

Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie sowie Befragung der Bewohner



Autoren

Kevin Knecht, Diego Sigrist

Auftraggeber

Baugenossenschaft Hagenbrünneli

Gemeinnützige Bau- und Mietergenossenschaft Zürich

Dübendorf, 9. Dezember 2019

Impressum

Autoren	Kevin Knecht, knecht@s3-engineering.ch Diego Sigrist, sigrist@s3-engineering.ch
Zitiervorschlag	Knecht, K., Sigrist, D., 2019, <i>Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie sowie Befragung der Bewohner</i> , s3 GmbH, Dübendorf
Auftraggeber	Baugenossenschaft Hagenbrünneli Lerchenberg 21, 8046 Zürich Gemeinnützige Bau- und Mietergenossenschaft Zürich Hohlstrasse 195, 8004 Zürich
Auftragnehmer	s3 GmbH Zürichstrasse 45, 8600 Dübendorf Tel. +41 44 552 94 84 www.s3-engineering.ch info@s3-engineering.ch
Objekt	Siedlung Klee Heinrich-Wolff-Strasse 7-21, 8046 Zürich Mühlackerstrasse 83-95, 8046 Zürich Weidmannstrasse 6-14, 8046 Zürich
Auftrag	17.019 – Studie Lüftungskonzepte Siedlung Klee
Titelbild	Siedlung Klee (Quelle: www.klee-gbmz.ch)
Inhaltliche Verantwortung	Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.
Haftungsausschluss	Die Informationen in diesem Bericht wurden auf Grundlage von als verlässlich eingeschätzten Quellen erhoben. s3 GmbH und die Autoren geben keine Garantie bezüglich Eignung oder Vollständigkeit der im Bericht dargestellten Informationen. Die s3 GmbH und die Autoren lehnen die rechtliche Haftung für jede Art von direkten, indirekten, zufälligen oder anderen Schäden, welcher Art auch immer, und Folgeschäden ausdrücklich ab.

Zusammenfassung

Eine energetisch optimierte Lüftung reduziert den Wärmebedarf eines Gebäudes im Betrieb, indem einerseits die umgesetzten Luftmengen kontrolliert werden können, und andererseits die Wärme in der Abluft über eine Wärmerückgewinnung (WRG) genutzt werden kann. Allerdings führen Herstellung und Installation eines Lüftungssystems auch zu einer nicht unwesentlichen Umweltbelastung sowie Installations- und Unterhaltskosten. In der vorliegenden Studie wurde anhand der Siedlung Klee in Affoltern eine zentrale Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und WRG sowohl finanziell als auch ökologisch mittels Lebenszyklusanalyse mit einer unkontrollierten (manuellen) Fensterlüftung mit Abluft verglichen. Für einen ganzheitlicheren Vergleich der beiden Lüftungskonzepte wurde zudem eine Mieterbefragung durchgeführt, in welcher die Bewohner zu Zufriedenheit mit der allgemeinen Luftqualität sowie dem Lüftungskonzept befragt wurden. Die Siedlung Klee befindet sich zu fast gleichen Teilen im Besitz der Baugenossenschaft Hagenbrünneli (BGH) und der Gemeinnützigen Bau- und Mietergenossenschaft Zürich (GBMZ) und bietet optimale Rahmenbedingungen für diesen Vergleich, da alle 339 Wohnungen über die gleiche Gebäudehülle, Nutzungsart und Wärmeversorgung (Gasheizung) verfügen. Allerdings erfolgt der Luftaustausch in den BGH-Wohnungen über eine (manuelle) Fensterlüftung, während die GBMZ-Wohnungen mittels zentraler Lüftungsanlage mit WRG kontrolliert be- und entlüftet werden.

In einem ersten Schritt wurden die Allgemestrom- sowie die Heizwärmeverbräuche der beiden Siedlungsteile ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass der Siedlungsteil mit zentraler Lüftungsanlage $3.93 \text{ kWh}/(\text{a} \cdot \text{m}^2_{\text{EBF}})$ mehr Allgemestrom verbraucht als der Siedlungsteil mit unkontrollierter Fensterlüftung, was einem Mehrverbrauch von 63 % entspricht. Diese grosse Differenz ist mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die Ventilatoren der zentralen Lüftungsanlagen zurückzuführen. Bei der Heizwärme dagegen weist der Siedlungsteil mit zentraler Lüftungsanlage einen 1.8 % geringeren Verbrauch auf als der Siedlungsteil mit unkontrollierter Fensterlüftung. Das theoretisch mögliche Einsparungspotential beläuft sich allerdings auf über 24 % und wird somit bei weitem nicht ausgeschöpft. Beim ökologischen Vergleich mittels Ökobilanzen schneidet die zentrale Lüftungsanlage bei allen drei Indikatoren schlechter ab, wobei die totale Umweltbelastung – ermittelt mit der Schweizer Methode der ökologischen Knappheit – fast 250 % höher ist als diejenige der Fensterlüftung mit Abluft. Finanziell über den gesamten Lebenszyklus betrachtet verursacht die zentrale Lüftungsanlage 380 % höhere Kosten, was auf die hohen Investitionskosten der Lüftungskomponenten, die höheren Stromkosten sowie die Kosten für Unterhalt und Wartung zurückzuführen ist. Um generell gültige Aussagen zu zentralen Lüftungsanlagen mit WRG machen zu können, wurde in einem nächsten Schritt ein Szenario untersucht, in dem die theoretisch mögliche Reduktion an Heizwärme durch optimales Nutzerverhalten und optimal funktionierende WRG erreicht wird. Zudem wurden optimistisch lange Lebensdauern für die Lüftungskomponenten sowie ein tieferer, Stromverbrauch der zentralen Lüftungsanlagen angenommen. Selbst in diesem idealen Szenario schneidet die zentrale Lüftungsanlage sowohl ökologisch wie auch finanziell schlechter ab. So werden zwar 74 % weniger Treibhausgasemissionen verursacht, doch führt die zentrale Lüftungsanlage immer noch zu einer 8 % höheren Umweltbelastung gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Schliesslich wurde auch noch ein fiktives Szenario untersucht, in dem die Wärmeerzeugung nicht mittels Gasheizung, sondern Erdwärmesonden-Wärmepumpen erfolgt. Die zentrale Lüftungsanlage schneidet in diesem Szenario deutlich schlechter ab gegenüber der Fensterlüftung mit Abluft. Grund dafür ist, dass es sich bei einer nachhaltigen Wärmeerzeugung ökologisch nicht lohnt, durch enormen Mehraufwand bei Lüftungskomponenten, Stromverbrauch und Wartung den Heizwärmeverbrauch zu reduzieren. Deshalb verursacht die zentrale Lüftungsanlage – selbst bei einem über 24 % tieferen Heizwärmeverbrauch gegenüber der unkontrollierten Fensterlüftung – über den ganzen Lebenszyklus betrachtet

85 % mehr Treibhausgasemissionen und eine 120 % höhere allgemeine Umweltbelastung. Die Lebenszykluskosten sind um 150 % höher als jene der unkontrollierten Fensterlüftung.

Die Mieterbefragung hat zudem gezeigt, dass die kontrollierte Wohnraumlüftung mittels zentraler Lüftungsanlage den wahrgenommenen Komfort nicht erhöht. Die KWL wird von den Mietern nicht als Mehrwert empfunden, statt dessen sind die Bewohner des GBMZ-Gebäudeteils signifikant weniger zufrieden mit der allgemeinen Luftqualität und dem verbauten Lüftungskonzept als die Bewohner des BGH-Gebäudeteils. Insbesondere stören sich die GBMZ-Bewohner an der trockenen Luft im Winter. Hinzu kommt, dass häufig genannte Vorteile der KWL, wie eine reduzierte Pollenbelastung, verminderte Lärmexposition oder die Verhinderung von Schimmelbildung, von den Bewohnern nicht – oder nicht signifikant häufiger als bei der Fensterlüftung – bestätigt wurden. Auch zeigte die Befragung, dass die GBMZ-Bewohner zu oft über die Fenster lüften, was eine der Ursachen der Diskrepanz zwischen dem gemessenen und dem theoretisch möglichen Heizwärmeverbrauch sein könnte. Ein Grund für den tieferen wahrgenommenen Komfort bzw. die tiefere Bewohnerzufriedenheit könnte die Tatsache sein, dass die Luftmengen nicht individuell einstellbar sind.

Basierend auf den Resultaten des Vergleichs scheint eine zentrale Lüftungsanlage kein Instrument zu sein, um die Ökobilanz eines Gebäudes zu verbessern oder die Kosten zu senken, sondern dient einer allfälligen Steigerung der Lufthygiene und des Komforts. Für das untersuchte Wohnobjekt zeigt sich diese Steigerung jedoch nicht in den Antworten der befragten Mieter. Damit zeigt die Siedlung Klee einerseits, dass eine KWL nicht pauschal zu Mehrwerten bei Lufthygiene und Komfort führen muss und andererseits, dass auch eine kostengünstige und umweltschonende Fensterlüftung zu einer hohen Bewohnerzufriedenheit und Komfort führen kann.

Im Idealfall, sprich, wenn eine KWL gut umgesetzt ist, kann Lufthygiene und Komfort gesteigert werden. Allerdings könnten diese Mehrwerte auch mit weniger materialintensiven, dezentralen Lüftungsanlagen erreicht werden. Die finanzielle und ökologische Bilanz solcher Systeme, bei welchen teilweise auch gewisse Formen der WRG möglich sind, könnte wesentlich besser ausfallen als diejenige der zentralen Lüftungsanlage. Auf diese Weise könnten die Mehrwerte einer KWL auch mit geringeren Umweltauswirkungen und Kosten erreicht werden.

Glossar

a	Jahr (Einheitenkürzel)
Annuität	Indikator der Lebenszykluskostenrechnung (LCC): Jährlich fließende, gleichbleibende Zahlung. Setzt sich zusammen aus der Abzahlung des (fiktiv) aufgenommenen Darlehens für die Investition inklusive Zinsen, den jährlichen Kosten und einer Rückstellung für die Zahlung der Demontage und Entsorgung am Ende der Lebenszeit.
BGH	Baugenossenschaft Hagenbrünneli
BKP	Baukostenplan: Transparente Darstellung der Baukosten nach Arbeitsgattungen oder nach Bauteilen
CHF	Schweizer Franken (Einheitenkürzel)
CO ₂	Kohlenstoffdioxid: Eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff. CO ₂ ist ein Treibhausgas.
EBF	Energiebezugsfläche: Die Summe aller Grundflächen eines Gebäudes, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Beheizen notwendig ist.
GBMZ	Gemeinnützige Bau- und Mietergenossenschaft Zürich
GWP	Global Warming Potential (Dt. Treibhauspotential): Indikator der LCA-Methode IPCC 2013
Heizwärmeverbrauch	Thermische Energie [kWh], die innerhalb eines Jahres zum Heizen verbraucht wird.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Dt. Zwischenstaatlicher Ausschuss über Klimaveränderung)
JAZ	Jahresarbeitszahl: Kennzahl, die beschreibt, wie effizient ein Wärmepumpensystem am Standort arbeitet. Sie berücksichtigt jegliche Pumpenenergien und Verbräuche für Verdampfer und Kompressor, welche für die Erzeugung der Wärme notwendig sind. Eine JAZ von 4 bedeutet, dass elektrische Energie in der Höhe eines Viertel der erzeugten Heizwärme verbraucht wird.
kg CO ₂ -Äqu.	Kilogramm CO ₂ -Äquivalente: Einheit des Treibhausgaspotentials (GWP). Alle verursachten Treibhausgase eines Prozesses oder Produktes werden auf das Treibhausgaspotential von CO ₂ umgerechnet.
Korrelation	Statistisches Zusammenhangsmass, welches Aufschluss gibt, ob und wie stark zwei Variablen gemeinsam variieren
kW	Kilowatt (Einheitenkürzel): Einheit der Leistung
kWh	Kilowattstunde (Einheitenkürzel): Einheit der Energie
KWL	Kontrollierte Wohnraumlüftung
LCA	Life Cycle Assessment/Analysis (Dt. Lebenszyklusanalyse): Ökobilanzierung über den gesamten Lebenszyklus

LCC	Life Cycle Costing (Dt. Lebenszykluskostenrechnung): Berechnung der Kosten eines Systems über den gesamten Lebenszyklus
LCI	Life Cycle Inventory (Dt. Ökologische Sachbilanz)
MJ	Megajoule (Einheitenkürzel): Energieeinheit
n	Stichprobenumfang: Anzahl Individuen, welche die statistische Erhebung umfasst
PENR	Primary Energy Non-Renewable (Dt. Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf) [MJ]: Indikator der LCA-Methode Cumulative Energy Demand
PWW	Pumpwarmwasser
s	Empirische Standardabweichung: Streuungsmass, das angibt, wie die Daten um den Mittelwert verteilt sind
Sensitivitätsanalyse	Bei der Sensitivitätsanalyse wird durch das Variieren wichtiger Faktoren die Stabilität eines Systems evaluiert und die Unsicherheiten der Berechnungen bestimmt.
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
statistisch signifikant	Ein gemessener Zusammenhang zwischen zwei Variablen tritt nicht zufällig auf, sondern lässt sich über die Stichprobe hinaus auf eine Grundgesamtheit generalisieren
TH	Treppenhaus
UBP	Umweltbelastungspunkte: Indikator der LCA-Methode Methode der ökologischen Knappheit
WRG	Wärmerückgewinnung

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	1
1 Einführung.....	1
1.1. Ausgangslage.....	1
1.2. Ziel der Studie.....	1
1.3. Siedlung Klee.....	2
1.4. Die beiden unterschiedlichen Lüftungskonzepte.....	4
2 Methodik.....	10
2.1. Lebenszyklusanalyse.....	10
2.2. Lebenszykluskostenrechnung.....	11
2.3. Funktionelle Einheit.....	11
2.4. Mieterbefragung.....	12
3 Sachbilanzdaten und Modellierungsannahmen.....	16
3.1. Komponenten.....	16
3.2. Rohbau: Mehrverbrauch Stahlbeton.....	17
3.3. Betrieb: Stromverbrauch.....	18
3.4. Betrieb: Heizwärmeverbrauch.....	19
3.5. Unterhalt & Wartung.....	20
4 Resultate und Diskussion der Bilanzierungen.....	21
4.1. Energiebilanzen.....	21
4.2. Ökobilanz.....	24
4.3. Lebenszykluskostenrechnung.....	26
5 Sensitivitätsanalysen der Bilanzierungen.....	27
5.1. Einfluss der finanziellen Parameter.....	27
5.2. Ergebnisse bei idealem Nutzerverhalten und idealer Wärmerückgewinnung.....	29
5.3. Ergebnisse bei längeren Lebensdauern der Komponenten.....	33
5.4. Verallgemeinertes Szenario mit Erdwärmesonden-Wärmepumpen und Schweizer Verbrauchermix.....	36
6 Resultate und Diskussion der Mieterbefragung.....	44
6.1. Beschreibung der beiden Stichproben.....	44
6.2. Luftqualität und Komfort.....	45
6.3. Lüftungsverhalten.....	49
6.4. Lüftungskonzept.....	51
6.5. Diskussion.....	56
7 Fazit und Ausblick.....	59

Literaturverzeichnis.....	61
Abbildungsverzeichnis.....	62
Tabellenverzeichnis.....	63
Anhang.....	64
Anhang A – Energiebezugsflächen der beiden Gebäudeteile.....	64
Anhang B – Prinzipschemata der Wärmeversorgung.....	65
Anhang C – Formeln der Annuitätenmethode.....	67
Anhang D – Strombedarf der Abluft-Ventilatoren der BGH-Nasszellen.....	68
Anhang E – Strombedarf der Ventilatoren der zentralen Lüftungsanlagen.....	68
Anhang F – Ökologische Sachbilanzen (LCI).....	69
Anhang G – Weitere Resultate der Mieterbefragung.....	78
Anhang H – Fragebogen.....	80

Vorwort

Die vorliegende Studie entspricht der mittlerweile dritten Version, welche gegenüber der Version vom 14.03.2019 mit einer Mieterbefragung ergänzt wurde. Zudem wurde der Bericht teilweise überarbeitet bzw. umstrukturiert.

1 Einführung

1.1. Ausgangslage

Die Senkung der CO₂-Emissionen und des Primärenergieverbrauchs sind zentrale Ziele der Schweizer Umweltpolitik. Dabei bietet der Gebäudesektor ein besonders grosses Reduktionspotenzial, da er für 27 % der CO₂-Emissionen sowie 43 % des Energieverbrauchs in der Schweiz verantwortlich ist [1,2].

Insbesondere bei stark gedämmten Neubauten wird ein guter Teil der Wärmeverluste eines Gebäudes durch die Lüftung der Räume verursacht. Die Höhe dieser Lüftungswärmeverluste hängt ab von der Art der Lüftung, der Steuerung sowie dem Vorhandensein einer Wärmerückgewinnung (WRG). Eine energetisch optimierte Lüftung reduziert den Wärmebedarf eines Gebäudes im Betrieb, indem einerseits die umgesetzten Luftmengen kontrolliert werden können, und andererseits ein grosser Teil der Wärme in der Abluft über die WRG genutzt werden kann. Des Weiteren kann mit einer Lüftung der Schallschutz gegen aussen auch während der Lüfterneuerung gewährleistet und die Lufthygiene auch bei hoher Aussenluftbelastung sichergestellt werden. Aus diesen Gründen schreiben gewissen Baustandards, wie zum Beispiel die Minergie-Standards, eine kontrollierte Aussenluftzufuhr vor.

Kaum beachtet wird jedoch häufig, dass Herstellung und Installation eines Lüftungssystems zu einer nicht unwesentlichen Umweltbelastung sowie Installations- und Unterhaltskosten führen. Es stellt sich die Frage, wie Lüftungskonzepte mit unterschiedlicher Materialintensität und unterschiedlichen energetischen Effekten über den ganzen Lebenszyklus ökologisch und finanziell abschneiden. Bisher liegen keine detaillierten Studien mit einer gesamtheitlichen Betrachtung von verschiedenen Lüftungskonzepten vor.

Neben den ökologischen und ökonomischen Aspekten stellt sich auch die Frage, inwiefern eine kontrollierte Wohnraumlüftung (KWL) den Komfort bzw. die Zufriedenheit der Bewohner tatsächlich erhöht. Dies wurde bereits in mehreren Umfragen untersucht.

1.2. Ziel der Studie

Am Beispiel der Siedlung Klee in Zürich-Affoltern soll mithilfe einer ökologischen Lebenszyklusanalyse (LCA) untersucht werden, ob der Einbau einer zentralen Lüftungsanlage mit WRG (System mit hoher Materialintensität) im konkreten Fall zu einem ökologischen Mehrwert gegenüber der unkontrollierten Fensterlüftung mit Abluft (System mit geringer Materialintensität) geführt hat. Ausserdem soll anhand der Projekt- und Betriebskosten eine Lebenszykluskostenrechnung (LCC) durchgeführt werden, um die ökologische Betrachtung durch eine finanzielle Analyse zu ergänzen. Durch verschiedene Sensitivitätsanalysen soll diese Untersuchung so weit wie möglich verallgemeinert werden, um generelle Aussagen bezüglich der ökologischen und finanziellen Aspekte zentraler Lüftungsanlagen mit WRG abzuleiten.

Um eine ganzheitlichere Beurteilung der beiden Lüftungskonzepte zu ermöglichen, soll zudem untersucht werden, ob sich die Zufriedenheit der Bewohner mit verschiedenen Aspekten wie Luftqualität und Komfort in den beiden Gebäudeteilen unterscheidet. Zu diesem Zweck soll eine detaillierte Mieterbefragung durchgeführt werden. Anhand von Fragebögen soll das Empfinden der allgemeinen Luftqualität (Komfort), das Lüftungsverhalten und die Zufriedenheit mit dem jeweiligen Lüftungskonzept ermittelt werden.

In der vorliegenden Studie werden somit drei relevante Faktoren für die Bewertung der beiden Lüftungskonzepte untersucht: Kosten, Umweltauswirkungen und Komfort bzw. Zufriedenheit der Bewohner. Für einen ganzheitlichen und abschliessenden Vergleich müssten jedoch zusätzlich noch die hygienischen bzw. gesundheitlichen Aspekte untersucht werden. Dabei müsste für die Siedlung Klee untersucht werden, inwiefern die KWL mittels zentraler Lüftungsanlage mit WRG zu einem gesünderen Raumklima führt. Somit beschränken sich die Aussagen dieser Studie auf die ökologischen und finanziellen Auswirkungen sowie den Komfort der beiden betrachteten Lüftungskonzepte.

1.3. Siedlung Klee

Die Siedlung Klee in Zürich-Affoltern mit insgesamt 339 Wohnungen wurde im Jahr 2011 fertiggestellt. Sie befindet sich zu fast gleichen Teilen im Besitz der Baugenossenschaft Hagenbrünneli (BGH) und der Gemeinnützigen Bau- und Mietergenossenschaft Zürich (GBMZ). Die Wohnungen im Teil der GBMZ werden über eine zentrale Lüftungsanlage kontrolliert be- und entlüftet. Die BGH verzichtete dagegen auf eine zentrale Lüftungsanlage und setzte auf das herkömmliche Lüftungskonzept der unkontrollierten (manuellen) Fensterlüftung mit mechanischer Abluft in den Nasszellen und Küchen (Betrieb nur bei Bedarf, keine kontinuierliche Belüftung). Da Gebäudestruktur und -hülle, die Nutzungsart sowie die Wärmeversorgung der beiden Gebäudeteile praktisch identisch sind, bietet die Siedlung Klee beinahe optimale Rahmenbedingungen, um die beiden Lüftungskonzepte ökologisch und finanziell zu vergleichen. So können die Effekte der Lüftung im Betrieb direkt anhand der energetischen Verbräuche der beiden Gebäudeteile untersucht werden.

In Tabelle 1 sind die Eckdaten¹ der beiden Gebäudehälften gegenübergestellt.

Tabelle 1: Allgemeine Angaben zum BGH- und GBMZ-Gebäudeteil

	BGH-Gebäudeteil	GBMZ-Gebäudeteil
Lüftungskonzept der Wohnungen	Unkontrollierte (manuelle) Fensterlüftung mit Abluft	Zentrale Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und WRG
Wärmeerzeugung	Gas (Heizung, Warmwasser), thermische Solarkollektoren (Warmwasser)	
Energiebezugsfläche ² (EBF) [m ²]	18'830	19'507
Geschossfläche [m ²]	28'816	28'789
Anzahl Bewohner	ca. 380	ca. 460
Anzahl Wohnungen	173	166

Zu den Energiebezugsflächen (EBFs) liegen unterschiedliche Angaben vor, wobei die plausibelsten Werte verwendet werden (die unterschiedlichen Angaben zu den EBFs werden im Anhang A gezeigt und diskutiert). Da die EBFs jedoch nur dazu verwendet werden, eine funktionelle Einheit zu bilden (sprich die Umweltauswirkungen und Kosten auf einen Quadratmeter EBF zu beziehen), würden andere EBFs nichts an den Bilanzen ändern, sofern die prozentualen Abweichungen (zwischen den beiden EBFs) gleich bleiben. Es werden jeweils alle Kosten und Umweltauswirkungen für die beiden Siedlungsteile respektive für eines der zehn Wohnhäuser als Total bilanziert und anschliessend durch die EBFs der beiden Gebäudeteile respektive eines Wohnhauses geteilt.

¹ Gemäss Leiter technische Liegenschaftsbewirtschaftung BGH

² Gemäss Minergie-Heizwärmebedarf-Berechnungen (Objekt-Nr. 526 und 527) der Kopitsis Bauphysik AG

In Abbildung 1 ist der Grundriss der Siedlung Klee zu sehen, wobei die Siedlung in zehn Sektoren und 20 Treppenhäuser unterteilt ist (jeder Sektor umfasst 2 Treppenhäuser). Jedes Treppenhaus verfügt über eine eigene Liftanlage. Die Sektoren 1-5 (Treppenhäuser 1-10) gehören der BGH – die Sektoren 6-10 (Treppenhäuser 11-20) der GBMZ.

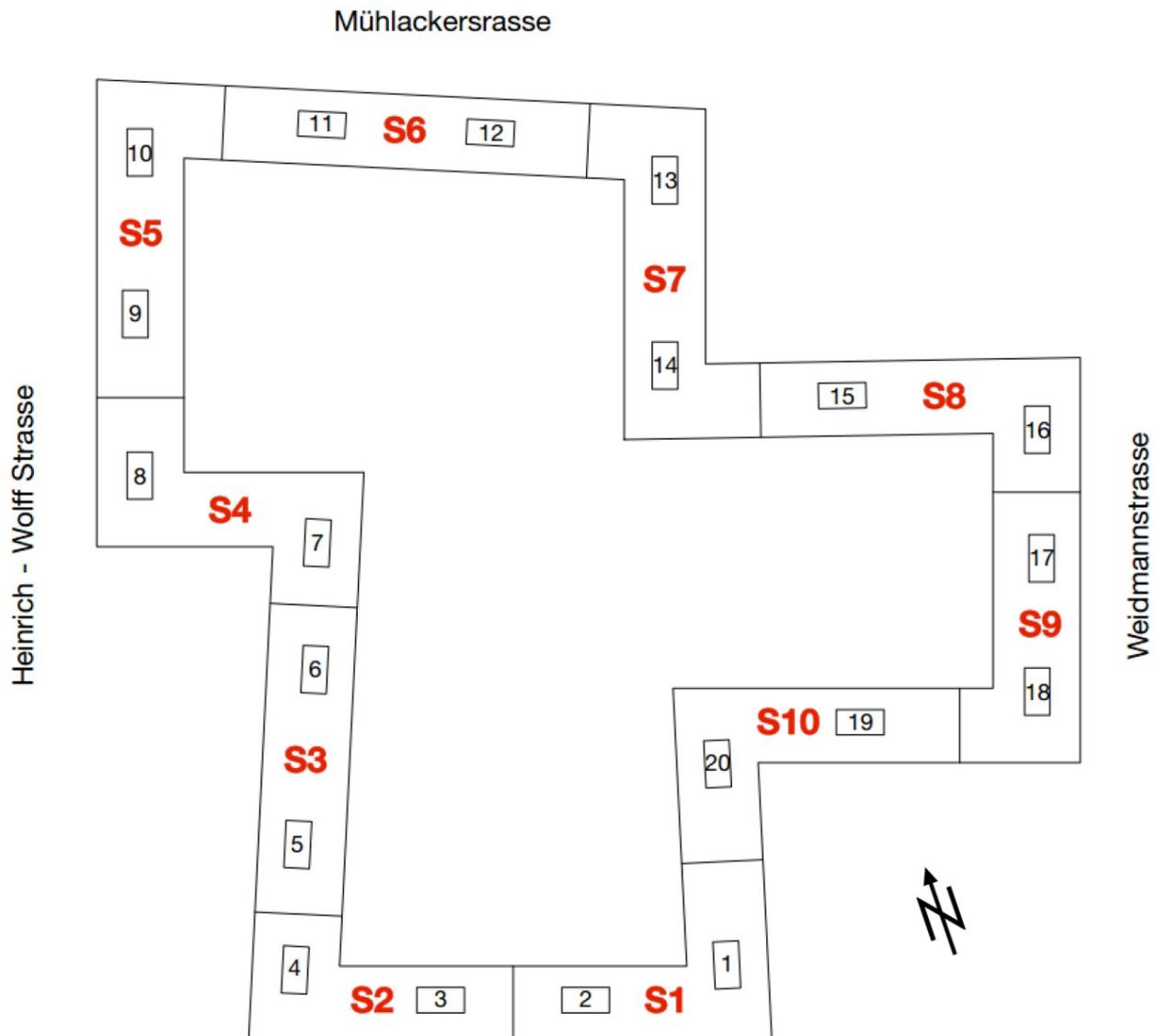


Abbildung 1: Grundriss der Siedlung Klee (Knapkiewicz & Fickert AG 2008)

Sowohl der BGH- wie auch der GBMZ-Gebäudeteil der Siedlung Klee verfügt über eine Heizzentrale mit jeweils zwei Gasbrennwertkessel (vom Typ Hoval UltraGas 400). Die Raumheizung erfolgt in beiden Gebäudeteilen ausschliesslich über die Gasheizung – die thermischen Solarkollektoren werden nur für die Warmwasseraufbereitung genutzt. Zudem verwendeten während der betrachteten Zeitperiode beide Gebäudeteile dieselbe Heizgrenze und -kurve. Mittlerweile wurden jedoch teilweise Veränderungen vorgenommen. Die Prinzipschemata der beiden Heizzentralen sowie der Wärmeversorgung im BGH- und GBMZ-Gebäudeteil werden im Anhang B gezeigt.

1.4. Die beiden unterschiedlichen Lüftungskonzepte

1.4.1. BGH: Unkontrollierte (manuelle) Fensterlüftung mit Abluft

In den BGH-Wohnungen erfolgt der Luftaustausch über das manuelle Öffnen der Fenster durch die Bewohner. Die Nasszellen sowie die Küchen enthalten allerdings eine mechanische Abluft, die nach Bedarf anspringt. Die Fortluft wird durch die Nasszellen- bzw. Küchenventilatoren vertikal nach oben übers Dach abgeführt, wobei auf dem Dach keine zusätzlichen Ventilatoren vorhanden sind. Die Nasszellenventilatoren weisen einen Volumenstrom von 60 m³/h und die Küchenventilatoren weisen einen Volumenstrom von 272-581 m³/h auf. Die BGH-Wohnungen verfügen über Dreh-Kipp-Fenster, sprich die Fenster können sowohl vollständig geöffnet (z.B. zum Stosslüften) wie auch gekippt (z.B. zum Dauerlüften) werden. In Abbildung 2 wird der Grundriss einer BGH-Wohnung gezeigt. Die Abluftkanäle sind jeweils mit oranger Farbe eingezeichnet.

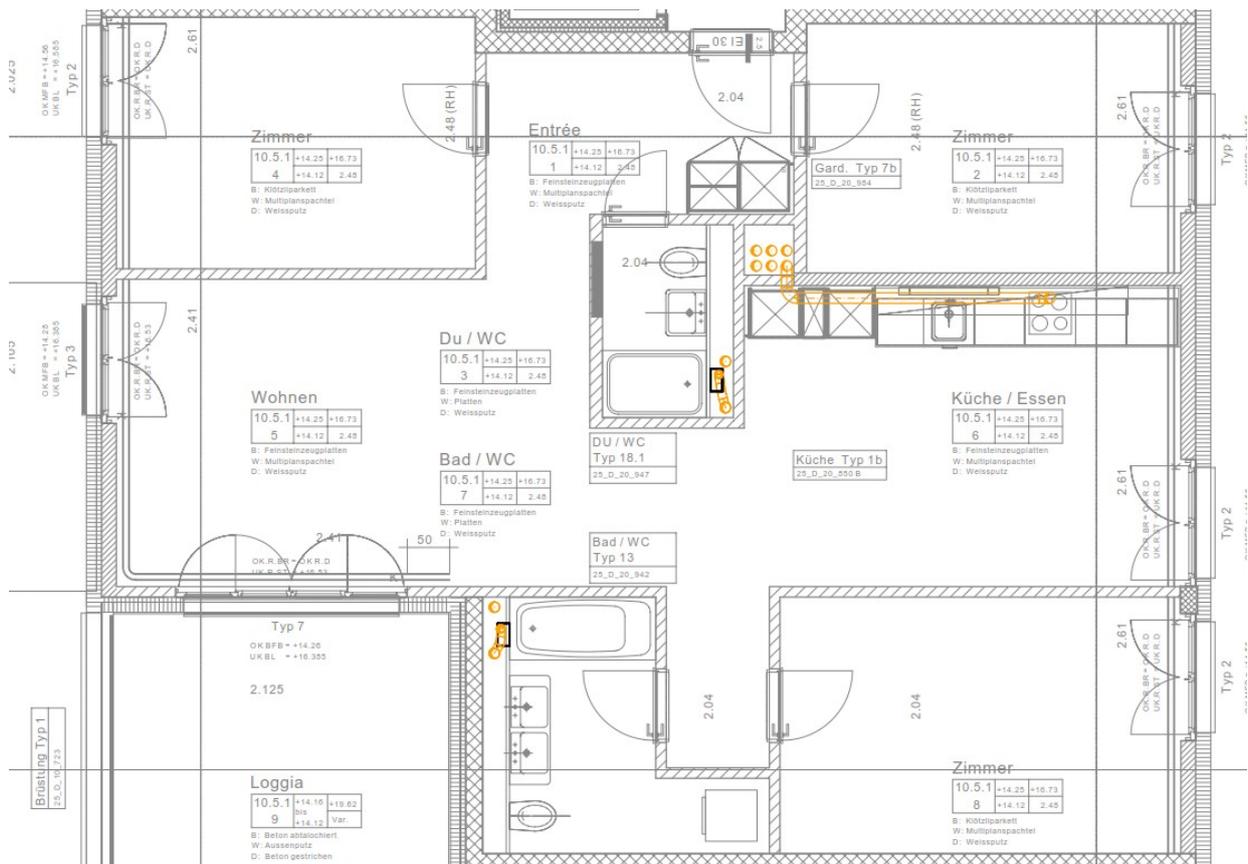
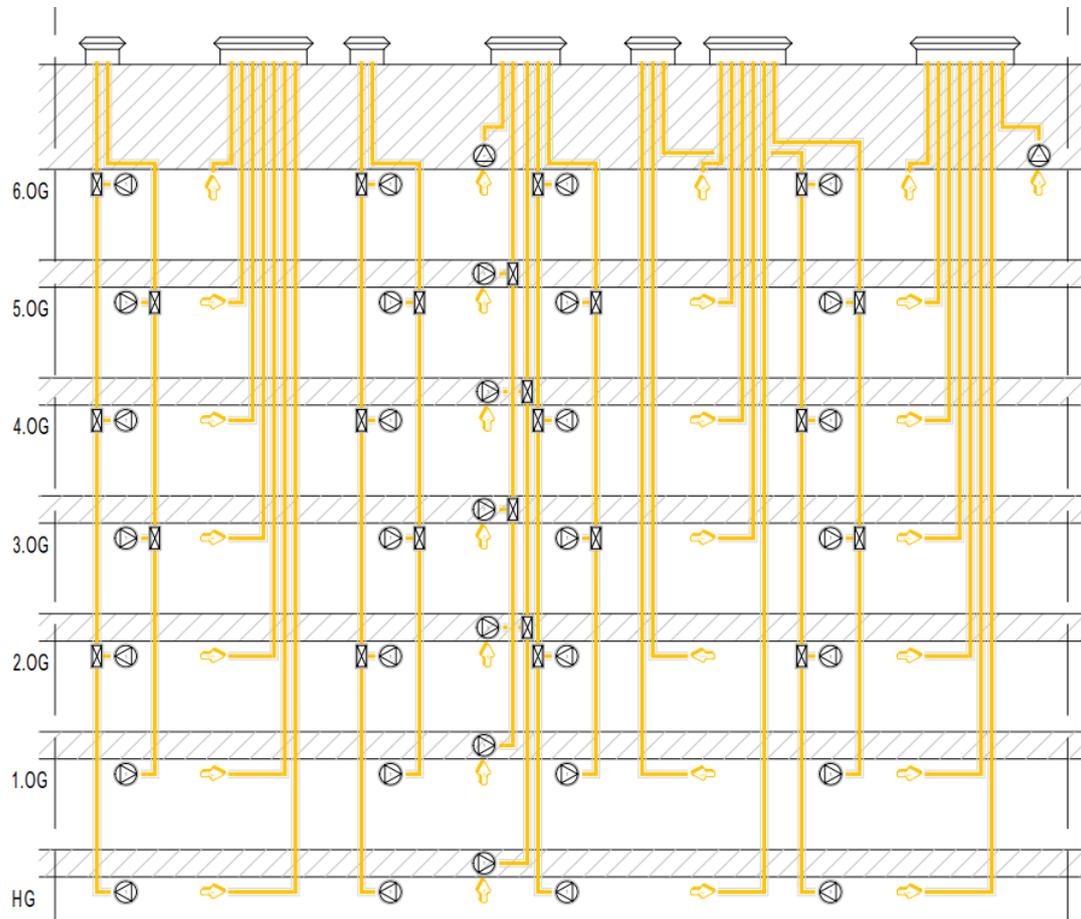


Abbildung 2: Lüftungsplan einer BGH-Wohnung (Todt Gmür und Partner AG 2011)

Das Strangschema der Abluftanlagen in Treppenhaus 1 ist in Abbildung 3 gezeigt. Darauf werden jeweils nur die Ventilatoren der Nasszellen aufgeführt, da die Küchenventilatoren bereits in den Dunstabzugshauben enthalten sind.



**Abbildung 3: Strangschema von Treppenhaus 1 im BGH-Gebäudeteil
(Todt Gmür und Partner AG 2011)**

Zu erwähnen ist, dass in den BGH-Wohnungen Nachströmelemente fehlen. Aufgrund der luftdichten Gebäudehülle (ursprünglich war auch in den BGH-Wohnungen eine KWL geplant) und der mechanischen Abluft in den Nasszellen und Küchen entsteht beim Betrieb der Abluftanlagen ein Unterdruck in den Wohnungen, sprich der Ist-Zustand ist nicht normkonform. Für einen «fairen» Vergleich müssen daher Nachströmelemente berücksichtigt werden. Deshalb wird im idealen Szenario (Kapitel 5.2) davon ausgegangen, dass pro BGH-Wohnung jeweils drei Nachströmelemente verbaut sind.³ Somit wird ein fairer ökologischer und finanzieller Vergleich der beiden Lüftungskonzepte sichergestellt.

³ Die Nachströmelemente werden so ausgelegt, dass sie den Luftvolumenstrom der Nasszellenventilatoren (Abluftvolumenstrom abzüglich der Gebäudeundichtigkeit) kompensieren können. Der Luftvolumenstrom der Küchenventilatoren wird nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass bei den Dunstabzugshauben ein Fensterkontaktschalter eingesetzt werden würde.

1.4.2. GBMZ: Zentrale Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und Wärmerückgewinnung

Die GBMZ-Wohnungen werden über eine zentrale Lüftungsanlage kontrolliert be- und entlüftet, wobei jedes der zehn Treppenhäuser über eine eigene Lüftungszentrale verfügt. Die Zuluft wird jeweils in die Wohn- und Schlafzimmer hineingeführt und die Abluft in den Nasszellen und Küchen abgesaugt. Die Lüftungszentrale ist zudem mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet, wobei ein Gegenstrom-Plattentauscher verwendet wird. Damit wird bis zu 80 % der Abluftwärme auf die Zuluft übertragen.⁴ Um die Zuluft auf das gewünschte Temperaturniveau anzuheben, verfügen die Lüftungszentralen ausserdem über Lufterhitzer. Die Zuluft wird dabei mit Pumpwarmwasser erwärmt, welches durch das Heizsystem erzeugt wurde. Dies geschieht sowohl im Abtau- wie auch Normalbetrieb. Der thermisch wirksame Aussenluftvolumenstrom beträgt 0.36 m³/(h*m²). Die Bewohner können die Betriebsstufe der Lüftung nicht selber einstellen, sprich sie können den Volumenstrom nicht regulieren. Im Gegensatz zu den BGH-Wohnungen verfügen die GBMZ-Wohnungen über Dreh-Fenster, sprich die Fenster sind nicht kippbar. Auf diese Weise wird das Dauerlüften unterbunden. In Abbildung 4 ist der Grundriss einer GBMZ-Wohnung abgebildet. Die Zuluftrohre sind jeweils rot und die Abluftrohre gelb eingefärbt.

