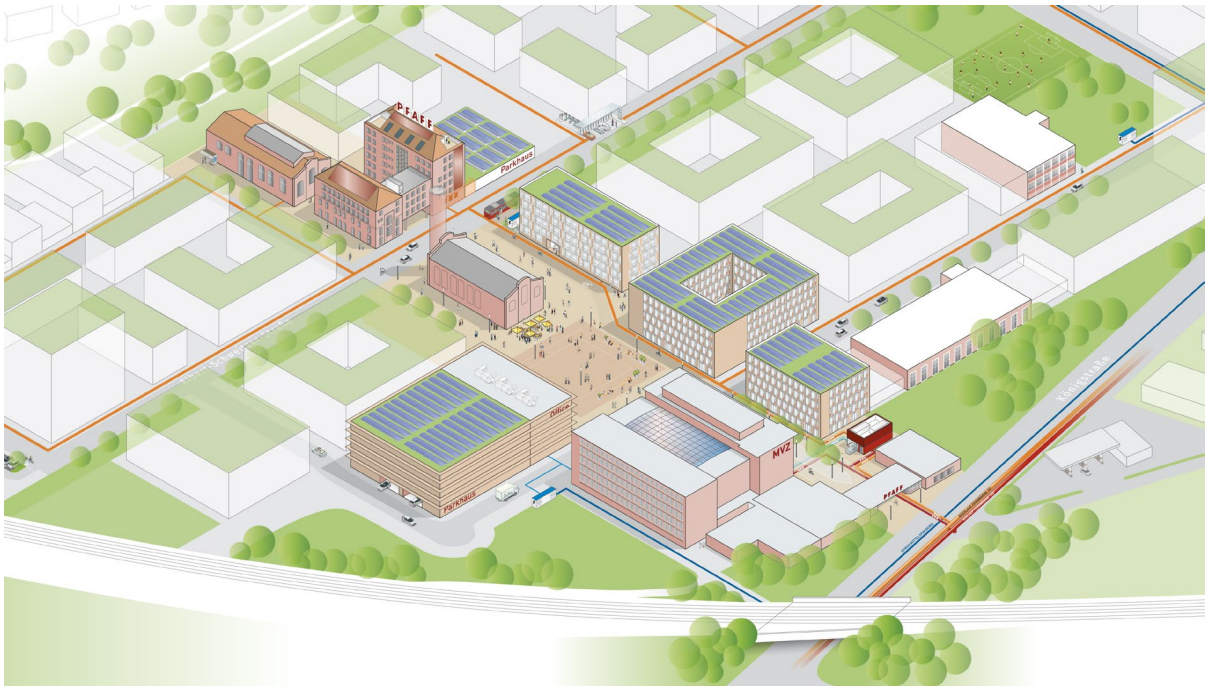


Meilensteinbericht

Meilenstein 1: Fertigstellung Gebäudekonzept

AP 2.2.3 Sanierung denkmalgeschütztes Gebäude

Meilensteinbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts
zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff
„Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“



< Meilensteinbericht

Meilenstein 1: Fertigstellung Gebäudekonzept

AP 2.2.3 Sanierung denkmalgeschütztes Gebäude >

Meilensteinbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff:

„Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern - Integrierte Konzepte, innovative Technologien und sozialwissenschaftliche Forschung im Leuchtturm für klimaneutrale Quartiere“

Teilvorhaben EnStadt:Pfaff: „IfaS Lebenszyklusbetrachtung“

Förderndes Ministerium:	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Projektträger:	Forschungszentrum Jülich GmbH
Förderkennzeichen:	03SBE112H
Projektlaufzeit:	01.10.2017 – 31.12.2024
Autoren:	Tim Buchhorn, Johannes Dietz
Ausführende Stelle:	Hochschule Trier - Trier University of Applied Sciences - Umwelt-Campus Birkenfeld - Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)
Veröffentlicht:	Juni 2019

Die Verantwortung der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Das Verbundprojekt EnStadt:Pfaff wurde von 8 Partnern durchgeführt und als Leuchtturmprojekt gemeinsam gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Weitere Informationen zu EnStadt:Pfaff: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1 Hintergrund	6
2 Energetische Bestandsanalyse	7
2.1 Beschreibung von Gebäudehülle und Anlagentechnik	7
2.2 Analyse der Gebäudehülle	8
2.3 Analyse der wärmeübertragenden Bauteile	12
2.4 Analyse von Nutzung und Konditionierung.....	15
2.5 Energiebilanz des Ist-Zustandes	21
3 Energetisches Sanierungskonzept	24
3.1 Sanierung der thermischen Gebäudehülle.....	24
3.2 Sanierung der Anlagentechnik	25
3.3 Einzelmaßnahmen im Überblick.....	27
3.4 Gesamtmaßnahmen.....	27
3.5 Energiebilanz des sanierten Zustandes	30
4 Ausblick	33
Quellenverzeichnis	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luftaufnahme des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht West	8
Abbildung 2: Luftaufnahme des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Süd	8
Abbildung 3: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Nord	9
Abbildung 4: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht West.....	10
Abbildung 5: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Süd	10
Abbildung 6: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Ost.....	10
Abbildung 7: Zusammensetzung der thermischen Gebäudehülle	11
Abbildung 8: Zusammensetzung der thermischen Gebäudehülle, mit Zsfg. in Bauteilgruppen	12
Abbildung 9: Zusammensetzung von Transmissionswärmeverlusten und thermischer Gebäudehülle.....	14
Abbildung 10: Zusammensetzung von Transmissionswärmeverlusten und thermischer Gebäudehüll.....	15
Abbildung 11: Zonierung Kellergeschoss	16
Abbildung 12: Zonierung Erdgeschoss	17
Abbildung 13: Zonierung Obergeschoss 1.....	17
Abbildung 14: Zonierung Obergeschoss 2.....	18
Abbildung 15: Zonierung Obergeschoss 3.....	18
Abbildung 16: Zonierung Obergeschoss 4.....	19
Abbildung 17: Zonierung Obergeschoss 5.....	19
Abbildung 18: Energiebedarf des Gebäudes im Ist-Zustand	21
Abbildung 19: Aufteilung des Energiebedarfs auf die Konditionierungsformen	22
Abbildung 20: Wärmesenken im Ist-Zustand	22
Abbildung 21: Wärmequellen im Ist-Zustand	23
Abbildung 22: Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen der Gesamtmaßnahmen 1-6, normiert	29
Abbildung 23: Energiebedarf des Gebäudes im sanierten Zustand, ohne PV.....	31
Abbildung 24: Aufteilung des Energiebedarfs auf die Konditionierungsformen, ohne PV	31
Abbildung 25: Auswirkungen der PV-Anlage auf den Energiebedarf.....	32
Abbildung 26: Wärmesenken im sanierten Zustand, ohne PV	32
Abbildung 27: Wärmequellen im sanierten Zustand, ohne PV	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bauteile der thermischen Hülle	13
Tabelle 2: Übersicht der Nutzungszonen im Gebäude.....	16
Tabelle 3: Norm-Nutzungsprofile der angelegten Zonen, mit ausgewählten Parametern.....	20
Tabelle 4: Sanierung der thermischen Gebäudehülle – Ausführung	24
Tabelle 5: Sanierung der thermischen Gebäudehülle – Einsparungen Energie & CO ₂	25
Tabelle 6: Sanierung der Anlagentechnik – Einsparungen Energie & CO ₂	27
Tabelle 7: Zusammenfassung aller Einzelmaßnahmen – Einsparungen Energie & CO ₂	27
Tabelle 8: Zusammensetzung der Gesamtmaßnahmen.....	28
Tabelle 9: Gesamtmaßnahmen – Einsparungen Energie & CO ₂	28
Tabelle 10: Gesamtmaßnahmen – Bewertung bzgl. Effizienzhaus-Kriterien	30

1 Hintergrund

Das Neue Verwaltungsgebäude des ehemaligen Pfaff-Werkes wurde in den 1950er Jahren als Vierflügelanlage in Stahlbetonskelettbauweise errichtet. Sein Erscheinungsbild wird maßgeblich durch die Klinkerfassaden mit großem Fensterflächenanteil und schmalen Fensterrahmen geprägt. Dieses Erscheinungsbild steht zusammen mit dem repräsentativen Treppenhaus und der zugehörigen Werkstoranlage mit beidseitigem Anbau seit 2016 als bauliche Gesamtanlage unter Denkmalschutz. Im Zuge der Neugestaltung des Pfaff-Werksgeländes wird das neue Verwaltungsgebäude seit 2019 saniert und zu einem Medizinischen Versorgungszentrum (MVZ) umgebaut. Das energetische Sanierungskonzept für dieses Gebäude wurde im Rahmen von AP 2.2.3 entwickelt und ist in diesem Bericht zusammengefasst.

Einleitend wurden die energietechnischen Grundlagen des neuen Verwaltungsgebäudes erarbeitet und daraus die Energiebilanz des Ist-Zustandes erstellt (Kapitel 2). Die vorgenommene Bilanzierung folgt einem integralen Ansatz, mit gemeinschaftlicher Bewertung von Baukörper, Nutzung und Anlagentechnik, unter Beachtung des dynamischen Verhaltens und gegenseitiger Wechselwirkungen. Das Verfahren wurde in Deutschland im Rahmen der Umsetzung der EU-Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie entwickelt und ist in der DIN 18599 verankert. Neben der Bestandsanalyse bildet es auch die Grundlage für das im Anschluss entwickelte Sanierungskonzept (Kapitel 3).

2 Energetische Bestandsanalyse

2.1 Beschreibung von Gebäudehülle und Anlagentechnik

Das Gebäude wurde vom Architekten Fritz Seeberger geplant und von 1955-1958 in Stahlbetonskelettbauweise errichtet, mit einer Nutzfläche von ca. 12.700 m², verteilt auf 2-6 Stockwerke. Seine opaken Bauteile befanden sich zum Projektstart energetisch im Zustand des Baujahres. Mit oberster Geschossdecke und Flachdach wiesen nur die Bauteile des oberen thermischen Gebäudeabschlusses eine Dämmung auf, und diese war auf eine 4 cm starke Schicht Styropor beschränkt. In den Heizperioden verantworteten die opaken Bauteile entsprechend hohe Wärmeverluste, gleiches galt für die Fenster. Die zum Projektstart verbauten Modelle stammten aus den 1970er Jahren und kombinierten Zweischeibenverglasung mit Alu-Rahmen, ohne thermische Trennung. Für den Blend- und Hitzeschutz waren sie mit manuell gesteuerten Außenjalousien ausgerüstet. Die Raumwärme wurde bis zur Stilllegung des Gebäudes vom benachbarten Heizwerk des Pfaff-Geländes geliefert, auf Basis des Energieträgers Steinkohle. Die Wärmeübergabe im Gebäude erfolgte über Radiatoren und mit hoher Vorlauftemperatur.

Die folgenden beiden Luftaufnahmen zeigen den Zustand des Gebäudes vor der Sanierung. In der zweiten Aufnahme sind für eine bessere Orientierung die Bezeichnungen der 3 Hauptgebäudeteile aufgeführt. Auf Ebene 1 unterteilt sich das neue Verwaltungsgebäude in die Gebäude 48 und 49 des Pfaff-Quartiers. Auf Ebene 2 wird bei Gebäude 49 zwischen Hauptgebäude Ost und Hauptgebäude West unterschieden.



Abbildung 1: Luftaufnahme des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht West¹



Abbildung 2: Luftaufnahme des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Süd²

2.2 Analyse der Gebäudehülle

Die Gebäudehülle des neuen Verwaltungsgebäudes weist eine Besonderheit auf: Im Rahmen der Sanierung ändert sie ihre Form. Gebäude 48 wird um ein Stockwerk erweitert, Hauptgebäude Ost von Gebäude 49 um

¹ IfaS, 2018.

² Anonym, nicht datiert.

2 Stockwerke. Die nutzbare Fläche wird durch diese Aufstockung um 20% vergrößert, von ca. 12.700 auf ca. 15.200 m². Weiterhin wird der große Innenhof mit einem Glasdach überspannt. Aufstockung und Innenhof-Überdachung verändern maßgeblich die thermische Gebäudehülle und damit auch die Energiebilanz des Gebäudes. Dies erschwert den Vergleich der Zustände vor und nach der Sanierung, auf deren Grundlage die erzielten Einsparungen berechnet werden. Dieser Vergleich wird weiterhin durch eine radikale Änderung der Gebäudenutzung erschwert. Aus einem Bürogebäude wird nach Umbau und Sanierung ein medizinisches Versorgungszentrum, mit einer – verglichen mit dem Ausgangszustand – grundlegend unterschiedlichen Konditionierung der Innenräume.

Diese besondere Dynamik – maßgeblicher Wandel von Gebäudeform und -nutzung im Rahmen der Sanierung – erforderte Anpassungen im Aufbau der geplanten thermischen Gebäudesimulation. Um belastbare Ergebnisse über die Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen zu erhalten, wurden in der Gebäudesimulation des Ist-Zustandes Gebäudeform und -nutzung an den Zustand nach der Sanierung angepasst. Im Einzelnen bedeutet dies, dass die neuen Merkmale Aufstockung, Innenhof-Überdachung und Nutzung als medizinisches Versorgungszentrum in die Gebäudesimulation des Ist-Zustandes übertragen wurden. Alle weiteren Merkmale wurden vom real vorliegenden Gebäudebestand übernommen. Diese betrifft die thermische Qualität der Bauteile, die Ausführung der Sonnenschutz-Maßnahmen und die komplette Anlagentechnik.

Um dieses Vorgehen einzuordnen: Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) arbeitet mit dem Konzept des Referenzgebäudes. Hierbei handelt es sich um ein virtuelles Hilfsgebäude, dass bzgl. seiner Geometrie, Nutzfläche und Ausrichtung mit dem jeweils untersuchten realen Gebäude übereinstimmt. Im Kern wurde dieses Konzept auf den Vorher-Nachher-Vergleich des neuen Verwaltungsgebäudes übertragen.

