzierung berücksichtigten Lüftungsanlagen ineffizient ausgelegt wurden, was nicht den realen Betriebsbedingungen entspricht (siehe Kapitel 4.7).

Der berechnete Beleuchtungsbedarf beträgt 8,04 kWh/(m²a) und ist im Vergleich zu typischen Marktwerten von 17,3 kWh/(m²a) eher niedrig. Die tatsächlichen Verbrauchswerte können von den berechneten Werten abweichen, insbesondere wenn Daten aus anderen Supermärkten übernommen werden, wie in diesem Projekt (siehe Kapitel 4.3).

Der in Spalte 7a dieser Bekanntmachung angegebene Wert bezieht sich auf elektrisch erzeugte Kälte aus einer wassergekühlten Kompressionskälteanlage [28]. Die berechnete Kälteleistung von 1,72 kWh/(m²a) ist daher mit 2,8 kWh/(m²a) zu vergleichen und liegt darunter, trotz der Tatsache, dass die berechnete Kälte bereits höher ist als in der Realität (siehe Kapitel 4.6). Möglicherweise ist die Effizienz der ausgelegten Anlagentechnik deutlich höher als die der in durchschnittlichen Supermärkten eingesetzten Geräte.

4.9. Verbrauchsdaten

Für dieses Gebäude wurde zur Durchführung der energetischen Analyse nur eine Verbrauchsdatei vom Bauherrn zur Verfügung gestellt, die sich auf den Gasverbrauch für den Zeitraum vom 28.02.2022 bis zum 31.12.2022 beschränkt. Diese Daten wurden in Brennwert (H_s) angegeben. Da für die Energiebilanzierung jedoch der Heizwert (H_i) verwendet werden muss, wurden die Daten entsprechend umgerechnet. Dabei wird der Brennwert mit dem Faktor 0,9 multipliziert, um den Heizwert zu erhalten, der ca. 10 % niedriger ist und die tatsächlich nutzbare Energie darstellt.

Da keine Stromverbrauchsdaten vorlagen und die verfügbaren Daten nur einen Teil des Jahres abdecken, konnte keine vollständige und genaue energetische Bewertung des Gebäudes durchgeführt werden. Um saisonale Schwankungen und klimatische Unterschiede auszugleichen, wurde eine Witterungsbereinigung durchgeführt, die den Energieverbrauch auf ein repräsentatives Jahresprofil anpasst. Dies ist notwendig, um den Endenergie unter standardisierten klimatischen Bedingungen zu berechnen.

Da üblicherweise eine Auswertungsperiode von 1 bis 3 Jahren empfohlen wird, um verlässliche Vergleichswerte zu erhalten, und für die Ausstellung eines Energieausweises nach GEG, Verbrauchsdaten über einen Zeitraum von 3 Jahren verwendet werden sollten, stellt der begrenzte Zeitraum der verfügbaren Daten eine Herausforderung dar. Eine detailliertere und umfassendere Analyse wäre möglich, wenn längere Verbrauchszeiträume, die idealerweise mindestens drei Jahre umfassen, vorliegen.

Die Witterungskorrekturberechnung wurde anhand dieser Parameter durchgeführt:

- Klimastation: Stötten
- Heizgrenztemperatur: 15°C
- Zeitraum: von 28.02.2022 bis 31.12.2022
- Abschätzung des Warmwasseranteils: eigene Vorgabe für Warmwasseranteil 5% für nicht Wohngebäude

Der witterungskorrigierte Verbrauch-GEG (Endenergie) aus Messwerten beträgt 342357 kWh/a oder 34,83 kWh/(m²a).

Unter normalen Umständen sollte der Energiebedarf eines Gebäudes nach einem energetischen Umbau (in diesem Projekt durch den Einsatz effizienterer Technologien wie Wärmepumpen oder eine bessere Dämmung) geringer sein als der tatsächliche Verbrauch vor dem Umbau. Das Ziel eines energetischen Umbaus ist in der Regel, den Energieverbrauch zu senken und die Gesamteffizienz des Gebäudes zu verbessern. Dennoch erscheint der berechnete Energiebedarf nach dem Umbau höher als der tatsächliche Bestandsverbrauch.

Der tatsächliche Verbrauch des Gebäudes umfasst den Heizwärmebedarf und die Warmwasserbereitung. Die Berechnung des Endenergiebedarfs nach dem Umbau umfasst dagegen den gesamten Energiebedarf des Gebäudes einschließlich Heizung, Lüftung, Kühlung und Warmwasserbereitung, die nun alle elektrisch über Wärmepumpen und Durchlauferhitzer betrieben werden.