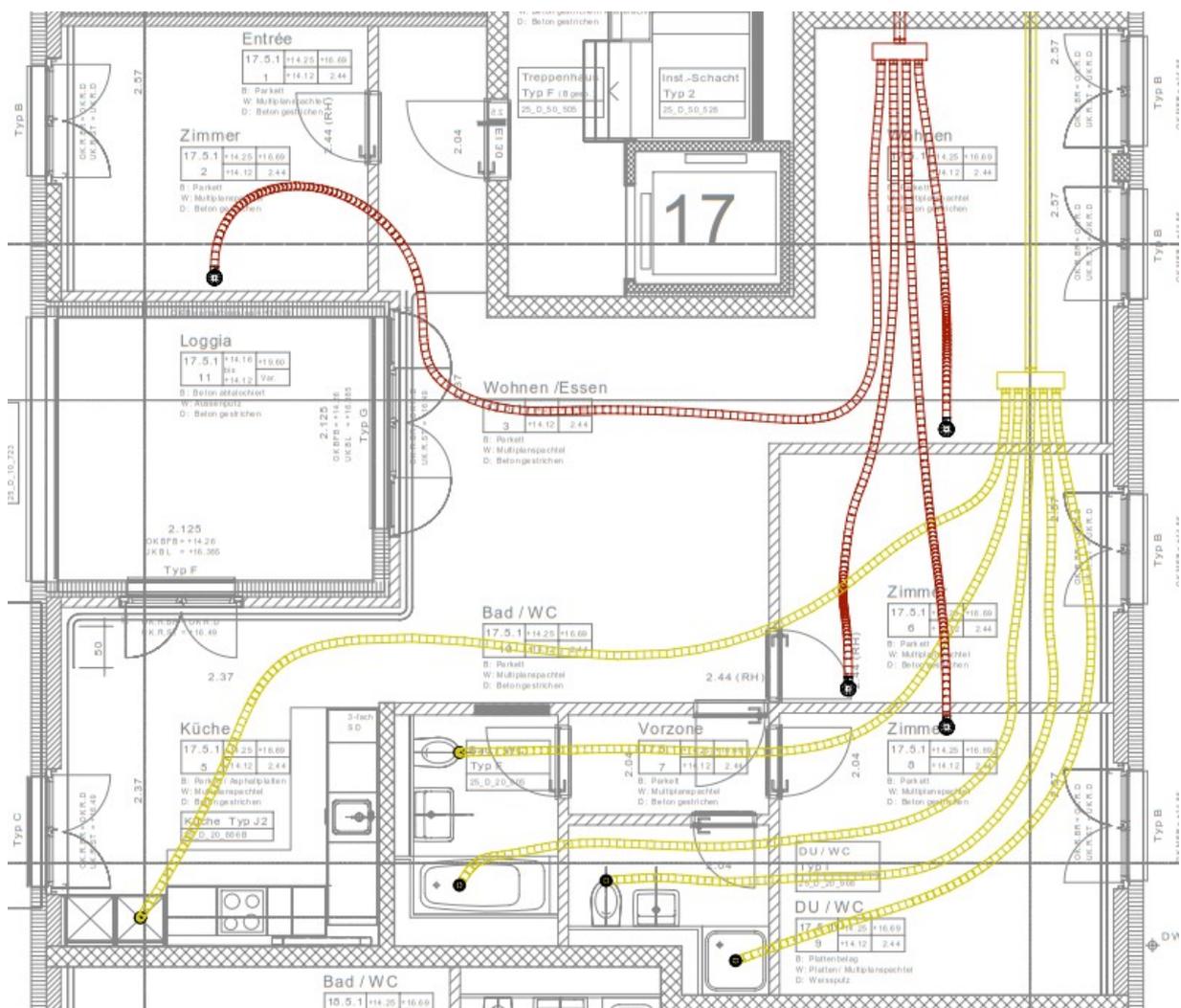


Abbildung 4: Lüftungsplan einer GBMZ-Wohnung (Todt Gmür und Partner AG 2011)

⁴ Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung gemäss Minergie-Nachweis des GBMZ-Gebäudeteils

Das Strangschema der zentralen Lüftungsanlage in Treppenhaus 11 ist in Abbildung 5 gezeigt. Die Zuluft ist wiederum rot und die Abluft orange gekennzeichnet.

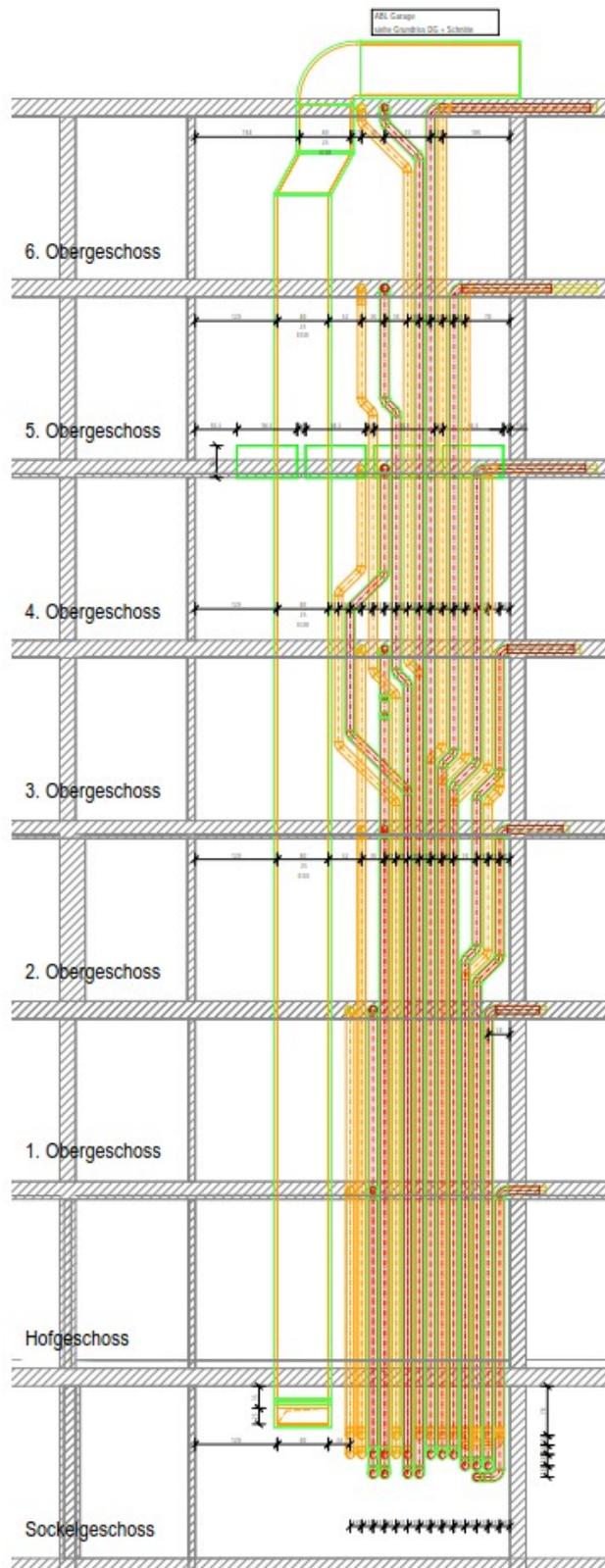


Abbildung 5: Strangschema von Treppenhaus 11 im GBMZ-Gebäudeteil (Todt Gmür und Partner AG 2011)

Die vertikale Luftverteilung in den Steigzonen erfolgt über Lüftungsrohre aus verzinktem Stahlblech. Die horizontale Luftverteilung erfolgt grösstenteils über Lüftungsrohre aus Polyethylen, welche in den Betondecken eingelegt sind. Die verwendeten Komponenten entsprechen dem Stand der Technik. Inwiefern die Luftverteilung optimiert hätte gestaltet werden können, wird in dieser Studie nicht näher untersucht.

In Abbildung 6 ist das Prinzipschema des Monoblocks von Treppenhaus 11 dargestellt. Die Zuluft wird über Luftherhitzer mit Pumpwarmwasser (PWW) auf die gewünschte Zulufttemperatur (Sollwert = 21 °C) erwärmt. Der Vereisungsschutz wird mittels Abtauschaltung (Bypass und Nachheizung) gelöst, wobei die Aktivierung über einen Druckdifferenzsensor erfolgt. Überschreitet der abluftseitige Druckverlust über den Wärmeübertrager den Grenzwert, wird der Aussenluft-Bypass geöffnet. Die Aussenluft wird während der Abtauzzeit über ein Luftherhitzer auf den Sollwert der Zulufttemperatur erwärmt. Der Zuluft- und Abluft-Volumenstrom wird während dem Abtaubetrieb nicht reduziert. Da die Wärmerückgewinnung währenddessen nicht in Betrieb ist, erhöht sich der Energieverbrauch (Heizwärme) im Abtaubetrieb.

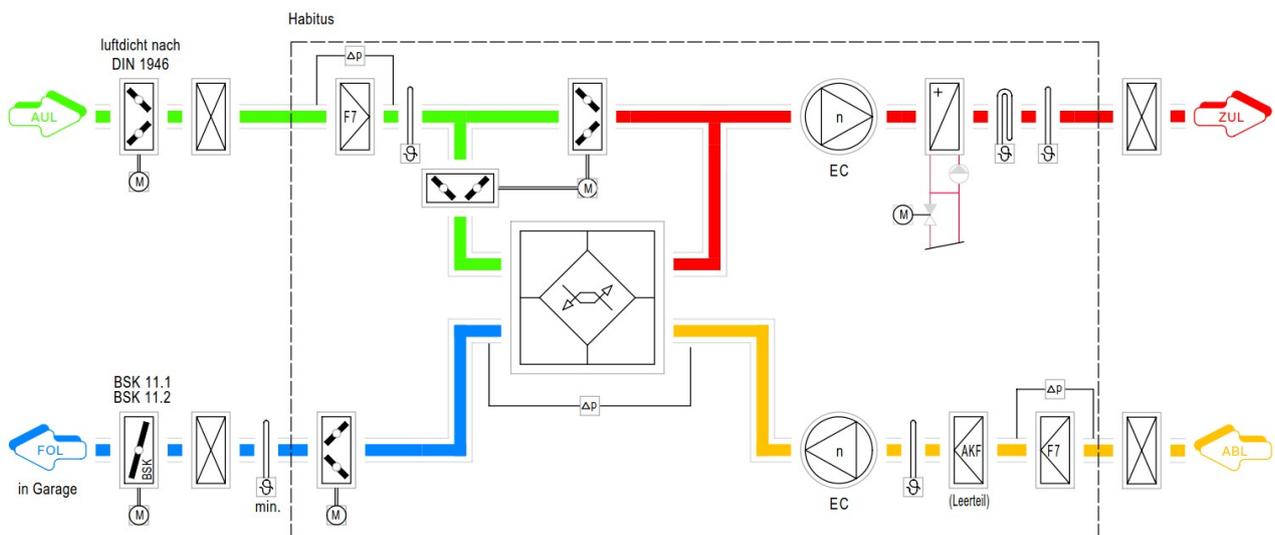


Abbildung 6: Prinzipschema des Monoblocks von Treppenhaus 11 (Todt Gmür und Partner AG)

Die Monoblocks in den restlichen neun Treppenhäuser des GBMZ-Gebäudeteils entsprechen ebenfalls dem gezeigten Prinzipschema, wobei sich die Leistungen der Ventilatoren und Luftherhitzern leicht unterscheiden.

Tabelle 2 zeigt die Kennwerte der Monoblocks der zehn Treppenhäuser im GBMZ-Gebäudeteil. Pro Treppenhaus ist jeweils ein Monoblock mit zwei identischen Ventilatoren (für Zu- und Abluft) verbaut. Der Sollwert entspricht dem maximalen Volumenstrom, gemäss welchem die Komponenten dimensioniert wurden.

Tabelle 2: Monoblocks des GBMZ-Gebäudeteils (Todt Gmür und Partner AG)

Treppenhaus	Zu-/Abluftventilator		Lufterhitzer
	Volumenstrom [m ³ /h]	Leistungsbedarf ⁵ bei Sollwert [kW]	Heizleistung [kW]
TH 11	Effektiv: 1'825 (Sollwert: 2'200)	2 x 0.5	13.5
TH 12	1'825 (2'200)	2 x 0.5	13.5
TH 13	2'520 (3'000)	2 x 0.7	17.9
TH 14	2'435 (2'900)	2 x 0.7	17.4
TH 15	1'960 (2'350)	2 x 0.5	14.1
TH 16	2'410 (2'900)	2 x 0.7	17.4
TH 17	1'890 (2'300)	2 x 0.5	13.8
TH 18	2'200 (2'650)	2 x 0.6	15.9
TH 19	1'615 (1'950)	2 x 0.5	12.0
TH 20	2'400 (2'900)	2 x 0.7	17.4
Total	21'080 (25'350)	11.8	152.9

5 Leistungsbedarf des Ventilators und nicht des Antriebsmotors (Wirkungsgrad des Ventilators noch nicht berücksichtigt)

2 Methodik

Um die beiden Lüftungskonzepte ganzheitlich bewerten und vergleichen zu können, müssen alle verursachten Umweltauswirkungen und Kosten in allen Lebensphasen berücksichtigt werden. Neben der Herstellung und Installation wird dabei auch der Betrieb, die Wartung und die Entsorgung betrachtet.

2.1. Lebenszyklusanalyse

Die ökologische Bewertung der beiden Lüftungskonzepte erfolgt durch eine Lebenszyklusanalyse (Ökobilanz, LCA). Dabei werden die Ressourcenverbräuche und Emissionen über alle Lebensphasen bilanziert. Betriebsmissionen werden dabei ebenso berücksichtigt wie die grauen Emissionen der Systemkomponenten. Die Grundlagendaten für die Ökobilanzierung stammen aus der ecoinvent-Datenbank (Version 3.1). Insgesamt werden drei Wirkungsabschätzungsmethoden verwendet, um die Umweltauswirkungen der beiden betrachteten Lüftungssysteme zu quantifizieren. Dabei werden jeweils die Endwerte jeder Methodik auf die gesamte Lebensdauer der verschiedenen Komponenten verteilt, um Werte pro Jahr zu erhalten und die beiden Lüftungssysteme (mit Komponenten unterschiedlicher Lebensdauer) vergleichbar zu machen. Im Folgenden werden die drei verwendeten Wirkungsabschätzungsmethoden kurz erklärt.

2.1.1. *Carbon Footprint (IPCC 2013, Treibhauspotential 100 Jahre)*

Beim Carbon Footprint (Dt. CO₂-Fussabdruck) handelt es sich um eine emissionsbasierte, international anerkannte Methode. Sie bewertet das Treibhauspotential sämtlicher zum Klimawandel beitragender Emissionen über einen Zeithorizont von 100 Jahren. Um unterschiedlich starke Treibhausgase miteinander zu vergleichen, werden alle emittierten Stoffe nach ihrem Treibhauspotential gewichtet und so in CO₂-Äquivalente umgewandelt. CO₂-Emissionen werden sowohl in der Politik als auch in der Baubranche intensiv diskutiert und oft als Indikatoren verwendet.

2.1.2. *Nicht erneuerbare Primärenergie (Cumulative Energy Demand, fossil)*

Bei dieser Methodik wird der gesamte Primärenergieaufwand berechnet, der für die Erzeugung eines Produktes oder das Durchführen eines Prozesses nötig ist. Dabei wird lediglich der nicht erneuerbare Teil des kumulierten Energieaufwands berücksichtigt. Das bedeutet, dass nur Energie berücksichtigt wird, welche mit fossilen Energieträgern, nicht nachhaltiger Biomassennutzung oder nuklearen Brennstoffen erzeugt wurde. Damit gibt diese Methodik Aufschluss darüber, wie viel Energie aus nicht nachhaltigen Quellen über den gesamten Lebenszyklus verbraucht wird.

2.1.3. *Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Ecological Scarcity 2013)*

Die Methode der ökologischen Knappheit ist eine in der Schweiz entwickelte Methode, welche bei der Bewertung von Umweltbelastungen eine Gewichtung aufgrund der politischen Umweltziele der Schweiz vornimmt [7]. Mithilfe von sogenannten Ökofaktoren wird die Umweltbelastung einer Schadstoffemission respektive Ressourcenentnahme in die Einheit Umweltbelastungspunkte (UBP) umgerechnet. Diese werden dann zu einer Gesamtpunktzahl aggregiert, welche schliesslich der Indikator für die totale Umweltbelastung der bewerteten Produkte oder Prozesse darstellt. In Abbildung 7 ist die Grundstruktur der Methode mit den verschiedenen Schritten, inkl. der Gewichtung mittels Ökofaktoren, zu sehen.

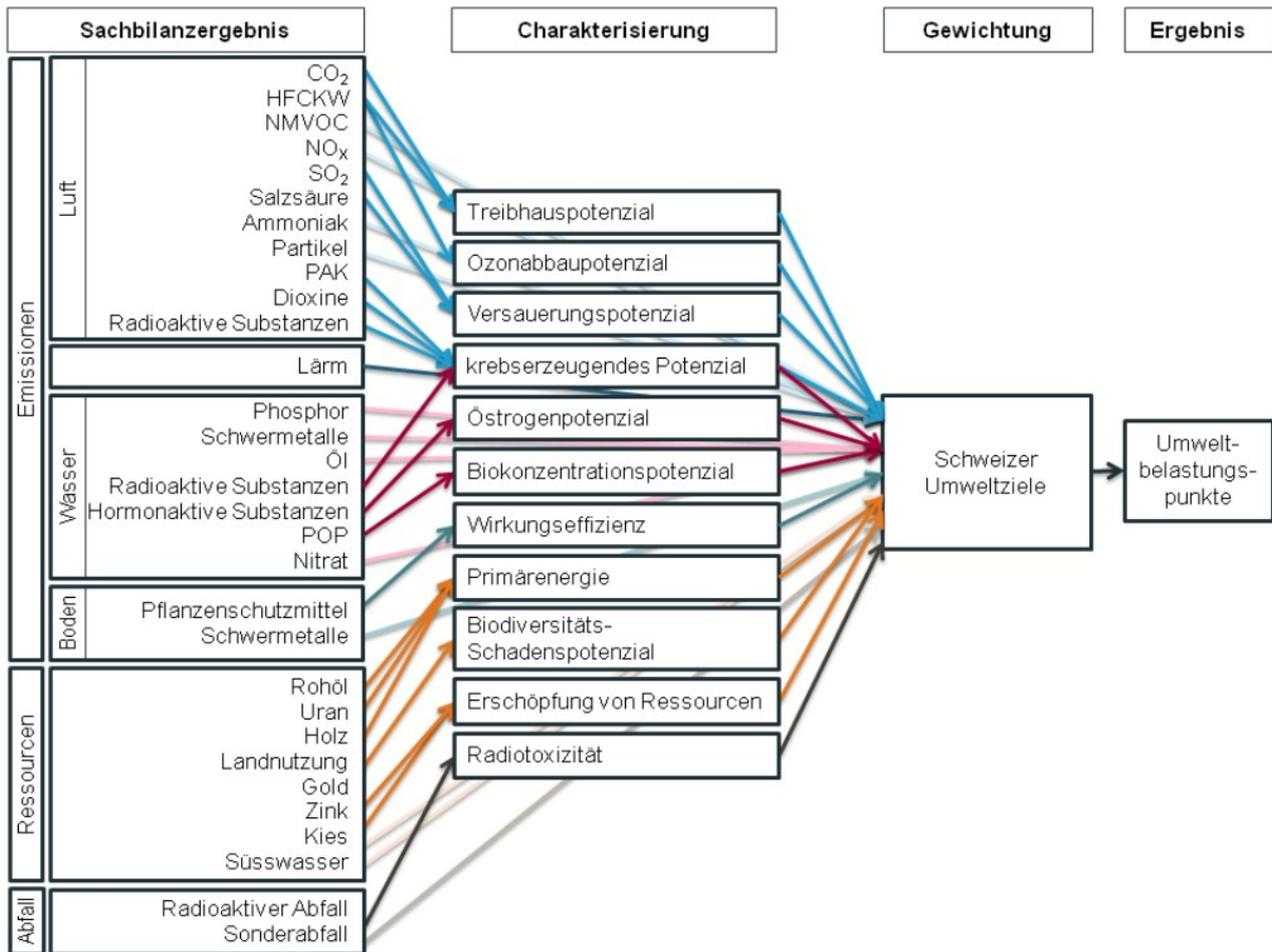


Abbildung 7: Struktur der Methode der ökologischen Knappheit 2013 [7]

2.2. Lebenszykluskostenrechnung

Die finanzielle Bewertung der beiden Lüftungssysteme erfolgt durch eine Lebenszykluskostenrechnung (Life Cycle Costing; LCC). In der vorliegenden Studie wird hierzu die Annuitätenmethode verwendet. Dabei werden Investitions-, Kapital-, Energie-, Unterhalts- sowie Entsorgungskosten aggregiert, in Annuitätskosten umgerechnet und verglichen. Anfängliche Investitionen sowie Entsorgungskosten, welche am Lebensende des Systems anfallen, werden mit einem Zinssatz verrechnet und auf gleichmässige Zahlungen pro Jahr verteilt. In der vorliegenden Studie wird ein Zinssatz von 1.5 % verwendet. Jährliche Kosten, wie z.B. Unterhaltsarbeiten und Energieverbräuche, sowie jährliche Einnahmen können direkt mit diesen Annuitäten verrechnet werden, da die Teuerung aus der Betrachtung ausgeschlossen wird. Die Gesamtannuität eines Lüftungssystems ergibt sich dann, indem alle Annuitäten der verschiedenen Lebensphasen (Anfangsinvestition, Unterhaltsarbeiten, Energieverbräuche und Entsorgung) aufsummiert werden. Sämtliche verwendete Formeln zur Annuitätenmethode befinden sich im Anhang C.

2.3. Funktionelle Einheit

Alle berechneten Endwerte der LCA und der LCC werden pro Quadratmeter EBF und Jahr angegeben. Die funktionelle Einheit beträgt somit:

$$\frac{\text{Indikatorwert} / \text{Einheit}}{m_{EBF}^2 * a}$$

2.4. Mieterbefragung

Die Mieterbefragung orientiert sich an älteren Studien, welche ebenfalls die KWL-Thematik behandelten und Umfragen bei Bewohnern durchführten. Nachfolgend wird eine Auswahl dieser Umfragen kurz beschrieben.

2.4.1. Bisherige Umfragen

Eine im Jahr 2005 durchgeführte Studie untersuchte 8 Siedlungen der Stadt Zürich mit dem Ziel, die reine Fensterlüftung mit der kontrollierten Wohnraumlüftung zu vergleichen [3]. Insgesamt wurden 312 Fragebögen von den Bewohnern ausgefüllt. Dabei schneiden die beiden Lüftungssysteme bezüglich empfundener Raumtemperatur und Luftqualität gleich gut ab. Bewohner von Wohnungen mit kontrollierten Wohnraumlüftungen empfinden die Raumluft jedoch etwas häufiger als trocken. Weiter zeigte sich, dass die Bewohner von Wohnungen mit Fensterlüftung durchschnittlich zweimal täglich lüften, während die Bewohner von Wohnungen mit kontrollierter Wohnraumlüftung nur einmal lüften. Der Anteil nachts offener Fenster liegt bei beiden Lüftungssystemen über 40 %, wobei der Anteil bei der kontrollierten Wohnraumlüftung etwas höher ist. Des Weiteren wurden die Vorzüge der kontrollierten Wohnraumlüftung aus Bewohnersicht ermittelt. Dabei waren Energieeinsparung, Luftqualität und Kühleffekt die drei Hauptgründe für die kontrollierte Wohnraumlüftung – mit Energieeinsparung an erster Stelle.

Zwischen 2010 und 2013 wurden in Österreich insgesamt 575 Bewohner befragt, um zu prüfen, ob sich bei Bewohnern von Häusern bzw. Wohnungen mit kontrollierten Wohnraumlüftung im Vergleich zu Bewohnern von Häusern bzw. Wohnungen mit reiner Fensterlüftung eine höhere Zufriedenheit bezüglich empfundenem Raumklima zeigt [4]. Dabei empfinden bei Objekten mit reiner Fensterlüftung deutlich mehr Bewohner die Luftqualität als schal, muffig oder abgestanden. Umgekehrt nehmen die Bewohner von Objekten mit kontrollierten Wohnraumlüftungen die Luftqualität öfters als angenehm, sauber und frisch wahr. Bei der Zufriedenheit mit der Luftfeuchtigkeit schneidet die kontrollierte Wohnraumlüftung dagegen schlechter ab. Bezüglich der Geruchs- und Lärmsituation ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Bewohnergruppen.

Bei einer im Jahr 2014 von der Hochschule Luzern durchgeführten Studie wurden die Bewohner von insgesamt 50 Einfamilienhäusern mit Komfortlüftung (mit Wärmerückgewinnung) bezüglich Zufriedenheit und Erwartungen befragt [5]. 90 % der Studienteilnehmer gaben an, mit dem Lüftungssystem zufrieden zu sein. Bezüglich den Erwartungen der Bewohner an das Lüftungssystem, steht die Energieeffizienz an erster Stelle. So sehen 50 % der Bewohner die Komfortlüftung als Mittel zur Energieeinsparung. Für 34 % der Bewohner ist staubfreie Luft der Hauptbeweggrund für eine Komfortlüftung. Nur 8 % bzw. 6 % sehen den grössten Vorteil in klimatisierter bzw. allergenefreier Luft.

Im Rahmen des BFE Leuchtturmprogramms «2000-Watt-Leuchtturm-Areal mehr als wohnen» wurden die Bewohner des Hunziker Areals bezüglich Zufriedenheit mit dem Raumkomfort befragt [6]. Dabei wurden drei Ausführungen der Komfortlüftung (zentrale Lüftungsanlage pro Haus, dezentrale Lüftungsanlage pro Wohnung und Verbundlüftung mit aktiven Überströmern) mit einfachen Abluftanlagen und Aussenluftdurchlässen verglichen. Insgesamt nahmen 272 Personen an der Umfrage teil. Bezüglich der empfundenen, generellen Luftqualität in den Wohnungen, schnitt die zentrale Lüftungsanlage sehr ähnlich wie die Abluftanlagen ab. Beim Kriterium Zuglufterscheinungen schneidet die zentrale Lüftungsanlage jedoch deutlich besser ab als die Abluftanlagen: Nur 11 % der Bewohner spüren Luftzugerscheinungen – bei den Abluftanlagen dagegen sind es fast 40 %.

2.4.2. Aufbau der Fragebögen

Die beiden Fragebögen umfassen 22 (BGH-Teil) bzw. 26 Fragen (GBMZ-Teil), wobei bei mehreren Fragen zwischen Sommer und Winter unterschieden wird. Die Struktur der beiden Fragebögen ist in Tabelle 3 beschrieben.

Tabelle 3: Struktur der beiden Fragebögen

	Fragebogen für Mieter im BGH-Gebäudeteil	Fragebogen für Mieter im GBMZ-Gebäudeteil
1. Luftqualität und Komfort	Raumtemperatur (Sommer/Winter)	
	Luftfeuchtigkeit (Sommer/Winter)	
	Pollenbelastung	
	Fremdgeräusche	
	Aussenlärm	
	Schimmelpilz	
	Staubbelastung	
	Zufriedenheit mit Luftqualität	
2. Lüftungsverhalten	Häufigkeit Fensterlüftung	
	Dauer Fensterlüftung	
	Nachts geöffnete Fenster	
	Art der nachts geöffneten Fenster	
	Grund für nachts geöffnete Fenster	
	Luftbefeuchter	
3. Lüftungssystem	Unterdruck durch Abluftanlage	Zugluft (Sommer/Winter)
	Zufriedenheit mit Lüftungskonzept	Lüftungsgeräusche (Sommer/Winter)
	KWL gewünscht	Geruchsübertragung (Sommer/Winter)
	Bereitschaft höherer Mietzins durch KWL	Zuluft-Temperatur (Sommer/Winter)
		Zukleben der Luftein-/auslässe (Sommer/Winter)
		Zufriedenheit mit Lüftungskonzept
		Bereitschaft höherer Mietzins durch KWL
		Rolle des Lüftungssystems bei Wohnungswahl
4. Allgemeine Angaben	Stockwerk	
	Wohnhaus	
	Wohndauer und Anzahl Personen	
	Geschlecht und Alter der befragten Person	

Bis auf den dritten Teil über das Lüftungssystem sind die beiden Fragebögen identisch. Die im vorliegenden Bericht gezeigte Auswertung der Befragung ist anonym. Zudem wurden die Fragebögen nach der der Auswertung vernichtet, womit keine Rückschlüsse auf die befragten Personen gemacht werden können. Alle Fragen der beiden Fragebögen sind in Anhang H aufgelistet.

2.4.3. Durchführung der Befragung

Die Fragebögen wurden in Papierform an die Mieter verteilt. Zusätzlich zum Fragebogen wurde jeweils ein Begleitbrief sowie ein bereits frankiertes Antwortcouvert verteilt. Die Mieter hatten anschliessend zehn Wochen Zeit, den Fragebogen auszufüllen und portofrei an die s3 GmbH zurückzusenden. Der Beantwortungszeitraum lag zwischen dem 14.06. und dem 23.08.2019.

2.4.4. Statistische Methoden zur Auswertung

Bei Fragen, welche eine Bewertung der Bewohner erfragen, wird eine Likert-Skala mit fünf Merkmalsausprägungen (z.B., «sehr zufrieden», «eher zufrieden», «mittelmässig», «eher unzufrieden» und «sehr unzufrieden») verwendet. Bei den dazugehörigen Antworten handelt es sich grundsätzlich um ordinalskalierte Daten, womit nur gewisse Lagemasse, wie Modus oder Median, verwendet werden können. Gemäss [8] können die Daten jedoch auch als quasimetrisch, sprich intervallskaliert, behandelt werden, wenn die Likert-Skala symmetrisch formuliert ist und angenommen werden kann, dass die Abstände zwischen den verschiedenen Antwortmöglichkeiten als gleich gross (äquidistant) interpretiert werden. Somit können zusätzlich auch Streuungsmasse und das arithmetische Mittel als Lagemasse verwendet werden. Wann immer die Daten die beiden genannten Anforderungen erfüllen, werden sie bei der Auswertung als intervallskaliert behandelt. Allerdings sind auch diverse Fragen enthalten, deren Antworten nominalskalierte Daten darstellen. Diese werden hauptsächlich mittels Häufigkeitsanalysen beschrieben und interpretiert.

Als Zusammenhangsmass wird der Korrelationskoeffizient nach Kendall (Kendalls τ_b) verwendet, welcher im Gegensatz zum Korrelationskoeffizient nach Pearson auch bei ordinalskalierten Daten verwendet werden kann. Der Korrelationskoeffizient beschreibt die Stärke des Zusammenhanges zwischen zwei Variablen und kann Werte zwischen -1 (perfekt negativer Zusammenhang) und 1 (perfekt positiver Zusammenhang) annehmen. Für die Bewertung der Korrelationen wird gemäss [8] die in Tabelle 4 gezeigte Einteilung verwendet.

Tabelle 4: Bewertung der Korrelationen [8]

Betrag des Korrelationskoeffizienten	Bewertung
$0 \leq \tau_b < 0.1$	Keine (oder vernachlässigbare) Korrelation
$0.1 \leq \tau_b < 0.3$	Schwache Korrelation
$0.3 \leq \tau_b < 0.5$	Mittlere Korrelation
$0.5 \leq \tau_b < 0.7$	Hohe Korrelation
$0.7 \leq \tau_b \leq 1$	Sehr hohe Korrelation

Selbst wenn ein statistischer Zusammenhang gegeben ist, bedeutet dies noch keine kausale Wirkungsbeziehung.

Bei den Signifikanztests werden Mittelwertsvergleiche (wie z.B. der t-Test) verwendet, um signifikante Unterschiede zwischen den beiden unabhängigen Stichproben (BGH- und GBMZ-Bewohner) zu ermitteln. Es wird die Hypothese getestet, dass die beiden Mittelwerte in der Grundgesamtheit nicht miteinander korreliert sind, womit es sich um zweiseitige Signifikanztests handelt. Als Signifikanzniveau wird eine Fehlerwahrscheinlichkeit von 5 % verwendet. Wird demnach ein Unterschied als signifikant beschrieben bedeutet dies, dass es sich mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % um einen nicht zufälligen Unterschied handelt.

In der Auswertung werden grundsätzlich die folgenden Angaben gemacht:

- Mittelwert (arithmetisches Mittel): \bar{x}
- (Empirische) Standardabweichung: s
- Stichprobenumfang: n

3 Sachbilanzdaten und Modellierungsannahmen

Bei der LCA und LCC werden die Umweltauswirkungen bzw. Kosten auf fünf verschiedene Verursacher verteilt. Nachfolgend werden diese fünf Kategorien sowie ihre Systemgrenzen, die verwendete Datengrundlage und die getroffenen Annahmen erläutert. Grundsätzlich werden die Systemgrenzen so gewählt, dass Komponenten oder Prozesse ausgeschlossen werden, die bei den beiden zu vergleichenden Lüftungssystemen identisch und daher nicht vergleichsrelevant sind. Die ökologischen Sachbilanzen (LCI), sprich die detaillierten Zusammenstellungen aller Material- und Energieverbräuche der betrachteten Lüftungssysteme über ihren gesamten Lebensweg, sind im Anhang F aufgeführt.

3.1. Komponenten

Diese Kategorie umfasst sämtliche Bestandteile der jeweiligen Lüftungssysteme, wobei nur die Lüftungssysteme der Wohnungen betrachtet werden. Alle Lüftungsanlagen, welche nicht der Belüftung der Wohnungen dienen, sind in beiden Gebäudeteilen praktisch in identischer Ausführung verbaut und somit vergleichsneutral. Dazu gehören die Lüftungsanlagen für die Nebenräume, die Quartierräume, die Heizzentralen und die Tiefgarage. All diese Komponenten liegen ausserhalb der Systemgrenzen und werden nicht berücksichtigt.

Konkret werden im BGH-Gebäudeteil die folgenden Lüftungskomponenten berücksichtigt:

- Abluft Nasszellen (BKP 244.1)⁶
- Abluft Küchen⁷ (BKP 244.2)
- Fiktive Nachströmelemente (nur im idealen Szenario; siehe Kapitel 5.2)

Im GBMZ-Gebäudeteil werden die folgenden Lüftungskomponenten berücksichtigt:

- Lufterhitzeranschlüsse⁸ für KWL (BKP 242.9)
- Aussenluftfassungen der zentralen Lüftungsanlagen (BKP 244.10)
- Zentrale Lüftungsanlagen für KWL (BKP 244.11-20)

Bei der LCA und LCC werden die Umweltauswirkungen und Kosten, welche durch die Herstellung, die Installation, den Ersatz (nach Ablauf der individuellen Lebensdauer einer Komponente) und die Entsorgung (inkl. Demontage) der einzelnen Lüftungskomponenten verursacht werden, berücksichtigt. Die Lebensdauern der einzelnen Komponenten wurden aus der Norm SIA 382/1 übernommen.⁹ Dabei wurde jeweils eine mittlere Beanspruchung der Komponenten angenommen. Da die Norm eher konservative Lebensdauern enthält, sprich die Lebensdauern eher unterschätzt, wird zudem in Kapitel 5.3 eine Sensitivitätsanalyse bezüglich der Lebensdauern der Komponenten durchgeführt.

In der ökologischen Bewertung (LCA) werden alle durch die Lüftungskomponenten verursachten Materialverbräuche berücksichtigt. Als Datengrundlage dienen die Materialspezifikationen in den Submissionseingaben der ausführenden Unternehmer. Die Submissionseingaben sind in den Werkverträgen, welche von der BGH und GBMZ zur Verfügung gestellt wurden, enthalten. Da in den Materialspezifikationen jede einzelne verbaute Komponente genau beschrieben wird, können die Materialverbräuche sehr genau ermit-

⁶ BKP-Nummer des Werkvertrages

⁷ Die Dunstabzugshauben werden nicht berücksichtigt, sondern nur die Rohre und Dachhauben. Denn die Abluft-Dunstabzugshauben im BGH-Gebäudeteil unterscheiden sich gemäss Hersteller praktisch nicht von den Umluft-Dunstabzugshauben im GBMZ-Gebäudeteil bezüglich Materialaufwand, Investitionskosten und Energieverbrauch, und sind somit vergleichsneutral.

⁸ Es werden nur die (gegenüber dem BGH-Gebäudeteil) 10 zusätzlichen Lufterhitzeranschlüsse für die zentralen Lüftungsanlagen der Wohnungen betrachtet

⁹ SIA 382/1: Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen

telt werden. Falls die genaue Materialspezifikation einer Komponente in den Submissionseingaben nicht verfügbar ist, werden die benötigten Informationen über die Datenblätter oder direkt über den Hersteller mittels telefonischer Auskunft erhoben. Die genauen Materialauszüge werden in den Sachbilanzen im Anhang F dieser Studie aufgeführt.

In der finanziellen Bewertung (LCC) werden die Investitionskosten aller betrachteten Lüftungskomponenten berücksichtigt. Als Datengrundlage dienen die Schlussabrechnungen für die Lüftungs- und Heizungsanlagen (BKP 244 und 240). Damit werden die tatsächlich angefallenen Kosten und keine Schätzungen verwendet. Inwiefern die Investitionskosten für die Lüftungskomponenten über oder unter dem Schweizerischen Durchschnitt liegen, wird in dieser Studie nicht untersucht.

3.2. Rohbau: Mehrverbrauch Stahlbeton

Diese Kategorie umfasst den aufgrund der dickeren Decken im GBMZ-Gebäudeteil (gegenüber dem BGH-Gebäudeteil) zusätzlich verbauten Beton und Betonstahl. Die Bodenaufbauten der beiden Gebäudeteile sind in Tabelle 5 beschrieben und in Abbildung 8 sowie Abbildung 9 dargestellt.¹⁰

Tabelle 5: Bodenaufbauten der beiden Gebäudeteile

Schicht	BGH-Gebäudeteil	GBMZ-Gebäudeteil
Bodenbelag	1 cm	1 cm
Zementunterlagsboden	8 cm	8 cm
PE-Folie	–	–
Trittschalldämmplatte	2 cm	2 cm
Polystyrolplatte	2 cm	2 cm
Beton	24 cm	28 cm
Verputz (BGH), Decke gestrichen (GBMZ)	–	–
Total	37 cm	41 cm

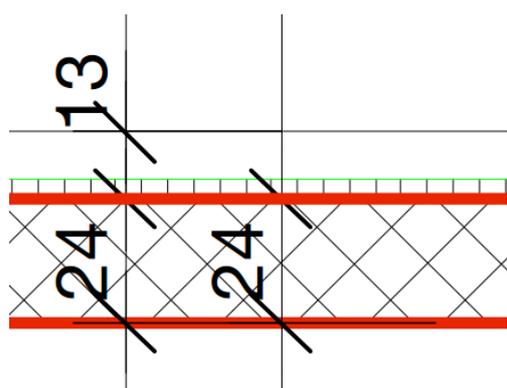


Abbildung 8: Bodenaufbau BGH-Gebäudeteil

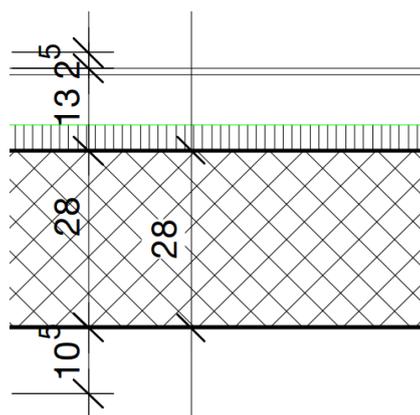


Abbildung 9: Bodenaufbau GBMZ-Gebäudeteil

Die Decken in den GBMZ-Wohnungen sind aufgrund der horizontalen Luftverteilung mittels Lüftungsrohren aus Polyethylen rund 4 cm dicker als die Decken in den BGH-Wohnungen. Der deswegen zusätzlich anfallende Stahlbeton (Beton und Betonstahl) wird in einer separaten Kategorie ausgewiesen, damit die Resul-

¹⁰ Gemäss Ausführungspläne der Kaschka Knapkiewicz und Axel Fickert AG

tate auch auf einen Holzbau übertragbar sind (wo diese Zusatzaufwände nicht oder in einem wesentlich geringeren Ausmass anfallen würde). Die Lebensdauer des Rohbaus wurde aus der Norm SIA 480 (mittlere Beanspruchung) übernommen¹¹.

Die Menge an zusätzlich verbaulichem Stahlbeton lässt sich über die folgenden beiden Methoden bestimmen:

- **Materialspezifikation in Submissionseingaben:** Die Werkverträge für die Beton- und Stahlbetonarbeiten (BKP 211.5) enthalten die Submissionseingaben der Unternehmer mit genauen Materialauszügen. Werden die Submissionseingaben der beiden Gebäudeteile verglichen, resultiert ein Mehrverbrauch von **1'258 m³ Beton** und **211 Tonnen Betonstahl** des GBMZ-Gebäudeteils (gegenüber dem BGH-Gebäudeteil).¹²
- **Berechnung mittels EBF:** Wird angenommen, dass die Fläche der Decken mit erhöhter Deckendicke im GBMZ-Gebäudeteil der EBF entspricht, entspricht die zusätzlich verbaute Betonkubatur dem Produkt der erhöhten Deckendicke und der EBF. Auf diese Weise resultiert ein Mehrverbrauch von **780 m³ Beton** und **78 Tonnen Betonstahl**.¹³

Je nach Methode fällt der ermittelte Mehrverbrauch an Stahlbeton unterschiedlich hoch aus. Die Gründe, wieso der Mehrverbrauch nach Submissionseingabe deutlich über dem theoretisch berechneten Mehrverbrauch liegt, können nicht genau eruiert werden. Einerseits verfügt der GBMZ-Gebäudeteil über mehr UG-Räumlichkeiten im Vergleich zum BGH-Gebäudeteil, womit ein Teil des Mehrverbrauchs nicht direkt auf die aufgrund der Lüftungsrohre dickeren Decken zurückführen lässt. Andererseits führen die zehn zentralen Lüftungsanlagen (der KWL in den GBMZ-Treppenhäusern) zu einem höheren Platzbedarf im UG, womit ein Teil der Differenz zwischen Abschätzung und Wert gemäss Submissionseingaben wieder auf das Lüftungssystem zurückzuführen ist. In der vorliegenden Studie wird der konservativere Wert gewählt, sprich es wird ein Mehrverbrauch von 780 m³ Beton und 78 Tonnen Betonstahl angenommen. So wird sichergestellt, dass der tatsächlich aufgrund des zentralen Lüftungssystems resultierende Mehrverbrauch nicht überschätzt, sondern eher unterschätzt wird.

