



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Bautechnik und
Naturgefahren
Institut für konstruktiven Ingenieurbau
Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen
Peter Jordanstraße 82
A-1190 Wien

Wolfgang Oberkleiner

Analyse der Lüftungsanlage und der Nutzerzufriedenheit in Passivhäusern am Beispiel des Studentenheims Molkereistraße in Wien

Diplomarbeit

Oktober, 2009

1. Betreuer

Univ. Prof. Arch. DI Dr. techn. Martin Treberspurg
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Arbeitsgruppe ressourcenorientiertes Bauen, BOKU Wien

2. Betreuer

DI Roman Smutny
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Arbeitsgruppe ressourcenorientiertes Bauen, BOKU Wien

INHALT

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	1
TABELLENVERZEICHNIS	4
DANKSAGUNG	6
KURZFASSUNG	7
ABSTRACT	9
1 EINLEITUNG	11
1.1 Passivhaus-Datenbank, Entwicklung Passivhausbauweise in Österreich	11
1.2 Erstes großvolumiges Passivhaus (Molkereistraße) im geförderten Wohnbau in Wien	13
2 ZIEL UND FRAGESTELLUNG	17
3 WOHNKOMFORT (NUTZERKOMFORT) IN PASSIVHÄUSERN	19
3.1 Begriffsbestimmung	19
3.2 Behaglichkeit des Innenraumklimas	21
3.2.1 Allgemeines	21
3.2.2 Die FANGER-Gleichung (PMV-Maßstab)	24
3.2.3 Kritik an der FANGER-Gleichung/ISO 7730	36
3.2.4 Sommerfall	37
3.2.5 Zusammenfassung	38
3.3 Stoffliche Raumlufqualität	40
4 BESCHREIBUNG DER ANLAGENKONZEPTE – PASSIVHAUS, LÜFTUNG, ERDWÄRMETAUSCHER – IM ALLGEMEINEN	42
4.1 Passivhaus Konzept	42
4.2 Lüftungsanlagen Konzept	47
4.2.1 Allgemeines	47
4.2.2 Aufbau und Beschreibung einer Komfortlüftungsanlage und deren Komponenten im Detail	51
4.2.3 Zentrale Lüftungsanlagen	57
4.2.4 Dezentrale Lüftungsanlagen	58
4.2.5 Semizentrale Lüftungsanlagen	59
4.2.6 Vor- und Nachteile von dezentralen Lüftungsanlagen	60

4.3	Erdwärmetauscher.....	62
4.3.1	Technische Nutzung von Erdwärme	62
4.3.2	Vor- und Nachteile der Erdwärmenutzung	64
4.3.3	Erdwärmetauscher im Allgemeinen.....	65
4.3.4	Wärmepumpen im Allgemeinen	66
4.3.5	Wärmepumpenmarkt in Österreich	67
4.3.6	Bauarten von Erdwärmetauschern.....	68
4.3.7	Horizontal verlegte Erdwärmetauscher - Horizontalkollektoren	69
4.3.8	Vertikal verlegte Erdwärmetauscher - Vertikalkollektoren.....	73
4.3.9	Bodenkennwerte.....	76
5	BESCHREIBUNG DES PASSIVHAUS STUDENTENHEIMS MOLKEREISTRASSE	79
5.1	Hochbaukonzept	79
5.2	Haustechnikkonzept.....	83
5.3	Lüftungskonzept.....	86
6	MESSUNGEN UND MESSERGEBNISSE.....	90
6.1	Messkonzept, Geräte	90
6.1.1	Energieverbrauch	90
6.1.2	Zuluftmenge und Zulufttemperatur	92
6.1.3	Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchtigkeit	94
6.2	Messergebnisse	97
6.2.1	Energieverbrauch der dezentralen Lüftungsanlage	97
6.2.2	Zuluftmenge und Zulufttemperatur	99
6.2.3	Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchtigkeit in der gesamten Monitoringperiode	102
6.2.4	Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchtigkeit in der Kaltperiode und Warmperiode.....	109
7	NUTZERBEFRAGUNG.....	115
7.1	Konzeptfragebögen und Interviews.....	115
7.2	Ergebnisse.....	119
8	INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	127
8.1	Energieverbrauch der dezentralen Lüftungsanlage.....	127
8.2	Zuluftmenge und Zulufttemperatur	129
8.3	Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchtigkeit	132
8.4	Befragung	137

9	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN	140
9.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	140
9.1.1	Energieperformance	140
9.1.2	Innenraumklima und Zufriedenheit	142
9.2	Empfehlungen für das Passivhaus Molkereistraße (Studentenheim)	146
9.3	Empfehlungen für zukünftige Studentenheime im Passivhausstandard	149
	LITERATURVERZEICHNIS.....	151
	ANHANG.....	A-1