Ein wesentlicher Grund für den höheren berechneten Endenergiebedarf nach dem Umbau ist die Einbeziehung dieser zusätzlichen Komponenten, die im ursprünglichen Gasverbrauch nicht enthalten waren. Diese zusätzlichen Systeme tragen zum erhöhten Gesamtenergiebedarf bei, der nun in den Berechnungen vollständig berücksichtigt wird.

Außerdem wird aus den in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich beschriebenen Details der einzelnen Berechnungsteile deutlich, dass die Endergebnisse der Berechnungen erhebliche Abweichungen von der Realität aufweisen. Diese Abweichungen wurden bereits durch verschiedene Faktoren erklärt, u.a. durch unterschiedliche Betriebsbedingungen und die begrenzte Fähigkeit der verwendeten Software, alle realen Einflüsse und komplexen Versorgungsstrukturen vollständig zu erfassen. Zum Beispiel wurden bestimmte Betriebsbedingungen der Lüftungs- und Entfeuchtungsanlagen sowie der Nacherhitzer nicht vollständig erfasst. Auch die Nutzung der Abwärme der Gewerbekälte konnte nicht vollständig in die Berechnung einbezogen werden. Diese Faktoren führen zu einem höheren berechneten Endenergiebedarf.

Im Bestand kann es sein, dass die Raumtemperaturen niedriger sind als die in der Berechnung verwendeten Standardwerte, z.B. im Supermarkt kann eine Absenkung der Raumtemperatur in bestimmten Bereichen (z.B. Lager oder nicht genutzte Räume) oder eine Nachtabsenkung zur Minimierung des Energieverbrauchs während der Schließzeiten vorgenommen worden sein. Diese Maßnahmen reduzieren den Heizbedarf und führen zu einem geringeren tatsächlichen Energieverbrauch.

Insgesamt zeigen diese Faktoren, dass die standardisierten Annahmen der Berechnungssoftware die realen Betriebsbedingungen nicht vollständig widerspiegeln und daher der berechnete Bedarf höher ist als der tatsächliche Verbrauch.

Fazit

Die vorliegende Masterarbeit zeigt, dass die energetische Sanierung und Modernisierung der Heizungs- und Kälteanlagen eines Einkaufszentrums ein großes Potenzial zur Verbesserung der Energieeffizienz bietet. Im Rahmen der Arbeit wurden verschiedene Versorgungskonzepte evaluiert, wobei der Schwerpunkt auf dem Einsatz neuer Technologien wie Wärmepumpen, effizienterer Dämmung und moderner Regelungssysteme lag.

Eine zentrale Herausforderung im Projekt war die unzureichende Datenlage über den Bestand der technischen Anlagen. Dennoch konnten durch fundierte Annahmen und umfangreiche Berechnungen Verbesserungen im Bereich der Heizungs-, Lüftungs- und Kälteplanung erzielt werden. Insbesondere die Umstellung von einer konventionellen Gasheizung auf eine Luft-Wasser-Wärmepumpe sowie die zusätzliche Integration einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe zur Versorgung des Nachheizregisters erwiesen sich als sinnvoll, um die Energieeffizienz zu maximieren und die CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Die Berechnungen zeigten signifikante Abweichungen zwischen dem berechneten Endenergiebedarf und dem tatsächlichen Verbrauch. Dies ist auf konservative Annahmen in der Berechnung sowie auf Unterschiede im tatsächlichen Betrieb, wie niedrigere Raumtemperaturen und optimierte Betriebszeiten, zurückzuführen. Trotz dieser Diskrepanzen wurde eine Verbesserung der Energieeffizienz durch die installierten Maßnahmen erreicht, insbesondere durch die Umstellung auf eine Wärmepumpe und die Verbesserung der Dämmung.

Diese Arbeit verdeutlicht außerdem die Komplexität energetischer Sanierungen und die Notwendigkeit, Berechnungsansätze und reale Bedingungen eng aufeinander abzustimmen, um eine möglichst genaue Vorhersage des Energiebedarfs zu ermöglichen.

Insgesamt sollten zukünftige Projekte sich weiterhin auf die Optimierung der technischen Gebäudeausrüstung konzentrieren, um den gestiegenen Anforderungen an Energieeffizienz und Klimaschutz entsprechen zu können.

Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurden wesentliche Schritte zur energetischen Optimierung des Supermarktes in Heidenheim durchgeführt, es besteht jedoch noch weiteres Potenzial für zukünftige Verbesserungen. Ursprünglich war geplant, neben der Dachdämmung auch die Außenwände zu dämmen, um den energetischen Zustand des Gebäudes insgesamt zu verbessern. Diese Maßnahmen konnten jedoch nicht umgesetzt werden, da der Fokus letztendlich auf der Dachdämmung lag. Eine umfassende Sanierung der Gebäudehülle würde zu weiteren deutlichen Energieeinsparungen führen und sollte bei zukünftigen Projekten in Betracht gezogen werden.

Ursprünglich war auch die Installation einer Photovoltaikanlage vorgesehen, deren Auswirkung auf die Energiebilanz mit einer Lösung ohne Photovoltaik verglichen werden sollte. Diese Maßnahme hätte das Potenzial, den Strombedarf des Gebäudes zu decken und die CO₂-Bilanz weiter zu reduzieren. Aufgrund von Zeitmangel und anderen Prioritäten wurde jedoch darauf verzichtet.

Es war geplant, die Kostenschätzung für die Modernisierung selbst durchzuführen, aber aufgrund von Zeitmangel und Konzentration auf andere Aufgaben wurde diese Aufgabe von anderen Kollegen übernommen. Diese Kostenschätzungen und die daraus resultierenden Diskussionen mit dem Bauherrn führten zu einer unerwarteten Entscheidung: Auf den Einsatz von Wärmepumpen und Kälteanlagen sollte weitestgehend verzichtet werden, stattdessen sollte lediglich der vorhandene Gaskessel durch einen neuen ersetzt werden. Für den Fall, dass in Zukunft eine Kühlung erforderlich werden sollte, sollte eine Wärmepumpe ausschließlich zur Kühlung eingesetzt werden.

Außerdem sollte auf die Entfeuchtung in der RLT-Anlage verzichtet werden. Diese Entscheidung war überraschend, da der Einsatz einer Entfeuchtung in der RLT-Anlage ursprünglich vom Lüftungsplaner als nicht notwendig betrachtet wurde. Der Bauherr bestand jedoch auf der Integration einer Entfeuchtung, was zu einer erheblichen Komplexität des Projektes führte. Diese Entscheidung erforderte den Einsatz einer zusätzlichen Wärmepumpe, was nicht nur die technische Planung verkomplizierte, sondern auch zusätzliche Kosten verursachte. Durch den Einsatz eines Nachheizregisters zur Entfeuchtung wurde die Planung und Auslegung der Anlage um eine weitere Ebene erweitert, was im für ein Supermarkt nicht erforderlich ist.

Literaturverzeichnis

[1] „Google Maps“

[2] Plandaten des Auftraggebers, einschließlich Pläne, Bauleistungsverzeichnisse (2021 und 2024), Verbrauchsdaten (2022), Bauteilaufbauten

[3] Plandaten des Ingenieurbüros einschließlich Berechnungen, Geräteauslegungen, Planungen

[4] „Aufatmen mit dem richtigen Raumlufthkonzept“ [Online]. Available: https://www.hde-klimaschutzoffensive.de/sites/default/files/uploads/document/2018-10/Klimaschutzoffensive_Leitfaden-Einzelhandel-energieeffizient-Lueften.pdf [Zugriff am 15.08.2024]

[5] „Energie-Experten“ [Online]. Available: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/waermedaemmung/u-wert> [Zugriff am 07.07.2024]

[6] „Linear“ [Online]. Available: https://knowledge.linear.eu/LS/V23/DE/AC/de/topics/erSc_c_building.html [Zugriff am 07.07.2024]

[7] Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz -GEG), 2020

[8] Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow, „Vorlesung: Wärmeversorgung und Optimierung“ Hochschule Magdeburg-Stendal, 2024

[9] Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow, „Vorlesung: Lüftung, Beleuchtung, Klimatisierung“ Hochschule Magdeburg-Stendal, 2024

[10] „Klimatechniker“ [Online]. Available: <https://www.klimatechniker.net/magazin/rlt-anlagen-20193668> [12.08.2021]

[11] „Kampmann“ Technischer Katalog von Ultra, Deckengerät zur Heizung, Kühlung, Lüftung in exklusiven Großräumen. Available: <https://www.kampmann.ch/de/hvac/produkte/luftherhitzer/ultra>

[12] „Der Klimafachmann“ [Online]. Available: <https://www.derklimafachmann.de/news/funktion-kaeltekreislauf-klimaanlage> [Zugriff am 16.08.2024]