Zudem ist zu erwähnen, dass die Mengen an Stahlbeton, die zusätzlich verbaut wurden, für den konkreten Bau «Siedlung Klee» ermittelt wurden. Es ist durchaus möglich, dass der Mehrverbrauch im Durchschnitt deutlich geringer oder höher ausfällt. Auch aus diesem Grund werden die Umweltauswirkungen und Kosten des zusätzlich verbauten Stahlbetons separat ausgewiesen.

Für die finanzielle Bewertung werden die durchschnittlichen Mengenpreise aus den Submissionseingaben verwendet. Pro Kubikmeter Beton wurde demnach CHF 142 (exkl. MwSt.) und für ein Kilogramm Betonstahl durchschnittlich CHF 1.9 (exkl. MwSt.) bezahlt.

3.3. Betrieb: Stromverbrauch

Diese Kategorie umfasst den Verbrauch an Allgemeinstrom der beiden Gebäudeteile, wobei anfänglich die totalen Verbräuche ausgewertet werden, für die Lebenszyklusbetrachtungen dann jedoch nur noch die Mehrverbräuche berücksichtigt werden.¹⁴ Nicht im Allgemeinstrom inbegriffen ist der Haushaltsstrom, sprich der Strom, welcher von bzw. in den einzelnen Wohnungen verbraucht wird, wie beispielsweise die Stromverbräuche der Waschmaschinen und Trockner.¹⁵ Im BGH-Gebäudeteil befinden sich die Wascha-

11 SIA 480: Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau

12 Die unterschiedlichen EBFs der beiden Gebäudeteile sind in diesen Werten berücksichtigt

13 Gemäss den Materialspezifikationen in den Submissionseingaben wurde in der Siedlung Klee pro Kubikmeter Beton durchschnittlich 100 kg Betonstahl verbaut. Das (geringe) Volumen des Betonstahls wird vernachlässigt.

14 Mit „Strom“ ist elektrische Energie gemeint

15 Im BGH-Gebäudeteil sind die Waschmaschinen und Trockner jeweils direkt in den Wohnungen, wohingegen der GBMZ-Gebäudeteil über gemeinsame Waschsalsone verfügt (deren Stromverbräuche jedoch ebenfalls nicht im Allgemeinstrom enthalten sind)

schinen und Trockner jeweils direkt in den Wohnungen, wohingegen der GBMZ-Gebäudeteil über gemeinsame Waschsalous verfügt (deren Stromverbräuche jedoch ebenfalls nicht im Allgemiestrom enthalten sind). Der Verbrauch an Allgemiestrom wird berücksichtigt, da er unter anderem den Stromverbrauch des jeweiligen Lüftungssystems der Wohnungen enthält (neben dem Stromverbrauch für die Beleuchtung der allgemein zugänglichen Flächen, etc.) und keine Einzelmessungen der Lüftungsstromverbräuche zur Verfügung stehen.

Nachdem in einer Energiebilanz die totalen Allgemiestromverbräuche der beiden Gebäudeteile gegenübergestellt werden, wird für die LCA und LCC jeweils nur noch der Mehrverbrauch des GBMZ-Gebäudeteils berücksichtigt, da angenommen wird, dass der Mehrverbrauch an Allgemiestrom auf die unterschiedlichen Wohnungslüftungssysteme zurückzuführen ist (da die beiden Gebäudeteile ansonsten über die gleichen Stromverbraucher verfügen). Da der Allgemiestrom den Haushaltsstrom nicht beinhaltet, sind auch die Stromverbräuche der Ventilatoren der Dunstabzüge (BGH- und GBMZ-Gebäudeteil) und der Abluft-Ventilatoren der Nasszellen (BGH-Gebäudeteil) nicht enthalten. Die Ventilatoren der Abluft-Dunstabzüge im BGH-Gebäudeteil und der Umluft-Dunstabzüge im GBMZ-Gebäudeteil weisen gemäss Hersteller einen fast identischen Stromverbrauch auf, weshalb sie vergleichsneutral sind und nicht weiter berücksichtigt werden. Die Abluft-Ventilatoren der BGH-Nasszellen sind jedoch ein Bestandteil des Lüftungskonzepts «Fensterlüftung» und daher nur im BGH-Gebäudeteil vorhanden. Deshalb wird in Kapitel 4.1 ihr Strombedarf berücksichtigt und zum gemessenen BGH-Allgemiestromverbrauch hinzuaddiert.

Als Datengrundlage für die Allgemiestromverbräuche der beiden Gebäudeteile dienen die Abrechnungen des zuständigen Elektrizitätswerkes¹⁶ über die Zeitperiode vom 04.09.2013 bis 01.09.2016. Allerdings beziehen der BGH- und der GBMZ-Gebäudeteil ein unterschiedliches Stromprodukt, sprich einen unterschiedlichen Strommix. Dies hat sowohl einen Einfluss auf die LCA wie auch auf die LCC. Da in dieser Studie jedoch ausschliesslich die beiden unterschiedlichen Lüftungssysteme – und nicht generell die beiden Gebäudeteile – miteinander verglichen werden sollen, wird in der Bilanzierung für beide Gebäudeteile jeweils der gleiche Strompreis und -mix verwendet. Dabei werden der über die betrachtete Zeitperiode durchschnittlich von der BGH bezahlte Strompreis¹⁷ von 20.08 Rp./kWh sowie der von der BGH bezogene Strommix *ewz.basis*¹⁸ verwendet.

3.4. Betrieb: Heizwärmeverbrauch

Der Heizwärmeverbrauch gibt an, wie viel thermische Energie zum Heizen verbraucht wird und wird berücksichtigt, da er massgeblich durch das Lüftungssystem beeinflusst werden kann. Der Warmwasserverbrauch dagegen ist völlig unabhängig vom gewählten Lüftungssystem und wird separat vom Heizwärmeverbrauch gemessen. Deshalb wird er nicht berücksichtigt. Heizwärme wird hauptsächlich in den Wohnungen (über die Fussbodenheizung und im GBMZ-Gebäudeteil auch über die Lufterhitzer der KWL) – jedoch auch in den Quartier- und Nebenräumen verbraucht.

Für die LCA und LCC wird jeweils nur der Mehrverbrauch des BGH-Gebäudeteils berücksichtigt, da angenommen wird, dass der Mehrverbrauch an Heizwärme auf die unterschiedlichen Wohnungslüftungssysteme zurückzuführen ist (da sich die beiden Gebäudeteile hauptsächlich bezüglich Lüftungswärmeverlusten unterscheiden).

16 ewz (Elektrizitätswerk der Stadt Zürich)

17 Gemäss Abrechnungen der ewz (Elektrizitätswerke der Stadt Zürich) über die Zeitperiode vom 04.09.2013 bis 01.09.2016

18 Beim bezogenen Strommix stammt die elektrische Energie grösstenteils aus Wasserkraft (verwendeter ecoinvent Prozess: Market for Electricity, Low Voltage, Label-Certified, CH)

Als Datengrundlage dienen die Heizkostenabrechnungen der *ista swiss ag* über die Zeitperiode vom 01.07.2013 bis 30.06.2016. Die ersten zwei Jahre nach Fertigstellung der Siedlung werden bewusst nicht betrachtet, da in diesen Jahren Störfaktoren wie die Bautrocknung und die Einregulierung der Heizung vorhanden sind. Für die Gasheizung wurde gemäss [9] ein Jahresnutzungsgrad von 95 % angenommen, um den gemessenen Heizwärmeverbrauch in einen Gasverbrauch umzurechnen. Dieser wurde dann mit dem über die betrachtete Zeitperiode durchschnittlichen Gaspreis¹⁹ von 6.16 Rp./kWh multipliziert um die Heizkosten zu berechnen. Da nur der Mehrverbrauch, sprich die Differenz zwischen den beiden Heizwärmeverbräuchen berücksichtigt wird, können die beiden Leistungspreise, welche für beide Gebäudeteile gleich gross sind, vernachlässigt werden.

3.5. Unterhalt & Wartung

In dieser Kategorie sind alle Unterhalts- und Wartungsarbeiten, wie z.B. die Lüftungsreinigung oder das Auswechseln der Filter, enthalten. Für die LCA, sprich die ökologische Bewertung, werden dabei nur die Anfahrten der Wartungsfahrzeuge berücksichtigt. Sie stellen die einzige relevante Umweltbelastung in der Kategorie Unterhalt und Wartung dar, da der Ersatz der einzelnen Komponenten (z.B. Filter) schon in der Kategorie Komponenten berücksichtigt wird. Sowohl für die Bestimmung der Autokilometer der Wartungsfahrzeuge wie auch für die Bestimmung der Unterhalts- und Wartungskosten dienen die Serviceverträge zwischen den Baugenossenschaften und den Firmen, welche die periodischen Kontroll- und Wartungsarbeiten ausführen, als Datengrundlage.

In vereinzelt Wohnungen im BGH-Gebäudeteil sind mittlerweile Feuchteschäden aufgetreten. Dafür soll jedoch hauptsächlich falsches Nutzerverhalten verantwortlich sein.²⁰ Natürlich begünstigt die luftdichte Gebäudehülle (da ursprünglich auch in den BGH-Wohnungen eine KWL geplant war) in Kombination mit fehlenden Nachströmelementen solche Feuchteschäden – allerdings ist dieser Zustand auch nicht normkonform. Es wird davon ausgegangen, dass bei normkonformer Umsetzung des Lüftungskonzeptes «Fensterlüftung», sprich bei einer weniger dichten Gebäudehülle oder einer dichten Gebäudehülle in Kombination mit Nachströmelementen (wie im idealen Szenario in Kapitel 5.2 angenommen), solche Feuchteschäden nicht aufgetreten wären. Deshalb wird auf die Berücksichtigung solcher Schäden verzichtet.

19 Angaben zum Gaspreis von der *Energie 360° AG*

20 Gemäss Leiter technische Liegenschaftsbewirtschaftung BGH

4 Resultate und Diskussion der Bilanzierungen

4.1. Energiebilanzen

Die absoluten Allgemeinstrom- und Heizwärmeverbräuche des BGH- und GBMZ-Gebäudeteils sind in Tabelle 6 dargestellt. Dabei handelt es sich jeweils um den Durchschnittswert über den Zeitraum Mitte 2013 bis Mitte 2016.

Tabelle 6: Absolute Allgemeinstrom- und Heizwärmeverbräuche

Bezeichnung	BGH-Gebäudeteil (Fensterlüftung mit Abluft)	GBMZ-Gebäudeteil (zentrale Lüftungsanlage mit WRG)
Allgemeinstromverbrauch gemessen [kWh/a]	113'149	198'148
Allgemeinstromverbrauch korrigiert [kWh/a]	117'328	198'148
Heizwärmeverbrauch [kWh/a]	787'373	800'721

Da der Allgemeinstrom den Haushaltsstrom nicht beinhaltet, sind auch die Stromverbräuche der Ventilatoren der Dunstabzüge (BGH- und GBMZ-Gebäudeteil) und der Abluft-Ventilatoren der Nasszellen (BGH-Gebäudeteil) nicht enthalten. Die Ventilatoren der Abluft-Dunstabzüge im BGH-Gebäudeteil und der Umluft-Dunstabzüge im GBMZ-Gebäudeteil weisen gemäss Hersteller einen fast identischen Stromverbrauch auf, weshalb sie vergleichsneutral sind und nicht weiter berücksichtigt werden.²¹ Die Abluft-Ventilatoren der BGH-Nasszellen sind jedoch ein Bestandteil des Lüftungskonzepts «Fensterlüftung» und daher nur im BGH-Gebäudeteil vorhanden. Deshalb muss ihr Strombedarf berücksichtigt und zum gemessenen Allgemeinstromverbrauch hinzuaddiert werden. Da der Stromverbrauch der Abluft-Ventilatoren jedoch nicht separat gemessen wird, muss ihr Strombedarf theoretisch berechnet werden²². Wird ihr Strombedarf dann zum gemessenen Allgemeinstromverbrauch hinzuaddiert, ergibt sich ein korrigierter Stromverbrauch, welcher ebenfalls in Tabelle 6 aufgeführt ist.

21 Zudem wird davon ausgegangen, dass das Nutzerverhalten bezüglich Abluft-Dunstabzugshauben bzw. Umluft-Dunstabzugshauben in beiden Gebäudeteilen gleich ist.

22 Die detaillierte Berechnung des Strombedarfs der Abluft-Ventilatoren der BGH-Nasszellen ist im Anhang D zu finden.

Die allgemeinen Stromverbräuche pro Quadratmeter EBF sind in Abbildung 10 und die Heizwärmeverbräuche pro Quadratmeter EBF in Abbildung 11 dargestellt. Bei den Stromverbräuchen handelt es sich bereits um die korrigierten Werte, d.h., der Stromverbrauch der Abluft-Ventilatoren der BGH-Nasszellen ist enthalten.

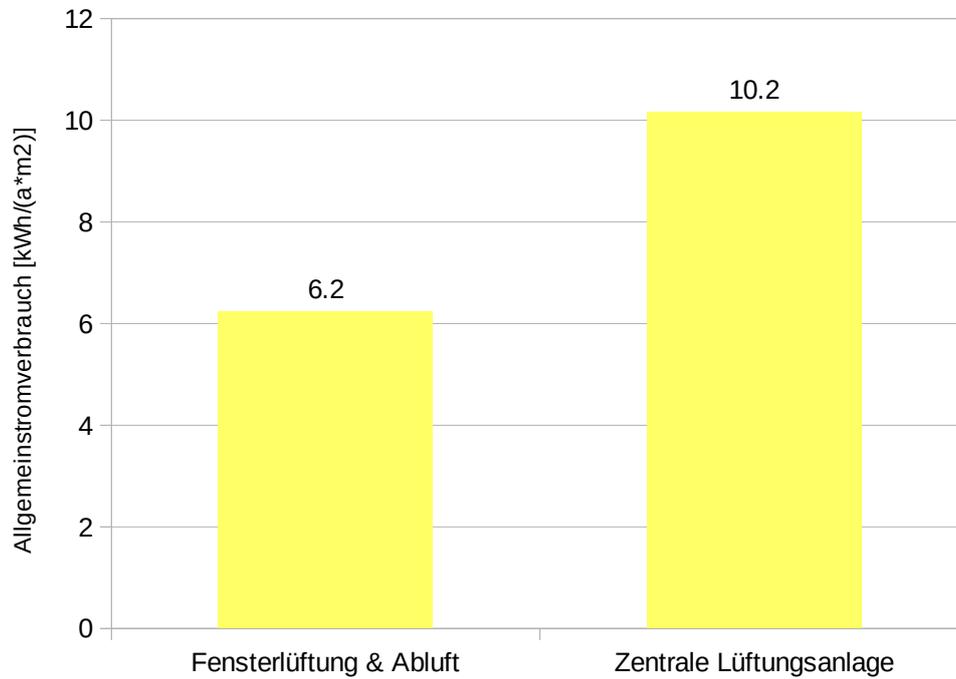


Abbildung 10: Allgemeinstromverbrauch der beiden Gebäudeteile

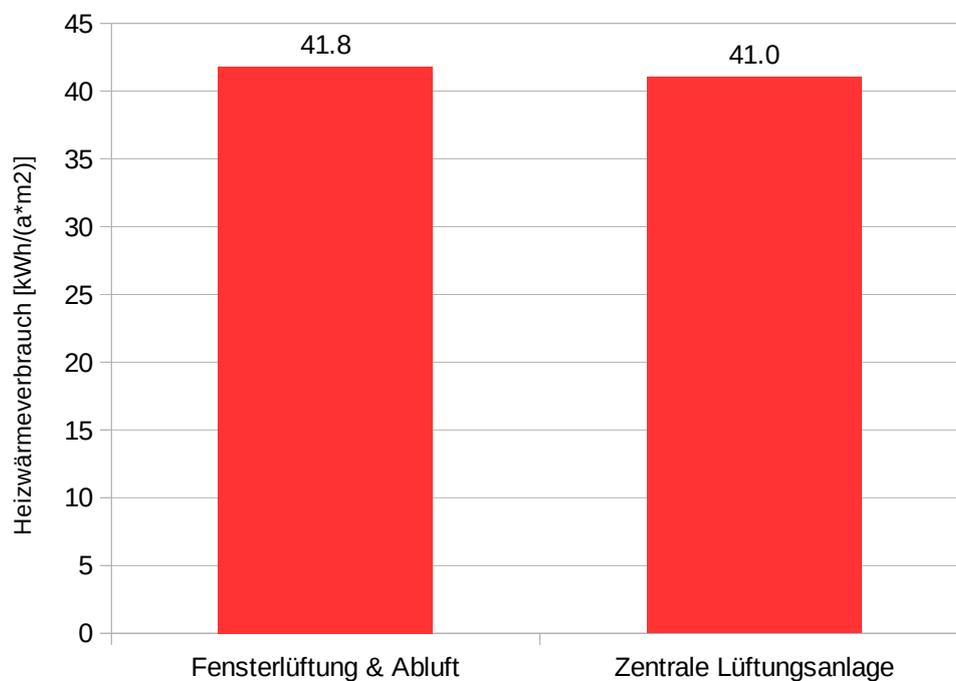


Abbildung 11: Heizwärmeverbräuche der beiden Gebäudeteile

Der GBMZ-Gebäudeteil weist einen um **3.93 kWh/(a*m²_{EBF})** oder 63 % höheren allgemeinen Stromverbrauch auf als der BGH-Gebäudeteil. Um zu evaluieren, ob die Ventilatoren der zentralen Lüftungsanlagen für diesen deutlichen Mehrverbrauch an Strom verantwortlich sein könnten, wurde der theoretische Strombedarf der Ventilatoren (bzw. der zugehörigen Antriebsmotoren) der zehn zentralen Lüftungsanlagen berechnet. Der mittlere Leistungsbedarf (der Ventilatoren), effektivem Volumenstrom, Wirkungsgrad und jährlichen Betriebsstunden berechnete Strombedarf der (Antriebsmotoren der) Ventilatoren beläuft sich auf 88'700 kWh/a (ausführliche Berechnung im Anhang E). Der gemessene Mehrverbrauch des GBMZ-Gebäudeteils beträgt 85'000 kWh/a und stimmt somit gut mit dem berechneten Wert überein. Aufgrund dieser geringen Abweichung ist davon auszugehen, dass die zentralen Lüftungsanlagen der zehn Treppenhäuser im GBMZ-Gebäudeteil für den höheren Stromverbrauch verantwortlich sind. Der SIA 382/1 Grenzwert für Lüftungsanlagen mit Lufterwärmung und dem effektiv im GBMZ-Gebäudeteil eingestellten Luftvolumenstrom (siehe Kapitel 1.4.2, Tabelle 2) beträgt 64'630 kWh/a, sprich der maximale Mehrverbrauch (unter Berücksichtigung der Abluft-Ventilatoren im BGH-Gebäudeteil) dürfte höchstens 60'450 kWh/a oder – mit der in dieser Studie verwendeten EBF – **3.10 kWh/(a*m²_{EBF})** betragen.²³ Somit konnte im Zeitraum von Mitte 2013 bis Mitte 2016 der SIA-Grenzwert nicht eingehalten werden.

In den nachfolgenden LCAs und LCCs wird nur noch der Mehrverbrauch an Allgemeinstrom des GBMZ-Gebäudeteils von 3.93 kWh/(a*m²_{EBF}) berücksichtigt, da angenommen werden kann, dass dieser auf die unterschiedlichen Lüftungssysteme zurückzuführen ist. In einem idealen Szenario wird zudem untersucht, wie die zentrale Lüftungsanlage abschneidet, wenn der SIA-Grenzwert eingehalten wird und somit ein Mehrverbrauch von lediglich 3.10 kWh/(a*m²_{EBF}) entsteht (siehe Kapitel 5.2).

Beim Heizwärmeverbrauch schneidet der GBMZ-Gebäudeteil leicht besser ab. Sein Heizwärmeverbrauch ist um **0.77 kWh/(a*m²_{EBF})** oder 1.8 % tiefer als jener des BGH-Gebäudeteils. Allerdings sollte gemäss Minergie-Antrag des GBMZ-Gebäudeteils²⁴ eine Einsparung von 10.14 kWh/(a*m²_{EBF}) möglich sein, da der thermisch wirksame Aussenluft-Volumenstrom durch die KWL von 0.7 m³/(m²*h) auf 0.36 m³/(m²*h) verringert wird.²⁵ Dies würde einer Einsparung von 24.3 % gegenüber dem BGH-Gebäudeteil entsprechen. Das theoretisch mögliche Potential wird also bei weitem nicht ausgeschöpft. Einer der Gründe dafür ist vermutlich das teilweise falsche Nutzerverhalten der Mieter, die in der Mieterbefragung (Kapitel 6.3) angeben, während der Heizperiode trotz KWL oft mit den Fenstern zu lüften. Weitere mögliche Gründe könnten eine nicht optimal funktionierende WRG oder ein häufiger Betrieb der Abtauschaltung (WRG wird mit Bypass umgangen) sein. Die tatsächliche Ursache des erhöhten Heizwärmeverbrauches im GBMZ-Gebäudeteil wird in dieser Studie jedoch nicht abschliessend untersucht. Stattdessen wird in einem idealen Szenario untersucht, wie die zentrale Lüftungsanlage unter optimalen Bedingungen abschneiden würde, sprich wenn die maximal mögliche Einsparung an Heizwärme von 10.14 kWh/(a*m²_{EBF}) gegenüber dem BGH-Gebäudeteil erreicht wird (siehe Kapitel 5.2).

23 SIA 382/1 Grenzwert für Lüftungsanlagen mit Lufterwärmung = 0.35 W/(m³/h)

24 Systemnachweis SIA 380/1:2007 mit Objekt-Nr. 782

25 Unter der Annahme, dass der GBMZ-Gebäudeteil ohne KWL (sprich mit einem thermisch wirksamen Aussenluft-Volumenstrom von 0.7 m³/(m²*h)) den gleichen Heizwärmeverbrauch wie der BGH-Gebäudeteil (41.8 kWh/(a*m²_{EBF})) hätte

4.2. Ökobilanz

Die Umweltauswirkungen der beiden betrachteten Lüftungssysteme sind in den folgenden Grafiken anhand der Indikatoren Umweltbelastungspunkte (UBP), nicht erneuerbare Primärenergie (PENR) und Global Warming Potential (GWP; CO₂-Emissionen) dargestellt.

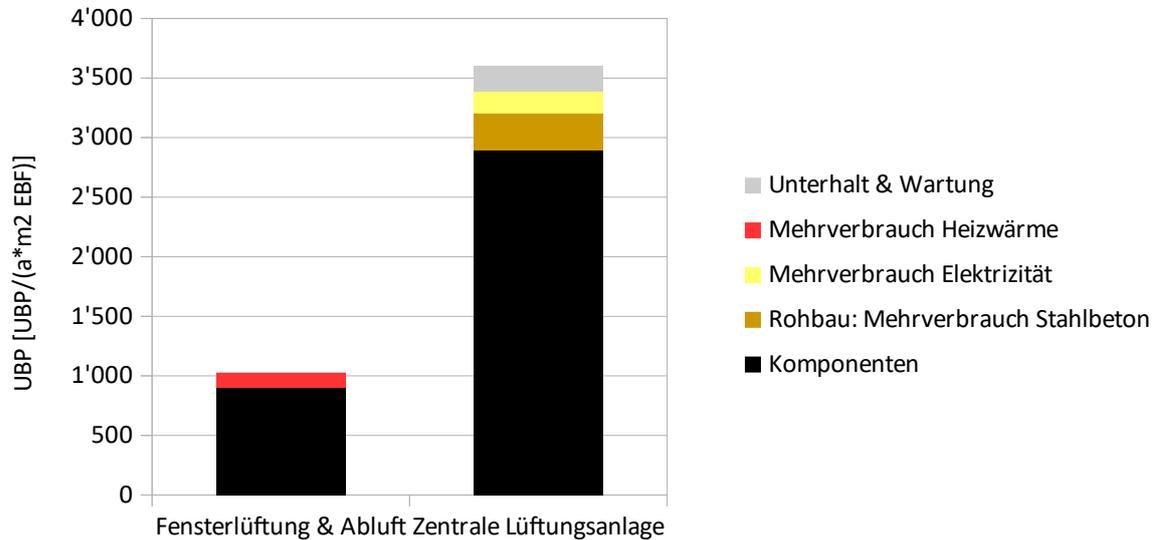


Abbildung 12: Umweltauswirkungen der Lüftungssysteme, ausgedrückt in UBP

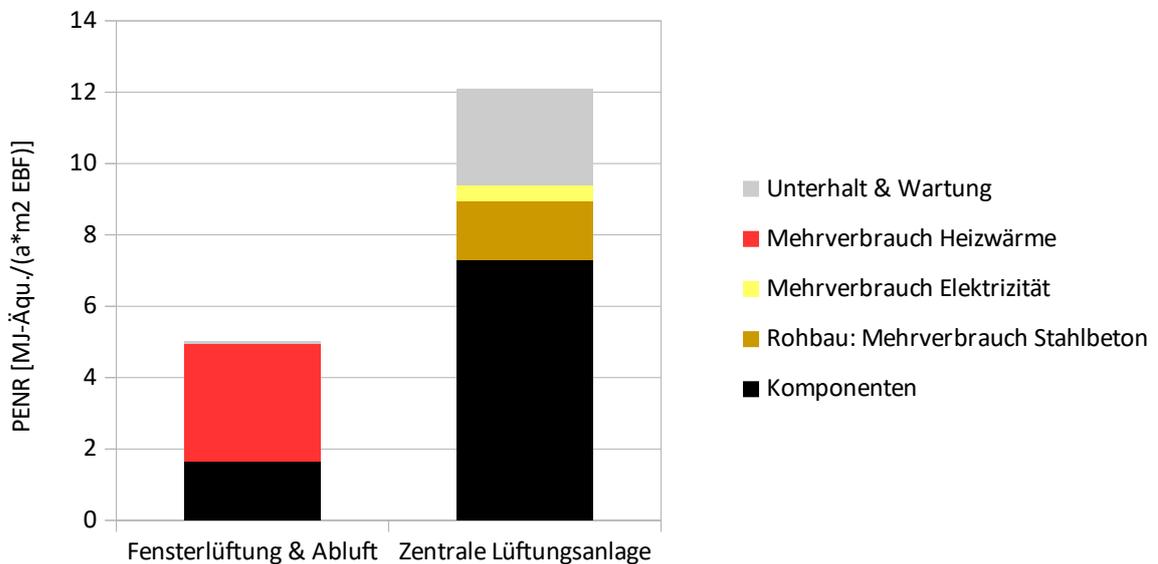


Abbildung 13: Umweltauswirkungen der Lüftungssysteme, ausgedrückt in PENR

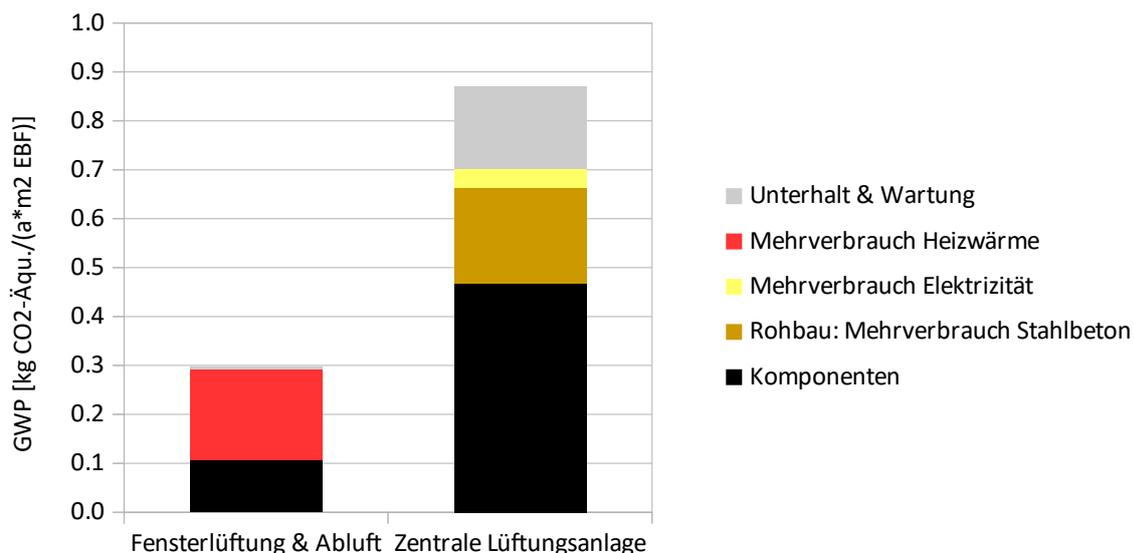


Abbildung 14: Umweltauswirkungen der Lüftungssysteme, ausgedrückt in GWP

Die zentrale Lüftungsanlage mit WRG im GBMZ-Gebäudeteil schneidet bei allen drei betrachteten Indikatoren schlechter ab. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, verbraucht die zentrale Lüftungsanlage 140 % mehr nicht erneuerbare Primärenergie und verursacht 190 % mehr Treibhausgasemissionen. Am deutlichsten ist die Differenz bei der totalen Umweltbelastung, ermittelt mit der Schweizer Methode der ökologischen Knappheit. Nach diesem Indikator ist die durch die zentrale Lüftungsanlage im GBMZ-Gebäudeteil verursachte Umweltbelastung um fast 250 % höher als diejenige der unkontrollierten Fensterlüftung mit Abluft im BGH-Gebäudeteil.

Bei allen drei Indikatoren verursachen die Lüftungskomponenten der zentralen Lüftungsanlage die mit Abstand grösste Umweltbelastung. Die materialintensive zentrale Lüftungsanlage führt zu einer grauen Umweltbelastung, welche grösser ist als die Umweltbelastung der Fensterlüftung über den gesamten Lebenszyklus. Die hohen Umweltbelastungen zu Beginn können durch den leicht effizienteren Betrieb (bezüglich Heizwärmeverbrauch) nicht kompensiert werden.

4.3. Lebenszykluskostenrechnung

Die Annuitäten (Jahreskosten) der beiden betrachteten Lüftungssysteme sind in Abbildung 15 dargestellt.

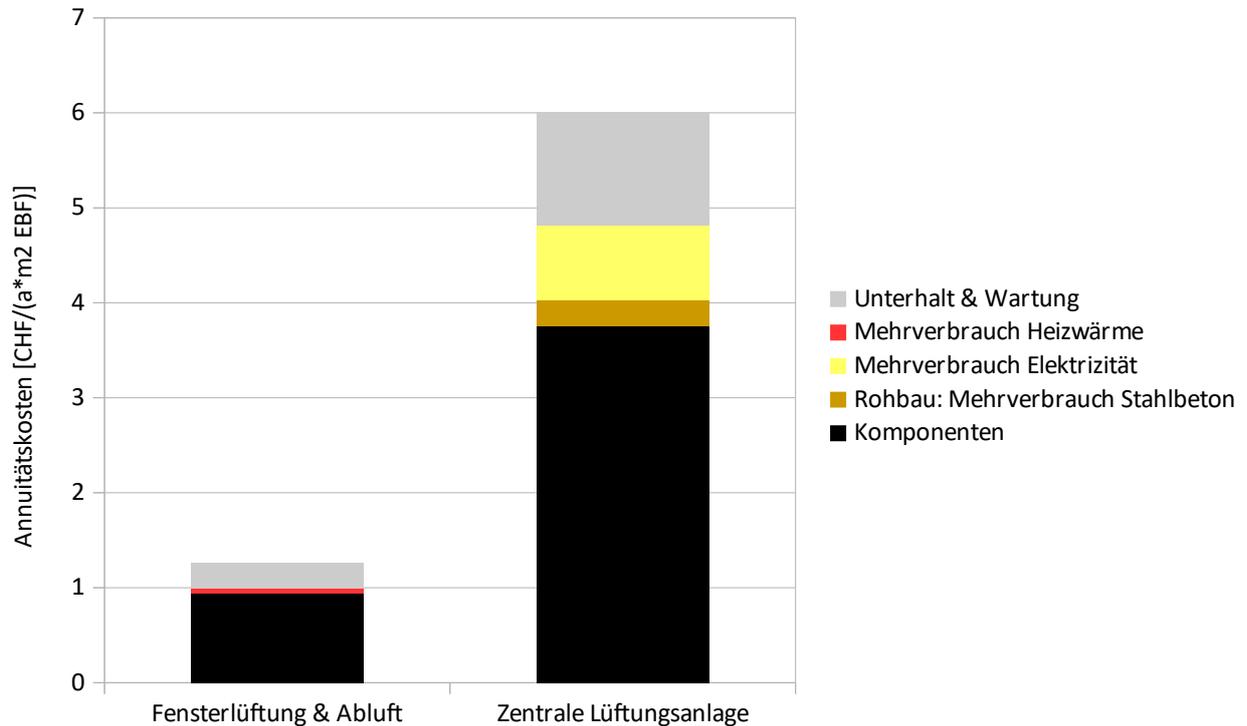


Abbildung 15: Annuitäten der beiden Lüftungssysteme

Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, verursacht die zentrale Lüftungsanlage des GBMZ-Gebäudeteils 380 % höhere Annuitätskosten gegenüber der Fensterlüftung mit Abluft im BGH-Gebäudeteil. Pro Quadratmeter EBF bedeutet dies jährlich Mehrkosten von fast CHF 5.00 für den GBMZ-Gebäudeteil. Der Hauptgrund dafür sind die hohen Investitionskosten der Komponenten der zentralen Lüftungsanlage, welche in Abbildung 15 im schwarzen Balkenabschnitt enthalten sind. Des Weiteren fallen beträchtliche Kosten für den erhöhten Stromverbrauch sowie Unterhalt und Wartung der zentralen Lüftungsanlage an, denn neben den jährlichen Kontroll- und Wartungsarbeiten (inkl. Ersatz der Monoblock-Filtern) wird durchschnittlich alle zehn Jahre eine umfassende und damit kostenintensive Lüftungsreinigung durchgeführt. Bei der unkontrollierten Fensterlüftung mit Abluft fällt ebenfalls alle zehn Jahre eine umfassende Lüftungsreinigung an, wobei der Aufwand im Vergleich zur zentralen Lüftungsanlage mit WRG deutlich geringer ist.

5 Sensitivitätsanalysen der Bilanzierungen

Im Folgenden werden die Einflüsse gewisser Parameter auf die Lebenszykluskosten und/oder die Ökobilanz systematisch untersucht. Auf diese Weise kann die Stabilität der gemachten Aussagen im Rahmen gewisser Parameter-Schwankungen überprüft werden.

5.1. Einfluss der finanziellen Parameter

Der Einfluss des durchschnittlichen Strompreises auf die jährlichen Mehrkosten der zentralen Lüftungsanlage ist in Abbildung 16 ersichtlich.

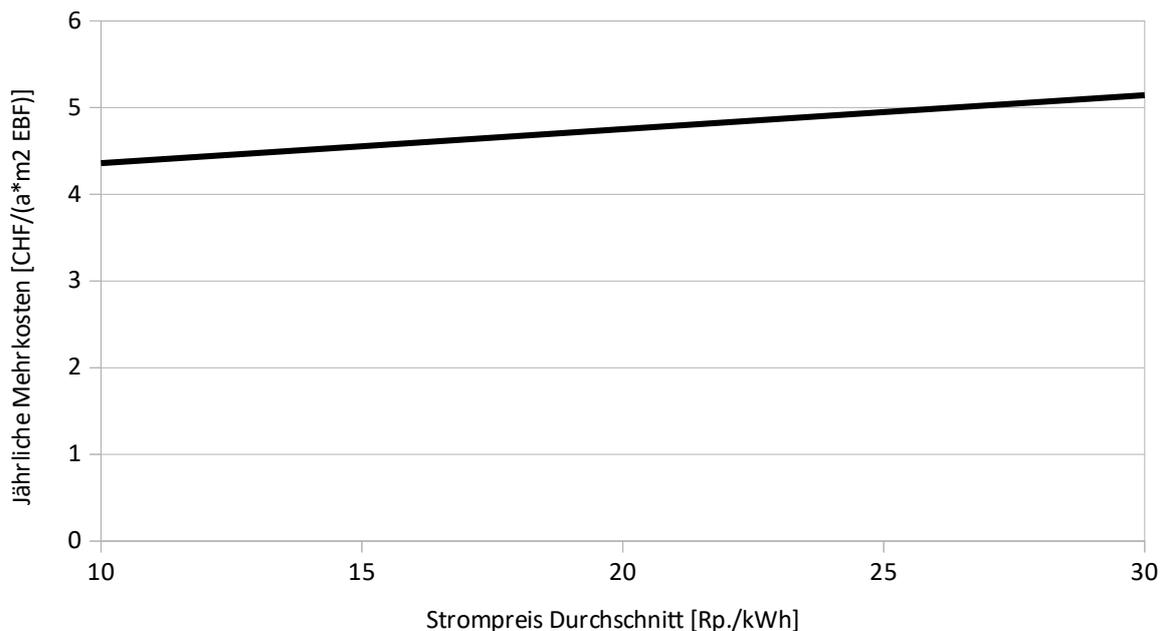


Abbildung 16: Einfluss des Strompreises auf die jährlichen Mehrkosten der zentralen Lüftungsanlage (Verwendeter Wert für Analysen: 20.1 Rp./kWh)

Die Differenz der beiden Annuitätskosten, sprich die jährlichen Mehrkosten der zentralen Lüftungsanlage, nehmen mit zunehmendem Strompreis zu. Grund dafür ist im Vergleich zur Fensterlüftung höhere Stromverbrauch.

Der Einfluss des Gaspreises auf die jährlichen Mehrkosten der zentralen Lüftungsanlage ist in Abbildung 17 ersichtlich. Die jährlichen Mehrkosten sinken mit zunehmendem Gaspreis kaum, da der Heizwärme- und somit auch Gasverbrauch im BGH-Gebäudeteil (Fensterlüftung mit Abluft) nur minimal höher ist als im GBMZ-Gebäudeteil (zentrale Lüftungsanlage mit WRG).

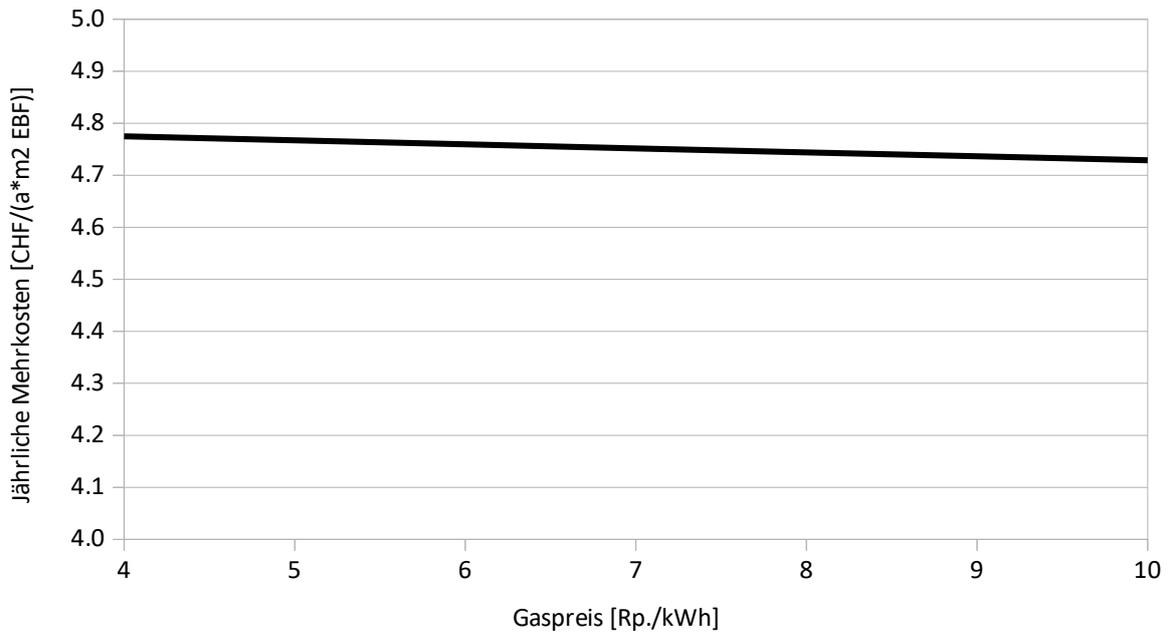


Abbildung 17: Einfluss des Gaspreises auf die jährlichen Mehrkosten der zentralen Lüftungsanlage (Verwendeter Wert für Analysen: 6.1 Rp./kWh)

Der Einfluss des Kapitalkostenzinssatzes auf die jährlichen Mehrkosten der zentralen Lüftungsanlage ist in Abbildung 18 ersichtlich.