Die folgenden 4 Abbildungen zeigen Ansichten des 3D-Modells, das für die Gebäudesimulation des neuen Verwaltungsgebäudes im Bestand erstellt wurde und eine detaillierte Analyse von dessen Gebäudehülle ermöglichte. Es umfasst die Aufstockung und die Überdachung des großen Innenhofs mit einem Glasdach.



Abbildung 3: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Nord



Abbildung 4: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht West



Abbildung 5: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Süd

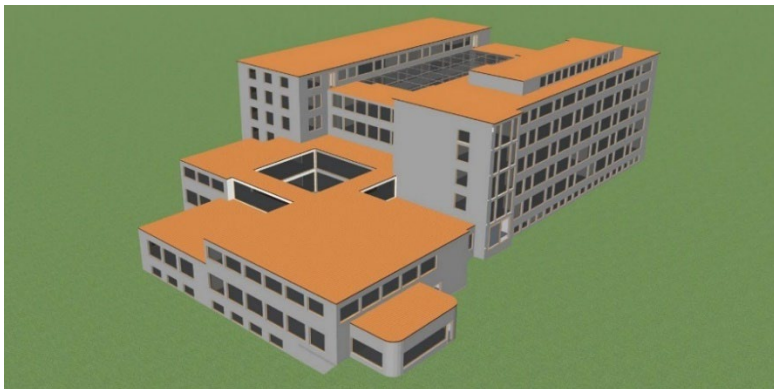


Abbildung 6: 3D-Modell des neuen Verwaltungsgebäudes, Ansicht Ost

Auf Grundlage des 3D-Modells konnte u.a. die Zusammensetzung der thermischen Gebäudehülle ermittelt werden, der Grenzfläche zwischen beheiztem Innenraum und unbeheizter Umgebung. Ihr kommt hohe Bedeutung zu, da das Gebäude über diese Fläche in der Heizperiode seine Raumwärme an die unbeheizte Umgebung verliert. Die Zusammensetzung der thermischen Gebäudehülle des neuen Verwaltungsgebäudes ist in Abbildung 7 dargestellt.

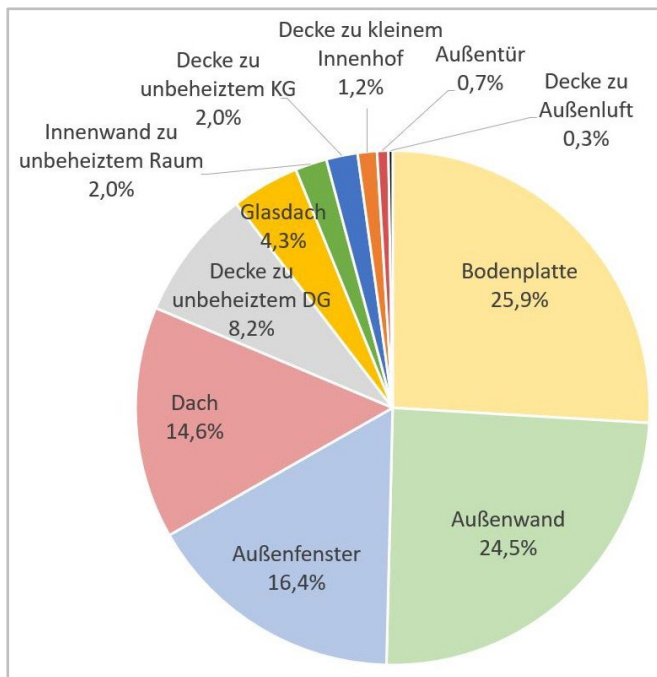


Abbildung 7: Zusammensetzung der thermischen Gebäudehülle

Mit 26% hat die Bodenplatte den größten Anteil an der thermischen Hülle des Gebäudes, dicht gefolgt von der Außenwand mit 25%. Große Anteile haben weiterhin die Außenfenster (16%), das Flachdach (15%) und die Decke zum unbeheizten Dachgeschoss (8%). Die verbleibenden 10% der thermischen Hülle verteilen sich auf eine Gruppe von 6 Bauteilen.

Der obere thermische Abschluss wird von den folgenden 4 Bauteilen gebildet:

- Flachdach
- Decke zu unbeheiztem Dachgeschoss
- Glasdach Innenhof
- Decke zu kleinem Innenhof (Der kleine Innenhof ist im Gegensatz zum großen nicht überdacht.)

Der untere thermische Abschluss setzt sich ebenfalls aus einer Gruppe von Bauteilen zusammen:

- Bodenplatte
- Decke zu unbeheiztem Kellergeschoss
- Decke zu Außenluft (Kleine Fläche im Bereich des Zugangs zum großen Innenhof)

Im folgenden Diagramm zur thermischen Gebäudehülle sind die Bauteile des oberen und unteren thermischen Abschlusses zu jeweils einer Gruppe zusammengefasst. Beide Gruppen zusammen haben einen Anteil von 57% an der thermischen Gebäudehülle.

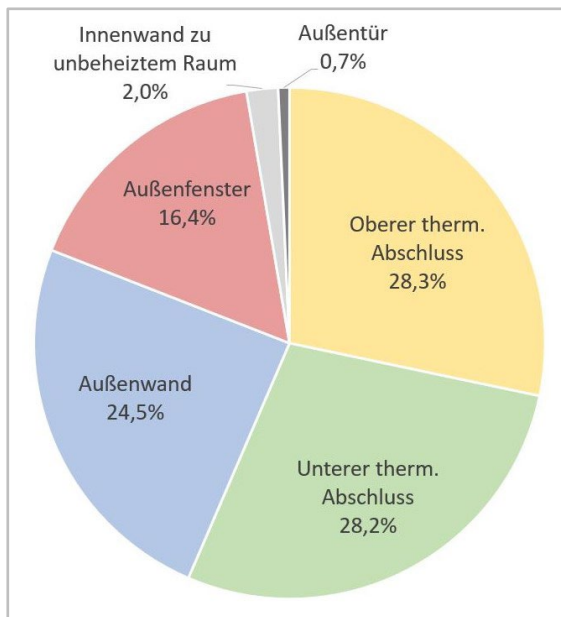


Abbildung 8: Zusammensetzung der thermischen Gebäudehülle, mit Zsfg. in Bauteilgruppen

2.3 Analyse der wärmeübertragenden Bauteile

Die Datenbasis für Analyse der Bauteile bildete die Kombination aus einer Bohrkern-Untersuchung von 2012 und Detailschnitten der Fassaden aus den 1950er Jahren. Die Bohrkern wurden 2012 im Rahmen einer groß angelegten Schadstoff-Untersuchung für das Werksgelände des ehemaligen Nähmaschinenherstellers Pfaff entnommen. Auf das neue Verwaltungsgebäude entfielen insgesamt 29 Bohrkern, verteilt auf Innen- und Außenbauteile. Auf Grundlage dieser Datenbasis wurden die U-Werte der Bauteile im Ist-Zustand berechnet. In Tabelle 1 sind sie zusammen mit den Anforderungen von Gebäudeenergiegesetz (GEG) und Bundesförderung effizienter Gebäude (BEG) aufgelistet.

Tabelle 1: Bauteile der thermischen Hülle

Bauteil	Fläche		Transmissionen		U-Werte [W/m²K]		
					Ist-Zustand	Anforderung Sanierung	
	m²		kWh/a			GEG	BEG
Bodenplatte	3.906	25,9%	241.414	9,2%	2,84	0,30	0,25
Außenwand	3.682	24,5%	684.848	26,2%	1,85	0,24	0,20
Außenfenster	2.465	16,4%	1.046.265	40,1%	4,30	1,30	0,95
Dach	2.197	14,6%	181.558	7,0%	0,75	0,24	0,14
Decke zu unbeheiztem DG	1.242	8,2%	84.319	3,2%	0,74	0,24	0,14
Glasdach	642	4,3%	244.034	9,3%	4,30	2,00	1,60
Innenwand zu unbeheiztem Raum	300	2,0%	31.589	1,2%	1,91	0,30	0,25
Decke zu unbeheiztem KG	297	2,0%	22.001	0,8%	2,03	0,30	0,25
Decke zu kleinem Innenhof	183	1,2%	19.728	0,8%	0,75	0,24	0,14
Außentür	107	0,7%	43.068	1,7%	4,30	1,80	1,30
Decke zu Außenluft	39	0,3%	11.278	0,4%	2,77	0,24	0,20
	15.058	100,0%	2.610.101	100,0%			

Die Anforderungen des GEG werden von allen Bauteilen des neuen Verwaltungsgebäudes weit verfehlt. Von den opaken Bauteilen sind einzig das Flachdach und die Decke zum unbeheizten Dachgeschoss mit einer Dämmung ausgeführt, und diese beschränkt sich auf knappe 4 cm. Fenster und Türen des Gebäudes stammen aus den 1970er Jahren und schneiden energetisch mit ihren Alurahmen ohne thermische Trennung ebenfalls schlecht ab.

Die Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes sind abhängig von den U-Werten und den Flächen der Bauteile seiner thermischen Hülle. In Abbildung 9 ist ihre Zusammensetzung der der thermischen Hülle gegenübergestellt.

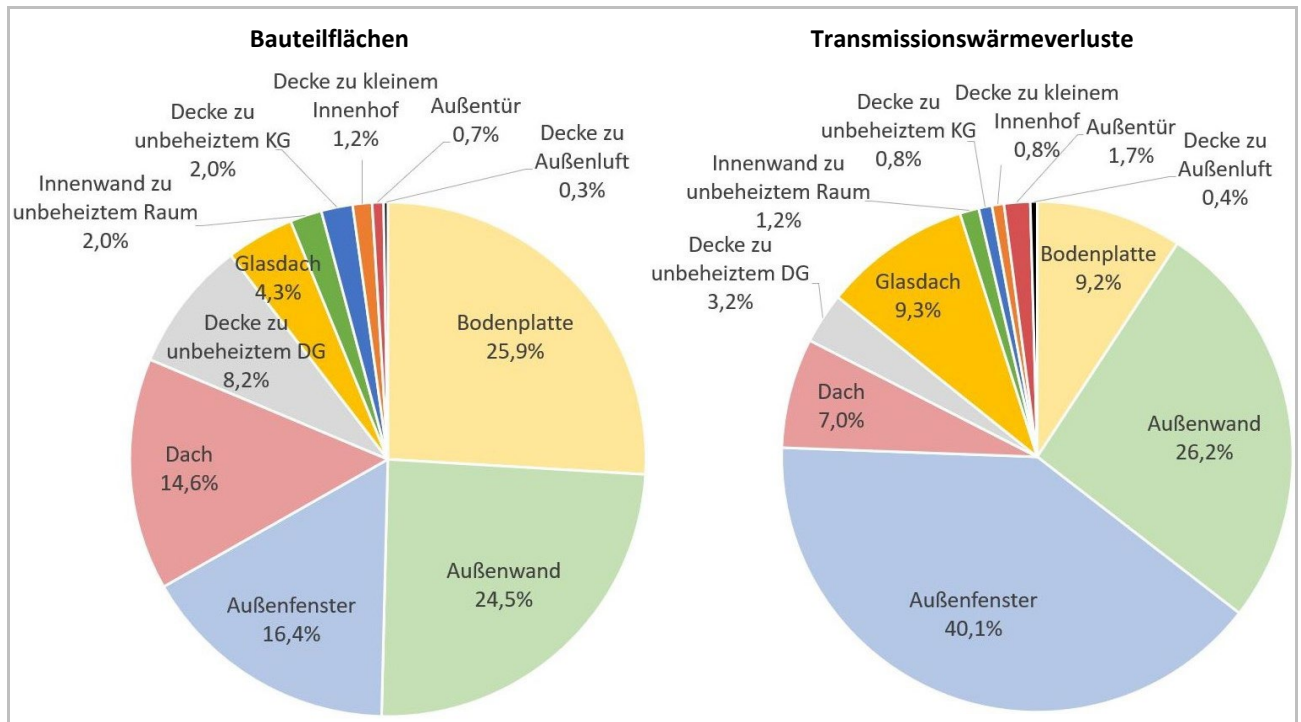


Abbildung 9: Zusammensetzung von Transmissionswärmeverlusten und thermischer Gebäudehülle

Der Vergleich zeigt, dass die Fenster einen überproportional großen Anteil an den Transmissionswärmeverlusten des neuen Verwaltungsgebäudes haben. Bei einem Flächenanteil von 16% verantworten sie 40% der Transmissionswärmeverluste. Bei Bodenplatte, Flachdach und der Decke zum unbeheizten Dachgeschoss ist die Situation umgedreht. Diese Bauteile haben zusammen einen Anteil von 49% an der thermischen Gebäudehülle, verantworten aber nur 19% der Transmissionswärmeverluste. Bei der Außenwand stimmen Flächenanteil (26%) und Transmissionswärmeverluste (26%) bei Rundung auf ganze Zahlen überein.

Für eine zusätzliche Auswertung wurden die Bauteile von oberem und unterem thermischem Abschluss in Abbildung 10 wieder zu jeweils einer Gruppe zusammengefasst. Beide Gruppen tragen unterproportional zu den Transmissionswärmeverlusten bei. Besonders ausgeprägt ist dieses Verhältnis bei der Gruppe des unteren thermischen Abschlusses. Mit einem Flächenanteil von 28% verantwortet diese Gruppe nur 11% der Transmissionswärmeverluste. Dieses im ersten Moment vorteilhaft erscheinende Ergebnis ist jedoch nicht auf eine hohe thermische Qualität der Bauteile, sondern auf reduzierte Wärmeverluste von Bauteilen gegen Erdreich zurückzuführen.