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1.1 Passivhaus-Entwicklung in Österreich mit Prognose (aus [Lang, 2009, S.113])
- Abbildung 1.2 Passivhaus-Studentenheim Molkereistraße, Wien. Fotos: W. Oberkleiner, am 07.05.2008
- Abbildung 1.3 Passivhaus-Studentenheim Molkereistraße: Lageplan (Molkereistraße/Stuwerstraße/Obermüllnerstraße) und Schnitt in O-W-Richtung (aus [Ecoplus, 2004, S.6])
- Abbildung 3.1 Strukturmodell „Wohlfühlen beim Wohnen“ (nach [Rohregger et al., 2004, S.76])
- Abbildung 3.2 Schematischer Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur des Menschen und seiner Körperkerntemperatur bzw. Wärmeabgabe (aus [Richter, 2007, S.13])
- Abbildung 3.3 thermischer Behaglichkeitsbereich anhand der operativen Raumtemperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur – Sommeranforderung nach DIN 1946-2 (aus [Holzer, 2007a, S.21], grafische Darstellung nach [Voss, 2005])
- Abbildung 3.4 PPD als Funktion von PMV (aus [ÖNORM EN ISO 7730, 2006, S.9])
- Abbildung 3.5 Die optimalen operativen Raumtemperaturen in Abhängigkeit von Bekleidung und Aktivität (für Kategorie A, B und C) (aus [ÖNORM EN ISO 7730, 2006, S.17+18])
- Abbildung 3.6 Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von Lufttemperatur und Feuchte (aus [Schmidt & Nicolaysen, 2007, S.80])
- Abbildung 3.7 Einfluss der relativen Feuchte auf das Kleinklima in Gebäuden (aus [Holzer, 2007a, S.42], nach [Lazzarin, 2004])
- Abbildung 3.8 Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die Behaglichkeit (aus [Feist, 2004])
- Abbildung 3.9 Zulässige mittlere Luftgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Lufttemperatur und Turbulenzgrad (aus [ÖNORM EN ISO 7730, 2006, S.19])
- Abbildung 3.10 Strahlungsasymmetrie eines Wohnraumes im Altbau-Standard (Bild a) im Vergleich zum Passivhaus-Standard (Bild b) (aus [Holzer, 2007a, S.29], nach Krapmeier, H., Energieinstitut Vorarlberg)
- Abbildung 4.1 Endenergiekennwerte von Gebäuden im Vergleich (aus [Oehler, 2004])
- Abbildung 4.2 Das Passivhaus, schematische Darstellung (aus [Passivhaus Institut, 2008b])
- Abbildung 4.3 Komfortlüftungsanlage im Einfamilienhaus (Ausführung: mechanische Be- und Entlüftungsanlage) (aus [Genvex, 2008a, S.4])
- Abbildung 4.4 Luftströme im Komfortlüftungsgerät (aus [Holzer, 2007d, S.4], nach Heinrich Huber HTA Luzern)
- Abbildung 4.5 Funktionsschemen der 3 Hauptarten von Wärmetauschern (Quellen: a) aus [RWE, 1998]; b) aus [Airflow, 2008a]; c) aus [Genvex, 2008a]; d) aus [Airflow, 2008a]; e) aus [KHC, 2008])

- Abbildung 4.6 verschiedene Arten von Komfortlüftungsgeräten, Unterscheidung nach der Art des Wärmetauschers (Quellen: a) aus [Airflow, 2008b]; b) aus [Vallox Oy, 2008]; c) aus [Genvex, 2008b]; d) aus [Paul, 2008]; e) aus [Hoval, 2008])
- Abbildung 4.7 Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, schematische Darstellung. (Quellen: a) aus [BDH, 2008a]; b) aus [Leitzinger, 2007, S.38])
- Abbildung 4.8 Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, schematische Darstellung. (Quellen: a) aus [BDH, 2008b]; b) aus [Leitzinger, 2007, S.38])
- Abbildung 4.9 Temperaturverlauf im Erdreich für verschiedene Tiefen (mitteleuropäisches Klima) (Quellen: Bild a) aus [Kaltschmitt et al., 1999, S.40], nach [Kappelmeyer, 1961]; Bild b) aus [Albers, 1991])
- Abbildung 4.10 Prozesse in einer Kompressionswärmepumpe (aus [Kaltschmitt et al., 1997])
- Abbildung 4.11 Heizungswärmepumpen, die in Österreich 2008 installiert wurden. Anteile verschiedener Wärmeträgermedien (aus [Biermayr et al., 2009, S.58])
- Abbildung 4.12 Verlegungsarten von horizontalen Erdwärmetauschern (aus [Paul, 2005, S.10+11])
- Abbildung 4.13 horizontaler Erdwärmetauscher (schematische Darstellung) (aus [BDH, 2008c])
- Abbildung 4.14 vertikaler Erdwärmetauscher – Erdwärmesonde (schematische Darstellung) (aus [StMUGV, 2005, S.6])
- Abbildung 4.15 Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Wärmeleitfähigkeit verschiedener Böden (aus [Sanner, 1992])
- Abbildung 4.16 Zusammenhang zwischen Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt für Erdreich bei 20 °C (aus [VDI, 1994])
- Abbildung 4.17 Zusammenhang zwischen Temperatur und Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt für Erdreich (aus [VDI, 1994])
- Abbildung 5.1 horizontaler Erdwärmetauscher des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße in Wien (aus [Ecoplus, 2004, S.11])
- Abbildung 5.2 Regelgeschoß Studentenheim Molkereistraße (aus [Ecoplus, 2004, S.8])
- Abbildung 5.3 Standard-2-Zimmer-Wohneinheit des Studentenheims Molkereistraße (aus [Ecoplus, 2004, S.8])
- Abbildung 5.4 natürliche Beleuchtung der Gänge des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße mittels 7 zentraler Lichtschächte (aus [Ecoplus, 2004, S.8])
- Abbildung 5.5 Haustechnikschema des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße (in Anlehnung an Pläne von Team gmi)
- Abbildung 5.6 Detail Haustechnikschacht aus dem Ausführungsplan HLS – 2./3./5. OG vom 15.10. 2003. Mit freundlicher Genehmigung vom Haustechnikplaner Team GMI und Architekturbüro P.ARC GmbH.
- Abbildung 5.7 Leistungsaufnahme und Stromeffizienz der Ventilatoren (inkl. Umwandlungsverluste) der dezentralen Komfortlüftungsgeräte Typ „Aerosilent Standard“ (Fa. Drexel und Weiss) in Abhängigkeit des externen Druckverlustes (aus [Drexel & Weiss, 2004, S.6])