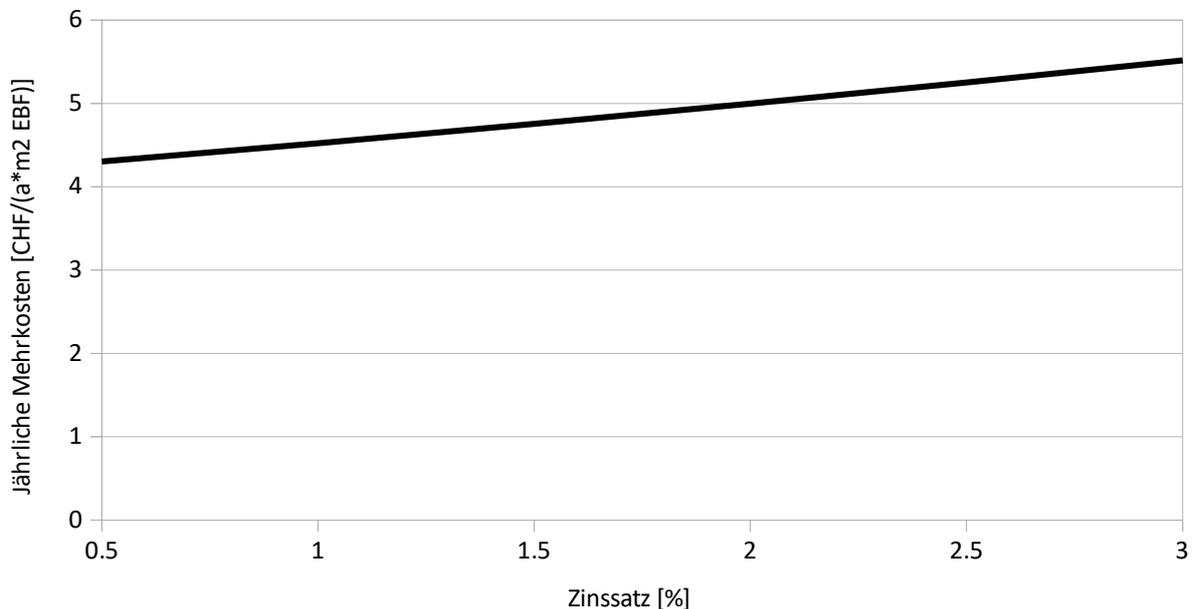


Abbildung 18: Einfluss des Zinssatzes auf die jährlichen Mehrkosten der zentralen Lüftungsanlage (Verwendeter Wert für Analysen: 1.5 %)

Da die zentrale Lüftungsanlage deutlich investitionsintensiver ist als die Fensterlüftung, steigen die Mehrkosten mit zunehmendem Zinssatz stark an. Die unkontrollierte Fensterlüftung mit Abluft verhält sich in Bezug auf Zinssatzschwankungen deutlich stabiler.

5.2. Ergebnisse bei idealem Nutzerverhalten und idealer Wärmerückgewinnung

Gemäss Minergie-Nachweis des GBMZ-Gebäudeteils sollte durch die WRG der zentralen Lüftungsanlage eine deutlich höhere Reduktion des Heizwärmeverbrauchs möglich sein ($10.14 \text{ kWh}/(\text{a} \cdot \text{m}^2_{\text{EBF}})$) statt der gemessenen $0.77 \text{ kWh}/(\text{a} \cdot \text{m}^2_{\text{EBF}})$.²⁶ Wie bereits erwähnt, könnten ein falsches Nutzerverhalten, eine nicht optimal funktionierende WRG und/oder ein häufiger Abtaubetrieb Gründe sein, weshalb die theoretisch möglichen Einsparungen nicht erzielt werden. Um dennoch generell gültige Aussagen zu zentralen Lüftungsanlagen mit WRGs machen zu können, wird in diesem Kapitel ein ideales Szenario untersucht, in dem eine optimal funktionierende zentrale Lüftungsanlage mit optimaler WRG angenommen wird. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass die gemäss Minergie-Nachweis mögliche Reduktion an Heizwärme durch die WRG erreicht wird. Im idealen Szenario fällt der Heizwärmeverbrauch im GBMZ-Gebäudeteil daher um $10.14 \text{ kWh}/(\text{a} \cdot \text{m}^2_{\text{EBF}})$ geringer aus als im BGH-Gebäudeteil. Dies entspricht einer Einsparung von 24.3 %.

Des weiteren wird angenommen, dass der Stromverbrauch der zentralen Lüftungsanlage dem SIA-Grenzwert entspricht. Somit wird in der nachfolgenden Betrachtung für die zentrale Lüftungsanlage ein Mehrverbrauch von lediglich $3.10 \text{ kWh}/(\text{a} \cdot \text{m}^2_{\text{EBF}})$ – statt den gemessenen $3.93 \text{ kWh}/(\text{a} \cdot \text{m}^2_{\text{EBF}})$ – verwendet.

Zusätzlich wird im idealen Szenario die fiktive Annahme getroffen, dass in den BGH-Wohnungen während der Bauphase²⁷ Nachströmelemente verbaut wurden (wie in Kapitel 1.4.1 beschrieben). Die Umweltauswirkungen bzw. Kosten dieser Nachströmelemente werden folglich im idealen Szenario berücksichtigt. Bei den betrachteten Nachströmelementen handelt es sich um passive Elemente, sprich es sind keine Ventilatoren integriert. Des weiteren wird angenommen, dass die Nachströmelemente in eine Rahmenverbreiterung über dem Fenster eingebaut wurden. Die Kosten wurden mittels Offerten eines Lüftungsplaners und Fensterbauers ermittelt und enthalten die Kosten für das Material, die Montage sowie die Aussparungen in den Rahmenverbreiterungen.

Die kalte Nachströmluft wird nicht berücksichtigt, da unklar ist, ob der Heizwärmeverbrauch ansteigen (da der thermisch wirksame Aussenluft-Volumenstrom theoretisch zunimmt) oder sinken würde (da beim Betrieb der Abluftventilatoren die Fenster nicht jedes Mal geöffnet werden müssten). Denn aufgrund der dichten Gebäudehülle ist zwar der thermisch wirksame Aussenluft-Volumenstrom zur Zeit (ohne Nachströmelemente) sehr tief, allerdings müssen die Fenster aufgrund von Unterdruck immer geöffnet werden sobald die Abluftventilatoren in den Nasszellen oder Küchen in Betrieb sind. Deshalb wird im idealen Szenario für den BGH-Gebäudeteil wiederum der gemessene Heizwärmeverbrauch verwendet.

26 Die $10.14 \text{ kWh}/(\text{a} \cdot \text{m}^2_{\text{EBF}})$ entsprechen der im Minergie-Nachweis aufgeführten Differenz zwischen dem Heizwärmebedarf mit Standardluftwechsel (Q_h) und dem effektiven Heizwärmebedarf mit Lüftungsanlage ($Q_{h,\text{eff}}$). Es wird die absolute Differenz (d.h. eingesparte Heizwärme) berechnet, welche dann auf die in der Studie verwendete EBF normiert wird (konservativster Berechnungsweise).

27 Würden die Wohnungen nachträglich mit Nachströmelementen ausgerüstet werden, wären die Kosten deutlich höher.

Die Umweltauswirkungen der beiden betrachteten Lüftungssysteme im idealen Szenario sind in den folgenden Grafiken anhand der Indikatoren Umweltbelastungspunkte (UBP), nicht erneuerbare Primärenergie (PENR) und Global Warming Potential (GWP; CO₂-Emissionen) dargestellt.

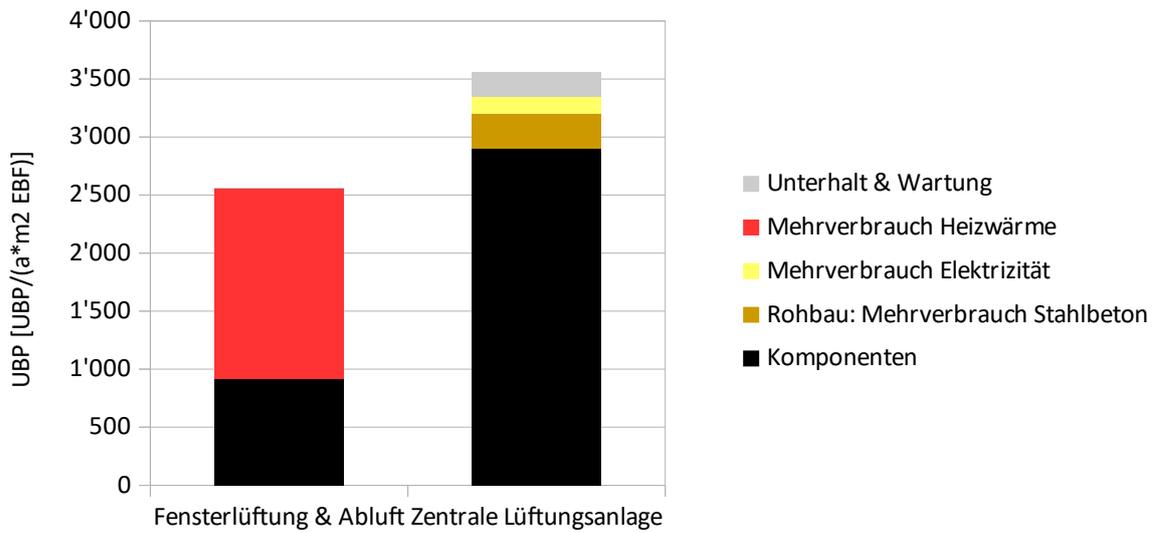


Abbildung 19: Umweltauswirkungen im idealen Szenario, ausgedrückt in UBP

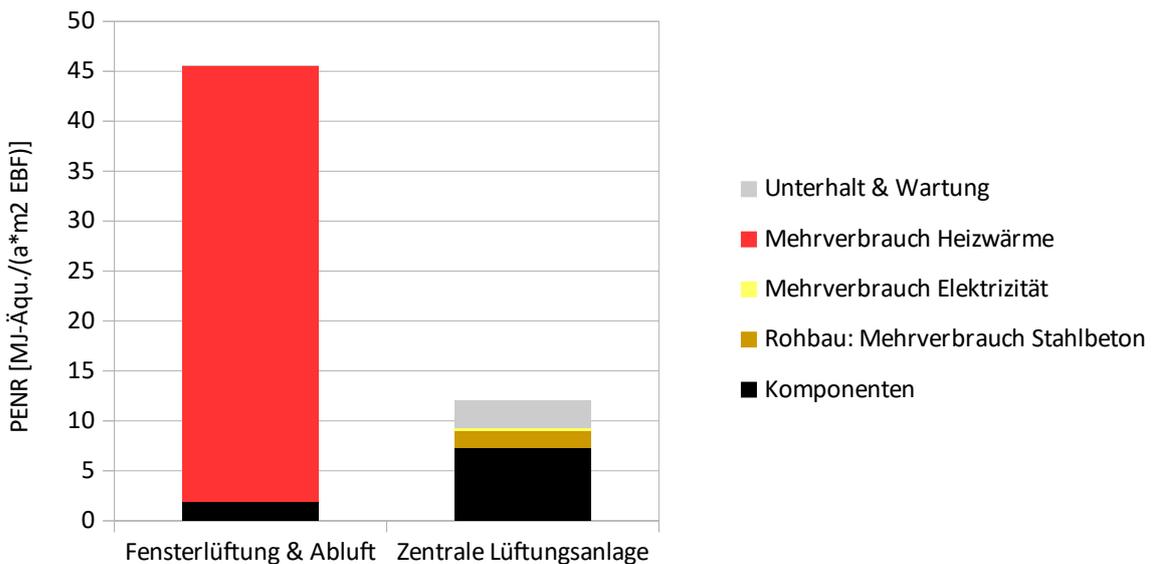


Abbildung 20: Umweltauswirkungen im idealen Szenario, ausgedrückt in PENR

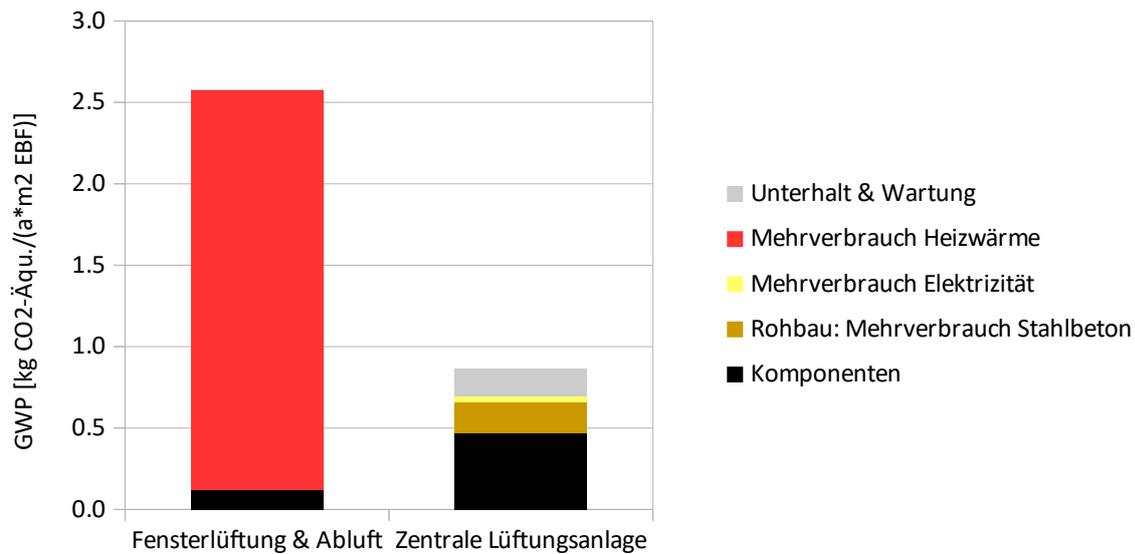


Abbildung 21: Umweltauswirkungen im idealen Szenario, ausgedrückt in GWP

Durch den 24.3 % tieferen Heizwärmeverbrauch schneidet die zentrale Lüftungsanlage mit WRG bei zwei von drei Indikatoren deutlich besser ab. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, verbraucht sie 74 % weniger nicht erneuerbare Primärenergie und verursacht 67 % weniger Treibhausgasemissionen. Da die Heizwärme durch Gas (fossiler Energieträger) erzeugt wird, ist der Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie sowie der Anfall an Treibhausgasemissionen praktisch nur durch den Heizwärme- (bzw. Gas-)verbrauch bestimmt. In Abbildung 20 und 21 ist der enorme Einfluss des Mehrverbrauchs an Heizwärme (rot dargestellt) unverkennbar. Wird dagegen die totale Umweltbelastung betrachtet, schneidet die zentrale Lüftungsanlage mit WRG erneut schlechter ab als die Fensterlüftung mit Abluft. So kommt die zentrale Lüftungsanlage mit WRG, über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, auf einen 39 % höheren UBP-Wert, sprich die Umwelt wird immer noch deutlich stärker belastet als bei der unkontrollierten Fensterlüftung mit Abluft.

Die Annuitäten (Jahreskosten) der beiden Lüftungssysteme im idealen Szenario sind in Abbildung 22 dargestellt.

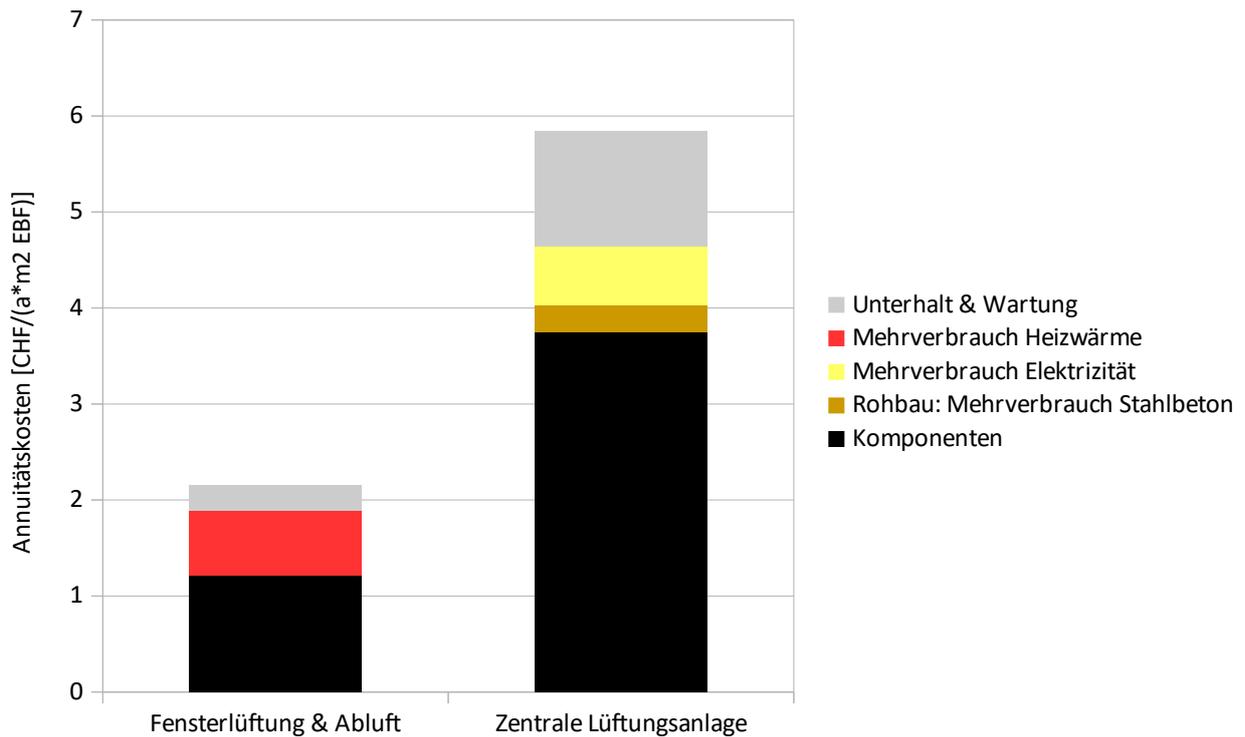


Abbildung 22: Annuitäten im idealen Szenario

Beim finanziellen Vergleich ändern die höheren Einsparungen beim Heizwärmeverbrauch nicht viel am Abschneiden der zentralen Lüftungsanlage mit WRG gegenüber der Fensterlüftung mit Abluft. So verursacht die zentrale Lüftungsanlage mit WRG immer noch 171 % höhere Annuitätskosten. Die gegenüber der Fensterlüftung mit Abluft erzielte Einsparung an Heizkosten kann die hohen Investitionskosten der Komponenten sowie die höheren Wartungs- und Stromkosten nicht annähernd kompensieren.

5.3. Ergebnisse bei längeren Lebensdauern der Komponenten

Die Lebensdauern der einzelnen Komponenten wurden aus der Norm SIA 382/1 übernommen. Da die Norm eher konservative Lebensdauern vorschreibt, sprich die Lebensdauern eher unterschätzt, werden im nachfolgend betrachteten Szenario längere bzw. realistischere Lebensdauern der Komponenten angenommen. Als Grundlage dient das in Kapitel 5.2 betrachtete ideale Szenario (mit maximaler Einsparung an Heizwärme sowie fiktiven Nachströmelementen im BGH-Gebäudeteil). In Tabelle 7 sind die bisher verwendeten sowie die neuen, realitätsnahen Lebensdauern der verschiedenen Komponenten zu sehen.

Tabelle 7: Lebensdauern der Komponenten

Komponente	Lebensdauer	
	SIA 382/1	Optimistische Annahme
Filtermaterial	1	1
Kanäle/Rohre	30	50
Luftdurchlasse	30	50
Monoblocks (inkl. WRG und Luftheritzer)	20	50
Motoren	20	25
Pumpen	20	25
Ventilatoren	20	25

Die Umweltauswirkungen der beiden betrachteten Lüftungssysteme im idealen Szenario mit langlebigen Komponenten sind in den folgenden Grafiken anhand der Indikatoren Umweltbelastungspunkte (UBP), nicht erneuerbare Primärenergie (PENR) und Global Warming Potential (GWP; CO₂-Emissionen) dargestellt.

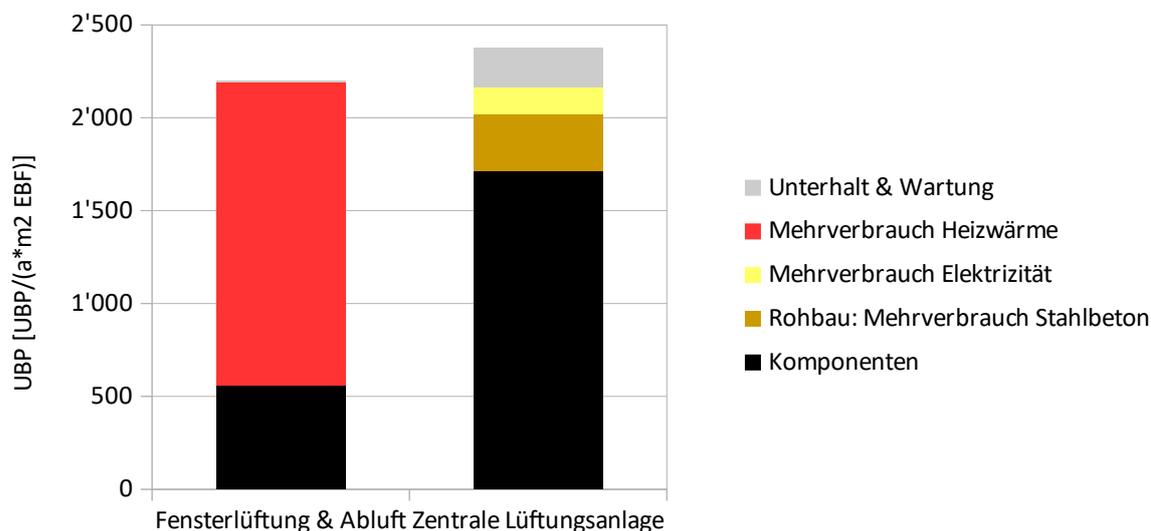


Abbildung 23: Umweltauswirkungen im idealen Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in UBP

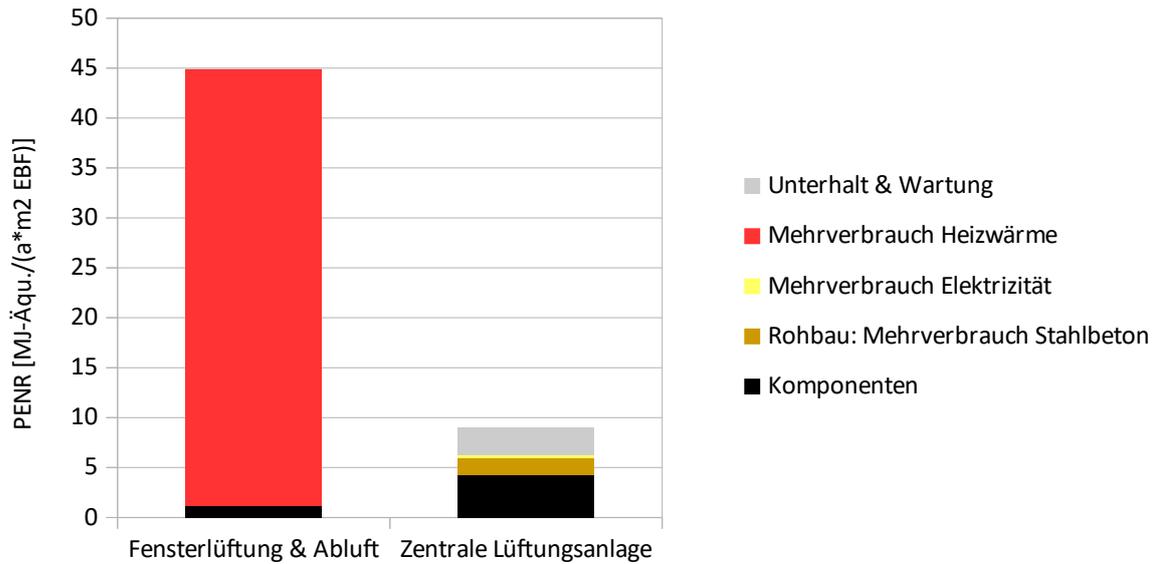


Abbildung 24: Umweltauswirkungen im idealen Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in PENR

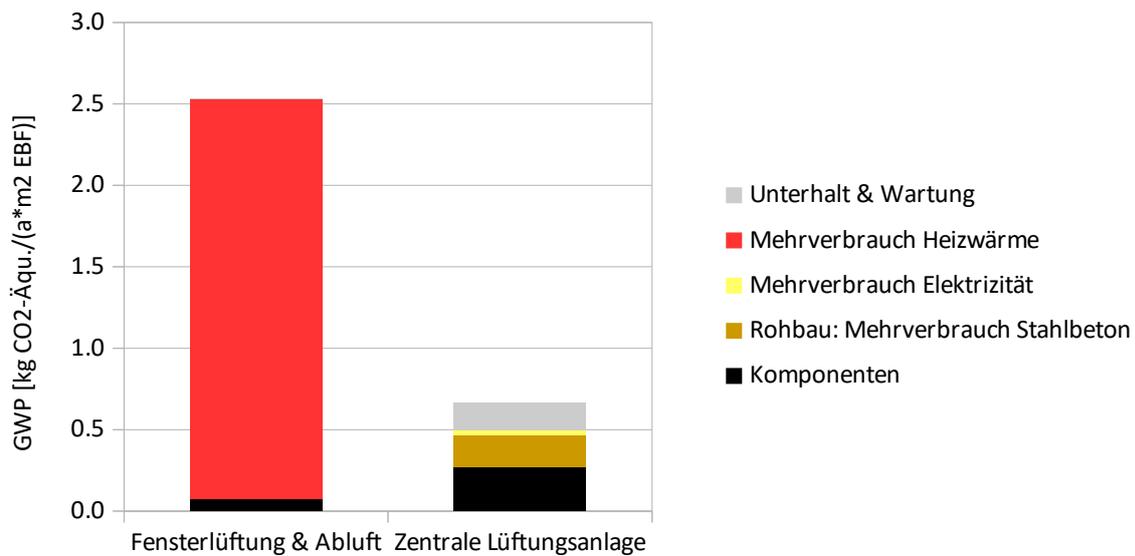


Abbildung 25: Umweltauswirkungen im idealen Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in GWP

Wiederum schneidet die zentrale Lüftungsanlage mit WRG bei zwei von drei Indikatoren besser ab als die Fensterlüftung mit Abluft. Durch die – neben dem 24.3 % tieferen Heizwärmeverbrauch – längeren Lebensdauern der Komponenten verbraucht die zentrale Lüftungsanlage nun 80 % weniger nicht erneuerbare Primärenergie und verursacht 74 % weniger Treibhausgasemissionen. Da aufgrund der Gasheizung jeweils ein Grossteil der Umweltauswirkungen dieser zwei Indikatoren durch den Heizwärme- (bzw. Gas-)verbrauch verursacht wird, haben die längeren Lebensdauern der Komponenten nur einen sehr geringen Einfluss auf die Resultate. Auf die totale Umweltbelastung, welche mit der Methode der ökologischen Knappheit ermittelt wird, ist der Einfluss der Komponenten etwas grösser, wie in Abbildung 23 zu sehen ist. Trotzdem weist die zentrale Lüftungsanlage mit WRG, über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, immer noch 8 % mehr UBPs auf als die unkontrollierte Fensterlüftung mit Abluft. Dieses Resultat zeigt, dass bei einem Heizsystem mit fossilen Brennstoffen die zentrale Lüftungsanlage mit WRG selbst mit sehr optimistischen Annahmen

(maximale Einsparung an Heizwärme sowie sehr langlebige Komponenten) die Umwelt immer noch stärker belastet als die unkontrollierte Fensterlüftung mit Abluft.

Die Annuitäten (Jahreskosten) der beiden Lüftungssysteme im idealen Szenario mit langlebigen Komponenten sind in Abbildung 26 dargestellt.

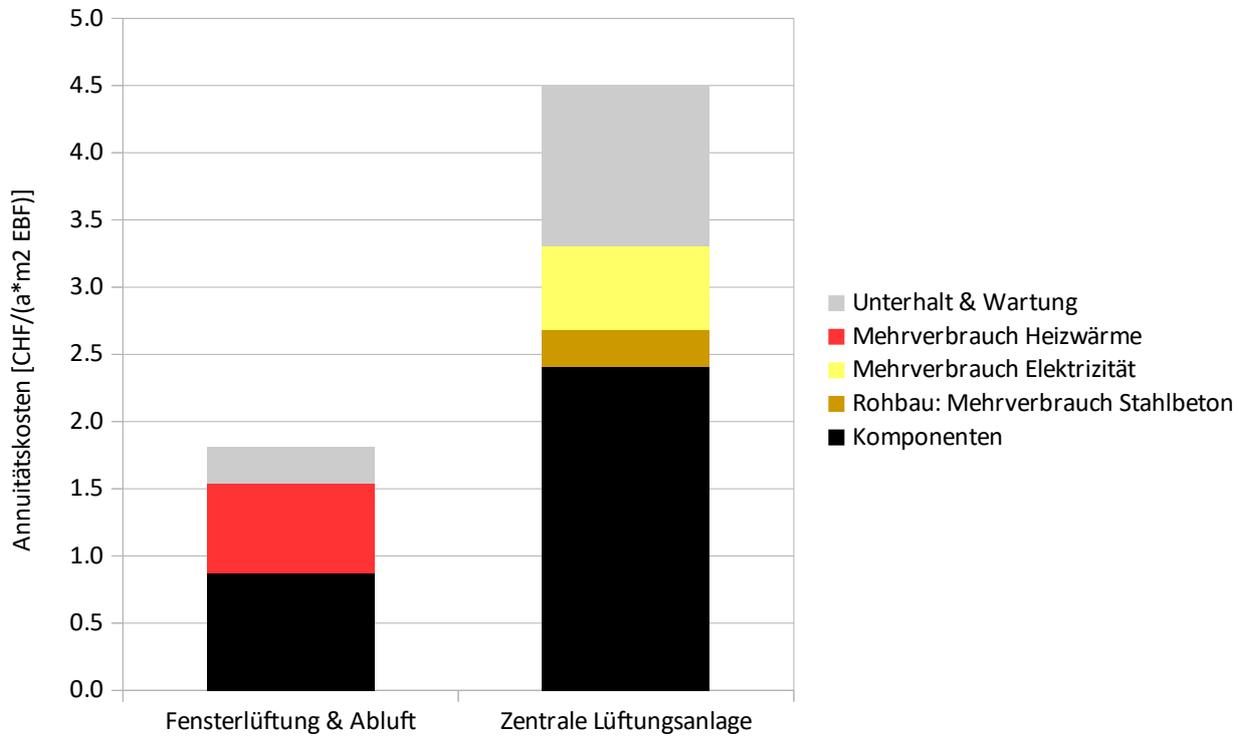


Abbildung 26: Annuitäten im idealen Szenario mit langlebigen Komponenten

Auch mit längeren Lebensdauern der Komponenten verursacht die zentrale Lüftungsanlage mit WRG immer noch 148 % höhere Annuitätskosten als die Fensterlüftung mit Abluft. Dieses Resultat zeigt eindrücklich, dass sich eine zentrale Lüftungsanlage mit WRG bei einem Heizsystem mit fossilen Brennstoffen – auch bei sehr optimistischen Annahmen – gegenüber der unkontrollierten Fensterlüftung mit Abluft finanziell nicht lohnt.

5.4. Verallgemeinertes Szenario mit Erdwärmesonden-Wärmepumpen und Schweizer Verbrauchermix

Heutzutage werden Neubauten in sehr vielen Fällen ohne Verbrennungsprozesse beheizt. Für die Heiz- und Warmwassererzeugung kommen überwiegend Wärmepumpen zum Einsatz, so beispielsweise auch in der Stadt Zürich, wo im Jahr 2016/2017 69 % aller Neubauten mit Wärmepumpen-Heizsystemen ausgestattet wurden [10]. Folglich stellt sich die Frage, wie eine zentrale Lüftungsanlage mit Lüfterwärmung und WRG ökologisch und finanziell abschneidet, wenn die Heizwärme mittels Umweltwärme und Wärmepumpen erzeugt wird. Um dies zu untersuchen, wird ein weiteres, fiktives Szenario gebildet. Es wird angenommen, dass die gesamte Siedlung Klee mittels Erdwärmesonden-Wärmepumpen (EWS-Wärmepumpen) beheizt wird. Dafür wird neu auch die graue Energie der Wärmegewinnung und -erzeugung betrachtet, da die Leistung der Wärmeerzeugungssysteme durch die WRG beeinflusst wird und deshalb vergleichsrelevant ist. Um möglichst allgemeine Aussagen ableiten zu können, wird im Folgenden zudem davon ausgegangen, dass der durchschnittliche Schweizer Verbrauchermix bezogen wird (anstelle des bisherigen Ökostrommix). Des Weiteren wird erneut angenommen, dass durch die zentrale Lüftungsanlage mit WRG eine maximale Einsparung an Heizwärme erzielt werden kann sowie dass in den BGH-Wohnungen jeweils Nachströmelemente verbaut sind, wie beim idealen Szenario beschrieben (Kapitel 5.2). Diese Annahmen dienen dazu, einen möglichst allgemein gültigen Fall zu betrachten.

Die wichtigsten verwendeten Parameter finden sich in Tabelle 8.

Tabelle 8: Verwendete Parameter im verallgemeinerten Szenario

Bezeichnung	Wert
Strompreis	17.10 Rp./kWh ²⁸
Verwendeter Strommix LCA	Market for Electricity, Low Voltage, CH ²⁹
Verwendeter Prozess für Wärmeerzeugung inkl. grauer Energie	Heat Production, Borehole Heat Exchanger, Brine-Water Heat Pump 10 kW, CH ³⁰
Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe ³¹	3.9
Zinssatz	1.5 %

Im verwendeten ecoinvent-Prozess für die Wärmeerzeugung ist neben der Betriebsenergie (Strom für Produktion der Heizwärme) auch die graue Energie für die Herstellung, Installation, Demontage und Entsorgung der Erdwärmesonden und Wärmepumpe enthalten. Somit wird berücksichtigt, dass das Heizsystem (Erdwärmesonden und Wärmepumpe) im Gebäudeteil mit zentraler Lüftungsanlage und WRG kleiner ausfällt als das Heizsystem des Gebäudeteils mit Fensterlüftung und Abluft (aufgrund der tieferen benötigten Heizleistung). Mit diesem Vorgehen wird also angenommen, dass das Heizsystem im Gebäudeteil mit zentraler Lüftungsanlage und WRG 24.3 % kleiner dimensioniert werden kann als das Heizsystem im Gebäudeteil mit Fensterlüftung und Abluft (entsprechend der Einsparung an Heizwärme). Dies ist eine konservative Annahme, da sich in der Realität die Kosten und Umweltauswirkungen der Installation eines Heizsystems nicht linear zum Heizwärmebedarf reduzieren: Viele einmalige Aufwände fallen ohnehin und

28 Durchschnittlicher Endverbraucherpreis 2015 gemäss *Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2016* vom Bundesamt für Energie (BFE)

29 ecoinvent-Prozess: Durchschnittlicher Schweizer Verbrauchermix aus dem Jahr 2014

30 ecoinvent-Prozess: Wärmeproduktion mittels Sole/Wasser-Wärmepumpe mit 10 kW Heizleistung und einer JAZ von 3.9 (inkl. grauer Energie)

31 Die JAZ drückt die Effizienz einer Wärmepumpe aus und beschreibt das Verhältnis von abgegebener Heizwärme zum dafür erforderlichen Stromverbrauch während eines Jahres.

relativ unabhängig vom Heizwärmebedarf an (z.B. Anfahren der Bohrmaschinen, Installation und Inbetriebnahme der Wärmepumpe, Verrohrungen in der Heizzentrale, etc.), und ein Teil der Heizleistung wird für das Warmwasser benötigt und wird somit nicht durch die WRG der KWL beeinflusst.

Des Weiteren basiert der verwendeteecoinvent-Prozess für die Wärmezeugung auf einer Wärmepumpe mit 10 kW Heizleistung. Da im betrachteten Szenario allerdings deutlich leistungsstärkere Wärmepumpen verwendet werden, würde der Anteil an grauer Energie pro kWh Heizwärme aufgrund des Skalierungseffektes deutlich geringer ausfallen. Somit ist auch diese Annahme konservativ, sprich die zentrale Lüftungsanlage wird durch die Wahl des Prozesses tendenziell besser bewertet.

Die Umweltauswirkungen der beiden Lüftungssysteme im verallgemeinerten Szenario mit nachhaltiger Wärmezeugung und Schweizer Verbrauchermix sind in den folgenden Grafiken anhand der Indikatoren Umweltbelastungspunkte (UBP), nicht erneuerbare Primärenergie (PENR) und Global Warming Potential (GWP; CO₂-Emissionen) dargestellt. Neu ist im roten Balkenabschnitt auch die graue Energie der Heizwärmeproduktion (Herstellung, Installation, Demontage und Entsorgung der Erdwärmesonden und Wärmepumpen) enthalten.

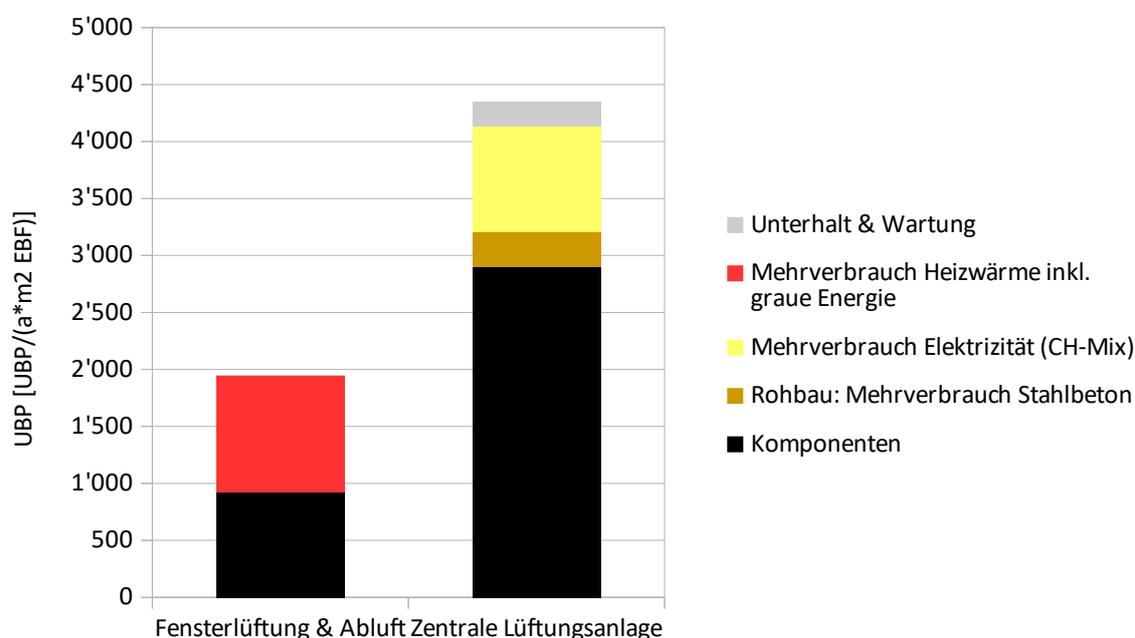


Abbildung 27: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario, ausgedrückt in UBP

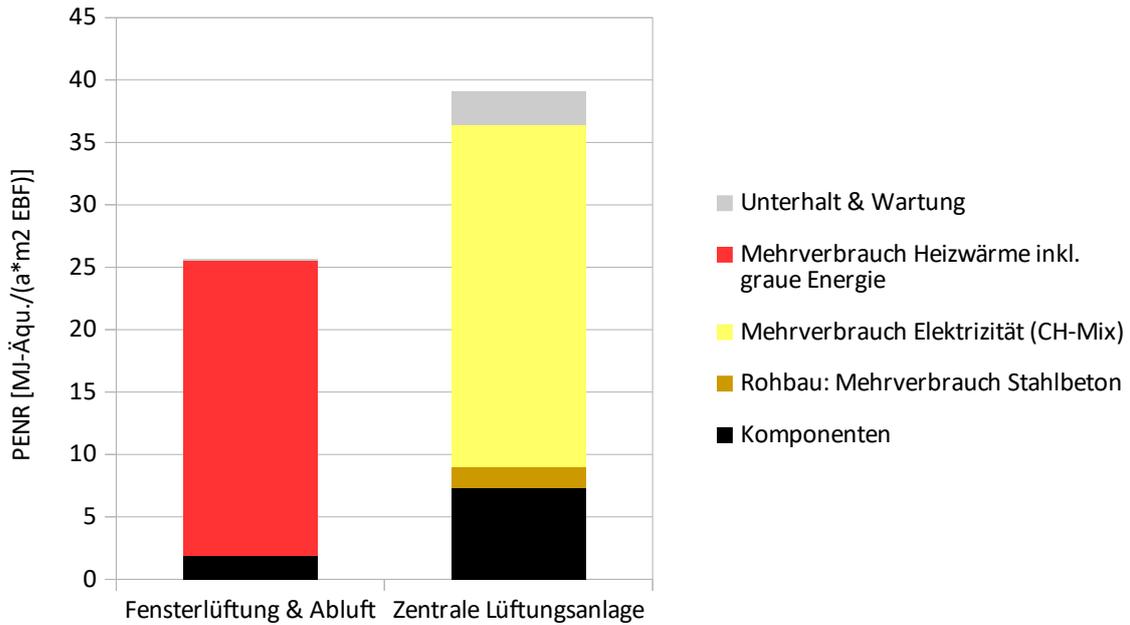


Abbildung 28: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario, ausgedrückt in PENR

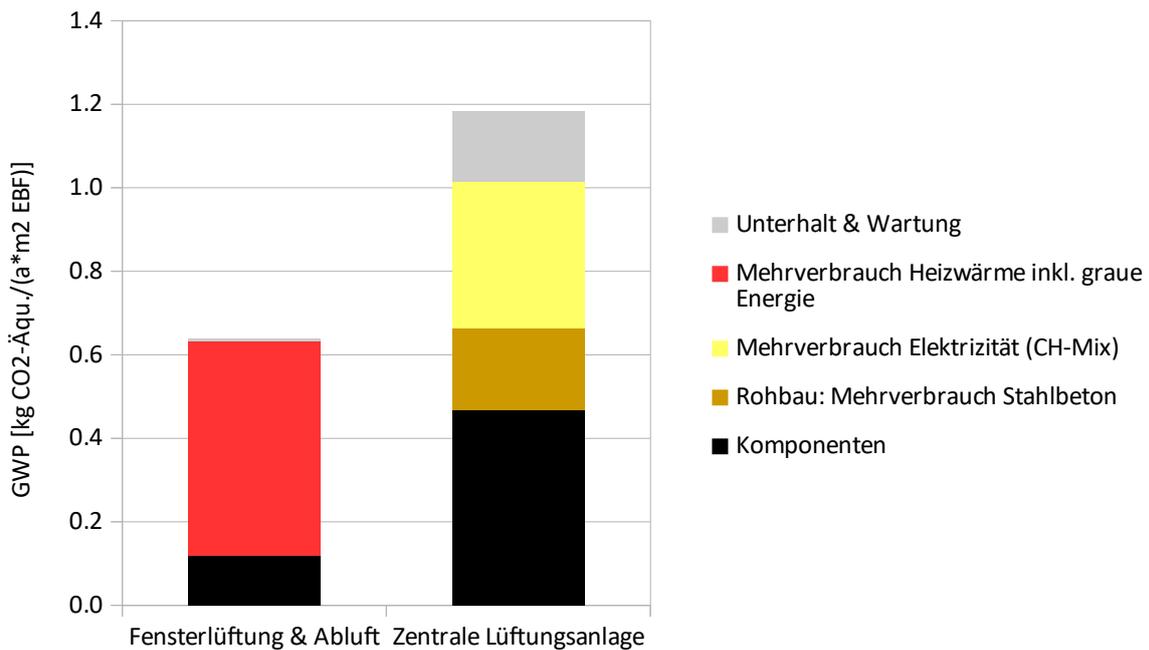


Abbildung 29: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario, ausgedrückt in GWP

Die zentrale Lüftungsanlage mit WRG schneidet im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario bei allen drei betrachteten Indikatoren deutlich schlechter ab als die unkontrollierte Fensterlüftung mit Abluft. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, verbraucht die zentrale Lüftungsanlage mit WRG 52 % mehr nicht erneuerbare Primärenergie und verursacht 85 % mehr Treibhausgasemissionen. Am deutlichsten ist die Differenz bei der totalen Umweltbelastung, ermittelt mit der Schweizer Methode der ökologischen Knappheit. Demnach ist die durch die zentrale Lüftungsanlage mit WRG verursachte Umweltbelastung um 123 % höher als diejenige der Fensterlüftung mit Abluft.