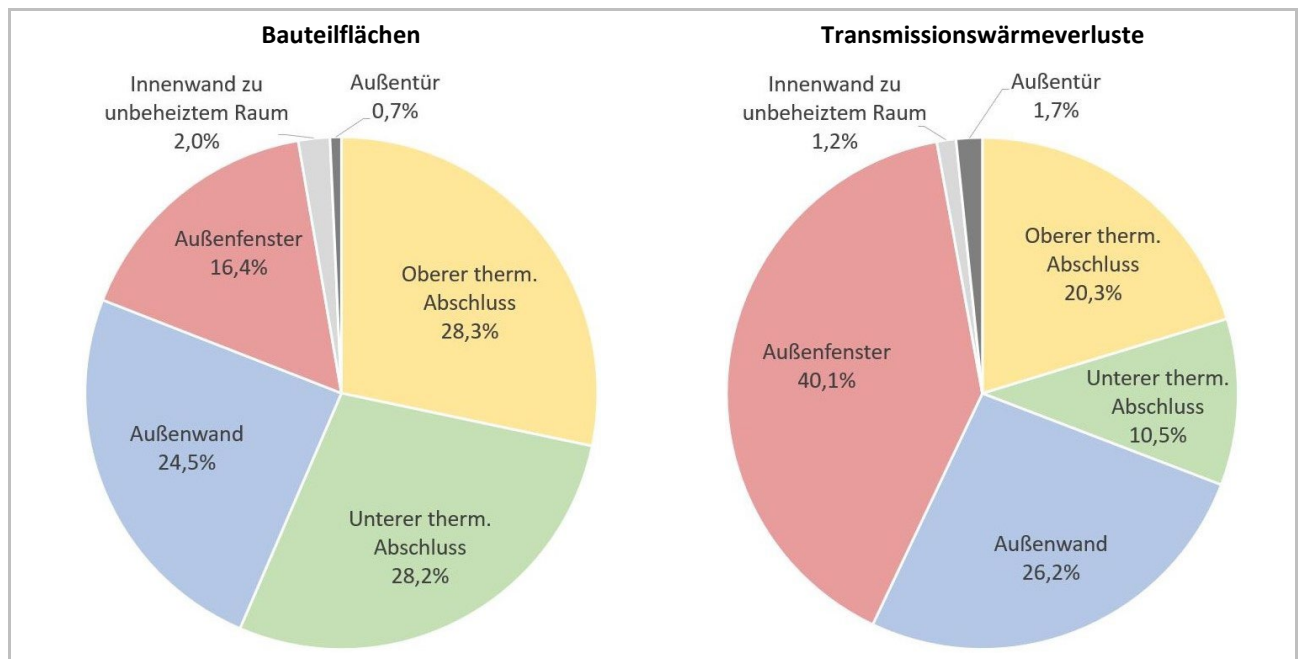


Abbildung 10: Zusammensetzung von Transmissionswärmeverlusten und thermischer Gebäudehülle

2.4 Analyse von Nutzung und Konditionierung

Gemäß DIN 18599 sind Nichtwohngebäude bei ihrer Bilanzierung in Zonen zu unterteilen, wenn sich ihre Räume wesentlich in Nutzung, technischer Ausstattung und inneren Lasten unterscheiden. Zonen bilden die grundlegende räumliche Berechnungseinheit für die Energiebilanzierung.³

Auf Grundlage dieser Regelung wurde die Räume des neuen Verwaltungsgebäudes 12 beheizten und einer unbeheizten Zone zugeordnet. Die 12 beheizten Zonen sind in Tabelle 10 aufgeführt, mit ihren Flächen und Konditionierungsformen. Wie zu Beginn von Kapitel 2.2 beschrieben, wurde das Gebäude im Bestand bzgl. seiner Nutzung nicht als Verwaltungsgebäude, sondern als medizinisches Versorgungszentrum eingestuft. Dies war eine von 2 notwendigen Anpassungen, um die Auswirkungen der energetischen Sanierung im Rahmen einer Gebäudesimulation belastbar untersuchen zu können. Die zweite Anpassung betrifft die Gebäudehülle, deren Form nach der Sanierung (mit Aufstockung und Überdachung Innenhof) auf den Bestand übertragen wurde.

Im Anschluss an die Zonenübersicht in Tabelle 10 sind die Grundrisse der 7 Stockwerke des neuen Verwaltungsgebäudes aufgeführt, mit farblicher Abgrenzung der angelegten Zonen. Für eine einfache Zuordnung wurden hierfür die Farben aus Tabelle 10 verwendet.

³ Vgl. Solar-Computer, 2024, S. 14.

Tabelle 2: Übersicht der Nutzungszonen im Gebäude

Nr.	Zone	Beheizte Fläche		Thermische Hüllfläche		Konditionierung				
						Heizung	TWW	Beleuchtung	Kühlung	RLT
1	Arztpraxen	4.487 m²	29,4%	3.357 m²	22,3%	X	X	X		
2	Fitness	1.704 m²	11,2%	2.322 m²	15,4%	X	X	X		
3	Verkehrsflächen	1.500 m²	9,8%	1.247 m²	8,3%	X		X		
4	Wellness	1.489 m²	9,8%	2.137 m²	14,2%	X	X	X		
5	Pflegehotel	1.208 m²	7,9%	868 m²	5,8%	X	X	X		
6	Wohnungen	1.159 m²	7,6%	1.711 m²	11,4%	X	X	X		
7	Technik	963 m²	6,3%	1.258 m²	8,4%	X		X		
8	Sonstige Aufenthaltsräume	742 m²	4,9%	452 m²	3,0%	X		X		
9	Innenhof	694 m²	4,6%	752 m²	5,0%	X		X		
10	Geschäfte	537 m²	3,5%	298 m²	2,0%	X	X	X		
11	Gastronomie	399 m²	2,6%	473 m²	3,1%	X	X	X		
12	OP-Bereich	360 m²	2,4%	184 m²	1,2%	X	X	X		
		15.241 m²	100,0%	15.058 m²	100,0%					