- Abbildung 5.8 Ausschnitt aus dem Ausführungsplan HLS – 2./3./5. OG vom 15.10. 2003. Grundriss 3. OG. Top 68 und Top 70. Mit freundlicher Genehmigung vom Haustechnikplaner Team GMI und Architekturbüro P.ARC GmbH.
- Abbildung 6.1 Zuluftauslass und Volumenstrom- / Temperaturmessung im Passivhaus Studentenheim Molkereistraße in Wien. Fotos: W. Oberkleiner
- Abbildung 6.2 Genauigkeit (Accuracy) und Auflösung (Resolution) des Datenloggers HOBO H08-004-02 (Fa. Onset Computer Corporation) in Abhängigkeit der Temperatur (aus [Onset, 2008, S.2])
- Abbildung 6.3 Tagesmittelwerte des Stromverbrauchs der dezentralen Lüftungsgeräte im Passivhaus Studentenheim Molkereistraße im Vergleich zur Außentemperatur (02.02.2007 bis 31.07.2008).
- Abbildung 6.4 Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur der einzelnen Zimmer im Vergleich zur Außenlufttemperatur und zur mittleren relativen Raumluftfeuchtigkeit (19.01.2007 – 20.05.2007).
- Abbildung 6.5 Median und Quantile der Raumlufttemperatur im Vergleich zur Außenlufttemperatur und zur mittleren relativen Raumluftfeuchtigkeit (19.01.2007 – 20.05.2007).
- Abbildung 6.6 Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur der einzelnen Zimmer (19.01.2007 – 20.05.2007)
- Abbildung 6.7 Median und Quantile der Raumlufttemperatur im Vergleich mit dem kältesten und dem wärmsten Zimmer (19.01.2007 – 20.05.2007)
- Abbildung 6.8 Tagesmittelwerte der relativen Raumluftfeuchtigkeit in der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007), aufgeschlüsselt nach einzelnen Stockwerken
- Abbildung 6.9 Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur der einzelnen Stockwerke in der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007)
- Abbildung 6.10 Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur der einzelnen Stockwerke in der Warmperiode (06.05.2007 – 20.05.2007)
- Abbildung 6.11 Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur in der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007), aufgeschlüsselt nach der Orientierung
- Abbildung 6.12 Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur in der Warmperiode (06.05.2007 – 20.05.2007), aufgeschlüsselt nach der Orientierung
- Abbildung 7.1 Fragebogen ÖAD/BOKU, entwickelt vom ÖAD (Österreichischer Austauschdienst) in Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur (BOKU) in Wien und team GMI
- Abbildung 7.2 Fragebogen Oberkleiner
- Abbildung 7.3 Interpretation der Handlungsrelevanzmatrix (aus [Gossauer & Wagner, 2008, S.450], angelehnt an Schulungsunterlagen der Firma SPSS)
- Abbildung 7.4 Komfortanalyse-Handlungsrelevanzmatrix des gewichteten Durchschnitts aller 3 Fragebögen (links) im Vergleich zum Fragebogen Oberkleiner (rechts)
- Abbildung 8.1 Mediane der Raumlufttemperatur im Vergleich zum Planwert von 20 °C (ÖNORM B 8110-5) und zum Erfahrungswert von 22 °C (Riccabona & Bednar, 2008).