[13] „Buderus“ [Online]. Available: <https://www.buderus.de/de/klimaanlage/split-klimaanlage> [Zugriff am 16.08.2024]

[14] Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow, „Vorlesung: Bauphysik/ TGA2: Technische Gebäudeausrüstung“ Hochschule Magdeburg-Stendal, 2024

[15] „Bosch“ [Online]. Available: <https://www.bosch-homecomfort.com/de/de/wohngebaeude/wissen/heizungsratgeber/waermepumpe/wasser-wasser-waermepumpe/> [Zugriff am 24.08.2024]

[16] „HEID“ [Online]. Available: <https://www.heid-immobilienbewertung.de/ratgeber/baubeschreibung/> [Zugriff am 27.08.2024]

[17] „Wikipedia“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Leerstand> [Zugriff am 27.08.2024]

[18] „CCI Dialog GmbH“ [Online]. Available: https://cci-dialog.de/grundlagen-so-funktionieren-multisplit-und-vrf-klimasysteme-cci_wissensportal/ [Zugriff am 20.08.2024]

[19] „Techtrix Engineering“ [Online]. Available: <https://techtrixbd.com/a-complete-guide-to-vrf-system/> [Zugriff am 20.08.2024]

[20] „Klimatechniker“ [Online]. Available: <https://www.klimatechniker.net/magazin/vrf-technologie-20193648> [Zugriff am 20.08.2024]

- [21] „Klimaplanung GmbH“[Online]. Available: <https://www.swklimatechnik.de/vrfklimasysteme/#:~:text=Der%20Unterschied%20zu%20Split-Klimaanlagen%20Im%20Gegensatz%20zu%20Multi-Split-Anlagen,K%C3%A4ltemittels%20von%20Raum%20zu%20Raum%20individuell%20geregelt%20werden> [Zugriff am 20.08.2024]
- [22] „Fraunhofer IBP “[Online]. Available: <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/projekte-referenzen/ibp-18599-produktfamilie.html> [Zugriff am 03.09.2024]
- [23] Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2023) „Leitfaden Energetische Gebäudebilanzierung nach DIN V 18599“
- [24] Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow, „Vorlesung: Energiebilanzierung“ Hochschule Magdeburg-Stendal, 2024
- [25] „Viega 125 “[Online]. Available: <https://www.viega.de/de/service/software-tools/viptool-engineering.html>
- [26] „Licht “[Online]. Available: <https://www.licht.de/de/grundlagen/beleuchtungstechnik/tageslichtsysteme> [Zugriff am 10.09.2024]
- [27] „ClimaMarket “[Online]. Available: <https://www.climamarket.eu/blog/de/r32-kaeltemittel-alles-was-sie-wissen-muessen/> [Zugriff am 13.09.2024]
- [28] „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte im Nichtwohngebäudebestand“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), 15. 04.2021