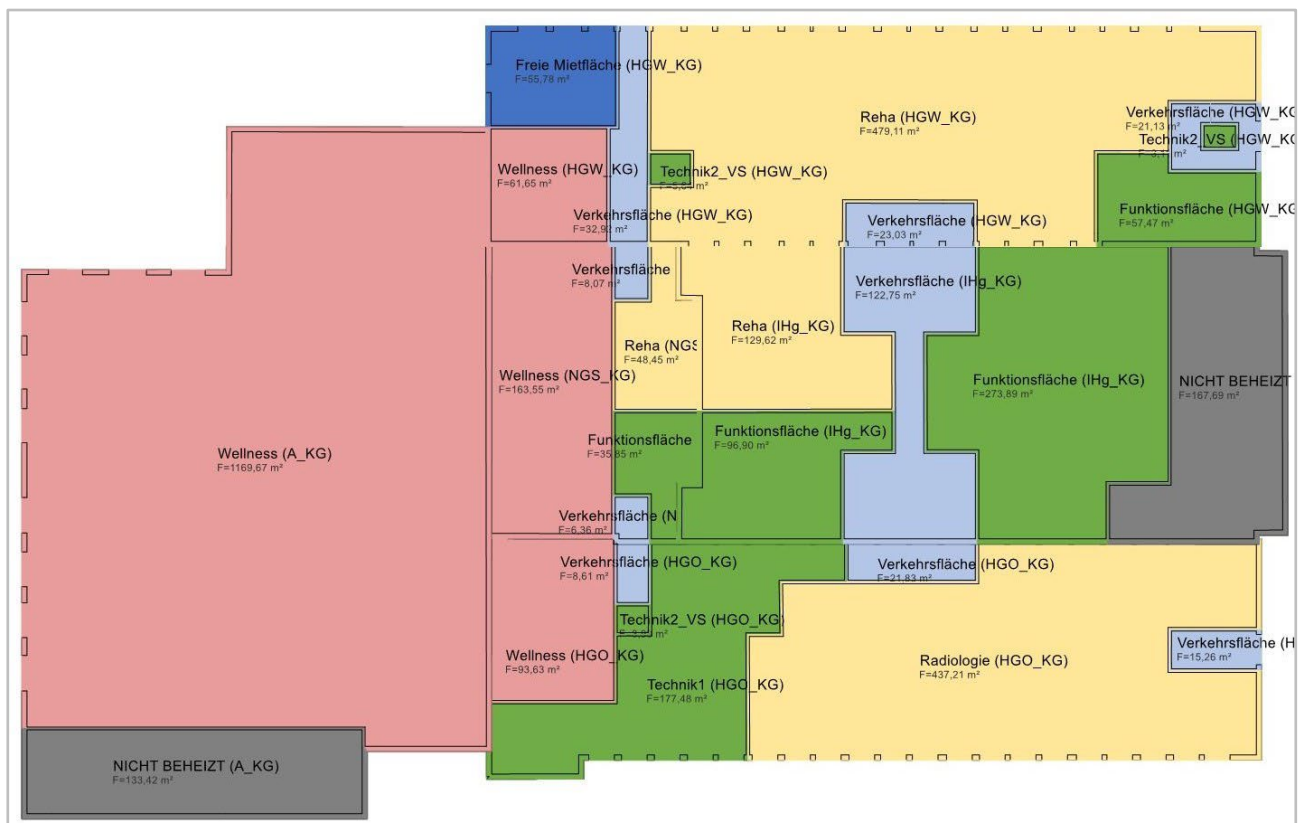


Abbildung 11: Zonierung Kellergeschoss

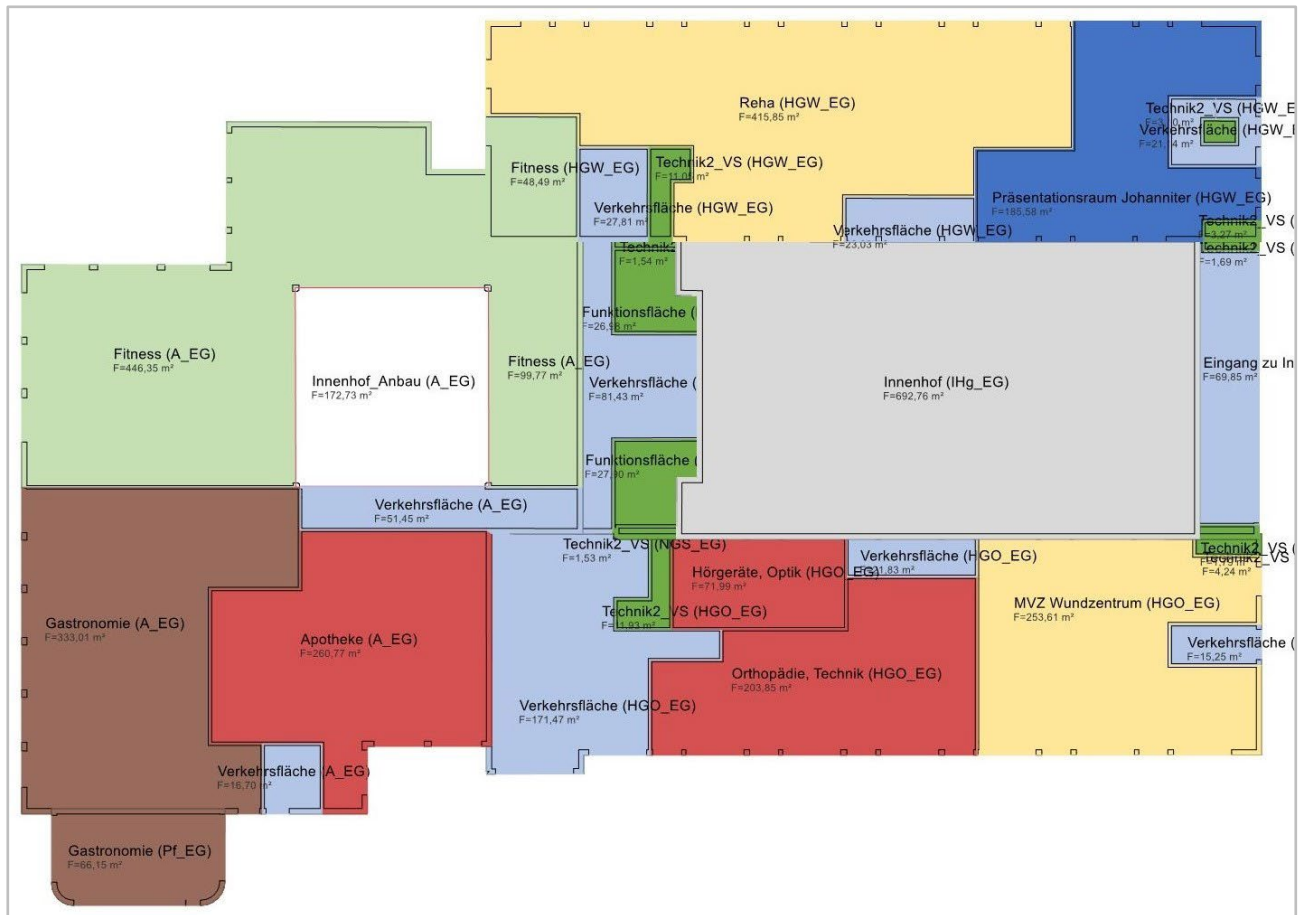


Abbildung 12: Zonierung Erdgeschoss

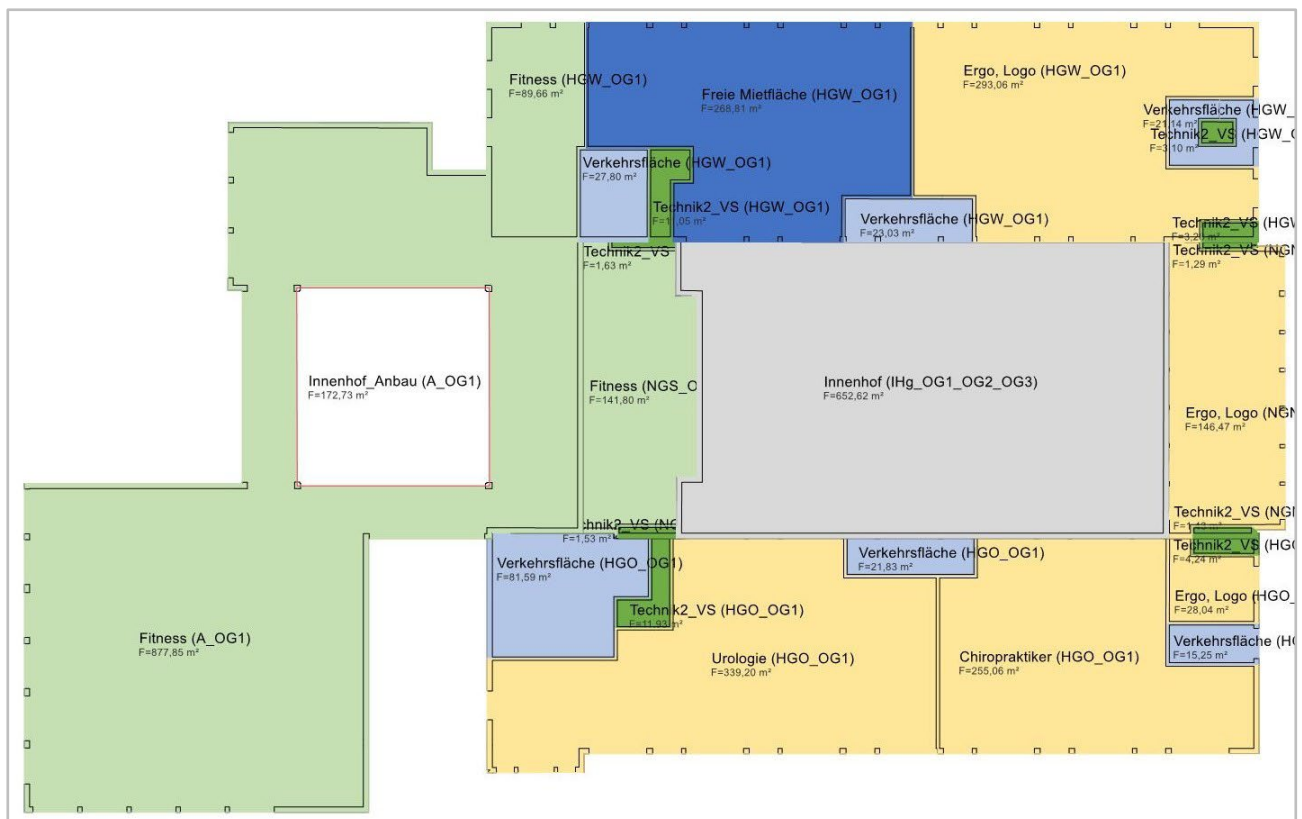


Abbildung 13: Zonierung Obergeschoss 1

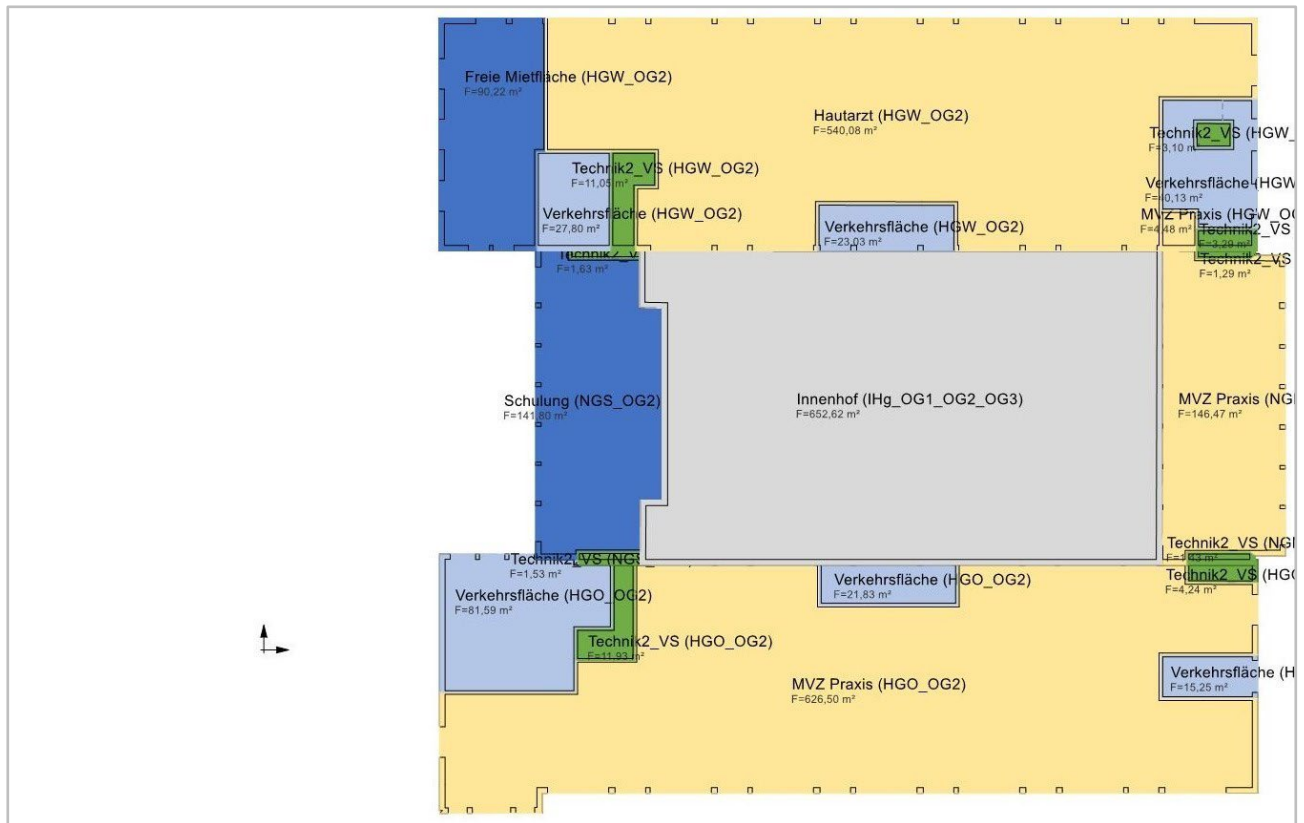


Abbildung 14: Zonierung Obergeschoss 2

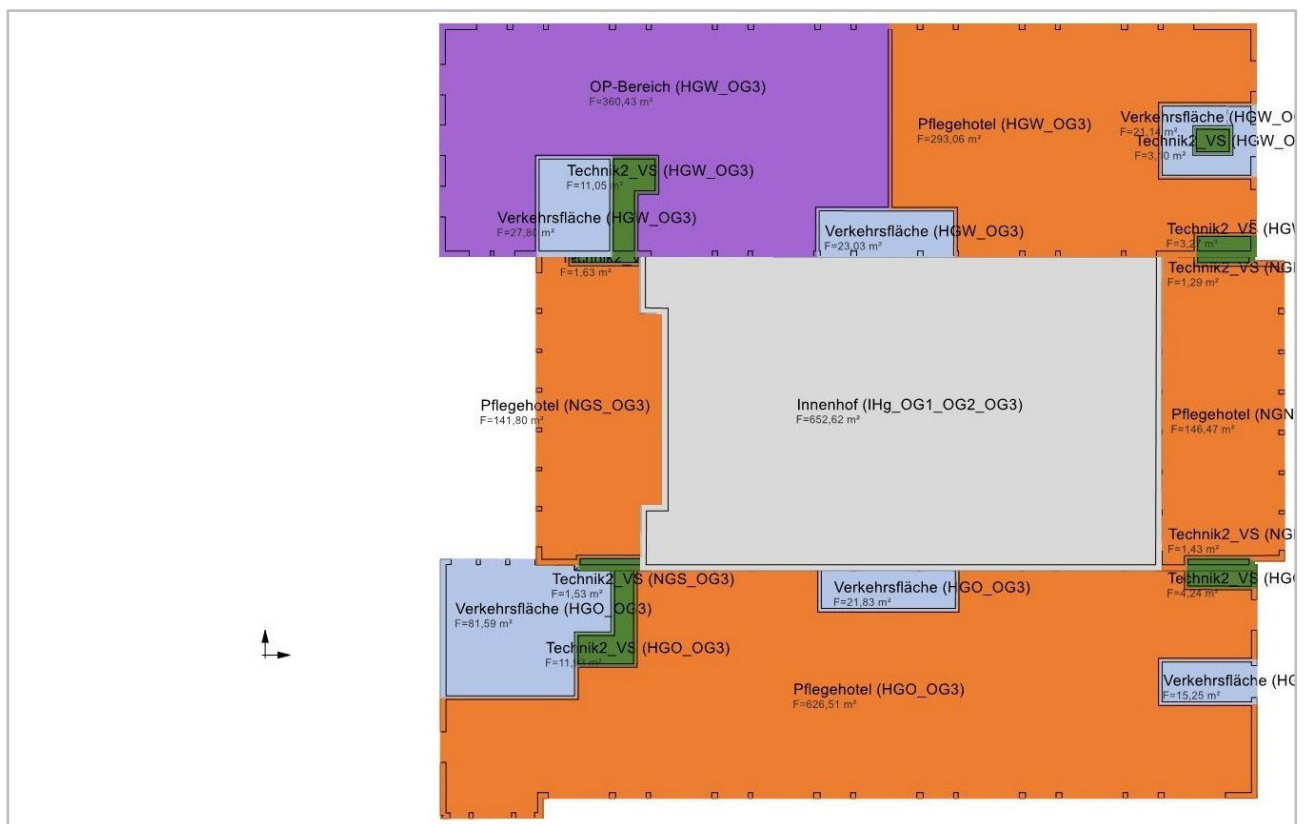


Abbildung 15: Zonierung Obergeschoss 3

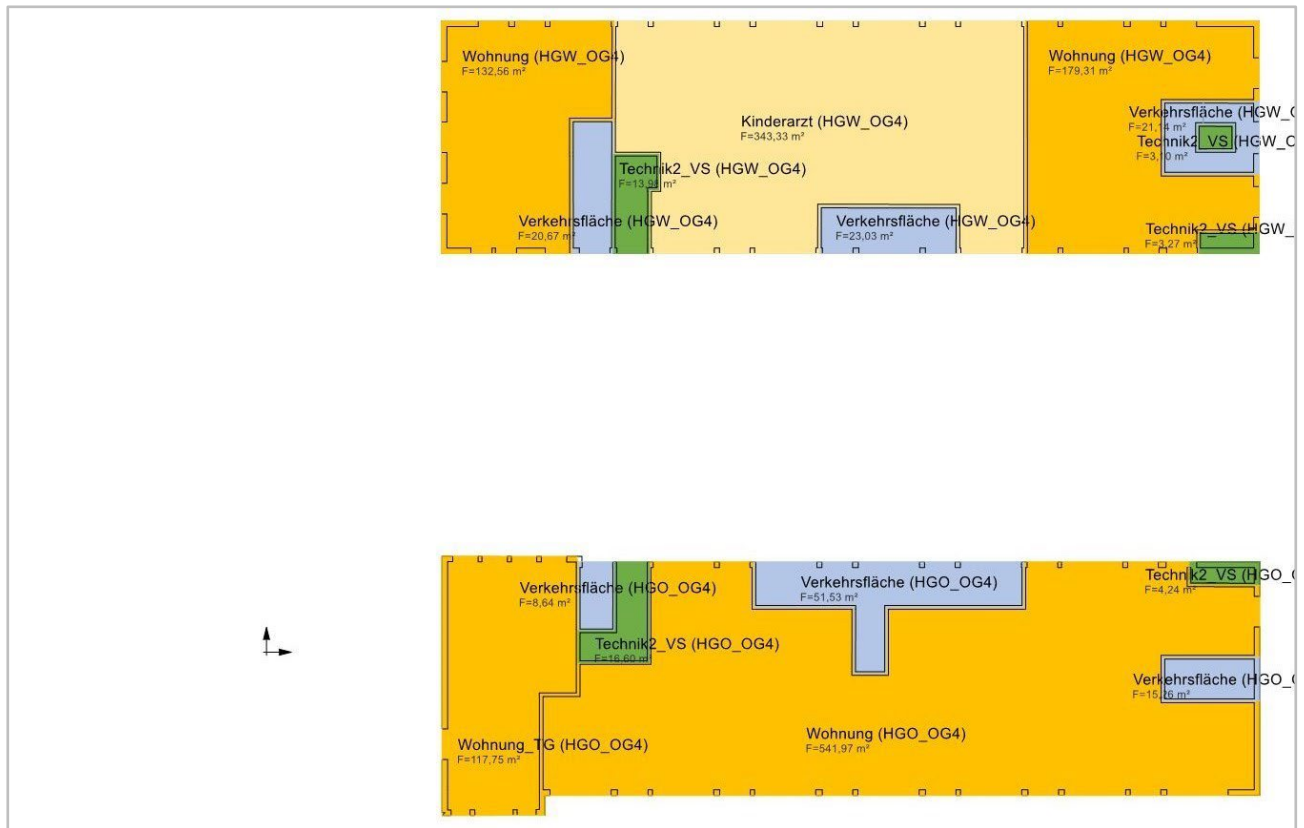


Abbildung 16: Zonierung Obergeschoss 4

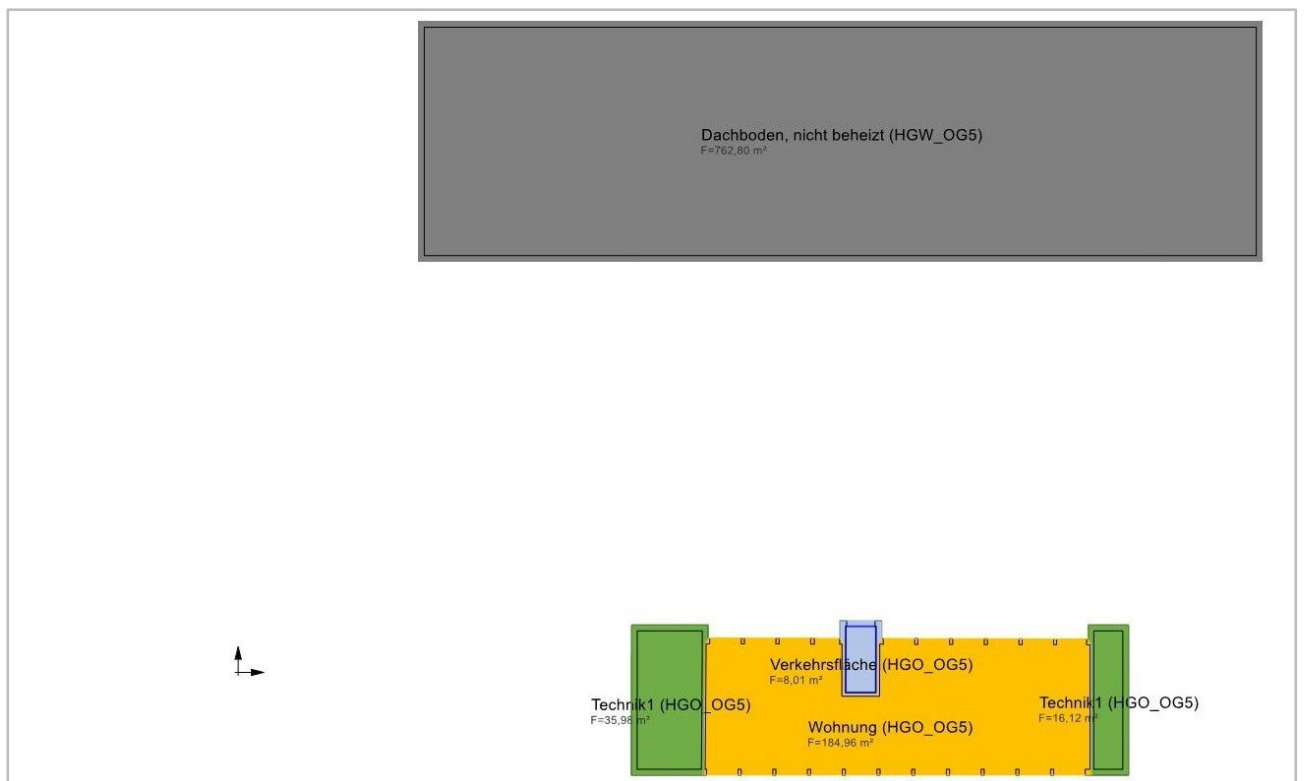


Abbildung 17: Zonierung Obergeschoss 5

Für die Energiebilanzierung wird jede Zone mit einem passenden Nutzungsprofil aus der Norm DIN 18599 verknüpft. Die für die Zonen des neuen Verwaltungsgebäudes getroffenen Zuordnungen sind in Tabelle 3 dargestellt. Zusätzlich ist mit dem Mindestaußenluftvolumenstrom ein Parameter der Nutzungsprofile aufgeführt, dem bei der Energiebilanzierung des neuen Verwaltungsgebäudes große Bedeutung zukommt. Die Zonen in Tabelle 3 sind absteigend nach der Größe dieses Parameters angeordnet. Mit einem Mindestaußenluftvolumenstrom von 0 bis 30 m³/hm² über alle 12 beheizten Zonen wird eine große Spannweite abgedeckt. Eine brauchbare Referenz für die Einordnung dieser Werte liefert der Luftwechsel in Wohngebäuden. Für eine gesunde Raumluft wird für diese von Expertenseite ein Luftwechsel von 0,5 1/h empfohlen. Hierbei wird in einer Stunde das halbe Raumvolumen an Luft ausgetauscht. Der Vergleich mit dem Mindestaußenluftvolumenströmen in Tabelle 3 erfordert die Umrechnung in die Einheit m³/hm². Bei einem Raum mit 2,5 m Deckenhöhe resultiert aus einem Luftwechsel von 0,5 1/h ein Außenluftvolumenstrom von 1,25 m³/hm². Dieser Vergleichswert