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1	Beurteilung der thermischen Behaglichkeit mittels PMV und PPD (aus [Rohregger et al., 2004, S.19])
Tabelle 3.2	Zusammenhang der einzelnen Parameter der FANGER-Gleichung mit der ÖNORM EN ISO 7730 (nach Fanger [Fanger, 1970] und nach ÖNORM EN ISO 7730)
Tabelle 3.3	Gesamtwärmeabgabe des Menschen bei verschiedener Tätigkeit (aus [Recknagel et al., 1998, S.50])
Tabelle 3.4	Wärmedurchgangswiderstand von Kleidung (aus [Recknagel et al., 1998, S.60])
Tabelle 3.5	Behaglichkeitsfaktoren und die dazugehörigen Empfindlichkeitsschwellen des Menschen (nach [Wuppertal-Institut & Planungs-Büro Schmitz, 1996])
Tabelle 3.6	Geruchsbelastungen (olf-Werte) von Personen (aus [Greml et al., 2004, S.19], nach Dr. Kunesch)
Tabelle 3.7	Geruchsbelastungen (olf-Werte) von einzelnen Stoffen (aus [Greml et al., 2004, S.20], nach Dr. Kunesch)
Tabelle 3.8	Luftqualität in decipol (aus [Greml et al., 2004, S.20], nach Dr. Kunesch)
Tabelle 4.1	typische Wärmerückgewinnungsgrade von Wärmetauschern (nach [Greml et al., 2004])
Tabelle 4.2	SWOT-Analyse der Erdwärmenutzung durch Wärmepumpenanlagen (nach [Spendlingwimmer, 2004])
Tabelle 4.3	Bauarten von Erdwärmetauschern (nach [StMUGV, 2005])
Tabelle 4.4	erzielbare Luftvorwärmung (in der Heizsaison) mithilfe von Erdwärmetauschern, gemessen an den Austrittsstellen mehrerer Luft-Erdwärmetauscher (aus [Paul, 2005, S.2], nach [3] Messwerten von Arch. Manfred Brausem (Köln) am eigenen Wohnhaus-Erdwärmetauscher [2005], [4] [Trümper et al., 1992, S.695f], [5] [Sedlbauer et al., 1994, S.3-7])
Tabelle 4.5	Dimensionierung von Erdwärmesonden gemäß VDI 4640 (aus [StMUGV, 2005, S.11])
Tabelle 4.6	Bemessung für kleine Anlagen mit Erdwärmesonden nach VDI 4640-2 (aus [VDI 4640, 1998])
Tabelle 4.7	verschiedene Bodenkennwerte aus Analysen der Oklahoma State University, USA (aus [Oklahoma State University, 1988])
Tabelle 4.8	verschiedene Bodenkennwerte (aus [Paul, 2005, S.3], nach [VDI, 1994] und [Recknagel et al., 1995])
Tabelle 4.9	verschiedene Bodenkennwerte (aus [Dibowski, 2005, S.5], nach [Sanner, 1992] und [Sanner & Lehmann, 1994])
Tabelle 6.1	Liste der Datenlogger HOBO H08-004-02, die für die Messungen verwendet wurden, geordnet nach der Logger Bezeichnung

Tabelle 6.2 Gemessene Luftvolumenströme und Lufttemperaturen in 4 Wohnungen des
Passivhaus Studentenheims Molkereistraße

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Martin Treberspurg für die Betreuung dieser Arbeit.

Speziell bedanken möchte ich mich bei DI Roman Smutny für seine hervorragende fachliche, methodische und persönliche Unterstützung und für die unzähligen anregenden und herausfordernden Diskussionen.

Für die Hilfe bei der Durchführung der Zuluftmessungen sowie die Bereitstellung der Messgeräte möchte ich Prof. Dr. Thomas Bednar und DI Hannes Konder von der Technischen Universität Wien (Zentrum für Bauphysik und Bauakustik) danken.

Weiters bedanke ich mich bei Mag. Günther Jedliczka vom Österreichischen Austauschdienst (ÖAD) für die gute Zusammenarbeit betreffend Fragebögen und Auswertung.

Für die Durchsicht der Arbeit und für die vielen mitgeteilten Erfahrungen und konstruktiven Anregungen sei DI Wilhelm Hofbauer vom Ingenieurbüro Hofbauer in Wien gedankt.

Der gute Kontakt zum Betreuersteam des Studentenheims (Brigitte Tajnikar, Peter Weidlinger) war eine wertvolle Basis für die Erhebung von Betriebsinformationen und für die Befragung der Studenten.

Abschließend möchte ich mich bei den mitwirkenden Studenten des Passivhauses Molkereistraße für die Interviews, die wertvolle Erkenntnisse lieferten, bedanken.

Ich widme diese Arbeit meinen Eltern, meinen Brüdern und meinen Freunden, die mich immer großartig unterstützt haben.

Wolfgang Oberkleiner

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit wurde am Department für Bautechnik und Naturgefahren, Institut für konstruktiven Ingenieurbau (IKI), Arbeitsgruppe ressourcenorientiertes Bauen an der Universität für Bodenkultur (BOKU) in Wien verfasst.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die Analyse des Passivhaus-Studentenheims Molkereistraße in Wien hinsichtlich der Lüftungsanlage und der Nutzerzufriedenheit. Gerade im Fall dieses mehrgeschoßigen Studentenwohnheims ist zu sagen, dass die hohe Belegungsdichte in Kombination mit unterschiedlichsten Behaglichkeitsvorstellungen der ausschließlich internationalen Austauschstudenten höchste Anforderungen an alle Beteiligten stellt.

Da es im mehrgeschoßigen Passivhaus-Wohnbau noch nicht sehr viele Erfahrungen gibt, soll das erlangte Wissen einen Beitrag liefern für die Planung zukünftiger Passivhäuser, im Speziellen großvolumiger Häuser für den sozialen Wohnbau, Studentenheime und Mehrfamilienhäuser. Diese Gebäudeformen werden aufgrund immer weniger zur Verfügung stehender Siedlungsfläche bei gleichzeitig erhöhten energetischen Anforderungen in Zukunft noch weitaus wichtiger werden als sie es gegenwärtig schon sind.

Um die Lüftungsanlage zu analysieren wurden folgende Größen gemessen: Stromverbrauch der dezentralen und zentralen Komfortlüftungsgeräte, Zu- und Abluftmengen bzw. Zu- und Ablufttemperaturen der dezentralen Geräte sowie Raumlufttemperaturen und Raumluftfeuchtigkeiten. Dabei kamen Haushaltszähler mit Strommessung über Shunt (= Nebenschlusswiderstand), Flügelrad-Anemometer mit integriertem Flügelrad, die als Kombigeräte für die Messung der geförderten Luftmengen und Lufttemperaturen (Zuluft, Abluft) verwendet wurden, sowie Datenlogger zur Messung von Raumlufttemperaturen und Raumluftfeuchtigkeiten zum Einsatz.