Softwareverzeichnis

- Software „liNear Building “
- „Ubakus “[Online]. Available: <https://www.ubakus.de/uber-u-wert-net/>
- Software „Viptool Piping “
- Software Fraunhofer IBP 18599
- ChatGPT wurde verwendet, um einige Sätze aus dem Persischen ins Deutsche zu übersetzen und die Grammatik der Satzstruktur zu korrigieren, um die sprachliche Qualität der Masterarbeit zu verbessern.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ansichten des Gebäudes, Quelle: Google Maps, abgerufen am 16.05.2024 [1].....	9
Abbildung 2: Luftbild des Supermarkts 89520 Heidenheim, Nattheimer Str. 100, Quelle: Google Maps, abgerufen am 16.05.2024 [1]	10
Abbildung 3: Grundriss Erdgeschoss [2] bearbeitet	11
Abbildung 4: Grundriss Obergeschoss [2] bearbeitet	11
Abbildung 5: Grundriss Erdgeschoss, Temperaturbereiche [2] bearbeitet	12
Abbildung 6: Grundriss Obergeschoss, Temperaturbereiche [2] bearbeitet	13
Abbildung 7: Grundriss Erdgeschoss, Klimaanforderungen [2] bearbeitet	14
Abbildung 8: Grundriss Obergeschoss, Klimaanforderungen [2] bearbeitet	15
Abbildung 9: Schnitt von Außenwand [2]	16
Abbildung 10: Außenwandaufbau [eigene]	16
Abbildung 11: Schnitt von Außenwand [2]	17
Abbildung 12: Außenwandaufbau [eigene]	17
Abbildung 13: Dachaufbau 20cm Dämmung, Ubakus	20
Abbildung 14: Dachaufbau 28cm Dämmung, Ubakus	20
Abbildung 15: Luftmengenermittlung [3].....	23
Abbildung 16: Luftmengenermittlung [3].....	24
Abbildung 17: Funktionsweise eines Umluftgerätes [11]	29
Abbildung 18: Kältekreislauf einer Klimaanlage [12].....	30
Abbildung 19: Verbindung zwischen Außeneinheit und Inneneinheiten in dem VRF-Klimasystem	31
Abbildung 20: Funktionsweise eines Türluftschleiers [11]	32
Abbildung 21: Planung der Türluftschleier im Windfang [eigene]	32
Abbildung 22: Anschluss der Heiz- und Kühlkreise an dem Verteiler [3].....	34
Abbildung 23: Die Berechnungsseite der Software „Viptool Piping“ [eigene]	35
Abbildung 24: Wärmepumpe Kreislauf [14].....	37
Abbildung 25: Funktionsprinzip einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe [15]	39
Abbildung 26: Versorgungsschema des Gebäudes [3].....	40
Abbildung 27: die Verbindung des Nachheizregisters mit der Gewerbekälte und der Wasser-Wasser-Wärmepumpe [3].....	46
Abbildung 28: Leerstandsräume an der Nordseite des Gebäudes [2] bearbeitet	47
Abbildung 29: Restaurant und Küche auf der Nordseite des Gebäudes [2] bearbeitet	48
Abbildung 30: WC-Räume im Obergeschoss [2] bearbeitet	49
Abbildung 31: Hauptseite der Software IBP:18599	53
Abbildung 32: Ablauf der Zonierung [24].....	53
Abbildung 33: Nutzungs- und Betriebszeiten nach DIN V 18599-10 Spalte 1-17	54
Abbildung 34: Nutzungs- und Betriebszeiten nach DIN V 18599-10 Spalte 18-29.....	55
Abbildung 35: Zonierung des Erdgeschosses nach Nutzungsart [2] bearbeitet	55
Abbildung 36: Zonierung des Obergeschosses nach Nutzungsart [2] bearbeitet.....	56

Abbildung 37: Zonierung des Erdgeschosses nach Konditionierung [2] bearbeitet.....	57
Abbildung 38: Zonierung des Obergeschosses nach Konditionierung [2] bearbeitet	58
Abbildung 39: Endgültige Zonierung des Erdgeschosses [2] bearbeitet	59
Abbildung 40: Endgültige Zonierung des Obergeschosses [2] bearbeitet	60
Abbildung 41: Beleuchtungsbereiche in der IBP-Software	61
Abbildung 42: Monatliche Nutzenergie [eigene].....	62
Abbildung 43: Gesamtnutzenergie der Beleuchtung [eigene].....	62
Abbildung 44: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene]	26
Abbildung 45: Heizungsbereich in der IBP-Software	63
Abbildung 46: Wärmepumpe-Hauptfenster in der IBP-Software.....	63
Abbildung 47: Monatliche Nutzenergie [eigene].....	64
Abbildung 48: Gesamtnutzenergie der Heizung [eigene].....	64
Abbildung 49: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene].....	64
Abbildung 50: Standardwerte gemäß GEG [eigene].....	65
Abbildung 51: Liste der Trinkwarmwasserbedarfe IBP-Software.....	65
Abbildung 52: Warmwasserbereich in der IBP-Software	66
Abbildung 53: Monatliche Nutzenergie [eigene].....	66
Abbildung 54: Gesamtnutzenergie des Trinkwarmwassers [eigene]	66
Abbildung 55: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene].....	67
Abbildung 56: Kühlungsbereich in der IBP-Software	67
Abbildung 57: Kältemitteloptionen in der IBP-Software	68
Abbildung 58: Kältemittel-Eigenschaften [8].....	68
Abbildung 59: Klimawirksamkeit von Kältemitteln [9].....	68
Abbildung 60: Monatliche Nutzenergie [eigene].....	69
Abbildung 61: Gesamtnutzenergie der Kühlung [eigene].....	69
Abbildung 62: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene].....	69
Abbildung 63: Standardwerte gemäß GEG [eigene].....	70
Abbildung 64: Belüftungsbereich in der IBP-Software	70
Abbildung 65: Monatliche Nutzenergie [eigene].....	71
Abbildung 66: Gesamtnutzenergie der Belüftung [eigene].....	72
Abbildung 67: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene].....	72
Abbildung 68: Energieausweis [eigene]	73
Abbildung 69: Gesamt-Berechnungsergebnisse [eigene].....	74
Abbildung 70: Energieträger aus der IBP-Software	74
Abbildung 71: Teilenergiekennwerte (TEK) nach Gebäudekategorie „Märkte“ [28]	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bauteile U-Werte [3]	18
Tabelle 2: Höchstwerte der U-Werte von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden [7]	18
Tabelle 3: Norm-Heizlast des Gebäudes [eigene].....	24
Tabelle 4: Kühllast-Werte [3]	25
Tabelle 5: Gesamtkühllast des Gebäudes [eigene]	25
Tabelle 6: Auslegungswerte der RLT-Anlage [3].....	26
Tabelle 7: Heizlast und Kühllast der verschiedenen Räume, die mit RLT-Anlage und weiter Anlagen ausgestattet sind [eigene]	27
Tabelle 8: Heizlast und Kühllast der verschiedenen Räume, die ohne RLT-Anlage und mit weiteren Geräten ausgestattet sind [eigene]	28
Tabelle 9: Die Lebensdauer der technischen Gebäudeausrüstung gemäß VDI 2067, Tabelle A2-A3.	36
Tabelle 10: Auslegungsdaten der Wärmepumpen zum Heizen [3].....	38
Tabelle 11: Auslegungsdaten der Wärmepumpen zum Kühlen [3].....	38
Tabelle 12: U-Werte der Hülle gemäß II. Wärmeschutzverordnung 1984 [3]	43
Tabelle 13: Beleuchtungseinstellung für jede Zone [3] bearbeitet	61