wird von 10 der 12 Zonen in der Energiebilanz des neuen Verwaltungsgebäudes überstiegen, häufig um ein Vielfaches. Spitzenreiter ist die Zone OP-Bereich, mit einem Luftwechsel von 30 m³/hm², dem 24-fachen des für Wohngebäude empfohlenen Wertes. Über alle Zonen gemittelt, liegt das neue Verwaltungsgebäude mit seiner Nutzung als medizinisches Versorgungszentrum beim Luftwechsel auf einem hohen Niveau. In der Simulation des Gebäudebestandes – ohne Wärmerückgewinnung bei der Lüftung – resultieren daraus hohe Lüftungswärmeverluste. Diesen Zusammenhang belegen die im folgenden Kapitel präsentierten Ergebnisse eindrücklich.

Tabelle 3: Norm-Nutzungsprofile der angelegten Zonen, mit ausgewählten Parametern

Zone	Fläche		Zugeordnete Nutzungsprofile der DIN 18599	
			Bezeichnung	Mindest- außenluft- volumenstrom
	m ²			m ³ /hm ²
OP-Bereich	360	2,4%	Spezialpflegebereich	30
Gastronomie	399	2,6%	Kantine	18
Wellness	1.489	9,8%	Saunabereich	15
Fitness	1.704	11,2%	Fitnessraum	12
Arztpraxen	4.487	29,4%	Arztpraxen und therap. Praxen	10
Sonstige Aufenthaltsräume	742	4,9%	Sonstige Aufenthaltsräume	7
Innenhof	694	4,6%	Sonstige Aufenthaltsräume	7
Pflegehotel	1.208	7,9%	Bettenzimmer	5
Geschäfte	537	3,5%	Einzelhandel/Kaufhaus	4
Wohnung	1.159	7,6%	Mehrfamilienhaus	1,30
Technik	963	6,3%	Lager	0,15
Verkehrsflächen	1.500	9,8%	Verkehrsflächen	0
	15.241	100,0%		

2.5 Energiebilanz des Ist-Zustandes

Nach der Analyse von Gebäudehülle, Bauteilen, Nutzung und Konditionierung wurde die Energiebilanz des neuen Verwaltungsgebäudes für den modifizierten Ist-Zustand berechnet, mit Modul B56 der Software Solar-Computer. Zentrale Ergebnisse dieser Energiebilanz sind in den folgenden 4 Abbildungen als Diagramme aufbereitet.