Die Nutzerzufriedenheit wurde mittels Fragebögen und persönlichen Interviews erhoben. Als Grundlage der Interviews diente ein im Zuge dieser Studie neu erstellter Fragebogen.

Die vorliegende Studie liefert fünf Hauptergebnisse:

- (1) Das Passivhaus Molkereistraße wird von den Bewohnern überaus positiv bewertet (beispielsweise fühlen sich 85 % der Studenten im Passivhaus wohl), obwohl
- (2) die Raum- und Zulufttemperaturen im Sommer zu hoch liegen und
- (3) die relative Raumluftfeuchtigkeit in der Heizsaison zu niedrig liegt.
- (4) Der Stromverbrauch der dezentralen Lüftungsgeräte ist höher als erwartet.
- (5) Die gemessenen Zuluftmengen der dezentralen Lüftungsgeräte entsprechen der Projektierung, die Abluftmengen sind im Vergleich zu den Zuluftmengen zu hoch.

Optimierungspotenzial hinsichtlich Komfort und Energieeffizienz liegt gleichermaßen im Bereich der Lüftungsanlage sowie bei den Lüftungsgewohnheiten der Studenten und deren Umgang mit der Haustechnik.

Verbesserungen bei der Lüftungsanlage können teilweise schon mit geringem Aufwand erzielt werden: z.B. ist die fehlende Balance zwischen Zu- und Abluftmengen der dezentralen Lüftungsgeräte eine reine Frage der Regelung. Auch der hohe Stromverbrauch der dezentralen Lüftungsgeräte kann mittels Filtertausch und Reinigung der Gitter der Außenluftansaugvorrichtungen (jeweils in regelmäßigen Intervallen) recht einfach verringert werden.

Die deutlich zu geringe relative Raumluftfeuchtigkeit (68 % der Messperiode <30 %) lässt sich am einfachsten und umweltfreundlichsten durch den Einsatz von Pflanzen wie z.B. Zypergras erhöhen, es bedarf aber auch der aktiven Mithilfe der Bewohner. Da sich in dieser Studie gezeigt hat, dass die Studenten einige Wissensdefizite in Bezug auf die Haustechnik haben sowie Lüftungsgewohnheiten, die die Vorteile von Passivhäusern beträchtlich mindern (52 % der Studenten haben die Fenster in der Heizsaison mind. 3-5x pro Woche nachts oder tags durchgehend gekippt), ist hier der Hebel in Form einer umfassenden Schulung der Studenten zu den Themen „Bedienung und Funktionsweise eines Passivhauses“, „richtiges Lüftungsverhalten im Sommer und im Winter“ und „Energieeinsparung im Haushalt“ anzusetzen. Es wird empfohlen, die Studenten durch Vorträge von Fachleuten zu schulen und das Erlernte in geeigneter Form (z.B. schriftlicher Test) auch abzufragen. Um die Akzeptanz der Studenten zu gewährleisten, ist ein finanzieller Anreiz (z.B. Reduktion der Miete) bei entsprechendem Wissensnachweis unbedingt anzuraten.

Um die Zulufttemperaturen und damit auch die Raumlufttemperatur im Sommer zu senken, werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen: die Errichtung einer geeigneten Verschattung für die Außenluftansaugvorrichtungen am Dach sowie die Erweiterung der dezentralen Komfortlüftungsgeräte um sog. Sommerbypässe. Richtiges sommerliches Lüftungsverhalten sowie die Nutzung der manuellen Verschattungseinrichtungen durch die Studenten ist aber für die Reduktion der Raumlufttemperatur genauso wichtig wie die eben angeführten technischen Maßnahmen.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass das Passivhaus Studentenheim Molkereistraße im Großen und Ganzen gut „funktioniert“, aber in ein paar Details Verbesserungen wünschenswert sind. Die technischen Optimierungsmöglichkeiten lassen sich teilweise schon mit geringem Aufwand realisieren (z.B. die Verringerung des Stromverbrauchs der dezentralen Lüftungsgeräte durch regelmäßige und umfassende Wartungsarbeiten). In gleichem Maße ist die aktive Mithilfe der Studenten erforderlich, auch im Hinblick auf das Thema „Energieeinsparung des Einzelnen“, das in Zeiten einer rasant zunehmenden Technologisierung immer wichtiger wird. Mittels Schulung der Studenten durch Fachleute kann man neben dem großen Vorteil einer wesentlich energieeffizienteren Nutzung folgenden Effekt erreichen: die Studenten berichten ihren Angehörigen und Freunden von ihren Passivhauserfahrungen und verbreiten den Gedanken des Passivhauses in die ganze Welt. Diese fast kostenlose Werbung ist wahrscheinlich der größte Vorteil einer solchen Studentenschulung.

Aus genannten Gründen wird empfohlen, in Zukunft großes Augenmerk auf die Schulung der Bewohner zu legen. Der Autor sieht darin das größte Optimierungspotential im Hinblick auf eine bestmögliche Nutzung und Verbreitung moderner und nachhaltiger Wohnbauten.

Abstract

This study was written at the Department of Civil Engineering and Natural Hazards, Institute of Structural Engineering (IKI), working group Sustainable Constructions, at the University of Natural Resources and Applied Life Sciences in Vienna, Austria.