Formelverzeichnis

Formel 1: Normheizlast eines Raumes "i"	22
Formel 2: Normheizlast eines Gebäudes	22
Formel 3: Zuluftvolumenstrom im Heizbetrieb.....	23
Formel 4: Zuluftvolumenstrom im Kühlbetrieb.....	23
Formel 5: Leistung durch Stofftransport	36
Formel 6: Umrechnungsfaktor für A NGF bis 500m ² [28].....	75
Formel 7: Umrechnungsfaktor für A NGF von 500 bis 50.000 m ² [28].....	75
Formel 8: Umrechnungsfaktor für A NGF ab 50.000 m ² [28]	75

Anhang

Anhang 1: Heiz-und Kühllast Raumweise

Anhang 2: Supermarkt Heidenheim_Heizkörperauslegung

Anhang 3: Supermarkt Heidenheim_Heizkörperschema 1 (HK3)

Anhang 4: Supermarkt Heidenheim_Heizkörperschema 2 (HK3)

Anhang 5: Supermarkt Heidenheim_Heizlastberechnung

Anhang 6: Supermarkt Heidenheim_HeizungKälte Grundriss_Erdgeschoss

Anhang 7: Supermarkt Heidenheim_HeizungKälte Grundriss_Obergeschoss

Anhang 8: Supermarkt Heidenheim_Heizungsschema Lager (HK2)

Anhang 9: Supermarkt Heidenheim_Heizungsschema Markt (HK1)

Anhang 10: Supermarkt Heidenheim_Kälteschema (HK1)

Anhang 11: Supermarkt Heidenheim_Kühllastberechnung

Anhang 12: Supermarkt Heidenheim_Rohrnetzberechnung_Heizkörper (HK3)

Anhang 13: Supermarkt Heidenheim_Rohrnetzberechnung_Umlufterhitzer Lager (HK2)

Anhang 14: Supermarkt Heidenheim_Rohrnetzberechnung_Umlufterhitzer Markt (HK1)

Anhang 15: Supermarkt Heidenheim_Rohrnetzberechnung_Umluftkühler (HK1)

Anhang 16: Witterungskorrektur Gas

Anhang 17: Berechnungen mit der Software IBP:18599

Anhang 18: Katalog der Außenluft-Wärmepumpe

Anhang 19: Katalog der Türluftscheier

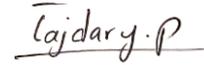
Anhang 20: Katalog der Umlufterhitzer Lager

Anhang 21: Katalog der Umluftgeräte Markt

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Pariya Tajdary, dass ich diese Masterarbeit mit dem Titel „Optimierung und Umbau der heizungs- und kältetechnischen Anlage eines Einkaufszentrums“ selbstständig verfasst habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet und alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder anderen Quellen entnommen wurden, als solche kenntlich gemacht.

Magdeburg, 01.10.2024



Pariya Tajdary