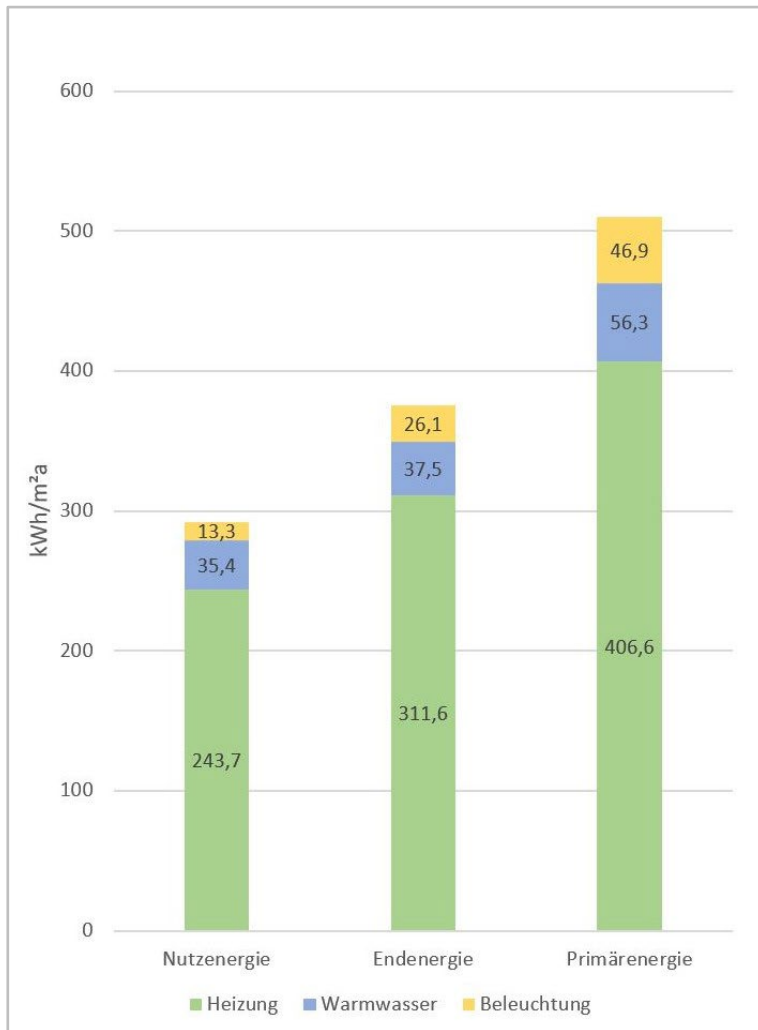


Abbildung 18: Energiebedarf des Gebäudes im Ist-Zustand

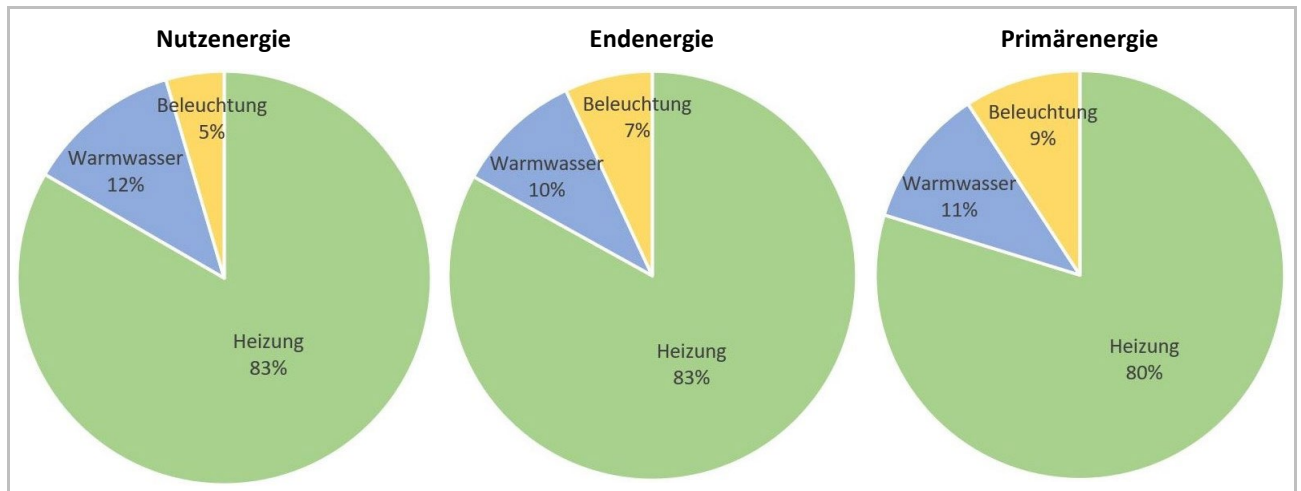


Abbildung 19: Aufteilung des Energiebedarfs auf die Konditionierungsformen

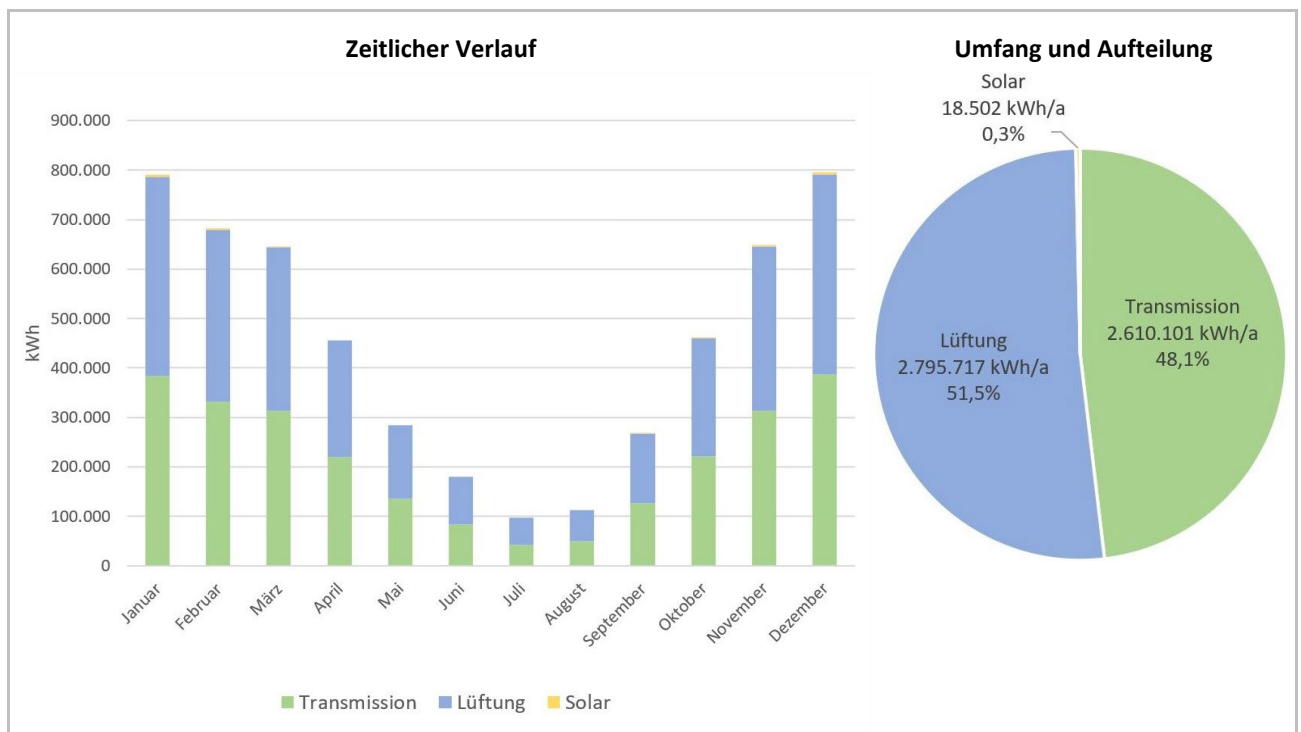


Abbildung 20: Wärmesenken im Ist-Zustand

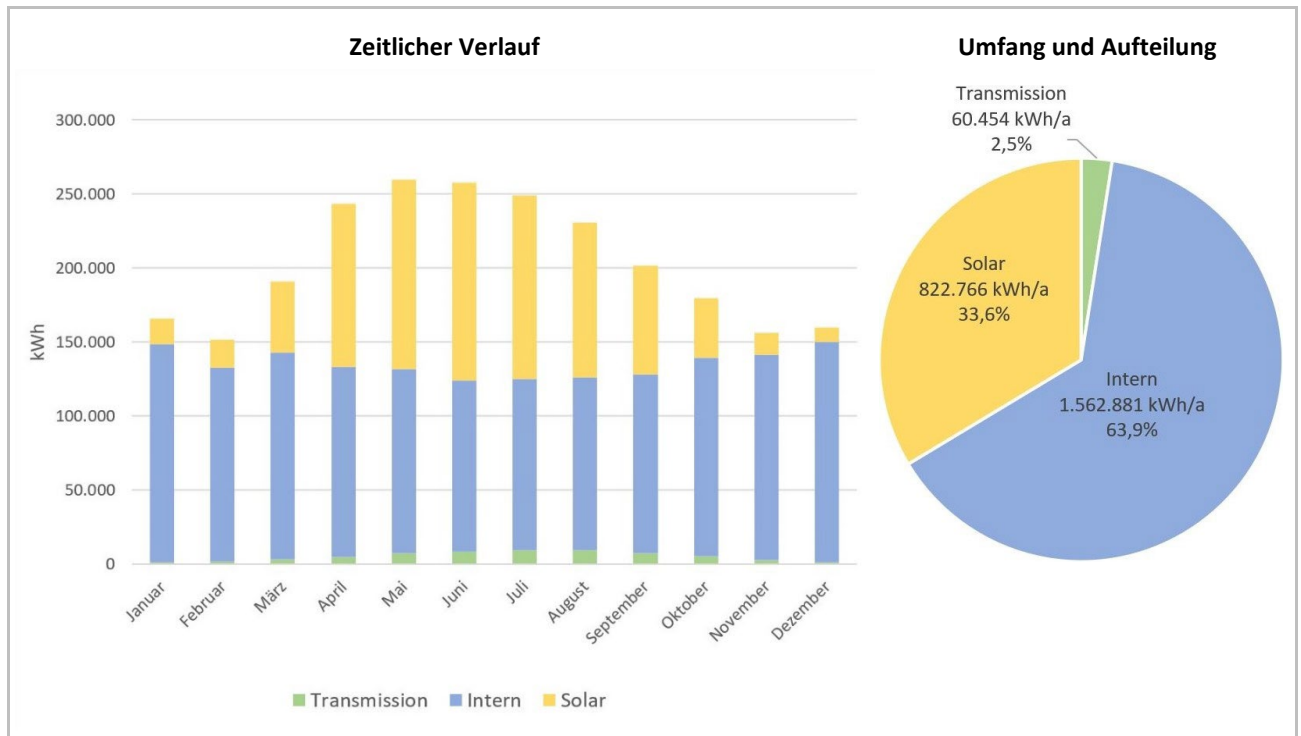


Abbildung 21: Wärmequellen im Ist-Zustand

3 Energetisches Sanierungskonzept

3.1 Sanierung der thermischen Gebäudehülle

Bei der Entwicklung des energetischen Sanierungskonzeptes für das neue Verwaltungsgebäude wurden einleitend Modernisierungsmaßnahmen für die thermische Gebäudehülle untersucht. Auswahl und Ausführung orientieren sich am Bestmöglich-Prinzip, das auf einen bestmöglichen Energiezustand nach der Sanierung zielt. Insgesamt wurden 5 Einzelmaßnahmen untersucht, die in ihrer Kombination alle Bauteile der thermischen Gebäudehülle abdecken. Angaben zur Ausführung der Maßnahmen und ihren Auswirkungen auf die U-Werte der Bauteile sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 4: Sanierung der thermischen Gebäudehülle – Ausführung

Einzelmaßnahmen an der thermischen Gebäudehülle			Fläche [m²]		U-Werte [W/m²K]				Dämmung		
					Ist-Zustand	Nach Sanierung	Anforderungen Sanierung		Stärke	WLG	Material
							GEG	BEG			
1	Dämmung der Außenwände	Außenwände mit Denkmalschutz	2.579 m²	17,1%	1,85	0,50	0,24	0,20	6 cm	040	HFD
		Außenwände ohne Denkmalschutz	1.103 m²	7,3%	1,85	0,19			16 cm	040	HFD
2	Dämmung des oberen thermischen Abschlusses	Flachdach	2.197 m²	14,6%	0,75	0,11	0,24	0,14	16 cm	023	PUR
		Decke zu unbeheiztem DG	1.242 m²	8,2%	0,74	0,13					
		Decke zu kleinem Innenhof	183 m²	1,2%	0,75	0,11					
3	Dämmung des unteren thermischen Abschlusses	Bodenplatte	3.906 m²	25,9%	2,84	0,21	0,30	0,25	10 cm	023	PUR
		Decke zu unbeheiztem KG	297 m²	2,0%	2,03	0,13			16 cm	023	PUR
		Decke zu Außenluft (nach unten)	39 m²	0,3%	2,77	0,14	0,24	0,20			
4	Dämmung der Innenwände gegen unbeheizt		300 m²	2,0%	1,91	0,20	0,30	0,25	18 cm	040	HFD
5	Austausch der transparenten Außenbauteile	Außenfenster	2.465 m²	16,4%	4,30	0,74	1,30	0,95	-		
		Außentüren	107 m²	0,7%	4,30	1,20	1,80	1,30			
		Glasdach	642 m²	4,3%	4,30	0,81	2,00	1,60			
			15.058 m²	100,0%							

Die ersten 4 in Tabelle 4 dargestellten Sanierungsmaßnahmen behandeln die Dämmung opaker Bauteile der thermischen Gebäudehülle. Stärke, Wärmeleitgruppe (WLG) und Material der Dämmung sind in den blau eingefärbten Spalten am rechten Rand der Tabelle aufgeführt. Für die Dämmung der Wände wurde mit Holzfaserdämmplatten (HFD) der Wärmeleitgruppe 040 gerechnet, für die restlichen Dämmmaßnahmen mit Polyurethan-Dämmplatten der Wärmeleitgruppe 023, in Orientierung an einer Untersuchung des Bauphysikers Frank-Stefan Meyer von der GEWG Bauphysik-GmbH. Neben den Dämmmaßnahmen wurde auch der Austausch der Fenster und Türen als Maßnahmen betrachtet. Hierbei wurde mit dem für die Sanierung des neuen Verwaltungsgebäudes entwickelten Holzintegrafenster der Firma Becker gerechnet. Es kombiniert eine 4-fach Verglasung mit Jalousien im äußeren belüfteten Scheibenzwischenraum und erfüllt mit seinem schmalen Rahmen die Anforderungen des Denkmalschutzes an die Optik der Fassaden.

Die Auswirkungen der Maßnahmen 1-5 auf den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen des Gebäudes sind in Tabelle 5 dargestellt. Aufgrund der in Kapitel 2.4 und 2.5 behandelten hohen Lüftungswärmeverlust-

te fallen die prozentualen Einsparungen gering aus. Durch Dämmung und Bauteilaustausch sinken die Transmissionswärmeverluste drastisch, die Lüftungswärmeverluste bleiben jedoch auf hohem Niveau. Sie werden größtenteils durch kontrollierte Lüftung hervorgerufen, nicht durch Infiltration. Durch diese Dynamik sinkt der Energiebedarf der Heizung durch Maßnahme an der Gebäudehülle prozentual betrachtet nur vergleichsweise moderat.

Mit einer Reduktion des Endenergieverbrauchs um 19,1% entfaltet der Austausch der Fenster die mit Abstand stärkste Wirkung. An zweiter Stelle folgt die Dämmung der Außenwände mit einer Endenergieeinsparung von 9,4%. Die Dämmung von oberem und unterem thermischem Abschluss liegen mit Einsparungen von 3,9% und 3,0% auf vergleichbarem niedrigem Niveau. Die im Vergleich zu den restlichen Dämmmaßnahmen nochmal niedrigeren Einsparungen dieser beiden Maßnahmen lassen sich auf 2 Faktoren zurückführen. Im Fall des oberen thermischen Abschlusses ist es die im Bestand vorliegende Dämmung. Obwohl diese nur eine Stärke von 4 cm aufweist, entfaltet sie im Vergleich mit einem ungedämmten Bauteil eine beachtliche Wirkung. Die Bauteile des unteren thermischen Abschlusses sind ohne Dämmung ausgeführt, ihre Transmissionswärmeverluste werden jedoch durch ihre Nachbarseite Erdreich im Vergleich zur Nachbarseite Außenluft reduziert.

Tabelle 5: Sanierung der thermischen Gebäudehülle – Einsparungen Energie & CO₂

Einzelmaßnahmen an der thermischen Gebäudehülle		Einsparungen					
		Endenergie		Primärenergie		CO ₂	
		[kWh/a]		[kWh/a]		[kg/a]	
1	Dämmung der Außenwände	538.922	9,4%	702.763	9,0%	216.270	9,0%
2	Dämmung des oberen thermischen Abschlusses	221.604	3,9%	288.969	3,7%	88.855	3,7%
3	Dämmung des unteren thermischen Abschlusses	170.852	3,0%	222.671	2,9%	68.432	2,9%
4	Dämmung der Innenwände gegen unbeheizt	24.538	0,4%	32.006	0,4%	9.754	0,4%
5	Austausch der transparenten Außenbauteile	1.093.999	19,1%	1.427.929	18,4%	439.398	18,3%

3.2 Sanierung der Anlagentechnik

Im Feld der Anlagentechnik wurden ebenfalls 5 Einzelmaßnahmen für das Sanierungskonzept betrachtet. Mit Heizung, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung decken sie 4 der 5 Konditionierungsformen direkt ab. Durch die für die Zonen Fitness, Wellness und Gastronomie angenommene zentrale Trinkwarmwasserbereitung sind es indirekt sogar alle 5 Konditionierungsformen.

Als erste Maßnahme wurde der Wechsel der Fernwärmequelle untersucht, in Kombination mit einer Optimierung ihrer Verteilung und Übergabe im Gebäude. Das neue Verwaltungsgebäude wurde bis zu seiner Stilllegung im Jahr 2008 von einem Heizwerk auf dem Werksgelände mit Fernwärme versorgt, in dem Steinkohle verfeuert wurde. Die Verteilung im Gebäude erfolgte mit hoher Vorlauftemperatur, die Übergabe an die Raumluft mittels Radiatoren. Im Rahmen von Umbau und Sanierung wird für die Heizung ein Wechsel in

das Fernwärmenetz West der Stadtwerke Kaiserslautern vollzogen. Primärenergie und CO₂-Faktoren dieses Fernwärmenetzes liegen bei $f_p = 0,3$ (nach Kappung) und $f_{CO_2} = 115$ g/kWh. Neben der Fernwärmequelle ändern sich Verteilung und Übergabe im Gebäude. Die Vorlauftemperaturen werden abgesenkt und die Übergabe an die Raumluft auf Deckenstrahlplatten umgestellt, verbunden mit moderner Regelung. In dieser Kombination wurde die neue Heizung in die Gebäudesimulation übertragen.⁴

Im Rahmen der zweiten Sanierungsmaßnahme wurde eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung untersucht, für 9 der 12 beheizten Zonen. Die Zonen Technik, Verkehrsflächen und Innenhof verbleiben im untersuchten Szenario bei der klassischen Fensterlüftung.

Bei der dritten Einzelmaßnahme handelt es sich um aktive Kühlung mit einer Kompressionskältemaschine. Aufgrund des hohen Fensterflächenanteils und der hohen internen Wärmequellen lassen sich Übertemperaturstunden bei diesem Gebäude nicht rein durch passive Maßnahmen des sommerlichen Wärmeschutzes vermeiden. Die aktive Kühlung wurde für 8 der 12 Zonen untersucht. Ausgenommen sind wieder die Zonen Technik, Verkehrsflächen und Innenhof und zudem die Zone Wellness (mit Sauna) im Kellergeschoss von Gebäude 48.

Die vierte Einzelmaßnahme im Feld der Anlagentechnik behandelt die Umrüstung der Beleuchtung. In der Gebäudesimulation wurde diese von manuell bedienten Leuchtstoffröhren auf LED mit automatischer Präsenz- und Tageslichtkontrolle umgestellt.

In der fünften und letzten Einzelmaßnahme für die Sanierung der Anlagentechnik wurden mit der Software Solar-Computer die Auswirkungen einer PV-Anlage auf den Energiebedarf untersucht. Deren Stromertrag kann im Rahmen der Energiebilanzierung auf den Stromverbrauch der Anlagentechnik angerechnet werden. Für das neue Verwaltungsgebäude wurde mit einer PV-Leistung von 600 kW gerechnet. Aufgrund des Denkmalschutzes kann davon nur ein kleiner Teil auf dem Dach des Gebäudes installiert werden, ca. 100 kW. Die restlichen 500 kW sollen auf Dach und Fassade des benachbarten Parkhauses montiert werden.