The objective of this master thesis is the analysis of the ventilation system and of the satisfaction of the inhabitants with the passive house Molkereistraße (a student residence in Vienna). This multi-story student residence was built for international exchange students only. It makes great demands on all involved experts due to a high occupancy rate and a wide range of different living standards and comfort associations of the inhabitants.

The experience concerning the architecture of domestic passive houses is relatively small (about 15 years so far). It is therefore intended to use the acquired knowledge for the planning of future passive houses, especially large-volume buildings such as subsidised housing, student residences and multi-family houses. The importance of these buildings will increase rapidly in the near future as a consequence of decreasing settlement area and growing demands on energy efficiency.

The following values were measured in order to analyse the ventilation system: power consumption of decentralised and centralised ventilation appliances, quantity and temperature of supply air and exhaust air of the decentralised ventilation appliances, also room temperature and relative humidity. For this purpose electronic domestic supply meters with current measurement via shunt, a vane anemometer with integrated vane and thermometry, also data loggers for measuring room temperature and relative humidity were used.

The satisfaction of the inhabitants was investigated with the help of questionnaires and face-to-face interviews. A new questionnaire generated for this study was taken as a basis for the interviews.

This study produced five main findings:

- (1) The passive house Molkereistraße was judged by the inhabitants in a very positive way (e.g. 85 % of the students feel comfortable in the passive house), although
- (2) the room temperatures and the supply air temperatures are too high in summer and
- (3) the relative indoor humidity is too low in the heating period.
- (4) The power consumption of the decentralised ventilation appliances is higher than expected.
- (5) The measured quantity of supply air of the decentralised ventilation appliances is according to plan, the quantity of exhaust air is too high.

Optimisation potential concerning living comfort and energy efficiency lies both in the ventilation system and in the habits of the students concerning the use of the ventilation system, also their general handling of the technical services of the building.

Some improvements of the ventilation system can be achieved with little effort: e.g. the lack of balance between the quantity of supply air and exhaust air of the decentralised ventilation appliances is simply a matter of adjustment. Also the high power consumption of the decentralised ventilation appliances can be reduced easily by changing the air filters and cleaning the lattices of the fresh air suction devices regularly.

The very low relative indoor humidity (68 % of the measuring period <30 %) can be increased easily and eco-friendly with the introduction of plants (e.g. sedge). Nevertheless, the active assistance of the students is indispensable. Many inhabitants have a rather poor knowledge of the technical services the building can offer. They also have the habit of using the ventilation system inefficiently, which reduces substantially the advantages of a passive house (52 % of the students leave the windows permanently tilted day or night at least 3-5x per week in the heating period). Therefore an extensive training of the students by experts on certain topics like "handling and working principle of a passive house", "appropriate ventilation behaviour in summer and winter", and "energy saving in a household" is needed. It is recommended that the students have to take an exam about their gained passive house knowledge. In order to gain the students' acceptance it is highly recommended that those who achieve a good examination performance should receive a benefit in the form of a financial incentive (e.g. reduction of rental fees).

The following actions are proposed in order to reduce the temperature of supply air as well as the room temperature during the summer: installation of appropriate shading for the fresh air suction devices, and upgrading of the decentralised ventilation appliances by so called summer bypasses. Appropriate ventilation usage in summer in combination with an active use of the manual shading devices (outside brass panels) is as essential for the reduction of room temperature as the before mentioned technical actions.

To sum up, the passive house student residence Molkereistraße performs well overall. Optimisation potential is seen in details. From the technical point of view, some improvements can be obtained with little effort (e.g. reduction of power consumption of decentralised ventilation appliances by general maintenance work at regular intervals). The active assistance of the students is indispensable, also with regard to the topic "energy saving of the individual". This becomes more and more important in times of a fast-growing level of technology. The training of the students by experts has two key benefits: a very energy efficient use of the passive house combined with the effect, that the students inform their relatives and friends about their experiences in the passive house and thereby disseminate the passive house idea all over the world. This almost free publicity seems to be the greatest benefit of a professional student training.

It is recommended that special attention is paid to a professional training of the inhabitants. It is there that the writer sees the greatest optimisation potential, together with an most efficient use of the passive house and the dissemination of the idea of modern and sustainable residential buildings.

1 Einleitung

1.1 Passivhaus-Datenbank, Entwicklung Passivhausbauweise in Österreich

Das erste Passivhaus weltweit wurde von den Architekten Bött, Ridder und Westermeyer entworfen und 1991 in Darmstadt, Stadtteil Kranichstein (Hessen, Deutschland) fertiggestellt [Feist, 2001]. Im Jahre 1996 folgte das erste Passivhaus in Österreich, ein Einfamilienhaus in Vorarlberg, 6820 Amerlügen [Lang, 2004]. Seither wurden in Österreich bis Jahresende 2008 etwa 4.150 Passivhäuser gebaut [Lang, 2009]. **Abbildung 1.1** zeigt die Passivhaus-Entwicklung in Österreich. Dabei ist anzumerken, dass es sich beim Passivhausobjekt aus dem Jahr 1995 um eine Altbausanierung mit Passivhauskomponenten handelt. Der erste Passivhaus-Neubau wurde wie schon erwähnt 1996 abgeschlossen. Der „Dachverband Interessengemeinschaft Passivhaus Österreich“ (IG Passivhaus Österreich) führt über die gebauten Passivhäuser eine umfassende Datenbank, die frei im Internet verfügbar ist (<http://www.igpassivhaus.at/>) und laufend aktualisiert wird.