Die Fensterlüftung verbraucht nicht nur mehr Heizwärme, sondern das grössere Heizsystem (EWS-Wärmepumpen) verursacht auch mehr graue Emissionen. Insgesamt schneidet die zentrale Lüftungsanlage aber aufgrund der grauen Emissionen der Lüftungskomponenten, des zusätzlich verbauten Stahlbetons sowie des erhöhten Stromverbrauches und Wartungsaufwandes trotzdem deutlich schlechter ab.

Auffallend ist zudem, dass die zentrale Lüftungsanlage mit WRG im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario, sprich bei einer nachhaltigen Wärmeerzeugung, schlechter abschneidet (relativ betrachtet) als wenn die Heizwärmeproduktion durch Gas erfolgt (siehe Ergebnisse bei idealem Nutzerverhalten und idealer Wärmerückgewinnung in Kapitel 5.2). Der Grund dafür ist der Folgende: Zwar kann durch die zentrale Lüftungsanlage mit WRG im EWS-Wärmepumpen-Szenario wiederum 24.3 % an Heizwärme eingespart werden gegenüber der Fensterlüftung mit Abluft, allerdings handelt es sich nun um nachhaltige Heizwärme, im Gegensatz zum idealen Szenario, wo mit Gas geheizt wird. Wenn also die Wärmeerzeugung nicht durch fossile Energieträger erfolgt, lohnt es sich deutlich weniger, Heizwärme einzusparen – durch einen enormen Mehraufwand bei den Komponenten, dem zusätzlich verbauten Stahlbeton, dem Stromverbrauch und der Wartung. Diese Ergebnisse sind insofern von hoher Relevanz, da heutzutage eine Mehrheit der Neubauten mit Wärmepumpen-Heizsystemen ausgestattet werden.

Bei der LCC, sprich der finanziellen Bewertung der beiden Lüftungssysteme, wird ebenfalls davon ausgegangen, dass das Heizsystem im Gebäudeteil mit zentraler Lüftungsanlage und WRG 24.3 % kleiner dimensioniert werden kann als das Heizsystem im Gebäudeteil mit Fensterlüftung und Abluft (entsprechend der Einsparung an Heizwärme). Es wird angenommen, dass somit auch die Investitionskosten des Heizsystems vom Gebäudeteil mit KWL 24.3 % tiefer sind als die Investitionskosten des Heizsystems vom Fensterlüftung-Gebäudeteil. In absoluten Zahlen ausgedrückt bedeutet dies, dass bei der unkontrollierten Fensterlüftung mit Abluft Mehrkosten in der Höhe von CHF 260'000 für die Erdwärmesonden und Wärmepumpe anfallen.³² Wie schon erwähnt, stellt dies eine konservative Annahme dar, sprich die Investitionskosten für ein Heizsystem würden sich in der Realität durch eine zentrale Lüftungsanlage mit WRG wohl kaum um denselben Prozentsatz reduzieren lassen wie der Heizwärmebedarf.

32 Die CHF 260'000 entsprechen 24.3 % der totalen Investitionskosten für ein Wärmeerzeugungssystem (bestehend aus Erdwärmesonden und Wärmepumpe), welches auf den Gebäudeteil mit unkontrollierter Fensterlüftung und Abluft dimensioniert wurde. Die Dimensionierung und Kostenschätzung erfolgte durch s3-engineering.

Die Annuitäten (Jahreskosten) der beiden Lüftungssysteme im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario sind in Abbildung 30 dargestellt.

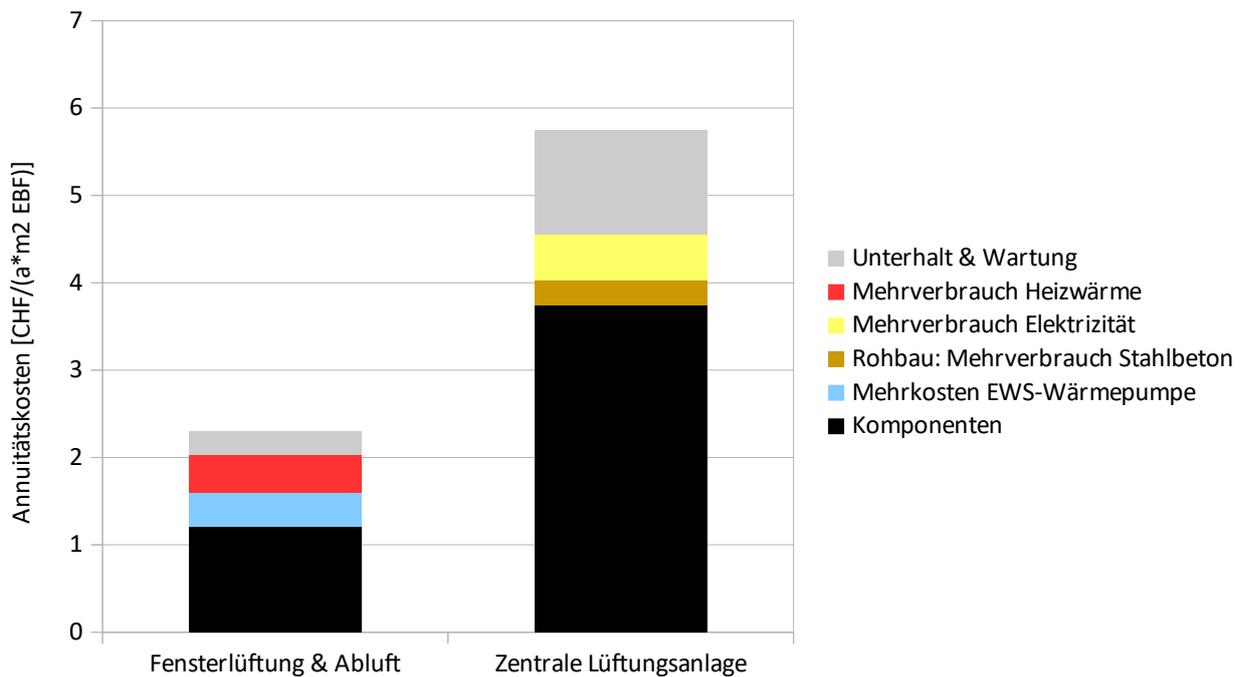


Abbildung 30: Annuitäten im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario

Wie auch bei den Ökobilanzen schneidet die zentrale Lüftungsanlage mit WRG, finanziell über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, deutlich schlechter ab als die unkontrollierte Fensterlüftung mit Abluft. Die Lebenszykluskosten der zentralen Lüftungsanlage mit WRG sind über doppelt so hoch (150 % höher) als jene der Fensterlüftung mit Abluft. Die Mehrkosten für die Erdwärmesonden und Wärmepumpe bei der Fensterlüftung fallen aufgrund der hohen Investitionskosten der Zentrallüftungskomponenten, den höheren Stromkosten sowie den hohen Kosten für Unterhalt und Wartung der zentralen Lüftungsanlage kaum ins Gewicht.

5.4.1. Ergebnisse bei längeren Lebensdauern der Komponenten

Wie schon beim idealen Szenario (in welchem die Wärmeerzeugung mittels Gasheizung erfolgt) wird nachfolgend auch beim EWS-Wärmepumpen-Szenario die Auswirkung von längeren bzw. realistischeren Lebensdauern der Komponenten untersucht. Bis anhin wurden beim EWS-Wärmepumpen-Szenario die Lebensdauern der Lüftungskomponenten aus der Norm SIA 382/1 übernommen. Im Folgenden werden dagegen die in Kapitel 5.3 in Tabelle 7 gezeigten, optimistischen Lebensdauern für die Komponenten angenommen. Im nachfolgend betrachteten Szenario werden für die zentrale Lüftungsanlage mit WRG somit die folgenden konservativen Annahmen getroffen, womit sich auch für ein nachhaltiges Heizsystem allgemeine Aussagen zu zentralen Lüftungsanlagen mit WRG treffen lassen:

- Maximale Einsparung an Heizwärme (siehe Kapitel 5.2)
- Optimistische Lebensdauer der Lüftungskomponenten (siehe Kapitel 5.3)
- Maximale Einsparung an grauer Energie bzw. Investitionskosten (siehe Kapitel 5.4)

Die Umweltauswirkungen der beiden betrachteten Lüftungssysteme im EWS-Wärmepumpen-Szenario mit langlebigen Komponenten sind in den folgenden Grafiken anhand der Indikatoren Umweltbelastungspunkte (UBP), nicht erneuerbare Primärenergie (PENR) und Global Warming Potential (GWP; CO₂-Emissionen) dargestellt.

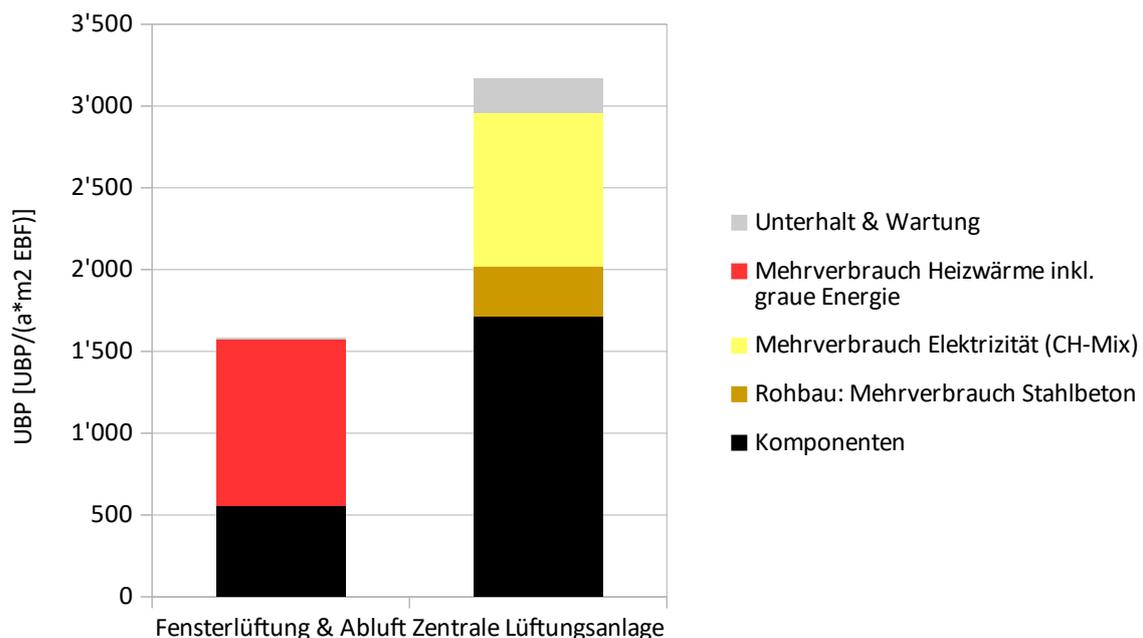


Abbildung 31: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in UBP

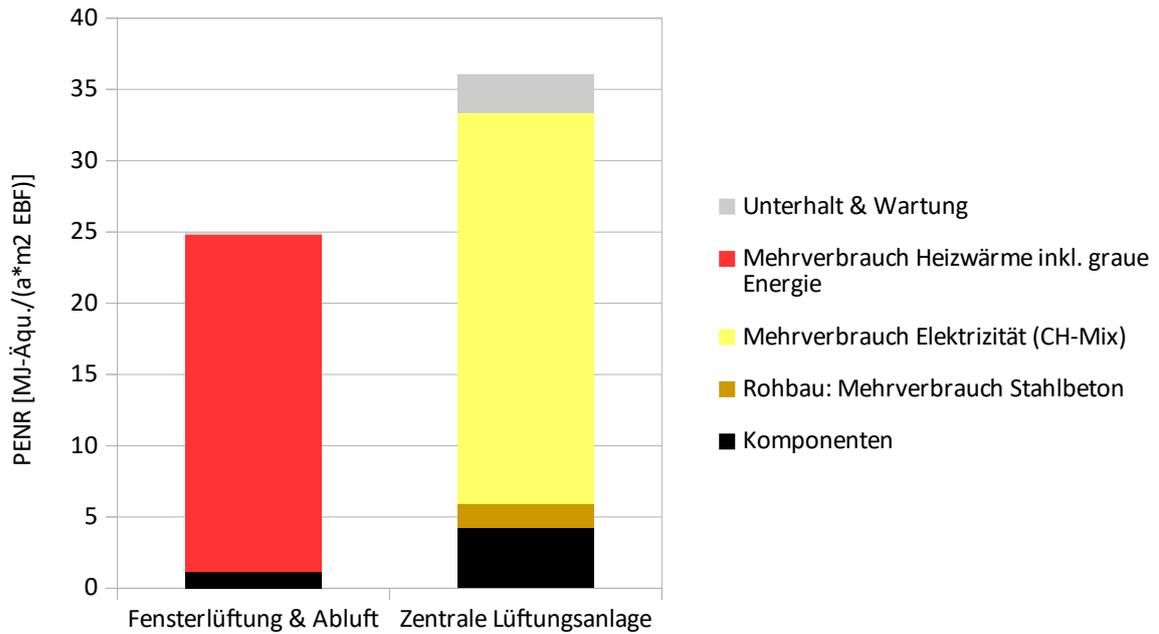


Abbildung 32: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in PENR

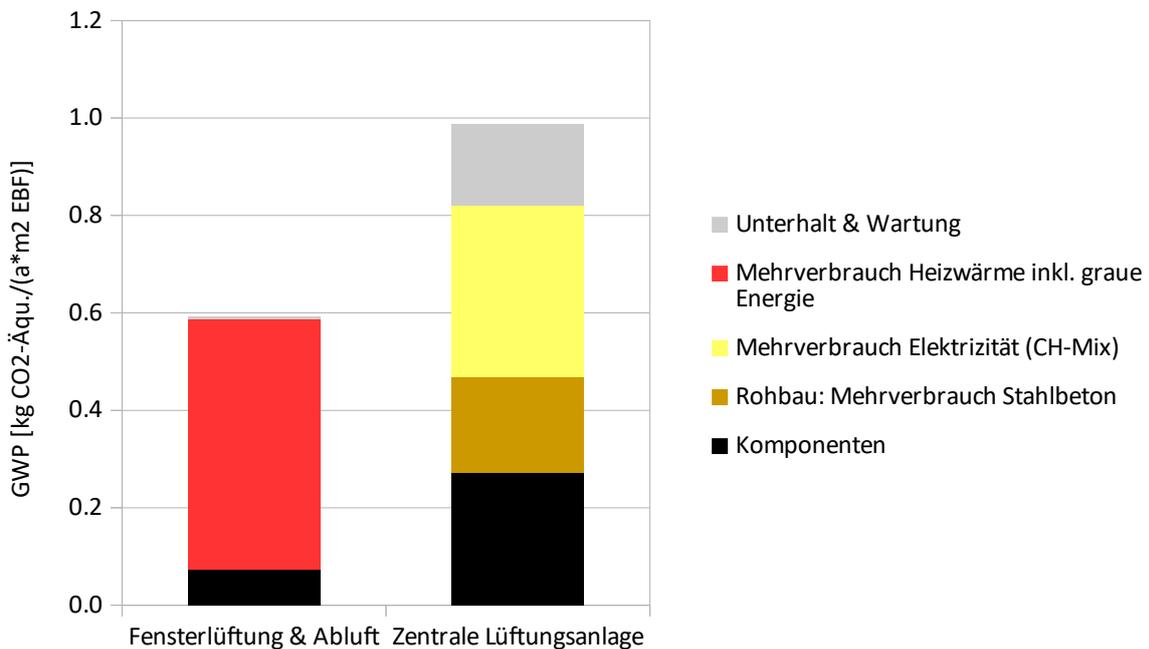


Abbildung 33: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in GWP

Die zentrale Lüftungsanlage mit WRG schneidet auch im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario mit langlebigen Komponenten bei allen drei betrachteten Indikatoren deutlich schlechter ab als die unkontrollierte Fensterlüftung mit Abluft. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, verbraucht die zentrale Lüftungsanlage mit WRG 45 % mehr nicht erneuerbare Primärenergie und verursacht 67 % mehr Treibhausgasemissionen. Am deutlichsten ist die Differenz erneut bei der totalen Umweltbelastung, ermittelt mit der

Schweizer Methode der ökologischen Knappheit. Demnach ist die durch die zentrale Lüftungsanlage mit WRG verursachte Umweltbelastung rund doppelt so hoch, sprich 100 % höher als diejenige der Fensterlüftung mit Abluft. Dieses Resultat zeigt, dass auch bei einem nachhaltigen Heizsystem die zentrale Lüftungsanlage mit WRG – selbst mit sehr optimistischen Annahmen (maximale Einsparung an Heizwärme und grauer Energie sowie sehr langlebige Komponenten) – die Umwelt deutlich stärker belastet als die unkontrollierte Fensterlüftung mit Abluft.

Die Annuitäten (Jahreskosten) der beiden Lüftungssysteme im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario mit langlebigen Komponenten sind in Abbildung 34 dargestellt.

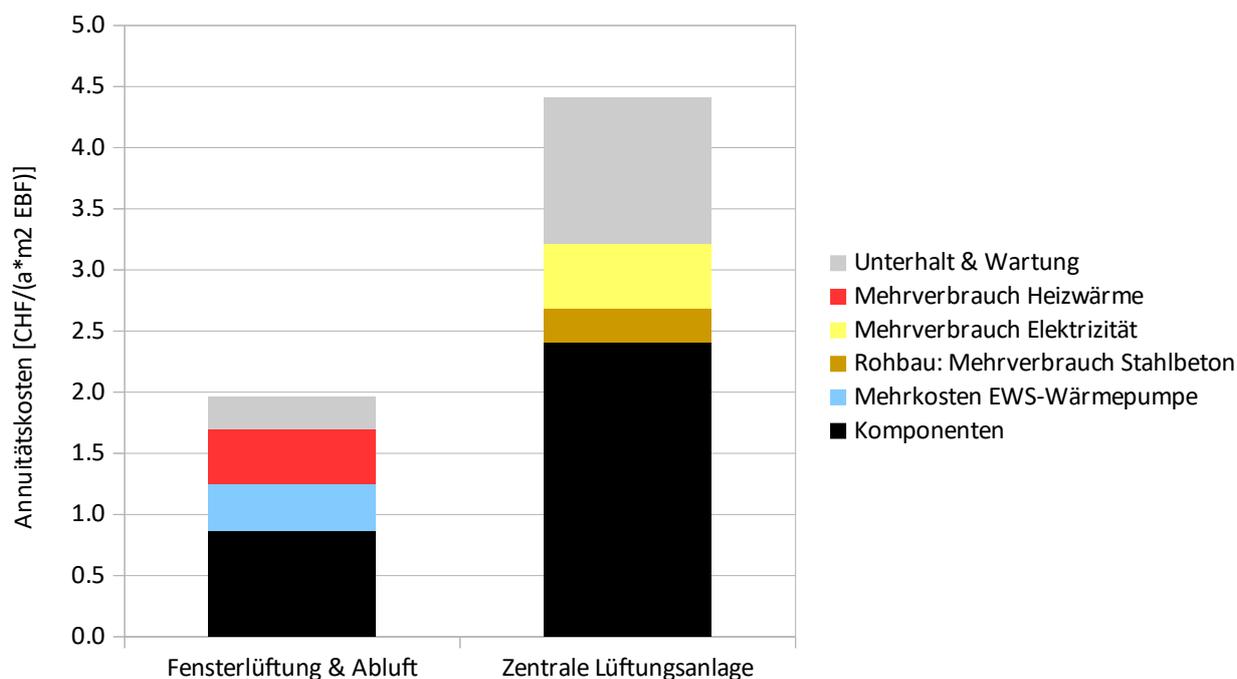


Abbildung 34: Annuitäten im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario mit langlebigen Komponenten

Auch im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario mit längeren Lebensdauern der Komponenten verursacht die zentrale Lüftungsanlage mit WRG immer noch 125 % höhere, sprich über doppelt so hohe Annuitätskosten als die Fensterlüftung mit Abluft.

6 Resultate und Diskussion der Mieterbefragung

Die Resultate der Mieterbefragung werden in fünf Teilen behandelt. In Kapitel 6.1 werden die beiden Stichproben soziodemografisch beschrieben (deskriptive Statistik). Danach werden die Resultate bezüglich Luftqualität und Komfort (Kapitel 6.2), Lüftungsverhalten (Kapitel 6.3) und Lüftungskonzept (Kapitel 6.4) gezeigt. Schliesslich werden die gezeigten Resultate in Kapitel 6.5 diskutiert. Im vorliegenden Bericht werden ausnahmslos alle Resultate der Mieterbefragung gezeigt – entweder in diesem Kapitel oder in Anhang G, wobei jeweils auf den Anhang verwiesen wird. Die beiden Fragebögen sind zudem in Anhang H enthalten.

6.1. Beschreibung der beiden Stichproben

Insgesamt wurden in der Siedlung Klee 339 Fragebögen verteilt, wovon 170 beantwortet wurden. Dies entspricht einer Rücklaufquote von knapp über 50 %. Die befragten Bewohner des BGH-Gebäudeteils bilden die erste und die Bewohner des GBMZ-Gebäudeteils die zweite Stichprobe. Die beiden Stichproben sind in Tabelle 9 ausführlich beschrieben.

Tabelle 9: Soziodemografische Merkmale der beiden Stichproben

	BGH-Stichprobe	GBMZ-Stichprobe
Rücklaufquote	47 % (81 von 173)	54 % (89 von 166)
Mittlere Wohndauer der Bewohner	5.6 Jahre (n=72, s=2.9)	5.3 Jahre (n=84, s=2.9)
Mittlere Bewohnerzahl pro Wohnung	2.2 Personen (n=73, s=1.2)	3.1 Personen (n=79, s=1.2)
Mittlere Kinderzahl pro Wohnung	0.5 Kinder (n=73, s=0.9)	1.2 Kinder (n=79, s=0.9)
Geschlecht der befragten Person	61 % männlich, 39 % weiblich	52 % männlich, 48 % weiblich
Mittleres Alter der befragten Person	43 Jahre (n=62, s=12.4)	44 Jahre (n=80, s=11.4)

Die Anzahl retournierter Fragebögen ist für beide Gebäudeteile ähnlich hoch. Des Weiteren stimmen auch die mittlere Wohndauer und das mittlere Alter der befragten Person von beiden Stichproben gut überein. Allerdings leben im GBMZ-Gebäudeteil signifikant mehr Personen und Kinder in einer Wohnung. Dies legt die Vermutung nahe, dass im GBMZ-Gebäudeteil mehr Familien wohnen. Abbildungen 35 und 36 zeigen detailliert auf, wie lange die Bewohner der beiden Gebäudeteile bereits in der Siedlung Klee wohnen. Dabei ähneln sich die beiden Häufigkeitsverteilungen stark: In beiden Stichproben ist der Grossteil der Bewohner Erstmietler, welche seit dem Bezug im Jahr 2011 in der Siedlung Klee wohnen.

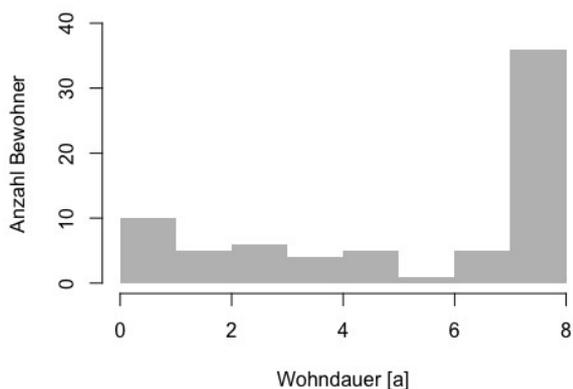


Abbildung 35: Wohndauer der BGH-Bewohner

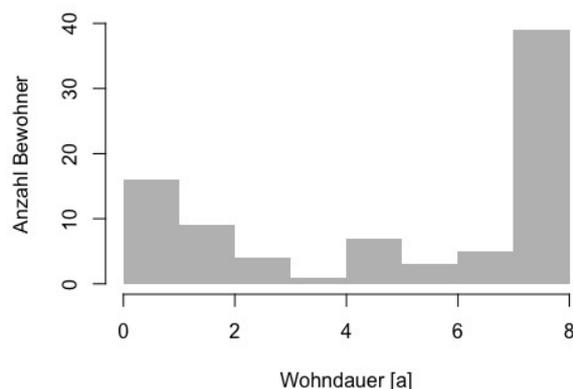


Abbildung 36: Wohndauer der GBMZ-Bewohner

Abbildung 37 zeigt in welchen Stockwerken die Bewohner der beiden Stichproben wohnen.

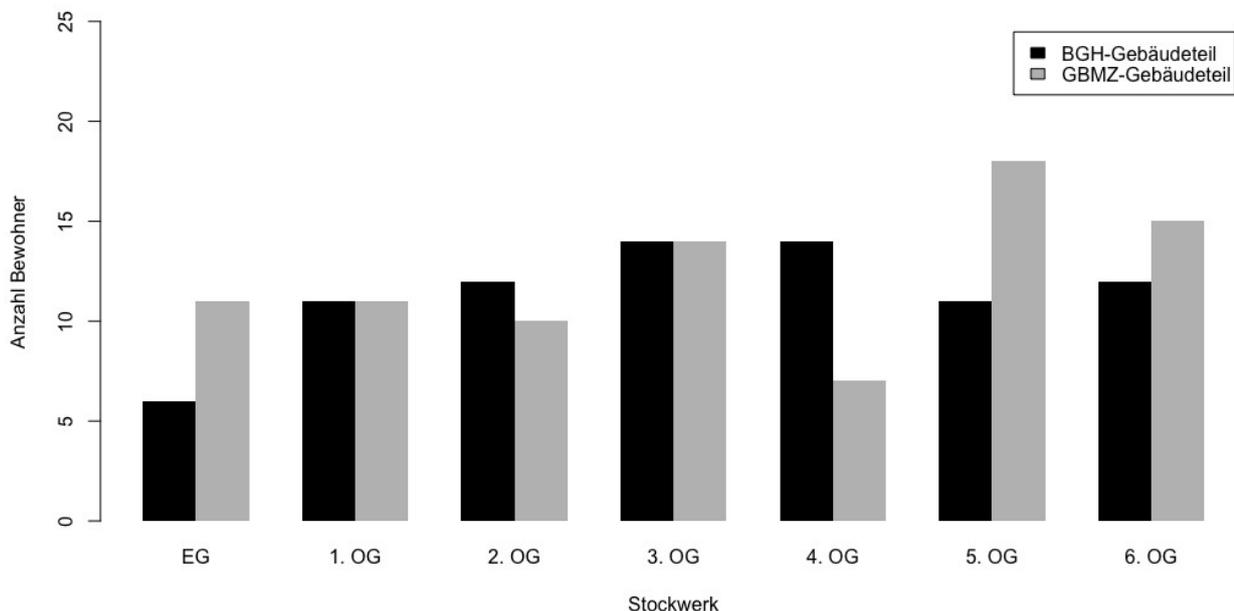


Abbildung 37: Verteilung der Stichproben auf die Stockwerke

6.2. Luftqualität und Komfort

6.2.1. Raumtemperatur

Im Winter empfinden rund 67 % (BGH-Gebäudeteil) bzw. 55 % (GBMZ-Gebäudeteil) der Bewohner die Raumtemperatur als «gerade richtig» (BGH: \bar{x} =2.72, n=81, s=0.8, GBMZ: \bar{x} =2.68, n=88, s=1.0 (2 = «eher zu hoch», 3 = «gerade richtig»)). Die Mittelwerte unterscheiden sich jedoch nicht signifikant. Im Sommer dagegen empfinden 50 % der BGH- und 52 % der GBMZ-Bewohner die Raumtemperatur als «zu hoch» oder «eher zu hoch» (BGH: \bar{x} =2.30, n=80, s=0.8, GBMZ: \bar{x} =2.24, n=87, s=0.9). Wiederum ist die Mittelwertdifferenz nicht signifikant, sprich die Raumtemperatur wird sowohl im Winter wie auch im Sommer von den Bewohnern beider Gebäudeteile sehr ähnlich bewertet. Die entsprechenden Häufigkeitsdiagramme sind in Anhang G zu finden.

6.2.2. Luftfeuchtigkeit

Abbildung 38 zeigt, dass rund 64 % der GBMZ-Bewohner die Luftfeuchtigkeit im Winter als «zu tief» oder «eher zu tief» empfinden, während dies bei nur 32 % der BGH-Bewohner der Fall ist (BGH: \bar{x} =3.16, n=81, s=0.9, GBMZ: \bar{x} =3.99, n=88, s=1.0 (3 = «gerade richtig», 4 = «eher zu tief»)). Im Mittel wird die Luftfeuchtigkeit im Winter von den BGH-Bewohnern signifikant besser bewertet, wie in Abbildung 39 zu sehen ist.

Im Sommer empfinden noch immer 31 % der GBMZ-Bewohner die Luftfeuchtigkeit als «zu tief» oder «eher zu tief» (\bar{x} =3.24, n=88, s=0.8). Bei den BGH-Bewohnern dagegen empfinden 25 % die Luftfeuchtigkeit als «zu hoch» oder «eher zu hoch» (\bar{x} =2.77, n=80, s=0.6 (2 = «Eher zu hoch», 3 = «gerade richtig»)). Das zugehörige Häufigkeitsdiagramm ist in Anhang G zu finden.

Diese Resultate widerspiegeln sich auch bei der Häufigkeit von Luftbefeuchtern: 18 % (n=14 von 80) der BGH-Bewohner verwenden «einen oder mehrere» Luftbefeuchter in ihrer Wohnung, während es bei den GBMZ-Bewohnern rund 40 % (n=35 von 88) sind. Sowohl bei den BGH- wie auch GBMZ-Bewohner bestehen

mittlere, statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Bewertung der Luftfeuchtigkeit und der Verwendung von Luftbefeuchtern (BGH: $|\tau_b| = 0.31$, GBMZ: $|\tau_b| = 0.49$). Dies bedeutet, dass Bewohner, welche die Luftfeuchtigkeit als zu tief erachten, häufiger einen Luftbefeuchter benutzen.

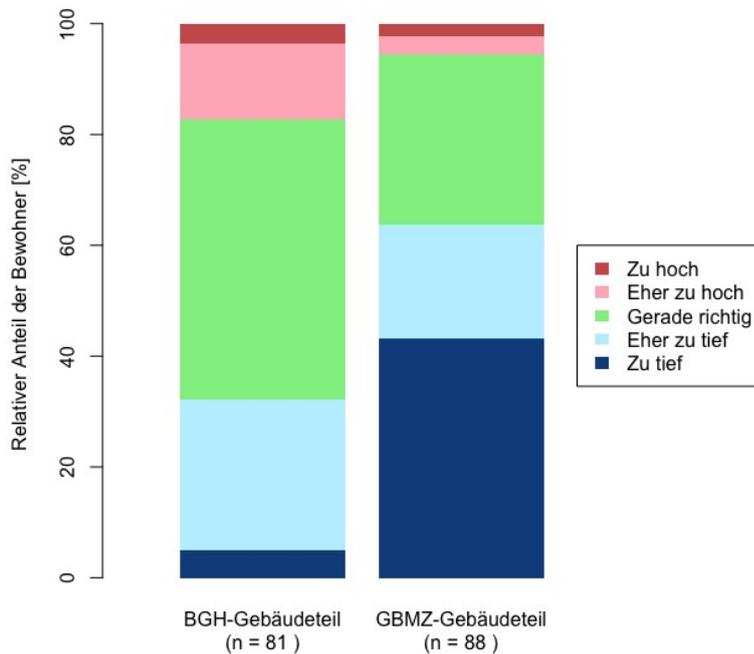


Abbildung 38: Bewertung der Luftfeuchtigkeit im Winter

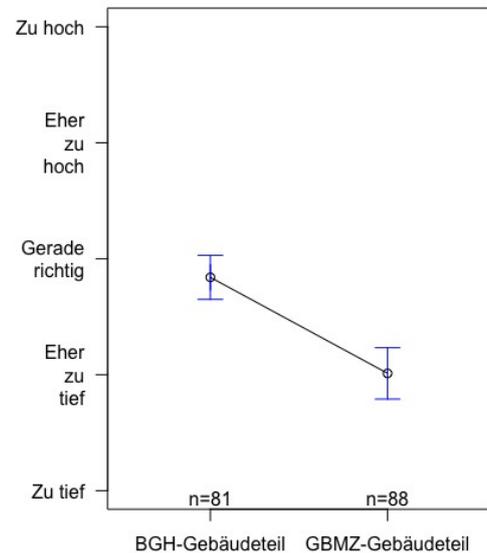


Abbildung 39: Vergleich der mittleren Bewertungen der Luftfeuchtigkeit im Winter (inkl. 95 %-Vertrauensintervall)

6.2.3. Pollenbelastung

Die Pollenbelastung wird in beiden Gebäudeteilen im Mittel als «etwas tiefer als im Freien» wahrgenommen, wobei es keinen signifikanten Unterschied gibt (BGH: $\bar{x} = 1.85$, $n=46$, $s=0.6$, GBMZ: $\bar{x} = 1.72$, $n=50$, $s=0.7$ (1 = «deutlich tiefer als im Freien», 2 = «Etwas tiefer als im Freien»)). Die relative Häufigkeit in Abbildung 40 zeigt, dass 28 % der BGH-Bewohner und 42 % der GBMZ-Bewohner die Pollenbelastung als «deutlich tiefer als im Freien» wahrnehmen.

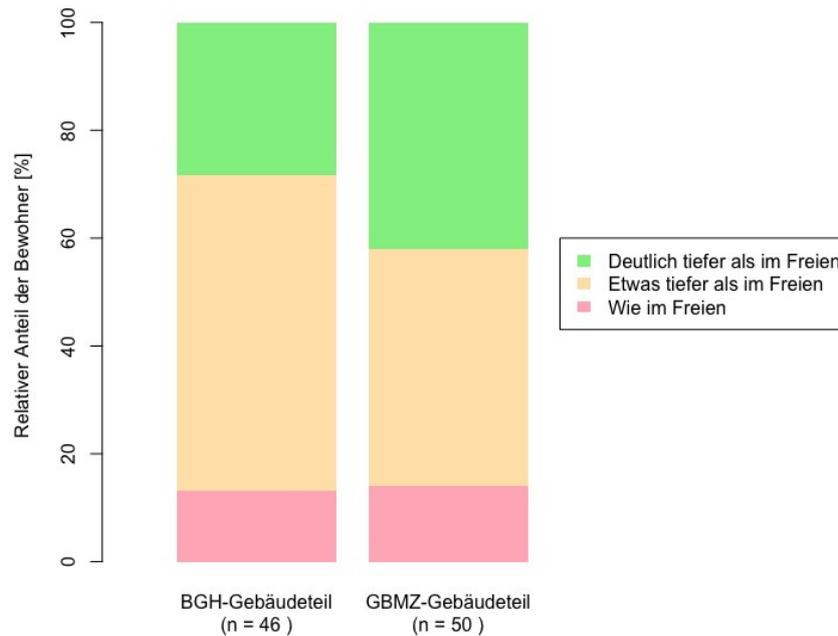


Abbildung 40: Bewertung der Pollenbelastung in den Wohnungen

6.2.4. Fremdgeräusche und Aussenlärm

53 % der BGH-Bewohner und 63 % der GBMZ-Bewohner nehmen bei geschlossenen Fenstern Fremdgeräusche wahr. Dabei stammen die Fremdgeräusche ungefähr gleich häufig von anderen Wohnungen, der Lüftung und von draussen, sowohl im BGH- wie auch im GBMZ-Gebäudeteil (siehe Anhang G). Allerdings fühlt sich kein Bewohner, weder im BGH- noch im GBMZ-Gebäudeteil, durch Aussenlärm «sehr gestört». Rund 80 % der BGH-Bewohner und 87 % der GBMZ-Bewohner fühlen sich «nicht» oder «kaum» gestört durch Aussenlärm, wie in Abbildung 41 zu sehen ist (BGH: $\bar{x} = 3.16$, $n=80$, $s=0.7$, GBMZ: $\bar{x} = 3.24$, $n=89$, $s=0.7$ (3 = «kaum», 4 = «gar nicht»)). Die Mittelwertdifferenz ist nicht signifikant.

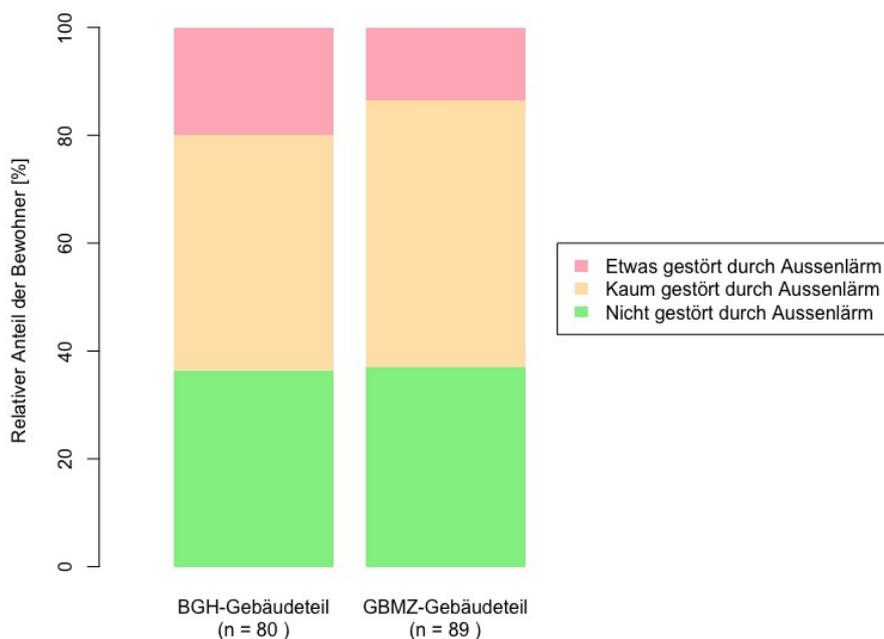


Abbildung 41: Bewertung des Aussenlärms bei geschlossenen Fenstern

6.2.5. Schimmelpilz

Bei den Häufigkeiten der Schimmelpilz-Vorfälle zeigt sich kein grosser Unterschied zwischen den beiden Gebäudeteilen: Bei 76 % (n=19 von 80) der BGH-Bewohner und 82 % (n=16 von 88) der GBMZ-Bewohner ist bisher kein Schimmelpilz aufgetreten. Falls Schimmelpilz aufgetreten ist, so waren in beiden Gebäudeteilen hauptsächlich die Badezimmer betroffen.