Die Auswirkungen der Maßnahmen 1-5 auf den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen des Gebäudes sind in Tabelle 6 dargestellt. Beim Endenergiebedarf erzielt die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung mit 22,1% die mit Abstand größte Einsparung. An dieser Stelle kommen wieder die hohen Luftwechselraten von einem Großteil der Nutzungszonen zum tragen, in diesem Fall aber positiv. Mit Einsparungen von 7% entfaltet auch die PV-Anlage beim Endenergiebedarf eine nennenswerte Einsparung. Die Optimierung der Heizung wirkt sehr stark auf den Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen des Gebäudebetriebs, mit Einsparungen von 65,3 und 60,5%.

⁴ Vgl. Sängler, 2022, S. 1. Vgl. Winkler, 2022, S. 1.

Tabelle 6: Sanierung der Anlagentechnik – Einsparungen Energie & CO₂

Einzelmaßnahmen Heizung & Lüftung		Einsparungen					
		Endenergie		Primärenergie		CO ₂	
		[kWh/a]		[kWh/a]		[kg/a]	
6	Optimierung der Heizung	64.927	1,1%	5.077.692	65,3%	1.449.114	60,5%
7	Lüftungsanlage mit WRG	1.262.564	22,1%	1.393.789	17,9%	425.834	17,8%
8	Kompressionskältemaschine	21.337	0,4%	-22.709	-0,3%	-7.621	-0,3%
9	LED-Beleuchtung	52.429	0,9%	161.402	2,1%	50.753	2,1%
10	Photovoltaik-Anlage	411.812	7,2%	741.170	9,5%	230.596	9,6%

3.3 Einzelmaßnahmen im Überblick

Als Abschluss der Untersuchung von Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle und im Feld der Anlagentechnik werden deren Energie- und CO₂-Einsparungen in diesem Kapitel in einer gemeinsamen Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 7: Zusammenfassung aller Einzelmaßnahmen – Einsparungen Energie & CO₂

Einzelmaßnahmen		Einsparungen					
		Endenergie		Primärenergie		CO ₂	
		[kWh/a]		[kWh/a]		[kg/a]	
1	Dämmung der Außenwände	538.922	9,4%	702.763	9,0%	216.270	9,0%
2	Dämmung des oberen thermischen Abschlusses	221.604	3,9%	288.969	3,7%	88.855	3,7%
3	Dämmung des unteren thermischen Abschlusses	170.852	3,0%	222.671	2,9%	68.432	2,9%
4	Dämmung der Innenwände gegen unbeheizt	24.538	0,4%	32.006	0,4%	9.754	0,4%
5	Austausch der transparenten Außenbauteile	1.093.999	19,1%	1.427.929	18,4%	439.398	18,3%
6	Optimierung der Heizung	64.927	1,1%	5.077.692	65,3%	1.449.114	60,5%
7	Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	1.262.564	22,1%	1.393.789	17,9%	425.834	17,8%
8	Kompressionskältemaschine	21.337	0,4%	-22.709	-0,3%	-7.621	-0,3%
9	LED-Beleuchtung	52.429	0,9%	161.402	2,1%	50.753	2,1%
10	Photovoltaik-Anlage	411.812	7,2%	741.170	9,5%	230.596	9,6%

3.4 Gesamtmaßnahmen

Nach der Untersuchung der 10 Einzelmaßnahmen wurden diese zu insgesamt 6 Gesamtmaßnahmen kombiniert. Die hierbei gewählten Kombinationen sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Zusammensetzung der Gesamtmaßnahmen

Einzelmaßnahmen			Gesamtmaßnahmen					
			1	2	3	4	5	6
Thermische Gebäudehülle	1	Dämmung der Außenwände						
	2	Dämmung des oberen thermischen Abschlusses						
	3	Dämmung des unteren thermischen Abschlusses	X	X	X	X	X	X
	4	Dämmung der Innenwände gegen unbeheizt						
	5	Austausch der transparenten Außenbauteile						
Anlagentechnik	6	Optimierung der Heizung		X	X	X	X	X
	7	Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung			X	X	X	X
	8	Kompressionskältemaschine				X	X	X
	9	LED-Beleuchtung					X	X
	10	Photovoltaik-Anlage						X

Als gemeinsames Merkmal teilen die Gesamtmaßnahmen die energetische Ertüchtigung aller Bauteile der thermischen Gebäudehülle. In die Gesamtmaßnahmen 2 bis 6 sind zusätzlich verschiedene Einzelmaßnahmen im Feld der Anlagentechnik integriert. Deren Umfang steigt mit jeder Gesamtmaßnahme an, von einer zusätzlichen Einzelmaßnahme in Gesamtmaßnahme 2 auf das Maximum von 5 zusätzlichen Einzelmaßnahmen in Gesamtmaßnahme 6.

Die Auswirkungen der Gesamtmaßnahmen auf Energiebedarf und CO₂-Emissionen sind in Tabelle 9 zusammengefasst und in Abbildung 22 zusätzlich als Balkendiagramm aufbereitet, in normierter Form, mit den Ergebnissen des Gebäudebestandes als Referenz.

Tabelle 9: Gesamtmaßnahmen – Einsparungen Energie & CO₂

Gesamtmaßnahmen		Einsparungen					
		Endenergie		Primärenergie		CO ₂	
		[kWh/a]		[kWh/a]		[kg/a]	
1	Gebäudehülle	2.024.919	35,4%	2.642.332	34,0%	813.107	34,0%
2	Gebäudehülle + Heizung	2.106.611	36,8%	5.712.936	73,5%	1.690.684	70,6%
3	Gebäudehülle + Heizung + RLT	3.220.271	56,3%	5.307.221	68,3%	1.599.391	66,8%
4	Gebäudehülle + Heizung + RLT + Kühlung	3.159.459	55,3%	5.076.930	65,3%	1.529.434	63,9%
5	Gebäudehülle + Heizung + RLT + Kühlung + Beleuchtung	3.318.880	58,0%	5.478.682	70,5%	1.652.734	69,0%
6	Gebäudehülle + Heizung + RLT + Kühlung + Beleuchtung + PV	3.744.561	65,5%	6.245.000	80,4%	1.891.103	79,0%

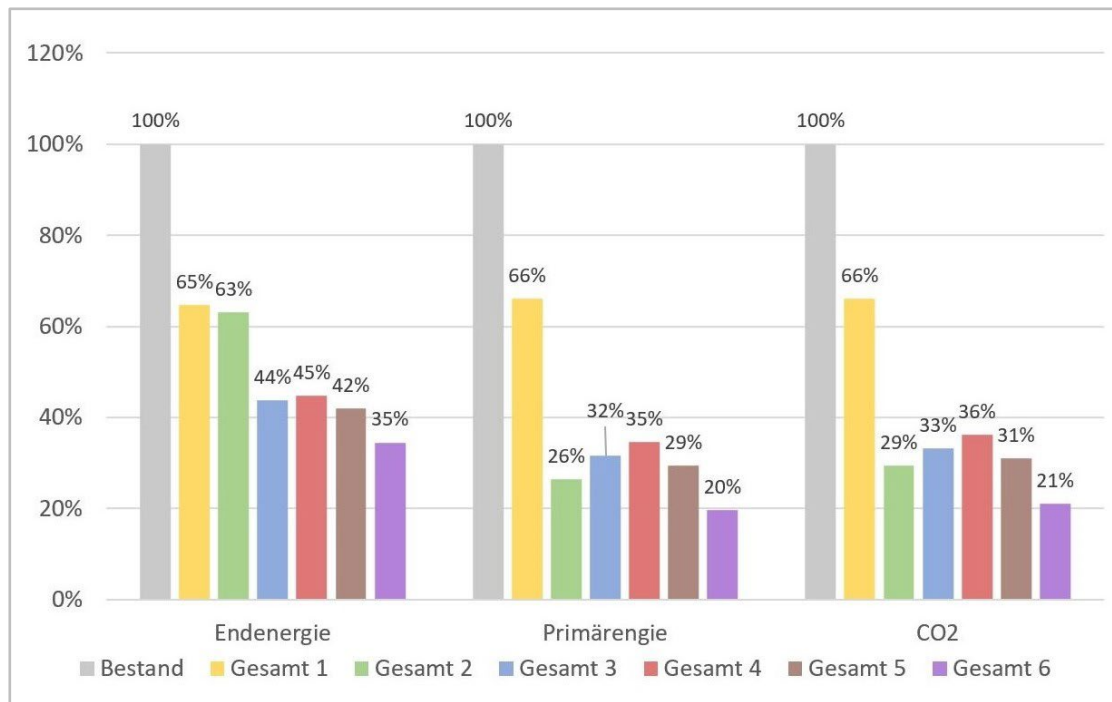


Abbildung 22: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der Gesamtmaßnahmen 1-6, normiert

Das Diagramm zeigt für die Gesamtmaßnahmen beim Endenergiebedarf Reduktionen auf 65 bis 35% des Ausgangswertes. Die Reduktion auf 65% wird mit der Sanierung der Gebäudehülle erreicht, die Reduktion auf 35% mit der zusätzlichen Integration aller 5 Maßnahmen im Feld der Anlagentechnik. Von diesen 5 Maßnahmen tragen aber nur mechanische Lüftung und die PV-Anlage nennenswert zur Einsparung von Endenergie bei.

Der Primärenergiebedarf sinkt – abhängig von der Maßnahmenkombination – auf 66 bis 20% des Ausgangswertes. Auch hier wird die kleinste Einsparung mit der auf die Gebäudehülle beschränkten Maßnahmenkombination erzielt und die größte mit der zusätzlichen Integration aller Technik-Maßnahmen. Die Auswirkungen der einzelnen Technik-Maßnahmen unterscheiden sich aber maßgeblich im Vgl. zur Kategorie Endenergiebedarf. Den größten Beitrag zur Einsparung liefert in diesem Fall nicht die mechanische Lüftung, sondern der Wechsel zur Fernwärme der Stadtwerke Kaiserslautern. Diese Dynamik gilt auch für die dritte Ergebnis-Kategorie, die CO₂-Emissionen. Das Abschneiden der Gesamtmaßnahmen ist in dieser Kategorie ihrem Abschneiden in der Kategorie Primärenergie sehr ähnlich, sowohl bezogen auf die Höhe der Einsparungen, als auch ihren Verlauf über die Gruppe von Gesamtmaßnahmen.

In Tabelle 10 sind für die 6 Gesamtmaßnahmen die Ergebnisse der Effizienzhaus-Bewertung aufgeführt. Für jede Effizienzhaus-Stufe müssen spezifische Grenzwerte in den Kategorien Primärenergiebedarf und mittlere U-Werte eingehalten werden. Die mittleren U-Werte eines Gebäudes lassen sich rein durch Maßnahmen an der Gebäudehülle beeinflussen, der Primärenergiebedarf zusätzlich auch durch Maßnahmen im Bereich der Anlagentechnik. Wie in Tabelle 8 dargestellt, umfassen alle 6 Gesamtmaßnahmen das volle Paket an

Sanierungsmaßnahmen im Bereich der thermischen Gebäudehülle. Beim Kriterium mittlere U-Werte erzielen die Gesamtmaßnahmen daher alle ein einheitliches und sehr gutes Ergebnis, den Standard Effizienzhaus 55. Für die Einstufung des gesamten Gebäudes verbleibt damit nur noch sein Primärenergiebedarf als Variable. Abhängig von den zusätzlich in die Gesamtmaßnahmen integrierten Einzelmaßnahmen im Bereich der Anlagentechnik werden bei diesem Kriterium 4 verschiedene Effizienzhaus-Stufen erreicht. Das beste Ergebnis liefern die Gesamtmaßnahmen 2 (Hülle + Heizung) und 6 (Hülle + komplette Technik), mit ihrer Einstufung Effizienzhaus 55 in dieser Bewertungs-Kategorie. Das gleiche Ergebnis erzielen diese beiden Maßnahmen auch bei der entscheidenden Bewertung über beide Kriterien.

Tabelle 10: Gesamtmaßnahmen – Bewertung bzgl. Effizienzhaus-Kriterien

Gesamtmaßnahmen		Primärenergie- bedarf		Mittlere U-Werte				Effizienzhaus- Stufe über alle Kriterien
				opake Außenbauteile	Transparente Außenbauteile	Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	Effizienzhaus- Stufe	
		kWh/ m²a	Effizienzhaus- Stufe	W/m²K	W/m²K			
1	Gebäudehülle	337	EG Denkmal	0,20	0,8	0,8	EG 55	EG Denkmal
2	Gebäudehülle + Heizung	135	EG 55					EG 55
3	Gebäudehülle + Heizung + RLT	162	EG 100					EG 100
4	Gebäudehülle + Heizung + RLT + Kühlung	177	EG 100					EG 100
5	Gebäudehülle + Heizung + RLT + Kühlung + Beleuchtung	150	EG 70					EG 70
6	Gebäudehülle + Heizung + RLT + Kühlung + Beleuchtung + PV	100	EG 55					EG 55

3.5 Energiebilanz des sanierten Zustandes

Die in diesem Kapitel dargestellte Energiebilanz des sanierten Zustandes basiert auf den Gesamtmaßnahmen 5 und 6. Ihre zentralen Ergebnisse sind in den folgenden 5 Abbildungen als Diagramme aufbereitet, und damit in einem Diagramm mehr als bei der Ergebnis-Darstellung der Energiebilanz des Ist-Zustandes (siehe Kapitel 2.5). Dieses zusätzliche Diagramm in Abbildung 25 zeigt die Auswirkungen der Anrechnung von PV-Strom-Gutschriften auf den Energiebedarf des Gebäudes.