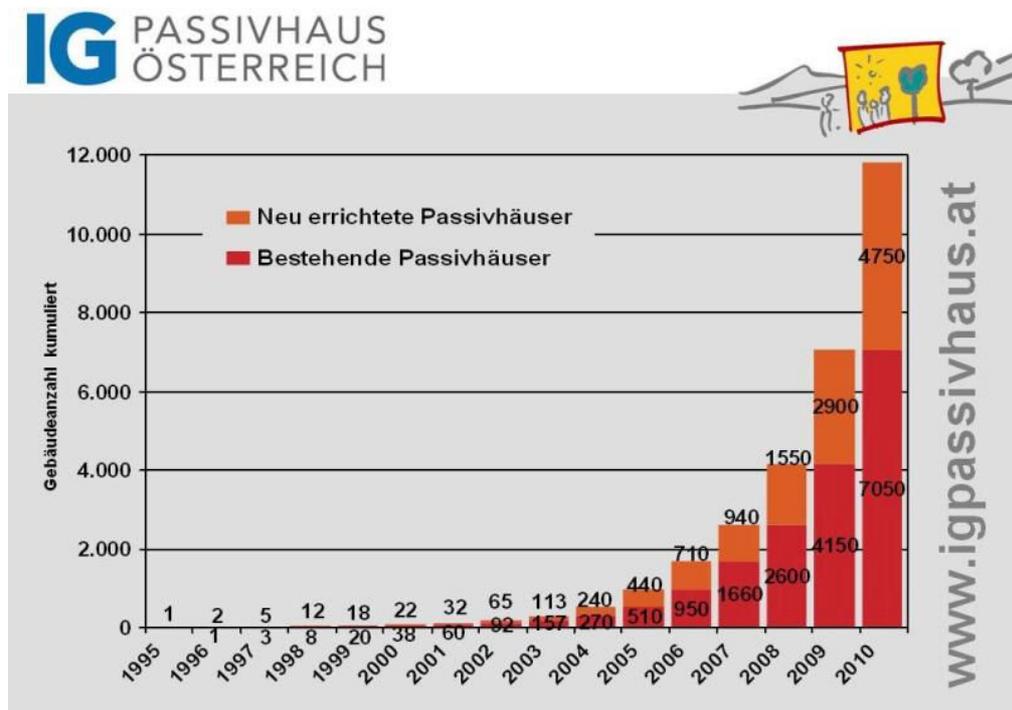


Abbildung 1.1 Passivhaus-Entwicklung in Österreich mit Prognose (aus [Lang, 2009, S.113]) Die Werte ab dem Jahr 2009 sind Prognosewerte. Die oberen Werte geben die Anzahl neu errichteter Passivhäuser im jeweiligen Jahr an, die unteren Werte den Gesamtbestand.

In Deutschland stehen mit Jahresende 2008 in etwa 2,5x so viele (10.000) Passivhäuser wie in Österreich (4.150). Deutschland ist damit weltweiter Spitzenreiter hinsichtlich der Anzahl von Passivhäusern vor Österreich und der Schweiz, die mit ca. 800 gebauten Passivhäusern aber schon abgeschlagen ist. Rechnet man sich die Anzahl der Passivhäuser in Relation zu den Einwohnern aus, zeigt sich Erstaunliches: Österreich liegt mit einem Schnitt von ca. 497

Passivhäusern pro 1 Mio. Einwohner unangefochten an der Spitze, auf den Plätzen folgen Deutschland mit ca. 122 Passivhäusern pro 1 Mio. Einwohner und die Schweiz mit ca. 105 Passivhäusern pro 1 Mio. Einwohner. Österreich hat damit in Relation zu den Einwohnern mehr als 4x so viele Passivhäuser wie Deutschland oder die Schweiz. [Lang, 2009]



Abbildung 1.2 Passivhaus-Studentenheim Molkereistraße, Wien. Fotos: W. Oberkleiner, am 07.05.2008

1.2 Erstes großvolumiges Passivhaus (Molkereistraße) im geförderten Wohnbau in Wien

Das Passivhaus-Studentenheim Molkereistraße (Fotos in **Abbildung 1.2**) wurde von Mai 2004 bis September 2005 nach den Plänen der Architekten Baumschlager Eberle P.ARC ZT vom Bauherrn MIGRA errichtet. Es befindet sich im 2. Wiener Gemeindebezirk auf dem ehemaligen Gelände der Wiener Molkerei. Zum damaligen Zeitpunkt war es das größte Passivhaus weltweit (Bruttogeschossfläche 10.527 m²). **Abbildung 1.3** zeigt den Lageplan des Studentenhaims Molkereistraße und einen Schnitt in O-W-Richtung.

Die Architekten Baumschlager Eberle P.ARC ZT belegten 2006 mit dem Projekt Studentenheim Molkereistraße beim „Regional Energy Globe Austria (Vienna)“ den 2. Platz in der Kategorie „Feuer“ (diese Kategorie beschäftigt sich u.a. mit dem Thema Energieeffizienz) [Energy Globe Foundation, 2009]. Der Energy Globe Award gilt als bedeutender und renommierter Umweltpreis. Eine weitere Auszeichnung erlangte das Studentenheim Molkereistraße beim 2009 anlässlich des 25-jährigen Jubiläums des Wohnfonds Wien erstmals vergebenen „Wiener Wohnbau Preis“ [Wohnfonds Wien, 2009]. Das Ziel des „Wiener Wohnbau Preis“ besteht darin, „*jene Beiträge mit hohem Innovationsgehalt hinsichtlich Architektur – Ökonomie – Ökologie, aber auch Nachhaltigkeit, Umsetzung, Nutzerorientierung und Gebrauchstauglichkeit auszuzeichnen*“. [Wohnfonds Wien, 2009] Dabei werden bereits realisierte, in der Praxis bewährte Projekte ausgezeichnet.