6.2.6. Staubbelastung

Die Staubbelastung wird von GBMZ-Bewohnern im Mittel als höher empfunden, allerdings ist der Unterschied knapp nicht signifikant. In Abbildung 42 ist ersichtlich, dass rund 34 % der BGH-Bewohner die Staubbelastung als «hoch» und 8 % als «sehr hoch» wahrnehmen (BGH: $\bar{x} = 2.65$, $n=80$, $s=0.8$ (2 = «hoch», 3 = «mittelmässig»)). Bei den GBMZ-Bewohnern dagegen empfinden 26 % die Staubbelastung als «hoch» und wiederum 26 % als «sehr hoch» (GBMZ: $\bar{x} = 2.37$, $n=89$, $s=1.0$). Weder bei den BGH- noch bei den GBMZ-Bewohnern gibt es eine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Bewertung der Luftfeuchtigkeit und der Bewertung der Staubbelastung.

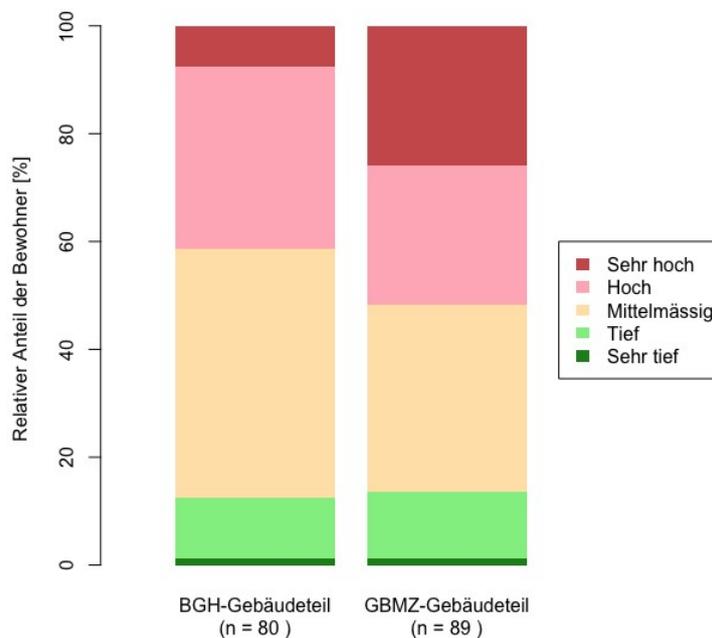


Abbildung 42: Bewertung der Staubbelastung

6.2.7. Zufriedenheit mit Luftqualität

Im Mittel sind die BGH-Bewohner signifikant zufriedener mit der Luftqualität in ihren Wohnungen, wie in Abbildung 44 ersichtlich ist (BGH: $\bar{x} = 2.19$, $n=81$, $s=0.8$, GBMZ: $\bar{x} = 2.52$, $n=89$, $s=1.1$ (2 = «eher zufrieden», 3 = «mittelmässig»)). Die relativen Häufigkeiten in Abbildung 43 zeigen, dass 5 % der BGH-Bewohner «sehr» oder «eher unzufrieden» sind mit der Luftqualität, während dies bei 20 % der GBMZ-Bewohner der Fall ist. Bei den BGH-Bewohnern liegt keine Korrelation zwischen der Zufriedenheit mit der Luftqualität und der empfundenen Staubbelastung vor, während bei den GBMZ-Bewohnern eine (statistisch signifikante) schwache Korrelation vorliegt ($|\tau_b| = 0.18$). Dies bedeutet, dass mit der Luftqualität tendenziell diejenigen GBMZ-Bewohner unzufriedener sind, welche die Luft auch als zu trocken empfinden.

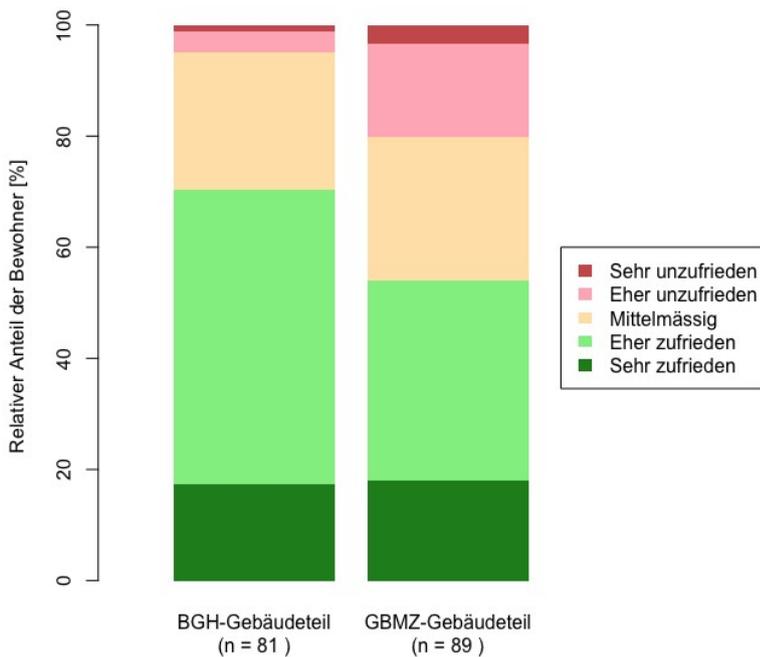


Abbildung 43: Zufriedenheit mit Luftqualität

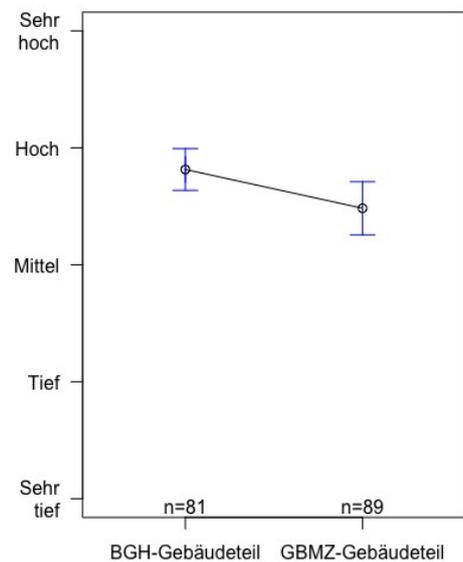


Abbildung 44: Vergleich der mittleren Zufriedenheit (inkl. 95 %-Vertrauensintervall)

6.3. Lüftungsverhalten

Wie in Abbildung 45 ersichtlich ist, lüften die Mieter im BGH-Gebäudeteil deutlich öfter über die Fenster. Alle BGH-Bewohner lüften mindestens «einmal täglich» und 77 % ($n=62$ von 81) lüften «mehrmals täglich» über die Fenster. Im GBMZ-Gebäudeteil dagegen lüften 18 % ($n=16$ von 89) der Bewohner nicht täglich, sondern «einmal wöchentlich» oder «nie». Die restlichen 82 % ($n=73$ von 89) der GBMZ-Bewohner lüften trotz kontrollierter Wohnraumlüftung mindestens «einmal täglich» über die Fenster.

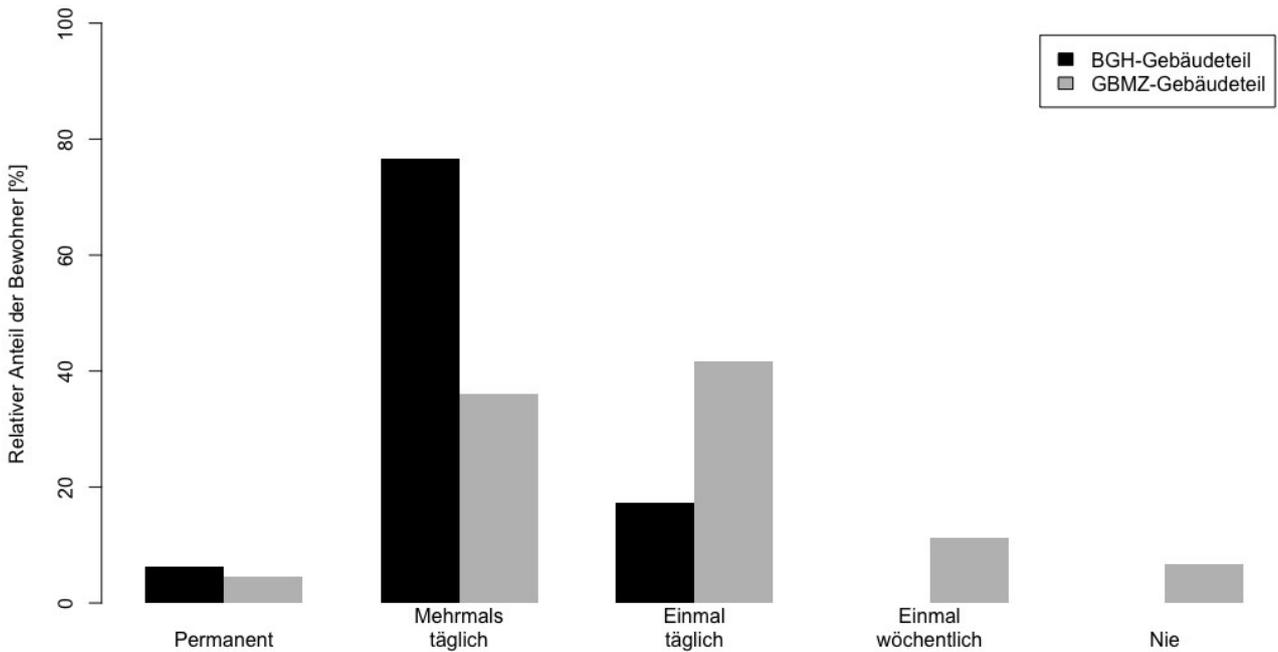


Abbildung 45: Häufigkeit Fensterlüftung

In Abbildung 46 ist das Häufigkeitsdiagramm bezüglich der Dauer der Fensterlüftung zu sehen. Im Gegensatz zur Häufigkeit des Fensterlüftens sind hier keine grossen Unterschiede zwischen den beiden Gebäudeteilen auszumachen. Ein Grossteil der Mieter, nämlich 71 % (n=57 von 80) der BGH-Bewohner und 65 % (n=53 von 81) der GBMZ-Bewohner, lüften jeweils zwischen 5 und 30 Minuten über die Fenster. Allerdings lüften doch 25 % (n=20 von 80) der BGH-Bewohner und 20 % (n=16 von 81) der GBMZ-Bewohner jeweils länger als 30 Minuten am Stück über die Fenster.

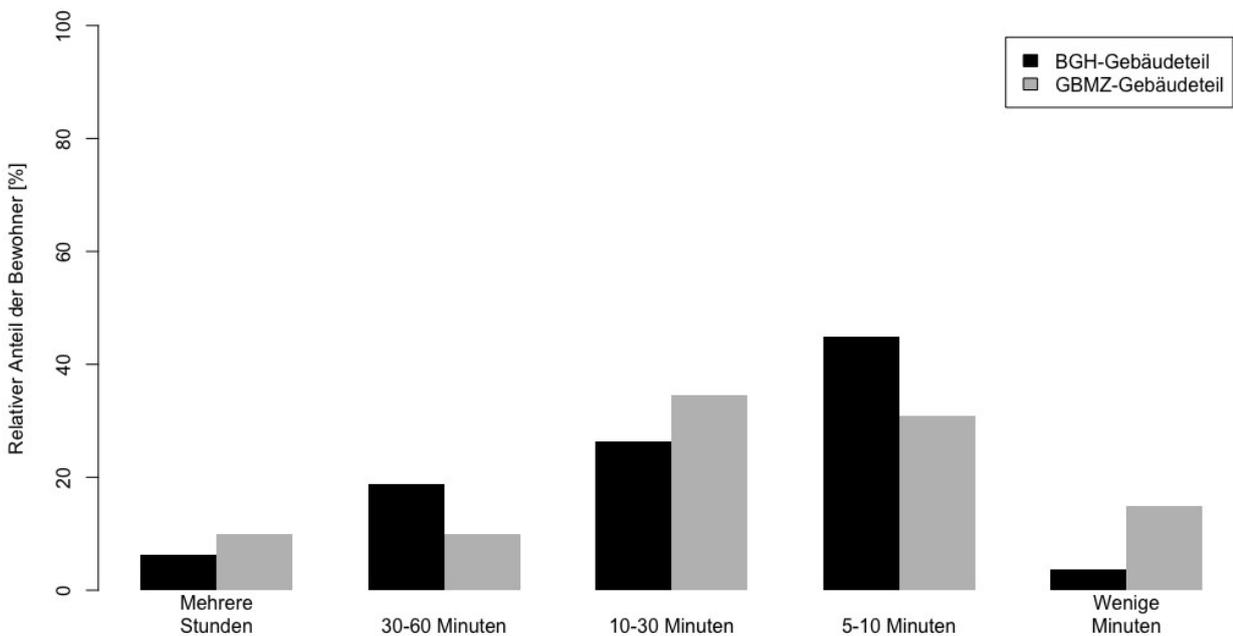


Abbildung 46: Dauer Fensterlüftung

Es lassen sich keine Korrelationen zwischen dem Lüftungsverhalten (Häufigkeit und Dauer der Fensterlüftung) und dem Auftreten von Schimmelpilz feststellen, weder bei den BGH- noch bei den GBMZ-Bewohnern.

Die BGH-Bewohner schlafen im Winter deutlich häufiger mit offenem Fenster als die GBMZ-Bewohner: Der Mittelwert des BGH-Gebäudeteils ist signifikant höher als jener des GBMZ-Gebäudeteils, wie in Abbildung 48 ersichtlich ist. Das Häufigkeitsdiagramm in Abbildung 47 zeigt, dass nur 55 % der BGH-Bewohner die Fenster nachts im Winter immer geschlossen lassen und rund 19 % «oft» oder «immer» mit offenem Fenster schlafen ($\bar{x}=3.99$, $n=80$, $s=1.4$, (3 = «manchmal», 4 = «selten»)). Bei den GBMZ-Bewohnern dagegen schlafen 81 % «nie» mit offenem Fenster im Winter ($\bar{x}=4.56$, $n=89$, $s=1.0$ (5 = «nie»)).

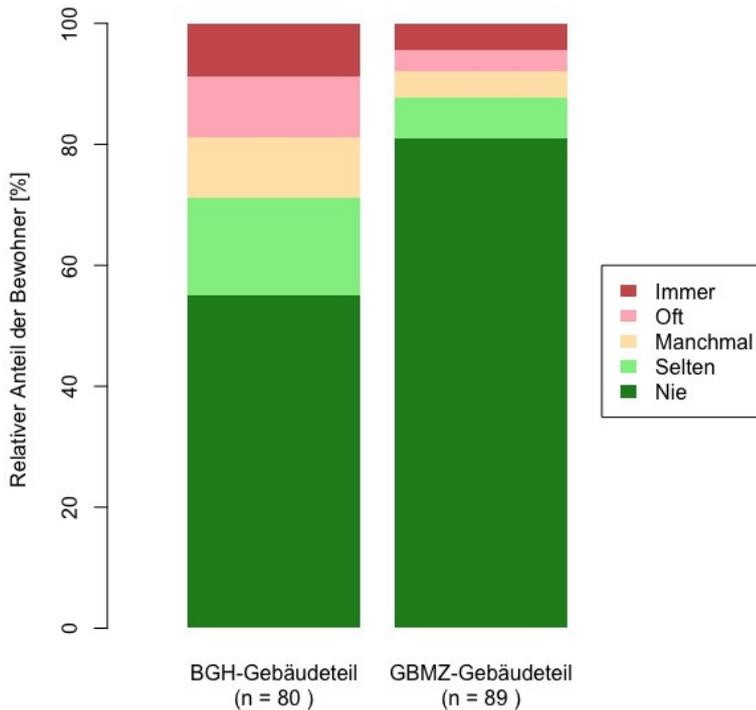


Abbildung 47: Häufigkeit der nachts offenen Fenster im Winter

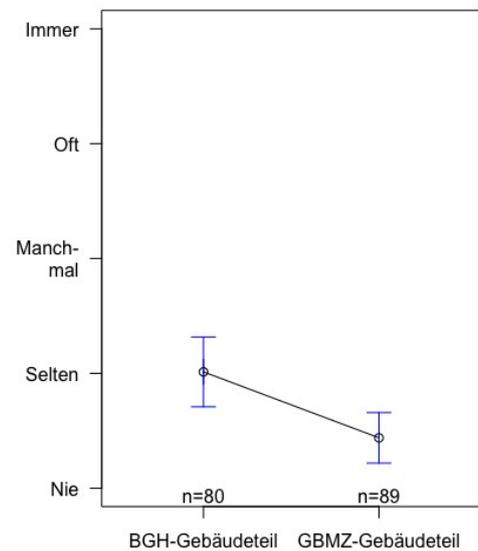


Abbildung 48: Mittelwertvergleich der Häufigkeit von offenen Fenstern (inkl. 95%-Vertrauensintervall)

93 % (n=27 von 29) der BGH-Bewohner, welche im Winter mit offenem Fenster schlafen, schlafen mit gekippten Fenstern und nur 7 % (n=2 von 29) öffnen das Fenster vollständig. Als Grund für das geöffnete Fenster nennen 56 % (n=20 von 36) der betroffenen BGH-Bewohner eine «schlechte Luftqualität» und 42 % (n=15 von 36) eine «zu hohe Raumtemperatur». Bei den betroffenen GBMZ-Bewohnern begründen 45 % (n=9 von 20) das offene Fenster mit «schlechter Luftqualität» und 55 % (n=11 von 20) mit «zu hoher Raumtemperatur».

6.4. Lüftungskonzept

Im dritten Teil des Fragebogens wurden die Bewohner spezifisch zu ihrem Lüftungskonzept befragt. Bis auf die Frage nach der allgemeinen Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept wurden in diesem Abschnitt unterschiedliche Fragen an Bewohner im BGH- und GBMZ-Gebäudeteil gestellt. Aus diesem Grund werden die Resultate nachfolgend separat pro Gebäudeteil vorgestellt. Zuerst wird jedoch auf die Frage zur allgemeinen Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept eingegangen.

Durchschnittlich sind die BGH-Bewohner «eher zufrieden» mit ihrem Lüftungskonzept, während die GBMZ-Bewohner nur «mittelmässig» zufrieden sind (BGH: $\bar{x} = 2.11$, $n=81$, $s=1.2$, GBMZ: $\bar{x} = 2.61$, $n=89$, $s=1.2$ (2 = «eher zufrieden», 3 = «mittelmässig»)). Im Mittel sind die BGH-Bewohner damit signifikant zufriedener mit ihrem Lüftungssystem als die GBMZ-Bewohner, wie auch im Mittelwertvergleich in Abbildung 50 ersichtlich. Das Häufigkeitsdiagramm in Abbildung 49 zeigt zudem, dass 70 % der BGH-Bewohner «eher» oder «sehr» zufrieden sind mit ihrem Lüftungskonzept. Im GBMZ-Gebäudeteil trifft dies nur auf 51 % der Bewohner zu. Rund ein Fünftel (22 %) der GBMZ-Bewohner sind zudem «etwas» oder «sehr unzufrieden» mit ihrem Lüftungskonzept.

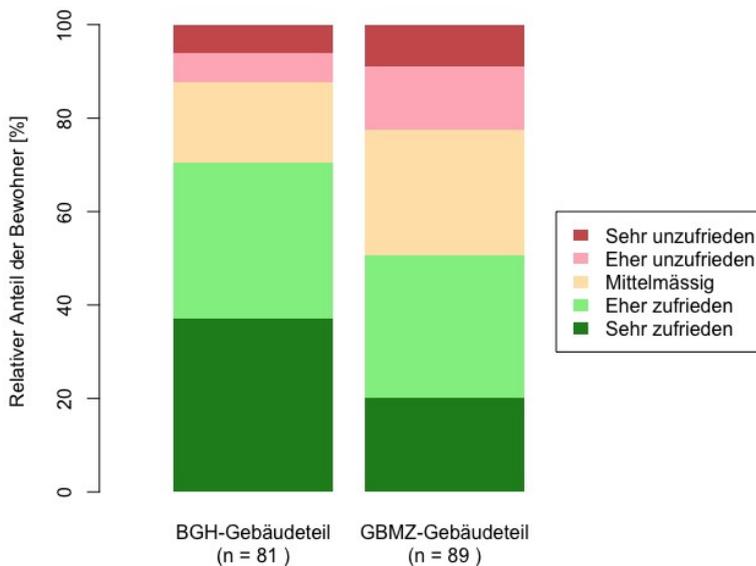


Abbildung 49: Zufriedenheit mit Lüftungskonzept

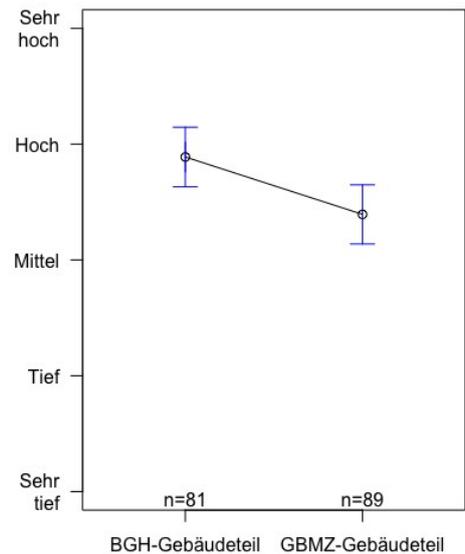


Abbildung 50: Vergleich der mittleren Zufriedenheit mit Lüftungskonzept (inkl. 95%-Vertrauensintervall)

6.4.1. BGH-Gebäudeteil

In den Wohnungen im BGH-Gebäudeteil erfolgt der Luftaustausch über das manuelle Öffnen der Fenster, sprich über unkontrollierte Fensterlüftung (auch natürliche Lüftung genannt). Die Nasszellen und Küchen sind zudem mit einfachen Abluftanlagen ausgestattet. Wie in Kapitel 1.4.1 beschrieben, wurden die BGH-Wohnungen trotz luftdichter Gebäudehülle nicht mit Nachströmelementen ausgestattet, was nicht normkonform ist. Somit entsteht beim Betrieb der Abluftanlagen ein Unterdruck, wie auch die Resultate der Mieterbefragung zeigen: 72 % der BGH-Bewohner bestätigen diesen Unterdruck und müssen jeweils ein oder mehrere Fenster öffnen ($\bar{x} = 1.86$, $n=79$, $s=1.1$, (1 = «sofortiger, hoher Unterdruck», 2 = «Unterdruck nach längerem Betrieb des Dunstabzuges»)). Das Häufigkeitsdiagramm bezüglich ob und wie die Bewohner den Unterdruck wahrnehmen, ist in Anhang G ersichtlich.

Rund 31 % ($n=25$ von 80) der BGH-Bewohner würden sich eine kontrollierte Be- und Entlüftung ihrer Wohnung mittels KWL wünschen. Es besteht eine hohe, statistisch signifikante Korrelation zwischen der Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept und dem Wunsch nach einer KWL ($|\tau_b| = 0.50$). BGH-Bewohner, welche unzufrieden mit ihrem Lüftungskonzept (unkontrollierte Fensterlüftung) sind, wünschen sich häufiger eine KWL. Allerdings konnte keine Korrelation zwischen dem Wunsch nach einer KWL und der Bewertung des Aussenlärms festgestellt werden.

Abbildung 51 zeigt zudem, dass ein Grossteil der Bewohner, welche sich eine KWL wünschen würden, auch bereit wäre einen höheren Mietzins (aufgrund der höheren Baukosten der KWL) zu bezahlen: 76 % (n=19 von 25) wären bereit durchschnittlich 98 CHF/Monat mehr Mietzins zu bezahlen. Dabei werden Beträge von 5 CHF/Monat bis zu 250 CHF/Monat genannt.

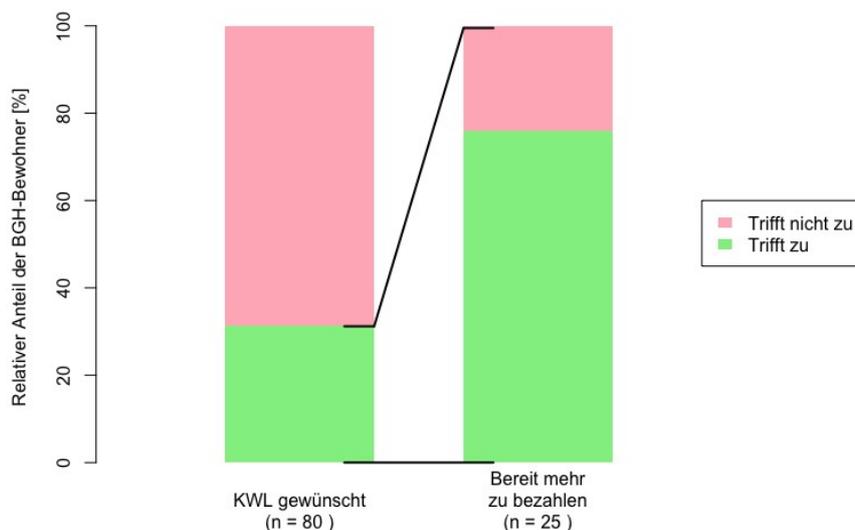


Abbildung 51: Wunsch nach und Zahlungsbereitschaft für KWL (BGH-Bewohner)

6.4.2. GBMZ-Gebäudeteil

Die Wohnungen im GBMZ-Gebäudeteil werden mittels zentraler Lüftungsanlage mit WRG kontrolliert be- und entlüftet. Abbildung 52 zeigt, dass sich im Winter 30 % (n=26 von 88) und im Sommer 25 % (n=22 von 87) der GBMZ-Bewohner an Zugluft bei den Zuluftöffnungen stört. Wiederum 28 % (n=25 von 88) bzw. 29 % (n=25 von 87) der GBMZ-Bewohner spüren zwar Zugluft bei den Zuluftöffnungen, stören sich jedoch nicht daran.

An den Lüftungsgeräuschen stört sich dagegen ein kleinerer Anteil der GBMZ-Bewohner, wie Abbildung 53 zeigt. Im Winter stören sich insgesamt 18 % (n=16 von 89) an den Lüftungsgeräuschen, wovon 11 % (n=10 von 89) die Lüftungsgeräusche nur nachts als störend empfinden.

Bezüglich Geruchsübertragung gaben 27 % (n=24 von 88) der GBMZ-Bewohner an, dass Gerüche von aussen über die Lüftung in ihre Wohnungen gelangen. 19 % (n=17 von 88) sind der Meinung, dass Gerüche von anderen Wohnungen über die Lüftung in ihre Wohnungen übertragen werden. Dabei gibt es keinen nennenswerten Unterschied zwischen Winter und Sommer.

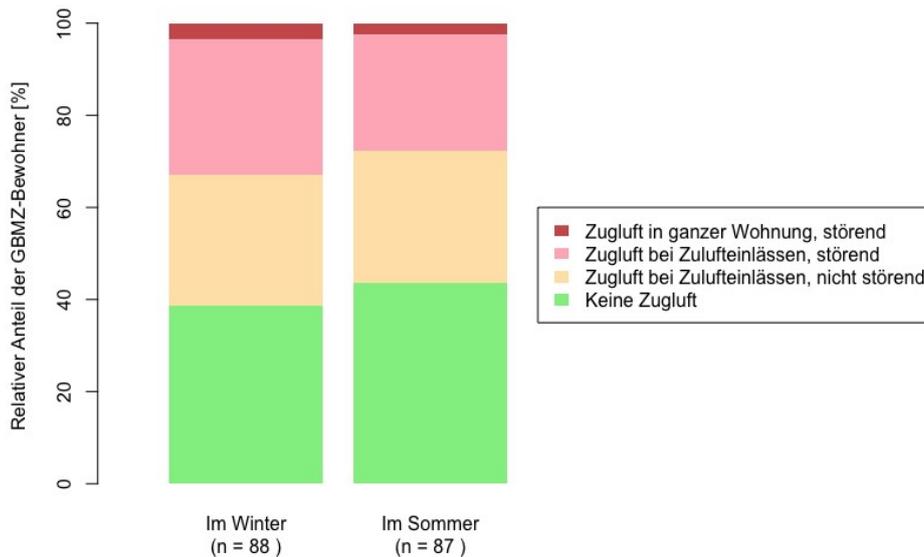


Abbildung 52: Wahrnehmung von Zugluft (GBMZ-Bewohner)

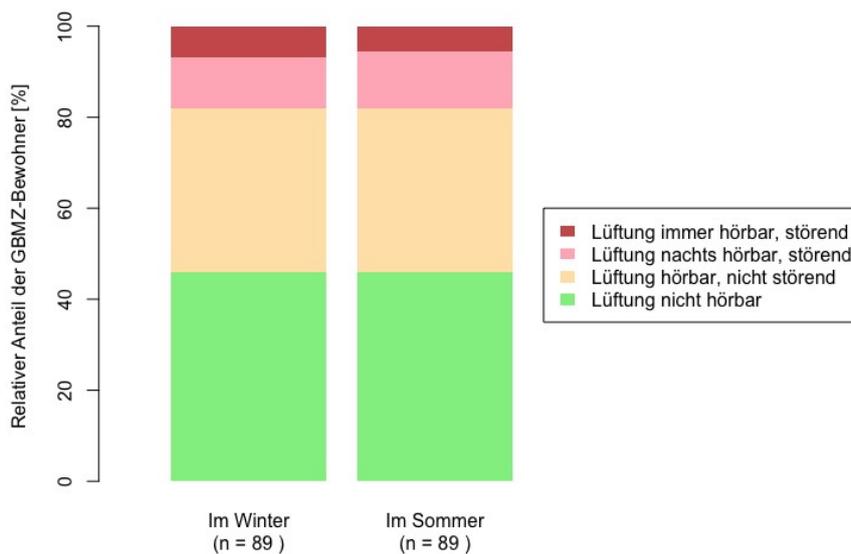


Abbildung 53: Wahrnehmung von Lüftungsgeräuschen (GBMZ-Bewohner)

Die Zuluft-Temperatur wird im Sommer durchschnittlich als «eher zu hoch» empfunden, während sie im Winter durchschnittlich als «gerade richtig» wahrgenommen wird, wobei der Unterschied der Mittelwerte signifikant ist (Winter: $\bar{x} = 2.87$, $n=86$, $s=1.0$, Sommer: $\bar{x} = 2.47$, $n=85$, $s=0.9$ (2 = «eher zu hoch», 3 = «gerade richtig»)). Dass im Sommer deutlich mehr GBMZ-Bewohner die Zuluft als zu warm empfinden, ist auch in Abbildung 54 ersichtlich. 40 % ($n=34$ von 85) empfinden die Zuluft-Temperatur im Sommer als «eher zu hoch» oder «zu hoch», während es im Winter lediglich 22 % ($n=19$ von 86) sind. Zudem ist die Häufigkeitsverteilung im Winter symmetrischer: Neben den 22 % der GBMZ-Bewohner, welche die Zuluft als zu warm empfinden, gibt es 16 % ($n=14$ von 86), welche die Zuluft als zu kalt empfinden. Im Sommer dagegen empfinden lediglich 7 % ($n=6$ von 85) der GBMZ-Bewohner die Zuluft-Temperatur als «eher zu tief» oder «zu tief».

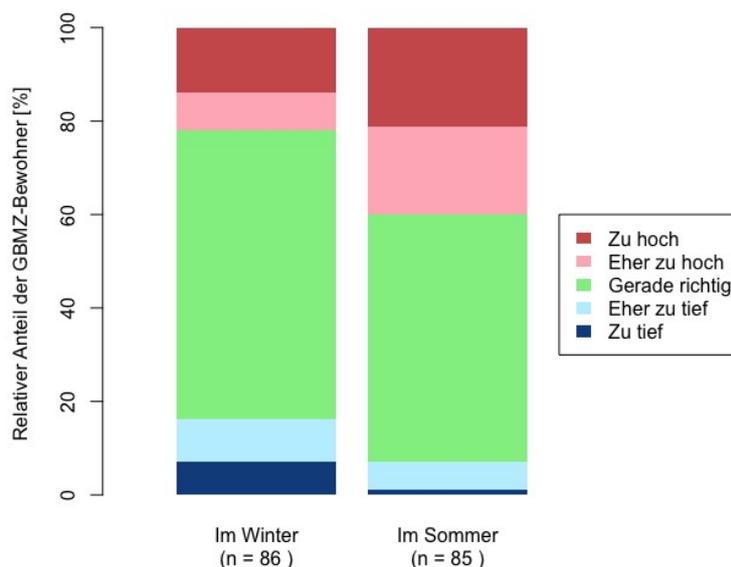


Abbildung 54: Bewertung der Zuluft-Temperatur (GBMZ-Bewohner)

Lediglich eine Person hat die Zuluft einlässe und/oder Abluftauslässe permanent zugeklebt, sowohl im Winter wie auch im Sommer. 7 % (n=6 von 89) der GBMZ-Bewohner kleben die Zuluft einlässe und/oder Abluftauslässe «manchmal» zu im Winter. Im Sommer sind es noch 6 % (n=5 von 88). Es kann allerdings keine Korrelation zwischen Abkleben und der Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept festgestellt werden.

20 % (n=17 von 87) der GBMZ-Bewohner wären bei ihrer nächsten Wohnung bereit, für ihre jetzige Lüftungsanlage, sprich für eine KWL, einen höheren Mietzins zu bezahlen. Diese Bewohner wären bereit durchschnittlich 72 CHF/Monat mehr Mietzins zu bezahlen. Es werden Beträge von 5 CHF/Monat bis zu 150 CHF/Monat genannt. Die Zahlungsbereitschaft der GBMZ-Bewohner korreliert allerdings nicht mit der Zufriedenheit mit ihrem Lüftungskonzept (KWL).

Abbildung 55 zeigt, wie stark das verbaute Lüftungssystem die Wohnungswahl der GBMZ-Bewohner beeinflusst hat. Obwohl für lediglich 5 % (n=4 von 88) der GBMZ-Bewohner das Lüftungssystem «zentral» ist und die Wohnungswahl «sehr stark» beeinflusst hat, geben 33 % (n=29 von 88) an, dass ihnen das Lüftungssystem «wichtig» ist und die Wohnungswahl «ein bisschen» beeinflusst hat. Es kann keine statistisch signifikante Korrelation mit der Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept (KWL) festgestellt werden.

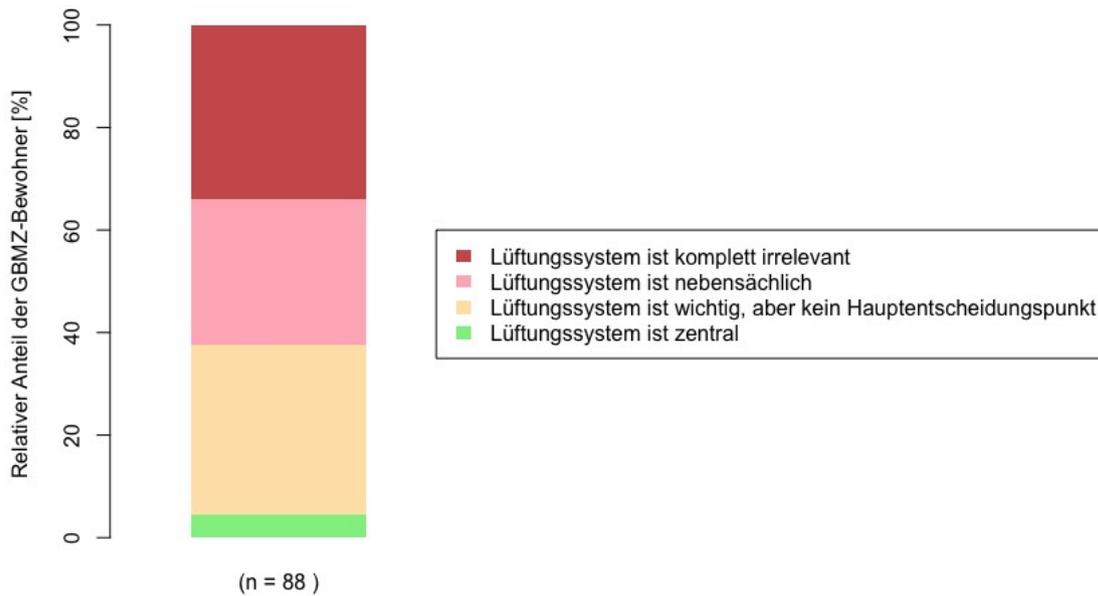


Abbildung 55: Rolle des Lüftungssystems bei Wohnungswahl

6.5. Diskussion

Ein erster signifikanter Unterschied zwischen den beiden Lüftungskonzepten zeigt sich bei der Luftfeuchtigkeit, welche von einer Mehrheit der GBMZ-Bewohner im Winter als zu tief empfunden wird. Dies bestätigt die Resultate von mehreren früheren Umfragen (siehe Kapitel 2.4.1). Bei der Pollenbelastung schneidet die KWL dagegen besser ab, wenn auch nicht signifikant. Hier wurde ein deutlicheres Resultat erwartet, sprich ein signifikant besseres Abschneiden der KWL. Allerdings zeigen die Resultate zum Lüftungsverhalten, dass über 80 % der GBMZ-Bewohner trotz KWL mindestens einmal täglich über die Fenster lüften. Dies schmälert natürlich den Mehrwert einer KWL bezüglich der Pollenbelastung. Fremdgeräusche inklusive Aussenlärm scheinen weder im BGH- noch im GBMZ-Gebäudeteil ein Problem zu sein. Es wäre interessant, diesen Aspekt bei einem stärker lärmbelasteten Objekt zu untersuchen. Bei der Häufigkeit von Schimmelpilz gibt es erstaunlicherweise keine grossen Unterschiede zwischen den beiden Lüftungskonzepten, obwohl auch die Gebäudehülle des BGH-Gebäudeteils (mit Fensterlüftung) sehr luftdicht gebaut ist und Nachströmelemente fehlen. Der Unterschied bei der durchschnittlichen Staubbelastung ist statistisch nicht signifikant, wenn auch knapp: Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt mit 5.7 % nur sehr knapp über der Grenze von 5 %. Nichtsdestotrotz ist bemerkenswert, dass im GBMZ-Gebäudeteil über drei Mal so viele Bewohner die Staubbelastung als sehr hoch empfinden.

Bei der generellen Zufriedenheit mit der Luftqualität schneidet der GMBZ-Teil mit KWL signifikant schlechter ab. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem Resultat, dass die allgemeine Zufriedenheit mit dem Lüftungskonzept bei den BGH-Bewohnern im Mittel signifikant höher ist als bei den GBMZ-Bewohnern. Diese Resultate sind auch deshalb von grosser Bedeutung, da sie nicht den Resultaten der bisherigen Umfragen entsprechen (siehe Kapitel 2.4.1): Erstmals wird die Luftqualität von Wohnungen mit KWL von Bewohnern signifikant schlechter bewertet als die Luftqualität bei Fensterlüftung. Die KWL scheint in der Siedlung Klee nicht als Mehrwert wahrgenommen zu werden bzw. führt nicht zu einer Steigerung des Komforts. Zumindest in der Siedlung Klee lassen sich die höheren Kosten und Umweltauswirkungen der KWL somit nicht mit höherem Nutzerkomfort begründen. Aufgrund von einigen Bemerkungen aus dem allgemeinen Kommentarfeld der Umfrage lässt sich vermuten, dass eine individuelle Regelbarkeit der Luftmengen die Zufrieden-

heit der Bewohner erhöhen würde. Darüber, wie eine bezüglich Regulierung nutzerfreundlicher ausgestaltete KWL die Resultate der Befragung verändern würde, kann jedoch nur spekuliert werden.

Die Resultate bezüglich Lüftungsverhalten zeigen, dass die BGH-Bewohner mit Fensterlüftung mehrheitlich korrekt lüften: Ein Grossteil lüftet mehrmals täglich relativ kurz über die Fenster. Im GBMZ-Gebäudeteil dagegen ist das Lüftungsverhalten der Bewohner nicht gut auf das Lüftungskonzept abgestimmt: Trotz KWL lüften über 80 % der GBMZ-Bewohner mindestens einmal täglich über die Fenster. Dieses Verhalten erklärt zumindest teilweise den erhöhten Heizwärmeverbrauch gegenüber den energetischen Berechnungen (siehe Kapitel 4.1). Im Hinblick auf zukünftige Bauprojekte stellt sich die Frage, inwiefern es möglich ist, das Lüftungsverhalten der Mieter weiter zu verbessern. Denn auch in der Siedlung Klee wurden die GBMZ-Bewohner diesbezüglich umfassend informiert bzw. instruiert. Optimales Lüftungsverhalten scheint bei einem Mietobjekt mit KWL nicht realistisch zu sein – wird bei der Planung jedoch angenommen, was zu den oft beobachteten Performance Gaps beiträgt: Der tatsächliche Heizwärmeverbrauch liegt deutlich über dem Planungswert, sprich dem errechneten Heizwärmebedarf.