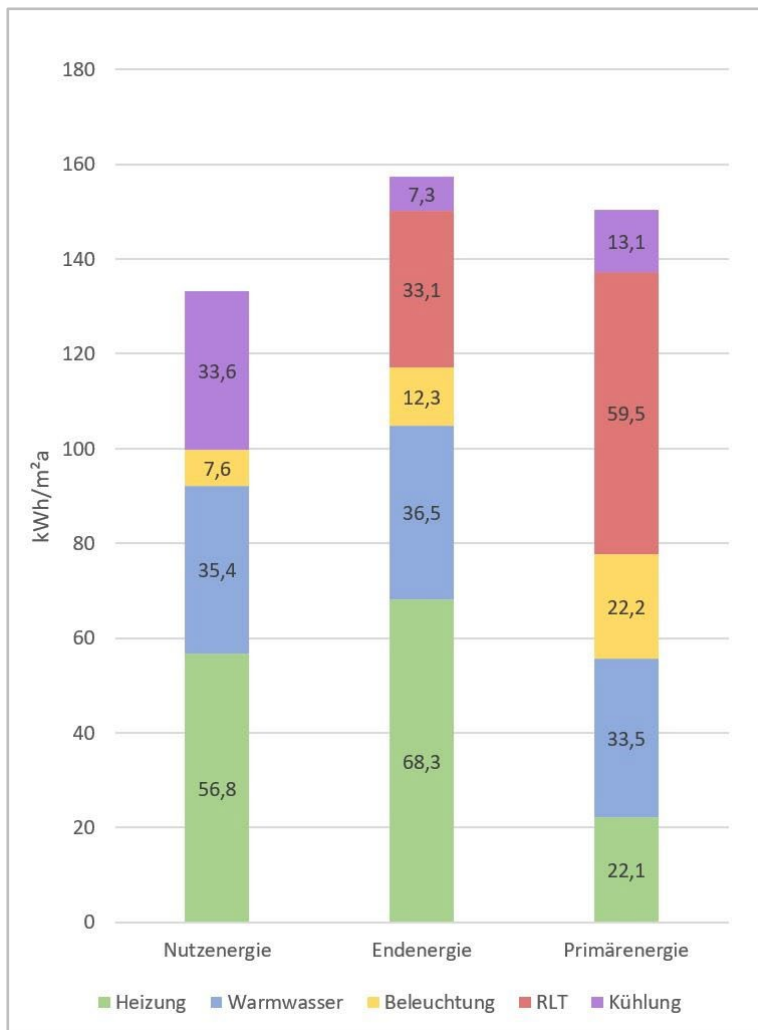


Abbildung 23: Energiebedarf des Gebäudes im sanierten Zustand, ohne PV

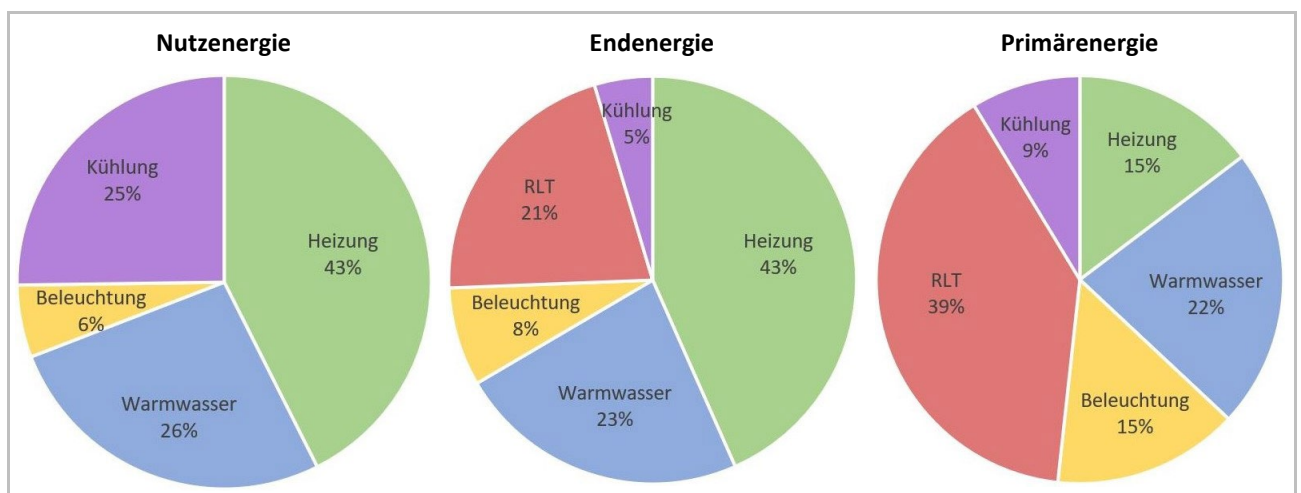


Abbildung 24: Aufteilung des Energiebedarfs auf die Konditionierungsformen, ohne PV

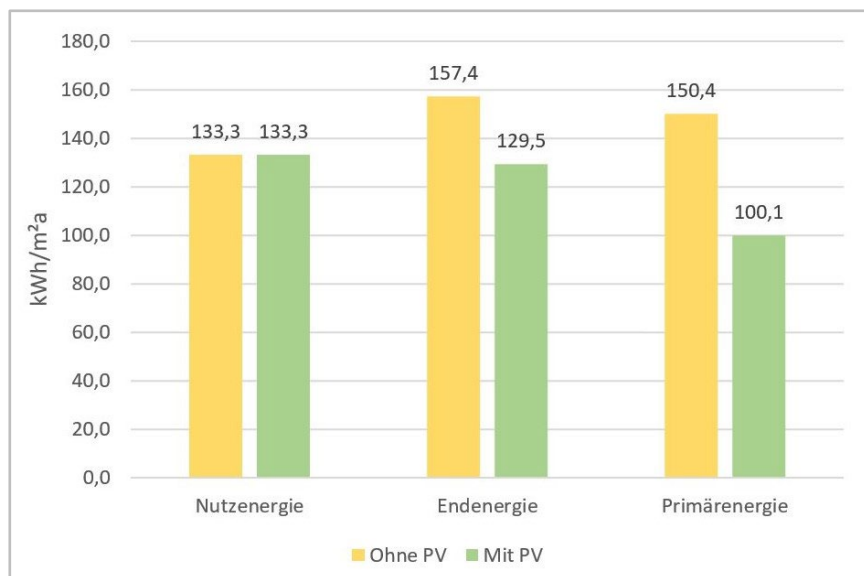


Abbildung 25: Auswirkungen der PV-Anlage auf den Energiebedarf

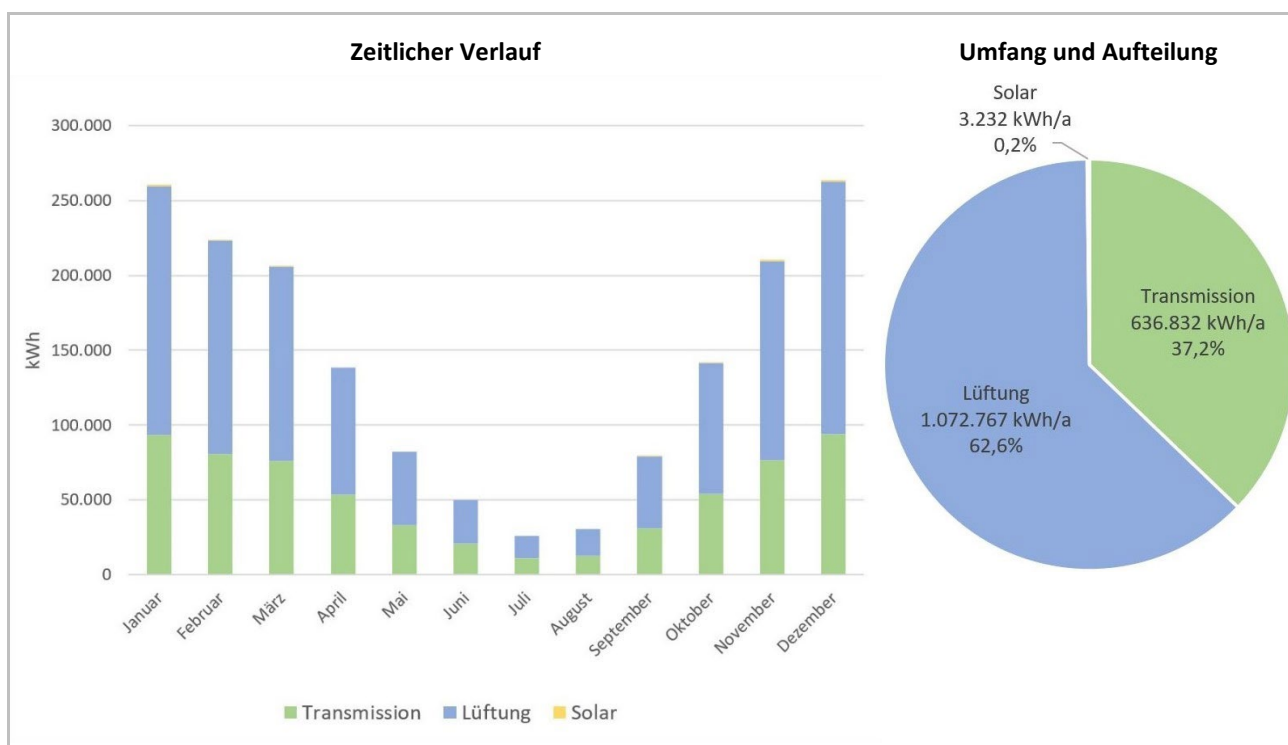


Abbildung 26: Wärmesenken im sanierten Zustand, ohne PV

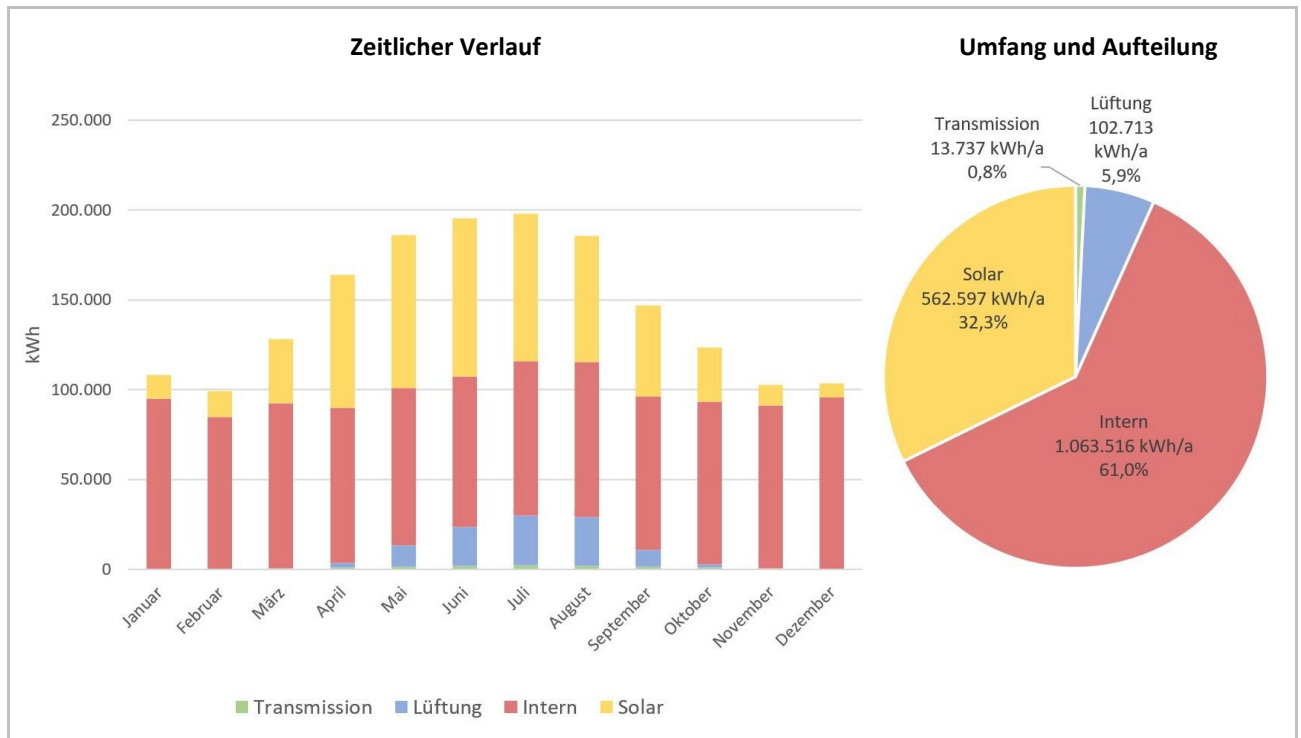


Abbildung 27: Wärmequellen im sanierten Zustand, ohne PV

4 Ausblick

Die Sanierung des denkmalgeschützten Neuen Verwaltungsgebäudes im Pfaff-Quartier steht am Ende des Forschungsprojektes kurz vor ihrem Abschluss, ein Teilbetrieb des Gebäudes läuft bereits seit Sommer 2024. Auf Grundlage des im Rahmen von AP 2.2.3 entwickelten Sanierungskonzeptes wird der anspruchsvolle Gebäudestandard „KfW Effizienzgebäude 70“ erreicht. Die Sanierung umfasst die Optimierung aller Bauteile der thermischen Gebäudehülle und der vollständigen Anlagentechnik

Quellenverzeichnis

DIN, Deutsches Institut für Normung, DIN 18599, **2018**:

Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung, Teil 1-12, Beuth Verlag, 2018.

IfaS, Institut für angewandtes Stoffstrommanagement, **2018**:

Luftaufnahmen im Pfaff-Quartier am 16.08.2022.

Sänger, Florian, **2022**:

Bescheinigung über die energetische Bewertung des Primärenergiefaktors des Fernwärmenetzes West der Stadtwerke Kaiserslautern, <https://www.swk-kl.de/fileadmin/data/downloads/pdfs/formularcenter/SW-Kaiserslautern-Bescheinigung-fp-FW-Netz-West.pdf>, Zugriff am 01.02.2024

Solar-Computer GmbH, **2024**:

Energiebericht, Zugriff über Modul B56 der Software Solar-Computer am 09.02.2024.

Winkler, Anton, **2022**:

Bescheinigung über die energetische Bewertung des CO₂-Emissionsfaktors des Fernwärmenetzes West der Stadtwerke Kaiserslautern, o. O., 2022.