Signifikant besser schneidet die KWL allerdings bei den nachts offenen Fenstern ab. Ob dafür alleinig die KWL verantwortlich ist, bleibt jedoch unklar. Sicherlich haben auch die Fenster, welche im Gegensatz zum BGH-Gebäudeteil nicht gekippt werden können, einen Einfluss auf dieses Resultat. Eine grosse Mehrheit der BGH-Bewohner, welche nachts mit offenem Fenster schlafen, benutzt nämlich die Kippstellung.

Obwohl die BGH-Bewohner mit ihrem Lüftungskonzept, der Fensterlüftung, durchschnittlich zufriedener sind als die GBMZ-Bewohner mit der KWL, würden sich doch 31 % der BGH-Bewohner eine KWL wünschen. Dabei handelt es sich oft um Bewohner, welche unzufrieden sind mit dem Konzept der Fensterlüftung. Diese Bewohner wären zudem auch bereit, einen höheren Mietzins für die KWL zu bezahlen: durchschnittlich knapp 100 Franken mehr pro Monat. In der Lebenszykluskostenrechnung in Kapitel 4.3 (Ist-Szenario) wurden für die KWL jährliche Mehrkosten von fast 5 CHF/(a*m²_{EBF}) berechnet, was für eine 100 m²-Wohnung monatliche Mehrkosten von 42 Franken bedeutet. Die Bewohner, welche sich eine KWL wünschen würden, wären somit bereit, für die anfallenden Mehrkosten aufzukommen.

Die Erkenntnis, dass bei einem Teil der BGH-Bewohner eine Nachfrage nach der KWL besteht, deckt sich auch mit der Beobachtung, dass für fast 40 % der Bewohner im GBMZ-Gebäudeteil das Lüftungssystem bei der Wohnungswahl eine gewisse Rolle spielt. Es wird daher vermutet, dass – über die Siedlung Klee hinaus – ein Teil der Mieterschaft von Baugenossenschaften eine KWL gegenüber der Fensterlüftung präferiert, allerdings stellt dieser Teil eine Minderheit dar. Für zukünftige Bauprojekte der beiden Baugenossenschaften stellt sich die Frage, wie diese Nachfrage gewisser Mieter befriedigt werden soll, unter Berücksichtigung, dass die Mehrheit der Bewohner auch mit der kostengünstigeren und ökologischeren Fensterlüftung zufrieden wäre. Eine Möglichkeit könnte z.B. sein, bei Neubauten einen Teil der Wohnungen bzw. Gebäude mit KWL auszustatten, und einen Teil mit Fensterlüftung zu realisieren.

Die Resultate der Befragung zur KWL legen dar, dass sich ein beachtlicher Teil der GBMZ-Bewohner an Zugluft, Lüftungsgeräuschen und Geruchsübertragungen stört. Zumindest ein Teil dieser Probleme ist auch darauf zurückzuführen, dass die Bewohner nicht die Möglichkeit haben, die Luftmenge selbst zu beeinflussen. Individuell einstellbare Luftmengen würden die Zufriedenheit der Bewohner vermutlich erhöhen, weshalb bei zukünftigen Bauprojekten – falls eine KWL vorgesehen ist – wohnungseigene Steuerungen zu empfehlen sind. Dies könnte auch zu einer Milderung des Problems der zu warmen Zuluft im Sommer beitragen. Rund 40 % der GBMZ-Bewohner empfinden die Zuluft-Temperatur im Sommer nämlich als zu hoch.

Die Resultate bezüglich der Zuluft-Temperatur sowie allgemeinen Raumtemperatur im Sommer zeigen zudem eine weitere Herausforderung auf: der sommerliche Wärmeschutz. Obwohl bei der Siedlung Klee der

Nachweis für den sommerlichen Wärmeschutz gemäss SIA 180³³ erbracht wurde (Pflicht bei Neubauten), empfindet die Hälfte aller Bewohner die Raumtemperatur im Sommer als zu hoch – unabhängig vom jeweiligen Lüftungskonzept bzw. Gebäudeteil. In Anbetracht der steigenden Anzahl an Hitzetagen pro Sommer sollte daher der sommerliche Wärmeschutz bei zukünftigen Bauprojekten stärker in den Fokus rücken. Die Resultate der Mieterbefragung lassen vermuten, dass eine Kühlung in der Siedlung Klee eine klare Komfortsteigerung gebracht hätte – diese Verbesserung des Raumklimas hätte aber natürlich auch Kosten und Umweltauswirkungen verursacht. Die Vor- und Nachteile einer Kühlung sollten bei künftigen Bauprojekten deshalb sorgfältig abgewägt werden.

Schliesslich sollen auch noch die Limitierungen der Mieterbefragung, die aus Sicht der Autoren bestehen, beschrieben und diskutiert werden. So haben die befragten Mieter keinen direkten Vergleichswert, sprich, die GBMZ-Bewohner wissen nicht, wie die Luftqualität und der Komfort in den BGH-Wohnungen ist – und umgekehrt. Durch das Fehlen eines Vergleichswertes bzw. einer Referenz antworten und werten die Bewohner gemäss ihren Erwartungen und Ansprüchen. Es kann jedoch durchaus sein, dass die Bewohner mit einer KWL (GBMZ-Gebäudeteil) andere Erwartungen und Ansprüche an die Luftqualität und Komfort haben als Bewohner im Teil ohne KWL (BGH-Gebäudeteil). Zusätzlich könnten die Bewohner (sowohl im BGH- wie auch GBMZ-Gebäudeteil) durch die Resultate des ökologischen und finanziellen Vergleiches beeinflusst worden sein – denn die vorliegende Studie wurde erst in der dritten Version mit der Mieterbefragung ergänzt, wobei die Resultate schon vorher öffentlich zugänglich waren.

33 SIA 180:2014: Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden

7 Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen der Lüftungskonzepte der beiden Hälften der Siedlung Klee mittels Ökobilanzen zeigen, dass eine zentrale Lüftungsanlage mit WRG (ökologisch betrachtet) gegenüber der unkontrollierten Fensterlüftung mit Abluft nur dann Sinn macht, wenn die Heizwärme mit fossilen Brennstoffen wie Öl oder Gas erzeugt wird und wenn durch ein optimales Nutzerverhalten und eine störungsfreie WRG die theoretisch mögliche Heizwärmereduktion erzielt werden kann. Dies gilt allerdings nur, wenn der Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie oder der Ausstoss von Treibhausgasemissionen als Indikatoren für die Umweltbelastung verwendet werden. Wird hingegen die totale Umweltbelastung betrachtet, welche mit der Schweizer Methode der ökologischen Knappheit berechnet wird, schneidet die zentrale Lüftungsanlage mit WRG in allen untersuchten Szenarien schlechter ab als die unkontrollierte Fensterlüftung mit Abluft. Dies bedeutet, dass auch bei optimalem Nutzerverhalten sowie optimal funktionierender WRG und der so erreichten Einsparung von über 24 % der Heizwärme, wie auch bei optimistisch langen Lebensdauern der Lüftungskomponenten die zentrale Lüftungsanlage mit WRG über den gesamten Lebenszyklus betrachtet eine grössere Umweltbelastung verursacht als die Fensterlüftung mit Abluft. Dieses Resultat ist insofern von Bedeutung, da sich Bewohner gemäss früheren Erfassungen (siehe Kapitel 2.4.1) oft aus ökologischen Gründen für eine KWL entscheiden, d.h., weil sie die KWL gegenüber der Fensterlüftung als nachhaltiger betrachten.

Weiter hat das verallgemeinerte EWS-Wärmepumpen-Szenario gezeigt, dass die zentrale Lüftungsanlage mit WRG bei einer nachhaltigen Wärmezeugung mittels EWS-Wärmepumpen noch weiter hinter die unkontrollierte Fensterlüftung mit Abluft zurückfällt. Selbst unter den getroffenen konservativen Annahmen (maximal mögliche Einsparung an Heizwärme durch die zentrale Lüftungsanlage mit WRG sowie sehr langlebige Lüftungskomponenten) ist die totale Umweltbelastung durch die zentrale Lüftungsanlage doppelt so hoch (100 % höher) als jene der Fensterlüftung mit Abluft.

Finanziell betrachtet lohnt sich die zentrale Lüftungsanlage mit WRG in keinem betrachteten Szenario, wie die verschiedenen Lebenszykluskostenrechnungen und Sensitivitätsanalysen zeigen. Selbst wenn durch optimales Nutzerverhalten und optimale WRG über 24 % an „teurer“ (da durch fossile Energieträger erzeugte) Heizwärme eingespart werden kann und die Lüftungskomponenten optimistisch lange Lebenszeiten aufweisen, verursacht die zentrale Lüftungsanlage mit WRG über den gesamten Lebenszyklus fast 2.5-fach höhere Kosten (+148 %) als die unkontrollierte Fensterlüftung mit Abluft.

Die Mieterbefragung hat zudem gezeigt, dass die kontrollierte Wohnraumlüftung mittels zentraler Lüftungsanlage den wahrgenommenen Komfort nicht erhöht. Die KWL wird von den Mietern nicht als Mehrwert empfunden, statt dessen sind die Bewohner des GBMZ-Gebäudeteils signifikant weniger zufrieden mit der allgemeinen Luftqualität und dem verbauten Lüftungskonzept als die Bewohner des BGH-Gebäudeteils. Insbesondere stören sich die GBMZ-Bewohner an der trockenen Luft im Winter. Hinzu kommt, dass häufig genannte Vorteile der KWL, wie eine reduzierte Pollenbelastung, verminderte Lärmexposition oder die Verhinderung von Schimmelbildung, von den Bewohnern nicht – oder nicht signifikant häufiger als bei der Fensterlüftung – bestätigt wurden. Auch zeigte die Befragung, dass die GBMZ-Bewohner zu oft fensterlüften, was die Diskrepanz zwischen gemessenem und theoretisch möglichem Heizwärmeverbrauch (zumindest teilweise) erklärt. Eine Mitursache für den tieferen wahrgenommenen Komfort bzw. die tiefere Bewohnerzufriedenheit könnte sich auf die Tatsache zurückführen lassen, dass die Luftmengen nicht individuell einstellbar sind.

In dieser Studie wurde für ein konkretes Wohnobjekt deutlich aufgezeigt, dass sich eine zentrale Lüftungsanlage mit WRG gegenüber einer unkontrollierten Fensterlüftung mit Abluft weder ökologisch noch finanziell lohnt. Daneben schneidet die zentrale Lüftungsanlage auch beim Komfort bzw. der Bewohnerzufrieden-

heit schlechter ab. Die Deutlichkeit der Resultate, die Qualität der zur Verfügung stehenden Daten und die hohe Eignung der Siedlung Klee als Studienobjekt legen die Vermutung nahe, dass die finanzielle und ökologische Bilanz sehr ähnlich aussieht für ein Grossteil der zentralen Lüftungsanlagen. Demzufolge scheint eine zentrale Lüftungsanlage kein Instrument zu sein, um die Ökobilanz eines Gebäudes zu verbessern oder die Kosten zu senken, sondern dient einer allfälligen Steigerung der Lufthygiene und des Komforts. Für das untersuchte Wohnobjekt zeigt sich diese Steigerung jedoch nicht in den Antworten der befragten Mieter. Damit zeigt die Siedlung Klee einerseits, dass eine KWL nicht pauschal zu Mehrwerten bei Lufthygiene und Komfort führen muss und andererseits, dass auch eine kostengünstige und umweltschonende Fensterlüftung zu einer hohen Bewohnerzufriedenheit und Komfort führen kann.

Im Idealfall, sprich, wenn eine KWL gut umgesetzt ist, kann Lufthygiene und Komfort gesteigert werden. Allerdings könnten diese Mehrwerte auch mit weniger materialintensiven, dezentralen Lüftungsanlagen erreicht werden. Die finanzielle und ökologische Bilanz solcher Systeme, bei welchen teilweise auch gewisse Formen der WRG möglich sind, könnte wesentlich besser ausfallen als diejenige der zentralen Lüftungsanlage. Auf diese Weise könnten die Mehrwerte einer KWL auch mit geringeren Umweltauswirkungen und Kosten erreicht werden.

Die Resultate dieser Studie zeigen zudem eine grundsätzliche Problematik im Gebäudebereich auf: Oft wird die Frage nach den Umweltauswirkungen eines Gebäudes über den ganzen Lebenszyklus vernachlässigt. Stattdessen konzentrieren sich Label und gesetzliche Anforderungen auf Energieverbrauch und Effizienz im Betrieb. Dieser einseitige Fokus auf Energieeffizienz ist nicht unproblematisch und führt manchmal zu Resultaten, die dem eigentlichen Sinn der Bemühungen zuwiderlaufen: Der Senkung der Umweltauswirkungen.

Literaturverzeichnis

- [1] A. Kemmler, T. Spillmann, S. Koziel, *Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2017 nach Verwendungszwecken*, Synthesebericht, Bundesamt für Energie, Bern, 2018.
- [2] *Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013-2020)*, Bundesamt für Umwelt, Bern, 2019.
- [3] R. Frischknecht, S. Büsser Knöpfel, *Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz*. Umwelt-Wissen Nr. 1330: 256 S., Bundesamt für Umwelt, Bern, 2013.
- [4] W. Hässig, A. Primas, D. Gerber, T. Weber, C. Hauri und H. Huber, *Lüftung in sanierten Mehrfamilienhäusern*, Ergänzungsbericht, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zürich, 2006.
- [5] P. Tappler, H.-P. Hutter, H. Hengsberger und W. Ringer, *Lüftung 3.0 Bewohnergesundheit und Raumluftqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern*, Ergänzter Endbericht, Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie (IBO), Wien, 2014.
- [6] B. Sicre und P. Baumann, *Hygieneuntersuchungen in der Komfortlüftung für energieeffiziente Gebäude*, Schlussbericht, Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG, Hochschule Luzern, Horw, 2014.
- [7] M. Mühlebach, *Evaluation Lüftung «mehr als wohnen»*, Schlussbericht, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zürich, 2018.
- [8] M. Burkhardt, P. Sedlmeier, *Explorative und deskriptive Datenanalyse mit R*, 1. Auflage, München, 2015.
- [9] C. Hauri, H. Huber, N. Lederle, J. Nipkow, C. Schmid, S. Wiederkehr, *Leistungsgarantie Haustechnik*, Bundesamt für Energie, swisssetec und Verein Minergie, 2015.
- [10] U. Rey, *Erneuerbare Energien auf dem Vormarsch*, Webartikel, Stadt Zürich, 2017.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundriss der Siedlung Klee (Knapkiewicz & Fickert AG 2008).....	3
Abbildung 2: Lüftungsplan einer BGH-Wohnung (Todt Gmür und Partner AG 2011).....	4
Abbildung 3: Strangschema von Treppenhaus 1 im BGH-Gebäudeteil (Todt Gmür und Partner AG 2011).....	5
Abbildung 4: Lüftungsplan einer GBMZ-Wohnung (Todt Gmür und Partner AG 2011).....	6
Abbildung 5: Strangschema von Treppenhaus 11 im GBMZ-Gebäudeteil (Todt Gmür und Partner AG 2011).....	7
Abbildung 6: Prinzipschema des Monoblocks von Treppenhaus 11 (Todt Gmür und Partner AG).....	8
Abbildung 7: Struktur der Methode der ökologischen Knappheit 2013 [7].....	11
Abbildung 8: Bodenaufbau BGH-Gebäudeteil.....	17
Abbildung 9: Bodenaufbau GBMZ-Gebäudeteil.....	17
Abbildung 10: Allgemestromverbrauch der beiden Gebäudeteile.....	22
Abbildung 11: Heizwärmeverbräuche der beiden Gebäudeteile.....	22
Abbildung 12: Umweltauswirkungen der Lüftungssysteme, ausgedrückt in UBP.....	24
Abbildung 13: Umweltauswirkungen der Lüftungssysteme, ausgedrückt in PENR.....	24
Abbildung 14: Umweltauswirkungen der Lüftungssysteme, ausgedrückt in GWP.....	25
Abbildung 15: Annuitäten der beiden Lüftungssysteme.....	26
Abbildung 16: Einfluss des Strompreises auf die jährlichen Mehrkosten der zentralen Lüftungsanlage (Verwendeter Wert für Analysen: 20.1 Rp./kWh).....	27
Abbildung 17: Einfluss des Gaspreises auf die jährlichen Mehrkosten der zentralen Lüftungsanlage (Verwendeter Wert für Analysen: 6.1 Rp./kWh).....	28
Abbildung 18: Einfluss des Zinssatzes auf die jährlichen Mehrkosten der zentralen Lüftungsanlage (Verwendeter Wert für Analysen: 1.5 %).....	28
Abbildung 19: Umweltauswirkungen im idealen Szenario, ausgedrückt in UBP.....	30
Abbildung 20: Umweltauswirkungen im idealen Szenario, ausgedrückt in PENR.....	30
Abbildung 21: Umweltauswirkungen im idealen Szenario, ausgedrückt in GWP.....	31
Abbildung 22: Annuitäten im idealen Szenario.....	32
Abbildung 23: Umweltauswirkungen im idealen Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in UBP.....	33
Abbildung 24: Umweltauswirkungen im idealen Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in PENR.....	34
Abbildung 25: Umweltauswirkungen im idealen Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in GWP.....	34
Abbildung 26: Annuitäten im idealen Szenario mit langlebigen Komponenten.....	35
Abbildung 27: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario, ausgedrückt in UBP.....	37
Abbildung 28: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario, ausgedrückt in PENR.....	38
Abbildung 29: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario, ausgedrückt in GWP.....	38
Abbildung 30: Annuitäten im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario.....	40
Abbildung 31: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in UBP.....	41
Abbildung 32: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in PENR.....	42
Abbildung 33: Umweltauswirkungen im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario mit langlebigen Komponenten, ausgedrückt in GWP.....	42
Abbildung 34: Annuitäten im verallgemeinerten EWS-Wärmepumpen-Szenario mit langlebigen Komponenten.....	43
Abbildung 35: Wohndauer der BGH-Bewohner.....	44
Abbildung 36: Wohndauer der GBMZ-Bewohner.....	44
Abbildung 37: Verteilung der Stichproben auf die Stockwerke.....	45
Abbildung 38: Bewertung der Luftfeuchtigkeit im Winter.....	46

Abbildung 39: Vergleich der mittleren Bewertungen der Luftfeuchtigkeit im Winter (inkl. 95 %- Vertrauensintervall).....	46
Abbildung 40: Bewertung der Pollenbelastung in den Wohnungen.....	47
Abbildung 41: Bewertung des Aussenlärms bei geschlossenen Fenstern.....	47
Abbildung 42: Bewertung der Staubbelastung.....	48
Abbildung 43: Zufriedenheit mit Luftqualität.....	49
Abbildung 44: Vergleich der mittleren Zufriedenheit (inkl. 95 %-Vertrauensintervall).....	49
Abbildung 45: Häufigkeit Fensterlüftung.....	50
Abbildung 46: Dauer Fensterlüftung.....	50
Abbildung 47: Häufigkeit der nachts offenen Fenster im Winter.....	51
Abbildung 48: Mittelwertvergleich der Häufigkeit von offenen Fenstern (inkl. 95%-Vertrauensintervall).....	51
Abbildung 49: Zufriedenheit mit Lüftungskonzept.....	52
Abbildung 50: Vergleich der mittleren Zufriedenheit mit Lüftungskonzept (inkl. 95%-Vertrauensintervall).....	52
Abbildung 51: Wunsch nach und Zahlungsbereitschaft für KWL (BGH-Bewohner).....	53
Abbildung 52: Wahrnehmung von Zugluft (GBMZ-Bewohner).....	54
Abbildung 53: Wahrnehmung von Lüftungsgeräuschen (GBMZ-Bewohner).....	54
Abbildung 54: Bewertung der Zuluft-Temperatur (GBMZ-Bewohner).....	55
Abbildung 55: Rolle des Lüftungssystems bei Wohnungswahl.....	56
Abbildung 56: Prinzipschema der BGH-Heizzentrale (Huustechnik Rechberger AG 2008).....	65
Abbildung 57: Prinzipschema der GBMZ-Heizzentrale (Huustechnik Rechberger AG 2008).....	65
Abbildung 58: Prinzipschema der Wärmeversorgung des BGH-Gebäudeteils (Huustechnik Rechberger AG 2008).....	66
Abbildung 59: Prinzipschema der Wärmeversorgung des GBMZ-Gebäudeteils (Huustechnik Rechberger AG 2008).....	66
Abbildung 60: Bewertung der Raumtemperatur im Winter.....	78
Abbildung 61: Bewertung der Raumtemperatur im Sommer.....	78
Abbildung 62: Bewertung der Luftfeuchtigkeit im Sommer.....	78
Abbildung 63: Wahrgenommene Fremdgeräusche nach Lärmquelle.....	79
Abbildung 64: Wahrnehmung des Unterdrucks durch BGH-Bewohner.....	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allgemeine Angaben zum BGH- und GBMZ-Gebäudeteil.....	2
Tabelle 2: Monoblocks des GBMZ-Gebäudeteils (Todt Gmür und Partner AG).....	9
Tabelle 3: Struktur der beiden Fragebögen.....	13
Tabelle 4: Bewertung der Korrelationen [8].....	14
Tabelle 5: Bodenaufbauten der beiden Gebäudeteile.....	17
Tabelle 6: Absolute Allgemeinstrom- und Heizwärmeverbräuche.....	21
Tabelle 7: Lebensdauern der Komponenten.....	33
Tabelle 8: Verwendete Parameter im verallgemeinerten Szenario.....	36
Tabelle 9: Soziodemografische Merkmale der beiden Stichproben.....	44
Tabelle 10: Vorliegende Angaben zu den EBFs der beiden Gebäudeteile.....	64
Tabelle 11: Angaben zum Strombedarf der Abluft-Ventilatoren der BGH-Nasszellen.....	68
Tabelle 12: Angaben zum Strombedarf der Ventilatoren der zentralen Lüftungsanlagen.....	69
Tabelle 13: LCI der unkontrollierten Fensterlüftung mit Abluft.....	69
Tabelle 14: LCI der zentralen Lüftungsanlage mit WRG.....	70

Anhang

Anhang A – Energiebezugsflächen der beiden Gebäudeteile

In Tabelle 10 sind die unterschiedlichen Angaben zu den EBFs chronologisch aufgelistet. Es wird jeweils nur die EBF der Wohnzonen gezeigt, sprich der Zonen mit der Standardnutzung «Wohnen MFH».

Tabelle 10: Vorliegende Angaben zu den EBFs der beiden Gebäudeteile

Datum	Bezeichnung	BGH-Gebäudeteil	GBMZ-Gebäudeteil
07.2007	Minergie-Heizwärmebedarf-Berechnung (Kopitsis Bauphysik AG)	18'830 m ² (Objekt-Nr. 527)	19'100 m ² (Objekt-Nr. 526)
07.2008	Systemnachweis SIA 380/1:2007 (Kopitsis Bauphysik AG)	19'580 m ² (Objekt-Nr. 527)	-
12.2008	Systemnachweis SIA 380/1:2007 (Kopitsis Bauphysik AG)	-	22'522 m ² (Objekt-Nr. 782)

Bei den zuerst erstellten Nachweisen Nr. 526 und 527 wurde nachträglich nur der BGH-Nachweis (Nr. 527) angepasst. Der später für den GBMZ-Gebäudeteil neu erstellte Nachweis Nr. 782 umfasst im Vergleich zu allen anderen Nachweisen auch das Sockelgeschoss (UG) und fällt daher viel grösser aus. Weshalb beim Nachweis Nr. 782, welcher dann auch für die Minergie-Zertifizierung verwendet wurde, das Sockelgeschoss plötzlich berücksichtigt wird, ist nicht ersichtlich. Die Gebäudehülle sowie -nutzung im Sockelgeschoss unterscheidet sich in den beiden Gebäudeteilen kaum.³⁴ Auch ist im Sockelgeschoss des GBMZ-Gebäudeteils keine KWL vorhanden – bis auf den Kinderhort, welcher jedoch ohnehin bei jeglichen Betrachtungen ausgeschlossen wird. Aufgrund dieser unerklärlichen Erhöhung der EBF und weil zu den im Juli 2008 und Dezember 2008 erstellten Nachweisen kein Gegenstück des anderen Gebäudeteils vorliegt, werden die EBFs aus den im Juli 2007 erstellten Nachweisen verwendet.

Die EBFs werden verwendet, um eine funktionelle Einheit zu bilden (sprich die Umweltauswirkungen und Kosten auf einen Quadratmeter EBF zu beziehen). Durch das transparente Ausweisen aller vorliegenden EBFs können die Resultate dieser Studie problemlos in andere EBFs umgerechnet werden. Dafür müssen die Kosten bzw. Umweltauswirkungen (pro Quadratmeter EBF und Jahr) mit der im Juli 2007 berechneten EBF des jeweiligen Gebäudeteils multipliziert und anschliessend durch die gewünschte EBF geteilt werden.

³⁴ Gemäss Grundrissplänen des Sockelgeschosses und Auskunft der Kopitsis Bauphysik AG

Anhang B – Prinzipschemata der Wärmeversorgung

Das Prinzipschema der BGH-Heizzentrale ist in Abbildung 56 und jenes der GBMZ-Heizzentrale in Abbildung 57 zu sehen.

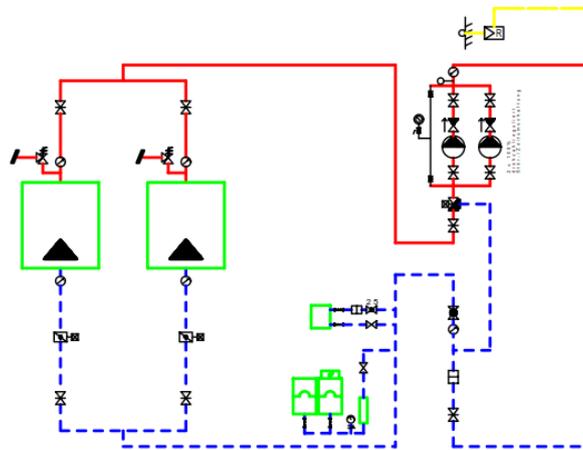


Abbildung 56: Prinzipschema der BGH-Heizzentrale (Huustechnik Rechberger AG 2008)

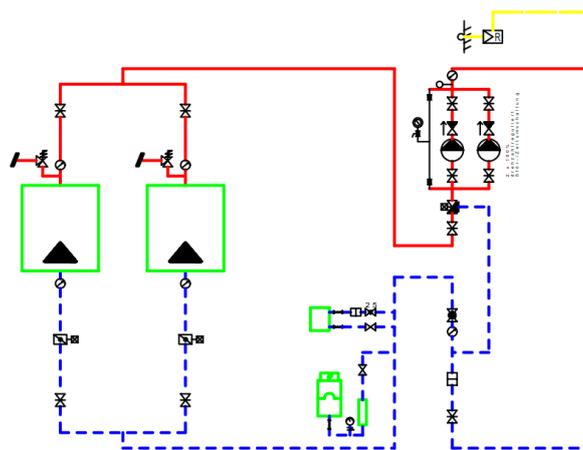


Abbildung 57: Prinzipschema der GBMZ-Heizzentrale (Huustechnik Rechberger AG 2008)

Das Prinzipschema der Wärmeversorgung des BGH-Gebäudeteils ist in Abbildung 58 zu sehen.

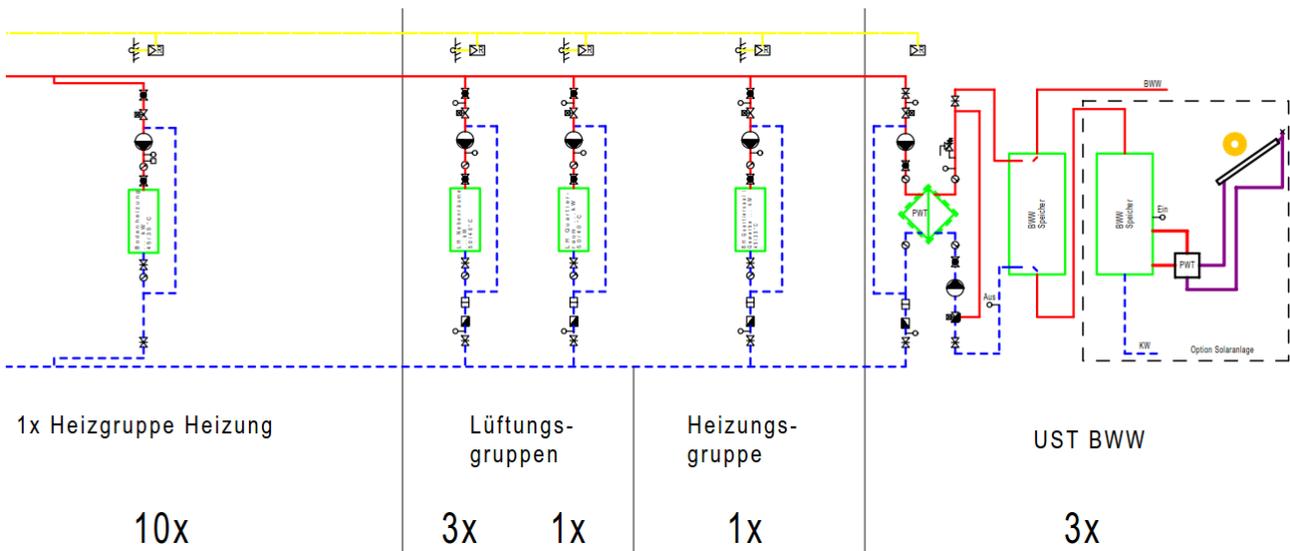


Abbildung 58: Prinzipschema der Wärmeversorgung des BGH-Gebäudeteils (Huustechnik Rechberger AG 2008)

Insgesamt gibt es elf Heizgruppen, zehn davon für die Wohnungen (eine Heizgruppe pro Treppenhaus) und eine für den Quartierraum. Weiter sind drei Lüftungsgruppen für die Lufterwärmung in den drei zentralen Lüftungsanlagen der Nebenräume sowie eine Lüftungsgruppe für die Lufterwärmung in der zentralen Lüftungsanlage des Quartierraums vorhanden. Schliesslich gibt es drei Unterstationen für das Warmwasser, welches sowohl mittels Gasheizung wie auch thermischen Solarkollektoren aufbereitet wird. Die thermischen Solarkollektoren werden jedoch ausschliesslich für die Warmwasseraufbereitung genutzt.

Das Prinzipschema der Wärmeversorgung des GBMZ-Gebäudeteils ist in Abbildung 59 zu sehen.

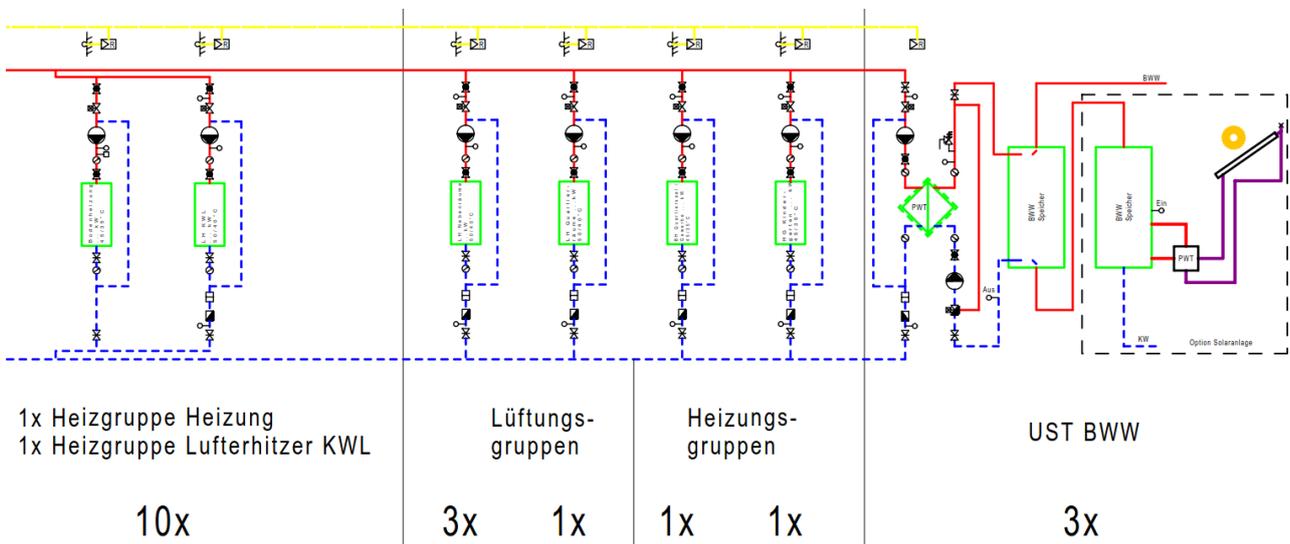


Abbildung 59: Prinzipschema der Wärmeversorgung des GBMZ-Gebäudeteils (Huustechnik Rechberger AG 2008)

Im Gegensatz zum BGH-Gebäudeteil verfügt der GBMZ-Gebäudeteil nicht über zehn, sondern 20 Heizgruppen für die Wohnungen. Denn neben den zehn Heizgruppen für die Bodenheizung (eine Heizgruppe pro Treppenhaus) fallen zusätzlich zehn Heizgruppen für die Lufterwärmung in den zentralen Lüftungsanlagen der Wohnungen (eine zentrale Lüftungsanlage pro Treppenhaus) an. Abgesehen von diesen zehn zusätzlichen Lufterhitzern für die KWL sowie einer zusätzlichen Heizgruppe für den Hort unterscheidet sich

die Wärmeversorgung im GBMZ-Gebäudeteil nicht von jener im BGH-Gebäudeteil. Die Warmhaltung der Warmwasserverteilung geschieht in beiden Gebäudeteilen mit einem Zirkulationssystem und nicht mit elektrischen Heizbändern.

Anhang C – Formeln der Annuitätenmethode

Annuitäten von Anfangsinvestitionen (A_{inv}) werden wie folgt berechnet:

$$A_{\text{inv}} = I_0 \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Formel 1: Annuität der Anfangsinvestition

Wobei I_0 die Investition zum Zeitpunkt 0, i der Zinssatz (Hypothekarzins) und n die erwartete Lebenszeit der Komponente (Zeit bis zur Erneuerung der Komponente) darstellen.

Die Annuitäten A_U von Unterhaltsarbeiten werden wie folgt berechnet:

$$A_U = \frac{I_U}{p}$$

Formel 2: Annuität der Unterhaltsarbeiten

I_U entspricht dabei den Unterhalts- oder Wartungskosten und p der Periode des Unterhalts oder der Wartung. Jährliche Betriebskosten von 100 CHF führen damit zu einer Annuität von 100 CHF, eine 200 CHF teure Wartung alle zwei Jahre ebenfalls zu einer Annuität von 100 CHF.

Die jährlichen Kosten für den Energieverbrauch und die Einnahmen für Energieproduktion A_E ergeben sich direkt aus der Multiplikation der Strommengen mit dem Einkaufs- oder Verkaufspreis:

$$A_E = \sum_{i=1}^n E_{c,i} \cdot p_c$$

Formel 3: Annuität der Energieverbräuche und -produktionen

$E_{c,i}$ ist der i . jährliche Stromverbrauch von total n unterschiedenen Verbräuchen, welche mit dem Preis von p_c pro kWh bezahlt werden müssen.

Die Annuitäten $A_{E\&D}$ von Entsorgungs- und Demontagevorgängen ergeben sich nach:

$$A_{E\&D} = F \cdot \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

Formel 4: Annuität der Kosten für Entsorgung und Demontage

F entspricht dabei der Höhe der zukünftigen Investition, i dem Zinssatz und n der Anzahl an Jahren, nach welcher die Investition fällig wird. Wenn man also jährlich einen Betrag in der Höhe von $A_{E\&D}$ beiseite legt und darauf Zinsen in der Höhe von i erhält, hat man nach n Jahren den Betrag F zur Verfügung, mit dem man die Entsorgung und Demontage zahlen kann.

Die Gesamtannuität einer Komponente oder eines Teilsystems ergibt sich nun zu:

$$A_{\text{tot}} = A_{\text{inv}} + A_U + A_E + A_{E\&D}$$

Formel 5: Gesamtannuität aller Lebensphasen

Anhang D – Strombedarf der Abluft-Ventilatoren der BGH-Nasszellen

Der Strombedarf der Abluft-Ventilatoren der Nasszellen im BGH-Gebäudeteil (unkontrollierte Fensterlüftung) wird gemäss Formel 6 berechnet.

$$W_{el} = P_{el} * t$$

Formel 6: Strombedarf der Abluft-Ventilatoren der BGH-Nasszellen

P_{el} entspricht dabei der elektrischen Leistungsaufnahme und t den jährlichen Vollast-Betriebsstunden aller Ventilatoren. In Tabelle 11 sind die verwendeten Werte sowie der resultierende Strombedarf zu sehen.

Tabelle 11: Angaben zum Strombedarf der Abluft-Ventilatoren der BGH-Nasszellen

Beschreibung	Wert
Elektrische Leistungsaufnahme pro Ventilator	18 W
Geschätzte jährliche Vollast-Betriebsstunden pro Ventilator	730 h/a (= 365 d/a * 2 h/d)
Anzahl Ventilatoren	318
Strombedarf	4'179 kWh/a

Anhang E – Strombedarf der Ventilatoren der zentralen Lüftungsanlagen

Der Strombedarf der Zu- und Abluft-Ventilatoren der zentralen Lüftungsanlagen wird mit Formel 7, 8 und 9 berechnet.

$$P_{ven,eff} = P_{ven,soll} * \left(\frac{Q_{eff}}{Q_{soll}} \right)^3$$

Formel 7: Effektiver Leistungsbedarf der Ventilatoren

$$P_{el} = \frac{P_{ven,eff}}{\eta}$$

Formel 8: Elektrischer Leistungsbedarf der Antriebsmotoren

$$W_{el} = P_{el} * t$$

Formel 9: Strombedarf der Antriebsmotoren

$P_{ven,soll}$ entspricht dabei dem Leistungsbedarf der Ventilatoren bei maximalem Soll-Volumenstrom Q_{soll} , $P_{ven,eff}$ dem Leistungsbedarf der Ventilatoren bei effektivem Volumenstrom Q_{eff} , η dem Wirkungsgrad der Ventilatoren, P_{el} der elektrischen Leistungsaufnahme der Antriebsmotoren (der Ventilatoren) und t den jährlichen Betriebsstunden der Ventilatoren.

Die verwendeten Werte und der resultierende Strombedarf sind in Tabelle 12 zu sehen.

Tabelle 12: Angaben zum Strombedarf der Ventilatoren der zentralen Lüftungsanlagen

Beschreibung	Wert
Max. Leistungsbedarf aller Ventilatoren bei Soll-Volumenstrom	11.8 kW
Soll-Volumenstrom	25.35 m ³ /h
Effektiver Volumenstrom	21.08 m ³ /h
Wirkungsgrad der Ventilatoren	67 %
Jährliche Betriebsstunden	8'760 h/a
Strombedarf der Ventilator-Antriebsmotoren	88'700 kWh/a

Anhang F – Ökologische Sachbilanzen (LCI)

Die LCI der unkontrollierten Fensterlüftung mit Abluft im BGH-Gebäudeteil ist in Tabelle 13 aufgelistet.

Tabelle 13: LCI der unkontrollierten Fensterlüftung mit Abluft

	Material/Prozess	Lebenszeit [a]	Anzahl	Einheit	#[/(a*m2 EBF)]
KOMPONENTEN Abluft Nasszellen (BKP: 244.1)	Ventilator 60 m ³ /h	20	207.9	kg	0.00055
	Filtereinsatz	20	99	Stk	0.00026
	Abluftrohr aus verz. Stahlblech 125mm	30	2956.8	kg	0.00523
	Abluftrohr aus verz. Stahlblech 100mm	30	486.45	kg	0.0086
	Bogen 90° aus verz. Stahlblech 125mm	30	248	kg	0.00044
	Bogen 90° aus verz. Stahlblech 100m	30	63.6	kg	0.00011
	Bogen 45° aus verz. Stahlblech 125mm	30	87.2	kg	0.00015
	Bogen 45° aus verz. Stahlblech 100mm	30	13.8	kg	0.00002
	Reduktionen 100/80 aus verz. Stahlblech	30	66	kg	0.00012
	Muffen aus verz. Stahlblech 125mm	30	56	kg	0.00010
	Muffen aus verz. Stahlblech 100mm	30	11.5	kg	0.00002
	Verbindungsrohre aus verz. Stahlblech 125mm	30	27	kg	0.00005
	Verbindungsrohre aus verz. Stahlblech 100mm	30	9	kg	0.00002
	Rohrschellen und -briden aus verz. Stahlblech	30	127.5	kg	0.00023
	Alu-Flex-Rohre 100mm	30	150	kg	0.00027
	Dachhauben von Lindab	30	222	kg	0.00039
	Safephone aus verz. Stahlblech 125/100mm	30	690	kg	0.00122
Isolation der Mauerdurchbrüche mit 20mm Mineralfasermatten	30	0.4	m ³	0.00000	
KOMPONENTEN Abluft Küchen (BKP: 244.2)	Abluftrohr aus verz. Stahlblech 125mm	30	5068.8	kg	0.00897
	Bogen 90° aus verz. Stahlblech 125mm	30	800	kg	0.00142
	Bogen 45° aus verz. Stahlblech 125mm	30	106	kg	0.00019

	Muffen aus verz. Stahlblech 125mm	30	96	kg	0.00017
	Verbindungsrohre aus verz. Stahlblech 125mm	30	46	kg	0.00008
	Rohrschellen und -briden aus verz. Stahlblech	30	99	kg	0.00018
	Dachhauben von Lindab	30	521.5	kg	0.00092
	Isolation der Mauerdurchbrüche mit 20mm Mineralfasermatten	30	0.6	m ³	0.00000
BETRIEB	Mehrverbrauch Elektrizität	1	0	kWh	0.00000
	Mehrverbrauch Heizwärme	1	13348	kWh	0.76695
UNTERHALT & WARTUNG	Lüftungsreinigung	10	2112	km	0.01120

Die LCI der zentralen Lüftungsanlage mit WRG im GBMZ-Gebäudeteil ist in Tabelle 14 aufgelistet.

Tabelle 14: LCI der zentralen Lüftungsanlage mit WRG

	Material/Prozess	Lebenszeit [a]	Anzahl	Einheit	#[/(a*m2 EBF)]
KOMPONENTEN Lufterhitzer- anschlüsse (BKP: 242.9 abzüglich 242.3)	Umwälzpumpen Stratos ECO 30/1-5 BMS 5x 59W	20	14.6	kg	0.00004
	Umwälzpumpen Stratos 30/1-8 4x 132W	20	16.4	kg	0.00004
	Umwälzpumpe Stratos 30/1-6 1x 132W	20	4	kg	0.00001
	Siederohre schwarz, geschweisst 3/4"	30	363.4	kg	0.00062
	Siederohre schwarz, geschweisst 1"	30	19.52	kg	0.00003
	Siederohre schwarz, geschweisst 5/4"	30	175.84	kg	0.00030
	Kugelhahnen 20x	30	12	kg	0.00002
	Strangregulier- und Absperrventile 30x	30	24	kg	0.00004
	Schmutzfänger 9x	30	0.9	kg	0.00000
	Rückschlagventile 9x	30	3.6	kg	0.00001
	Metallschlauch 20x	30	26	kg	0.00004
	Luftflaschen 22x	30	22	kg	0.00004
	Entleerhahnen 20x	30	8	kg	0.00001
	Tauchthermometer 20x	30	1	kg	0.00000
	Messnippel 40x	30	2	kg	0.00000
	Wärmedämmung Rohrnetz (Dämmstärke: 50mm)	30	232.507	kg	0.00040
	Wärmedämmung Armaturen 28x	30	4.872	kg	0.00001
	Isolationsbox zu STA Ventile 30x	30	3	kg	0.00001
Wärmezähler 10x	30	15	kg	0.00003	
KOMPONENTEN Aussenluftfassung TH 11-20 (BKP: 244.10)	Kanäle/Rohre:				
	Kanäle 500x1150 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ1)	30	29.58	kg	0.00005
	Kanäle 900x500 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ1)	30	87.85	kg	0.00015

Kanäle 650x400 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ1)	30	65.87	kg	0.00011
Kanäle 450x350 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ2)	30	14.34	kg	0.00002
Kanäle 250x650 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ2)	30	129.12	kg	0.00022
Kanäle 350x1500 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ1)	30	49.74	kg	0.00008
Kanäle 350x1500 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ2)	30	33.16	kg	0.00006
Kanäle 350x1800 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ1)	30	77.08	kg	0.00013
Kanäle 250x1000 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ2)	30	560	kg	0.00096
Kanäle 250x1000 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ1)	30	22.4	kg	0.00004
Kanäle 250x550 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ1)	30	50.19	kg	0.00009
Kanäle 250x550 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ2)	30	200.76	kg	0.00034
Kanäle 200x800 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ1)	30	71.68	kg	0.00012
Kanäle 200x800 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ2)	30	188.16	kg	0.00032
Kanäle 350x750 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ2)	30	19.72	kg	0.00003
Kanäle 350x800 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ2)	30	20.62	kg	0.00004
Kanäle 550x500 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ1)	30	9.41	kg	0.00002
Kanäle 500x1800 mm aus verz. Stahlblech (Isolation Typ2)	30	41.24	kg	0.00007
Bogen 90° 250x650 mm aus verz. Stahlblech	30	3.67	kg	0.00001
Bogen 90° 900x500 mm aus verz. Stahlblech	30	11.4	kg	0.00002
Bogen 90° 650x400 mm aus verz. Stahlblech	30	4.28	kg	0.00001
Bogen 90° 250x650 mm aus verz. Stahlblech	30	7.34	kg	0.00001
Bogen 90° 450x350 mm aus verz. Stahlblech	30	6.52	kg	0.00001
Kanalbogen 90° 250x1000 mm aus verz. Stahlblech	30	25.45	kg	0.00004
Bogen 90° 200x800 mm aus verz. Stahlblech	30	8.14	kg	0.00001
Bogen 90° 500x1500 mm aus verz. Stahlblech	30	16.3	kg	0.00003

Bogen 90° 250x550 mm aus verz. Stahlblech	30	9.18	kg	0.00002
Bogen 45° 250x1000 mm aus verz. Stahlblech	30	5.1	kg	0.00001
Bogen 30° 350x1500 mm aus verz. Stahlblech	30	5.66	kg	0.00001
Bogen 30° 200x800 mm aus verz. Stahlblech	30	3.06	kg	0.00001
Bogen 30° 250x650 mm aus verz. Stahlblech	30	1.38	kg	0.00000
Bogen 30° 500x1500 mm aus verz. Stahlblech	30	3.06	kg	0.00001
Bogen 30° 500x1150 mm aus verz. Stahlblech	30	2.52	kg	0.00000
Konen 900x500/1150x500 mm aus verz. Stahlblech	30	13.67	kg	0.00002
Konen 1800x350/1950x350 mm aus verz. Stahlblech	30	9.97	kg	0.00002
Konen 450x350/650x250 mm aus verz. Stahlblech	30	9.144	kg	0.00002
Konen 250x1000/350x750 mm aus verz. Stahlblech	30	14.742	kg	0.00003
Konen 250x1000/350x800 mm aus verz. Stahlblech	30	5.38	kg	0.00001
Konen 500x1500/500x1800 mm aus verz. Stahlblech	30	19.27	kg	0.00003
Konen 800x200/550x250 mm aus verz. Stahlblech	30	8.07	kg	0.00001
Übergangskone 650x500/ D600 mm aus verz. Stahlblech	30	4.225	kg	0.00001
Übergangskone 650x400/ D560 mm aus verz. Stahlblech	30	3.94	kg	0.00001
Übergangskone 500x500/ D650 mm aus verz. Stahlblech	30	3.94	kg	0.00001
Übergangskone 550x500/ D500 mm aus verz. Stahlblech	30	7.04	kg	0.00001
Übergangskone 500x650/ D560 mm aus verz. Stahlblech	30	3.94	kg	0.00001
Übergangskone 1150x300/ D500 mm aus verz. Stahlblech	30	4.928	kg	0.00001
Übergangskone 500x600/ D500 mm aus verz. Stahlblech	30	3.52	kg	0.00001
Übergangskone 250x1000/ D560 mm aus verz. Stahlblech	30	4.728	kg	0.00001
Etag 1000x250; Etag=370 mm aus verz. Stahlblech	30	17.696	kg	0.00003
Rohre 350 mm aus verz. Stahlblech	30	103.53	kg	0.00018
Rohre 400 mm aus verz. Stahlblech	30	236.46	kg	0.00040

Rohre 450 mm aus verz. Stahlblech	30	228.24	kg	0.00039
Rohre 500 mm aus verz. Stahlblech	30	232.32	kg	0.00040
Rohre 560 mm aus verz. Stahlblech	30	401.88	kg	0.00069
Rohre 600 mm aus verz. Stahlblech	30	583.05	kg	0.00100
Bogen 90° 350 mm aus verz. Stahlblech	30	10.6	kg	0.00002
Bogen 90° 400 mm aus verz. Stahlblech	30	21	kg	0.00004
Bogen 90° 450 mm aus verz. Stahlblech	30	17.2	kg	0.00003
Bogen 90° 500 mm aus verz. Stahlblech	30	20.8	kg	0.00004
Bogen 90° 560 mm aus verz. Stahlblech	30	51.6	kg	0.00009
Bogen 90° 600 mm aus verz. Stahlblech	30	47.4	kg	0.00008
Bogen 45° 400 mm aus verz. Stahlblech	30	30.1	kg	0.00005
Bogen 45° 560 mm aus verz. Stahlblech	30	15.4	kg	0.00003
Bogen 45° 600 mm aus verz. Stahlblech	30	55.8	kg	0.00010
Bogen 30° 400 mm aus verz. Stahlblech	30	6.8	kg	0.00001
Bogen 30° 500 mm aus verz. Stahlblech	30	19.2	kg	0.00003
Bogen 30° 560 mm aus verz. Stahlblech	30	29	kg	0.00005
T-Stücke 90° 560/450/500 mm aus verz. Stahlblech	30	11	kg	0.00002
T-Stücke 90° 560/400/450 mm aus verz. Stahlblech	30	10	kg	0.00002
T-Stücke 90° 600/400/400 mm aus verz. Stahlblech	30	10	kg	0.00002
T-Stücke 90° 600/600/350 mm aus verz. Stahlblech	30	11	kg	0.00002
Muffen 350 mm aus verz. Stahlblech	30	4.2	kg	0.00001
Muffen 400 mm aus verz. Stahlblech	30	10.5	kg	0.00002
Muffen 450 mm aus verz. Stahlblech	30	10.4	kg	0.00002
Muffen 500 mm aus verz. Stahlblech	30	14.4	kg	0.00002
Muffen 560 mm aus verz. Stahlblech	30	23.4	kg	0.00004
Muffen 600 mm aus verz. Stahlblech	30	33.6	kg	0.00006
Verbindungsrohre 350 mm aus verz. Stahlblech	30	4.2	kg	0.00001
Verbindungsrohre 400 mm aus verz. Stahlblech	30	8.4	kg	0.00001
Verbindungsrohre 450 mm aus verz. Stahlblech	30	8	kg	0.00001
Verbindungsrohre 500 mm aus verz. Stahlblech	30	12	kg	0.00002
Verbindungsrohre 560 mm aus verz. Stahlblech	30	15.6	kg	0.00003
Verbindungsrohre 600 mm aus verz. Stahlblech	30	28	kg	0.00005
Rohrschellen 350 mm aus verz. Stahlblech	30	7.4	kg	0.00001

	Rohrschellen 400 mm aus verz. Stahlblech	30	14.58	kg	0.00002
	Rohrschellen 450 mm aus verz. Stahlblech	30	13.8	kg	0.00002
	Rohrschellen 500 mm aus verz. Stahlblech	30	14	kg	0.00002
	Rohrschellen 560 mm aus verz. Stahlblech	30	19.8	kg	0.00003
	Rohrschellen 600 mm aus verz. Stahlblech	30	30	kg	0.00005
	Armaturen/Instrumente:				
	2 Anschlusskästen der Schmidlin AG aus verz. Stahlblech	30	56.6	kg	0.00010
	Feuerschutzthermostat	30	0.1	kg	0.00000
	Rauchmelder 230VAC 1 Wechselk.	30	0.1	kg	0.00000
	Isolation:				
	Isolation der Mauerdurchbrüche mit 20mm Mineralfasermatten	30	0.6	m ³	0.00000
	Aussenisolation Mineralfaserplatten 25mm dick	30	14.5	m ³	0.00002
	Wärmedämmung Rohrnetz (Dämmstärke: 50mm)	30	1320	kg	0.00226
KOMPONENTEN Kontrollierte Wohnungslüftung TH 15 (BKP: 244.15)	Zuluft-Monobloc Seven-Air SHG 2.6:				
	Flexible Manschette isoliert Gewebe	20	2.5	kg	0.00006
	Flexible Manschette isoliert Rahmen	20	5	kg	0.00013
	Flexible Manschette Isolation	20	1	kg	0.00003
	Aussenluftklappe innenliegend	20	15	kg	0.00038
	Filterteil: F7, Unifil	1	10	Stk	0.00513
	WRG-Alu-Plattentauscher	20	85.3335	kg	0.00219
	Lufterhitzerteil Rahmen aus verz. Stahlblech	20	3	kg	0.00008
	Lufterhitzerteil Kupfer Rohre	20	5	kg	0.00013
	Lufterhitzerteil Alu-Lamellen	20	2	kg	0.00005
	Zuluft-Ventilatorteil	20	10.8	kg	0.00028
	EC-Aussenläufermotor	20	15	kg	0.00038
	Flexible Manschette Gewebe	20	2.5	kg	0.00006
	Flexible Manschette Rahmen	20	5	kg	0.00013
	Differenzdruck-Manometer	20	0.9	kg	0.00002
	Fortluft-Monobloc Seven-Air SHG 2.6:				
	Flexible Manschette Gewebe	20	2.5	kg	0.00006
	Flexible Manschette Rahmen	20	5	kg	0.00013
	Fortluftklappe innenliegend	20	15	kg	0.00038
	Filterteil: F7, Unifil	1	10	Stk	0.00513
	Abluft-Ventilatorteil	20	10.8	kg	0.00028

EC-Aussenläufermotor	20	15	kg	0.00038
Flexible Manschette isoliert Gewebe	20	2.5	kg	0.00006
Flexible Manschette isoliert Rahmen	20	5	kg	0.00013
Flexible Manschette Isolation	20	1	kg	0.00003
Differenzdruck-Manometer	20	0.9	kg	0.00002
WRG-Alu-Plattentauscher	20	75.411	kg	0.00193
Kanäle/Rohre:				
Aussenluftkanalnetz 200x750 mm aus verz. Stahlblech	30	25.5	kg	0.00044
Aussenluftkanalnetz 300x750 mm aus verz. Stahlblech	30	9.4	kg	0.00016
Bogen 90° 200x750 mm aus verz. Stahlblech	30	15.6	kg	0.00027
Bogen 90° 300x750 mm aus verz. Stahlblech	30	4.3	kg	0.00007
Konen/Etage 400x900 mm aus verz. Stahlblech	30	16.38	kg	0.00028
Konen/Etage 300x900 mm aus verz. Stahlblech	30	21.6	kg	0.00037
Konen/Etage 300x750 mm aus verz. Stahlblech	30	9.4	kg	0.00016
Konen/Etage 200x750 mm aus verz. Stahlblech	30	3.4	kg	0.00006
Übergang 300x750 mm aus verz. Stahlblech	30	4.7	kg	0.00008
Kanäle 200x300 mm aus verz. Stahlblech	30	49.5	kg	0.00085
Kanäle 200x600 mm aus verz. Stahlblech	30	72	kg	0.00123
Kanäle 200x900 mm aus verz. Stahlblech	30	9.9	kg	0.00017
Kanäle 250x500 mm aus verz. Stahlblech	30	6.7	kg	0.00011
Kanäle 250x600 mm aus verz. Stahlblech	30	15.2	kg	0.00026
Kanäle 250x700 mm aus verz. Stahlblech	30	17	kg	0.00029
Kanäle 250x800 mm aus verz. Stahlblech	30	9.4	kg	0.00016
Kanäle 300x700 mm aus verz. Stahlblech	30	9	kg	0.00015
Kanäle 300x750 mm aus verz. Stahlblech	30	18.8	kg	0.00032
Kanäle 300x900 mm aus verz. Stahlblech	30	10.8	kg	0.00018
Kanäle 450x500 mm aus verz. Stahlblech	30	8.5	kg	0.00015

Kanäle 400x900 mm aus verz. Stahlblech	30	23.4	kg	0.00040
Bogen 90° 200x300 mm aus verz. Stahlblech	30	14	kg	0.00024
Bogen 90° 200x600 mm aus verz. Stahlblech	30	9.9	kg	0.00017
Bogen 90° 250x300 mm aus verz. Stahlblech	30	4.4	kg	0.00008
Bogen 90° 250x600 mm aus verz. Stahlblech	30	14	kg	0.00024
Bogen 90° 250x700 mm aus verz. Stahlblech	30	15.6	kg	0.00027
Bogen 90° 250x800 mm aus verz. Stahlblech	30	4.3	kg	0.00007
Bogen 90° 300x700 mm aus verz. Stahlblech	30	4.1	kg	0.00007
Bogen 90° 300x750 mm aus verz. Stahlblech	30	12.9	kg	0.00022
Bogen 90° 300x900 mm aus verz. Stahlblech	30	9.8	kg	0.00017
Bogen 90° 400x900 mm aus verz. Stahlblech	30	10.6	kg	0.00018
Bogen 90° 450x500 mm aus verz. Stahlblech	30	7.8	kg	0.00013
Kanalboden 600x200 mm aus verz. Stahlblech	30	1	kg	0.00002
Kanalboden 300x200 mm aus verz. Stahlblech	30	1.2	kg	0.00002
Zu-/Abluftrohr aus verz. Stahlblech 125mm	30	1562.88	kg	0.02671
Bogen 90° aus verz. Stahlblech 125mm	30	139.2	kg	0.00238
Bogen 60° aus verz. Stahlblech 125mm	30	2.4	kg	0.00004
Bogen 45° aus verz. Stahlblech 125mm	30	42	kg	0.00072
Bogen 30° aus verz. Stahlblech 125mm	30	3.6	kg	0.00006
Muffen aus verz. Stahlblech 125mm	30	28.2	kg	0.00048
Rohrschellen und -stutzen aus verz. Stahlblech	30	31.8	kg	0.00054
Verbindungsrohre aus verz. Stahlblech 125mm	30	14.1	kg	0.00024
Lüftungsrohr ComfoTube-90 Zehnder	30	598	kg	0.01022
O-Ring, Muffen, Rohrkappen ComfoTube-90	30	9.6	kg	0.00016
Armaturen/Instrumente:				
Gehäuse des Kanalschalldämpfers aus verz. Stahlblech	30	156.5	kg	0.00267
Glasseidengewebe der Kulissen des Kanalschalldämpfers	30	106	kg	0.00181

	Abluftventile 90 mm	30	23.4	kg	0.00040
	Anschlussgehäuse für Tellerventile 100 mm	30	195	kg	0.00333
	Verteilerkasten Zehnder mit 2 Anschlüssen 90 mm	30	9.6	kg	0.00016
	Verteilerkasten Zehnder mit 4 Anschlüssen 90 mm	30	60	kg	0.00103
	Verteilerkasten Zehnder mit 5 Anschlüssen 90 mm	30	72	kg	0.00123
	Luftdurchlassgehäuse Zehnder	30	80.4	kg	0.00137
	Design-Gitter Zehnder venezia 260x160 mm	30	2.7872	m ²	0.00005
	Brandschutzklappe 700x250 mm	30	27	kg	0.00046
	Klappenmotor mit Federrücklauf	20	1.6	kg	0.00004
	Irisblenden IRIS 257.1 125 mm	30	23.8	kg	0.00041
	Kontrolldeckel 120 mm aus verz. Stahlblech	30	0.8	kg	0.00001
	Tauchthermometer 4x	30	0.2	kg	0.00000
	Isolation:				
	Isolation der Mauerdurchbrüche mit 20mm Mineralfasermatten	30	0.8	m ³	0.00001
	Aussenisolation Mineralfaserplatten 25mm dick	30	1.25	m ³	0.00002
	Wärmedämmung Rohrnetz (Dämmstärke: 25mm)	30	103.125	kg	0.00176
ROHBAU: MEHRVERBRAUCH STAHLBETON	Mehrverbrauch Beton	100	780.28	m ³	0.00040
	Mehrverbrauch Betonstahl	100	78028	kg	0.04000
BETRIEB	Mehrverbrauch Elektrizität	1	80820	kWh	4.14313
	Mehrverbrauch Heizwärme	1	0	kWh	0.00000
UNTERHALT & WARTUNG	Aktivkohlefilter	4	11.2	kg	0.00144
	Lüftungsreinigung	10	3960	km	0.20300
	Kontroll- und Wartungsarbeiten	1	432	km	0.22146

Anhang G – Weitere Resultate der Mieterbefragung

Die relativen Häufigkeiten der wahrgenommenen Raumtemperatur sind in den Abbildungen 60 und 61 dargestellt.

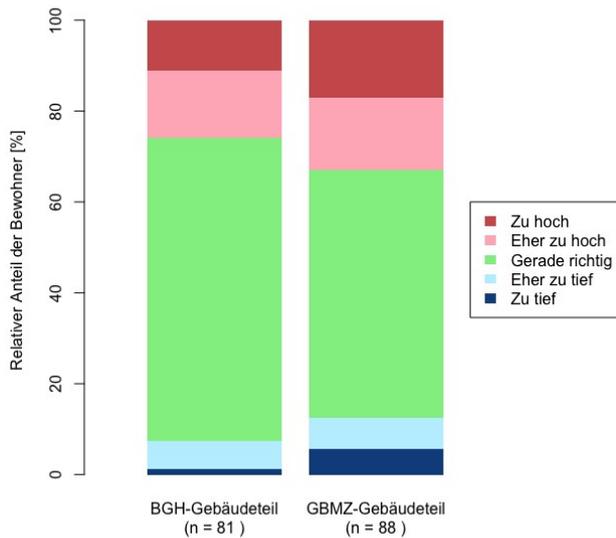


Abbildung 60: Bewertung der Raumtemperatur im Winter

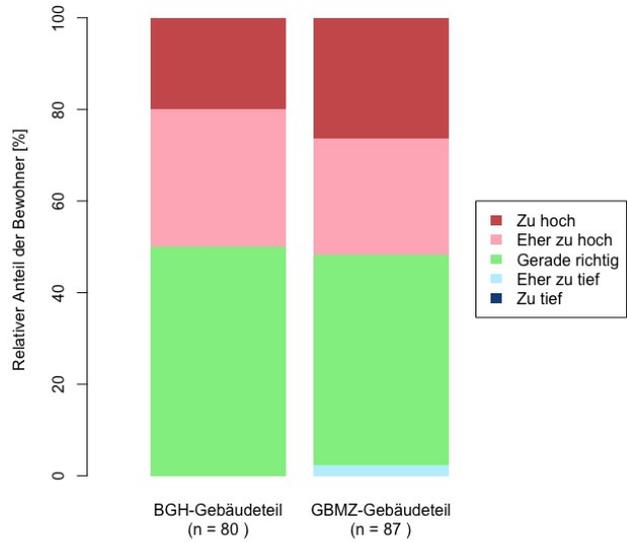


Abbildung 61: Bewertung der Raumtemperatur im Sommer

Die relative Häufigkeit der wahrgenommenen Luftfeuchtigkeit im Sommer ist in Abbildung 62 dargestellt.

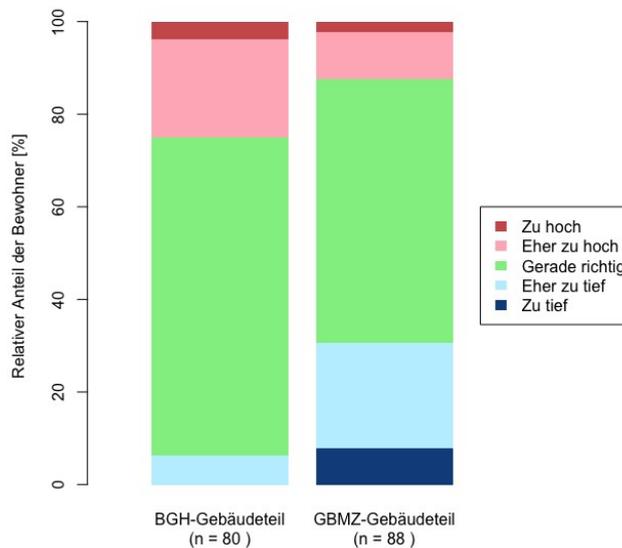


Abbildung 62: Bewertung der Luftfeuchtigkeit im Sommer

Abbildung 63 zeigt die absolute Häufigkeit der wahrgenommenen Fremdgeräusche aufgeteilt nach Lärmquelle.

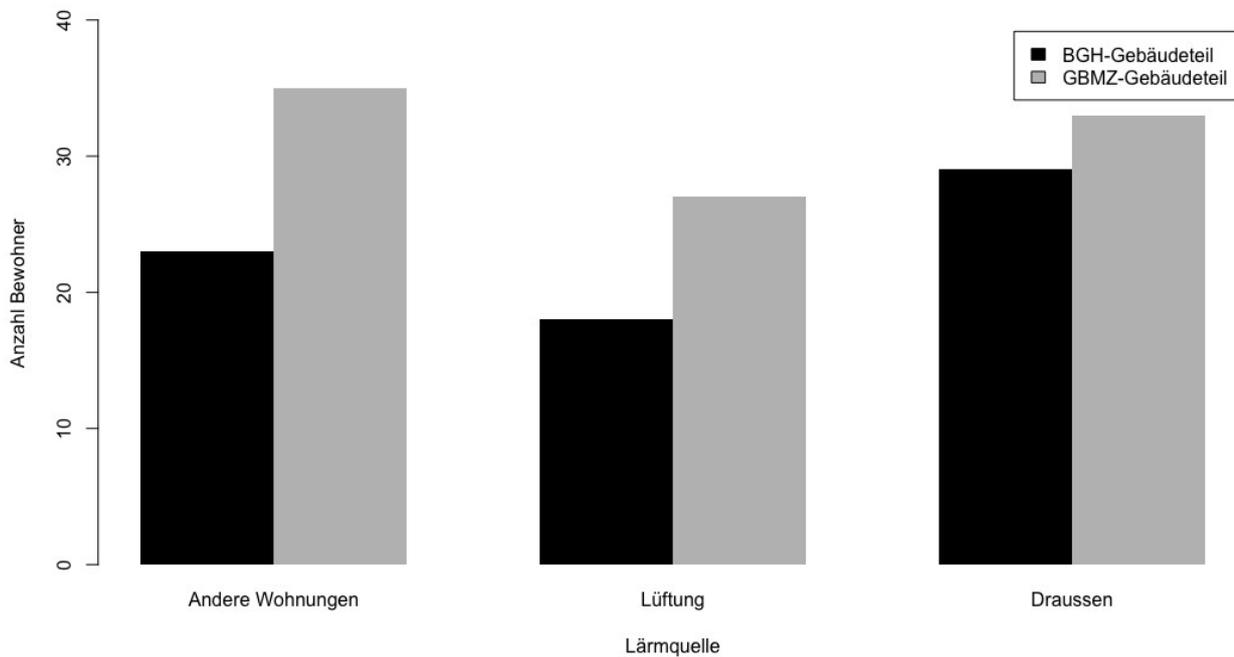


Abbildung 63: Wahrgenommene Fremdgeräusche nach Lärmquelle

Die relative Häufigkeit der Wahrnehmung des Unterdrucks bei den BGH-Bewohnern ist in Abbildung 64 gezeigt.

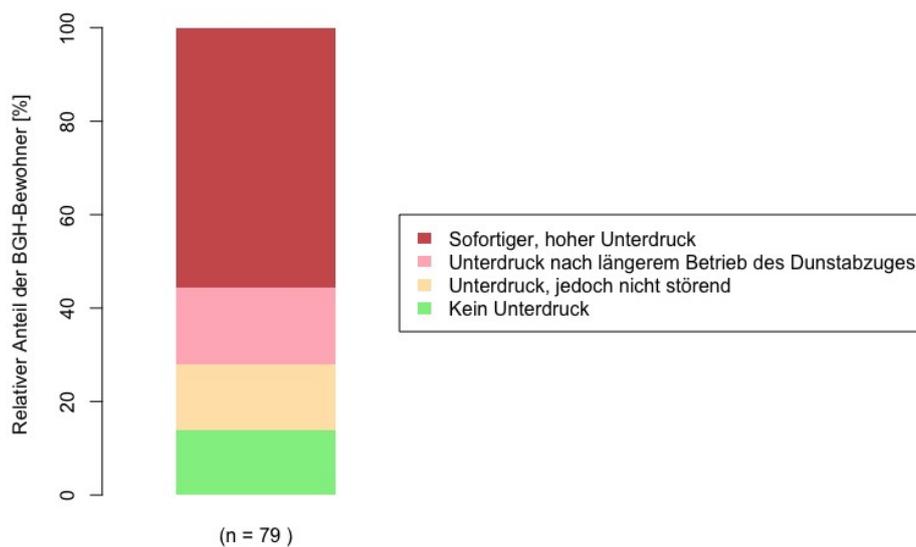


Abbildung 64: Wahrnehmung des Unterdrucks durch BGH-Bewohner

Anhang H – Fragebogen

1. Luftqualität und Komfort:

Wie empfinden Sie die Raumtemperatur in Ihrer Wohnung?

Im Winter:

<input type="checkbox"/>	Zu hoch (zu warm)
<input type="checkbox"/>	Eher zu hoch
<input type="checkbox"/>	Gerade richtig
<input type="checkbox"/>	Eher zu tief
<input type="checkbox"/>	Zu tief (zu kühl)

Im Sommer:

<input type="checkbox"/>	Zu hoch (zu warm)
<input type="checkbox"/>	Eher zu hoch
<input type="checkbox"/>	Gerade richtig
<input type="checkbox"/>	Eher zu tief
<input type="checkbox"/>	Zu tief (zu kühl)

Wie empfinden Sie die Luftfeuchtigkeit in Ihrer Wohnung?

Im Winter:

<input type="checkbox"/>	Zu hoch (zu feucht)
<input type="checkbox"/>	Eher zu hoch
<input type="checkbox"/>	Gerade richtig
<input type="checkbox"/>	Eher zu tief
<input type="checkbox"/>	Zu tief (zu trocken)

Im Sommer:

<input type="checkbox"/>	Zu hoch (zu feucht)
<input type="checkbox"/>	Eher zu hoch
<input type="checkbox"/>	Gerade richtig
<input type="checkbox"/>	Eher zu tief
<input type="checkbox"/>	Zu tief (zu trocken)

Wie ist die Pollenbelastung in Ihrer Wohnung?

<input type="checkbox"/>	Deutlich tiefer als im Freien
<input type="checkbox"/>	Etwas tiefer als im Freien
<input type="checkbox"/>	Wie im Freien
<input type="checkbox"/>	Ich bin nicht allergisch auf Pollen

Nehmen Sie bei geschlossenen Fenstern Fremdgeräusche wahr? (Mehrere Antworten möglich)

<input type="checkbox"/>	Nein
<input type="checkbox"/>	Ja, die Geräusche kommen aus anderen Wohnungen
<input type="checkbox"/>	Ja, die Geräusche kommen von der Lüftung
<input type="checkbox"/>	Ja, die Geräusche kommen von draussen
<input type="checkbox"/>	Ja, die Geräusche kommen von: <input style="width: 450px; height: 20px;" type="text"/>

Werden Sie in Ihrer Wohnung bei geschlossenen Fenstern durch Lärm von Aussen (z.B. durch Strassen- oder Bahnverkehr) gestört?

<input type="checkbox"/>	Ja, sehr (es ist sehr laut und störend)
<input type="checkbox"/>	Ja, ein wenig

- Kaum
- Nein, gar nicht (es ist ruhig und angenehm)

Ist in Ihrer Wohnung bisher Schimmelpilz aufgetreten?

- Nein, nirgends
- Ja, im Badezimmer
- Ja, in der Küche
- Ja, an einem anderen Ort:

Wie empfinden Sie die Staubbelastung in Ihrer Wohnung?

- Sehr hoch (häufiges abstauben nötig)
- Hoch
- Mittelmässig
- Tief
- Sehr tief

Wie zufrieden sind Sie generell mit der Luftqualität in Ihrer Wohnung?

- Sehr zufrieden (die Luft ist frisch)
- Eher zufrieden
- Mittelmässig
- Eher unzufrieden
- Sehr unzufrieden (die Luft ist abgestanden)

2. Lüftungsverhalten:

Wie oft lüften Sie Ihre Wohnung (oder einzelne Zimmer) über die Fenster?

- Permanent (ein oder mehrere Fenster sind immer geöffnet)
- Mehrmals täglich
- Einmal täglich
- Einmal wöchentlich
- Nie (alle Fenster sind immer geschlossen)

Wie lange lüften Sie jeweils Ihre Wohnung (oder einzelne Zimmer) über die Fenster?

- Mehrere Stunden
- 30 Minuten bis zu einer Stunde
- 10-30 Minuten

- 5-10 Minuten
- Wenige Minuten
- Ich lüfte nie über die Fenster

Schlafen Sie mit offenem Fenster im Winter, obwohl dies den Heizwärmeverbrauch erhöht?

- Immer
- Oft (4-6 Mal pro Woche)
- Manchmal (2-4 Mal pro Woche)
- Selten (1 Mal pro Woche oder weniger)
- Nie

Falls Sie im Winter mit offenem Fenster schlafen, wie ist das Fenster geöffnet?

- Vollständig offen
- Gekippt
- Ich schlafe im Winter nicht mit offenem Fenster

Falls Sie im Winter mit offenem Fenster schlafen, was sind Ihre Gründe dafür? (Mehrere Antworten möglich)

- Zu hohe Raumtemperatur im Schlafzimmer
- Schlechte Luftqualität im Schlafzimmer
- Andere Gründe:
- Ich schlafe im Winter nicht mit offenem Fenster

Verwenden Sie einen oder mehrere Luftbefeuchter in Ihrer Wohnung?

- Ja
- Nein

3. Lüftungssystem (für BGH-Mieter):

Entsteht in Ihrer Wohnung ein Unterdruck wenn die Abluftanlage in der Küche (Dunstabzug) in Betrieb ist? Unterdruck in der Wohnung zeigt sich zum Beispiel dadurch, dass die Fenster „aufspringen“, wenn man sie öffnet.

- Ja, es entsteht sofort ein hoher Unterdruck (ein oder mehrere Fenster müssen geöffnet werden)
- Ja, bei längerem Betrieb des Dunstabzuges (ein oder mehrere Fenster müssen geöffnet werden)
- Ja, der Unterdruck ist jedoch nicht störend (Fenster werden nicht geöffnet)
- Nein

Wie zufrieden sind Sie mit dem Lüftungskonzept (selbstständiges Lüften über die Fenster) in Ihrer Wohnung?

<input type="checkbox"/>	Sehr zufrieden (ich würde das gleiche Lüftungskonzept für meine nächste Wohnung wollen)
<input type="checkbox"/>	Eher zufrieden
<input type="checkbox"/>	Mittelmässig
<input type="checkbox"/>	Eher unzufrieden
<input type="checkbox"/>	Sehr unzufrieden (ich würde unbedingt ein anderes Lüftungskonzept wollen)

Würden Sie sich eine kontrollierte Be- und Entlüftung Ihrer Wohnung über eine Lüftungsanlage (Komfortlüftung) wünschen?

<input type="checkbox"/>	Ja
<input type="checkbox"/>	Nein

Wenn Sie sich eine Komfortlüftung wünschen würden, wären Sie bei Ihrer nächsten Wohnung bereit, für die höheren Baukosten der Lüftungsanlage einen höheren Mietzins zu bezahlen? Ihre Antwort hat keinerlei Auswirkung auf Ihren aktuellen Mietzins, sondern dient ausschliesslich für zukünftige Bauprojekte.

<input type="checkbox"/>	Ja, ich wäre bereit, monatlich	<input type="text"/>	Fr. mehr zu bezahlen
<input type="checkbox"/>	Nein		

3. Lüftungssystem (für GBMZ-Mieter):

Nehmen Sie bei geschlossenen Fenstern und Türen Zugluft wahr?

Im Winter:

<input type="checkbox"/>	Ja, in der ganzen Wohnung (störend)
<input type="checkbox"/>	Ja, in der Nähe der Zulufteinlässe (störend)
<input type="checkbox"/>	Ja, in der Nähe der Zulufteinlässe (nicht störend)
<input type="checkbox"/>	Nein

Im Sommer:

<input type="checkbox"/>	Ja, in der ganzen Wohnung (störend)
<input type="checkbox"/>	Ja, in der Nähe der Zulufteinlässe (störend)
<input type="checkbox"/>	Ja, in der Nähe der Zulufteinlässe (nicht störend)
<input type="checkbox"/>	Nein

Nehmen Sie Geräusche der Lüftung wahr?

Im Winter:

<input type="checkbox"/>	Ja, immer (störend)
<input type="checkbox"/>	Ja, vor allem nachts (störend)
<input type="checkbox"/>	Ja, jedoch nicht störend
<input type="checkbox"/>	Nein

Im Sommer:

<input type="checkbox"/>	Ja, immer (störend)
<input type="checkbox"/>	Ja, vor allem nachts (störend)
<input type="checkbox"/>	Ja, jedoch nicht störend
<input type="checkbox"/>	Nein

Kommt es vor, dass Gerüche durch die Lüftung in Ihre Wohnung gelangen?

Im Winter:

<input type="checkbox"/>	Ja, die Gerüche kommen von aussen
--------------------------	-----------------------------------

Im Sommer:

<input type="checkbox"/>	Ja, die Gerüche kommen von aussen
--------------------------	-----------------------------------

<input type="checkbox"/> Ja, die Gerüche kommen von anderen Wohnungen <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja, die Gerüche kommen von anderen Wohnungen <input type="checkbox"/> Nein
--	--

Wie empfinden Sie die Zuluft-Temperatur der Lüftungsanlage?

Im Winter:

 Zu hoch (zu warm)
 Eher zu hoch
 Gerade richtig
 Eher zu tief
 Zu tief (zu kühl)

Im Sommer:

 Zu hoch (zu warm)
 Eher zu hoch
 Gerade richtig
 Eher zu tief
 Zu tief (zu kühl)

Kleben Sie Ihre Zulufteinlässe und/oder Abluftauslässe zu, obwohl dies nicht erlaubt ist?

Im Winter:

 Ja, immer
 Ja, manchmal
 Nein, nie

Im Sommer:

 Ja, immer
 Ja, manchmal
 Nein, nie

Wie zufrieden sind Sie mit dem Lüftungskonzept (kontrollierte Zu-/Abluft) in Ihrer Wohnung?

 Sehr zufrieden (ich würde das gleiche Lüftungskonzept für meine nächste Wohnung wollen)
 Eher zufrieden
 Mittelmässig
 Eher unzufrieden
 Sehr unzufrieden (ich würde ein anderes Lüftungskonzept wollen)

Wären Sie bei Ihrer nächsten Wohnung bereit, für Ihre Lüftungsanlage (und allfällige, damit verbundene Komfortsteigerungen) einen höheren Mietzins zu bezahlen? Ihre Antwort hat keinerlei Auswirkung auf Ihren aktuellen Mietzins, sondern dient ausschliesslich für zukünftige Bauprojekte.

<input type="checkbox"/> Ja, ich wäre bereit, monatlich <input type="checkbox"/> Nein	<input style="width: 100%;" type="text"/> Fr. mehr zu bezahlen
--	--

Wie stark hat das Lüftungssystem Ihre Wohnungswahl beeinflusst?

 Sehr stark (das Lüftungssystem einer Wohnung ist zentral für mich)
 Ein bisschen (das Lüftungssystem einer Wohnung ist mir wichtig, aber kein Hauptentscheidungs punkt)
 Kaum (das Lüftungssystem einer Wohnung spielt für mich eine nebensächliche Rolle)
 Überhaupt nicht (das Lüftungssystem einer Wohnung ist mir komplett gleichgültig)

4. Allgemeine Angaben:

Auf welchem Stock befindet sich Ihre Wohnung?

<input type="checkbox"/>	Hofgeschoss (Erdgeschoss)
<input type="checkbox"/>	1. Obergeschoss
<input type="checkbox"/>	2. Obergeschoss
<input type="checkbox"/>	3. Obergeschoss

<input type="checkbox"/>	4. Obergeschoss
<input type="checkbox"/>	5. Obergeschoss
<input type="checkbox"/>	6. Obergeschoss

In welchem Wohnhaus befindet sich Ihre Wohnung?

<input type="checkbox"/>	Heinrich-Wolff-Strasse 7
<input type="checkbox"/>	Heinrich-Wolff-Strasse 9
<input type="checkbox"/>	Heinrich-Wolff-Strasse 11
<input type="checkbox"/>	Heinrich-Wolff-Strasse 13
<input type="checkbox"/>	Heinrich-Wolff-Strasse 15

<input type="checkbox"/>	Heinrich-Wolff-Strasse 17
<input type="checkbox"/>	Heinrich-Wolff-Strasse 19
<input type="checkbox"/>	Mühlackerstrasse 91
<input type="checkbox"/>	Mühlackerstrasse 93
<input type="checkbox"/>	Mühlackerstrasse 95

Angaben zu Ihrer Wohnung

Wie lange wohnen Sie bereits in dieser Wohnung?

<input type="text"/>	Jahre und	<input type="text"/>	Monate
<input type="text"/>	Personen, davon	<input type="text"/>	Kinder

Wie viele Personen leben in Ihrer Wohnung?

Angaben zur befragten Person

Geschlecht

<input type="checkbox"/>	Männlich	<input type="checkbox"/>	Weiblich
<input type="text"/>	Jahre		

Alter

Haben Sie Bemerkungen oder Anregungen zur Umfrage?