Projekt- und Gebäudebeschreibung: (nach [Ecoplus, 2004], [Team gmi, 2005])

Projektbeteiligte:

- ★ Bauherr: MIGRA; Baubetreuung: ARWAG
- ★ Generalmieter: ÖAD (Österreichischer Austauschdienst) - Wohnraumverwaltung (Leiter: Mag. Günther Jedliczka)
- ★ Architekten: Baumschlager Eberle P.ARC ZT (Projektleiter: DI Eckehart Loidolt)
- ★ Passivhaustechnik und Klimakonzept: teamgmi Ingenieurbüro GmbH, Wien
- ★ Bauausführung: Universale Bau

Architektonisches Konzept:

- ★ Hoher Benutzungskomfort: Ausschließlich Einzelzimmer
- ★ Hohe Baukosteneffizienz und Heizwärmeeffizienz durch hohe Kompaktheit: Trakttiefe von 18 m.
- ★ Natürliche Belichtung der zentralen Mittelgänge durch sieben Lichtschächte
- ★ Brandschutzkonzept: Vertikale Abschottung, Druckbelüftung

- ★ Gestaltung der Fassade: Versetzte Fenster, Farbgestaltung, Variation des Aussehens durch verschiebbare Verschattungselemente aus Messing
- ★ Sommertauglichkeit: Ermöglichung einer kompletten Verschattung mit außen liegenden (energie technisch günstig) und manuell zu betätigenden Verschattungselementen aus Messing.

Bauteile:

- ★ Fundamentplatte (70 cm WU-Beton) steht auf 15 cm XPS. Darunter 10 cm Unterbeton mit Absorber (Flächenwärmetauscher). U-Wert = 0,15 W/(m².K)
- ★ Außenwand 18 cm Betonfertigteile mit 26 cm EPS-F plus oder Steinwolle (bei Fenstern aus Brandschutzgründen). U-Wert = 0,146 W/(m².K)
- ★ Schrägdach mit 20 cm Stahlbeton und 36 cm Steinwolle, hinterlüftet, verblecht. U-Wert = 0,12 W/(m².K)
- ★ Flachdach mit 20 cm Stahlbeton, 32 cm EPS und extensiver Begrünung (8 cm). U-Wert = 0,11 W/(m².K)
- ★ Fenster: U_{Glas} = 0,7 W/(m².K), U_{Fenster} = ca. 0,85 W/(m².K), g-Wert = 0,52

Im Rahmen der Neubau Verordnung für Wien (NeubauVO 2001, mittlerweile ersetzt durch die NeubauVO 2007) wurde die Errichtung des Passivhauses Molkereistraße mit 510 € je m² Nutzfläche in Form eines Landesdarlehens gefördert. Die Förderung durch die Stadt Wien betrug bei einer förderbaren Nutzfläche von 7.606 m² demnach ca. 3.890.000 € bei Gesamtkosten von ca. 9.890.000 €.

Mit einer Geschoßflächenzahl von 6,7 (=Verhältnis der Summe der Brutto-Grundrissflächen über dem Gelände zur Fläche des Bauplatzes in %, nach ÖNORM B 1800) spart das Passivhaus Molkereistraße wertvolle Siedlungsfläche ein und fügt sich gut in das Gesamtbild des umgebenden Gebäudebestands ein. Es hat 7 Geschoße mit 133 Wohnungseinheiten, die 278 Einzelzimmer beherbergen. Die durchschnittliche Zimmergröße beträgt ca. 14 m². Im Rahmen des Endberichtes über das Nachhaltigkeits-Monitoring des Passivhaus-Studentenheims Molkereistraße wurden die Energieperformance und die Nutzerzufriedenheit wissenschaftlich evaluiert (vgl. auch Kap. 6, 7 und 8) [Treberspurg et al., 2008]. Durch seine hohe Kompaktheit mit A/V = 0,2 m⁻¹ (A/V = Verhältnis der Fläche der thermischen Gebäudehülle zum Gebäudevolumen) verbunden mit einer sehr gut wärme gedämmten und luftdichten Gebäudehülle hat das Passivhaus Molkereistraße einen Heizwärmeverbrauch, der gegenüber konventionellen vergleichbaren Wohnhausanlagen deutlich niedriger ausfällt. Es ergeben sich dadurch folgende Einsparungen pro Jahr:

- ★ 680 MWh bzw. 102 kWh/(m²_{WNFL}.a) an Fernwärme für die Raumheizung
- ★ 130 t bzw. 19 kg/(m²_{WNFL}.a) CO₂-Äquivalente
- ★ 44.000 € bzw. 7 €/ (m²_{WNFL}.a) Betriebskosten (inkl. USt.)

Anm.: Wohnnutzfläche WNFL = 6.686 m² (inkl. Gemeinschaftsräume)



Abbildung 1.3 Passivhaus-Studentenheim Molkereistraße: Lageplan (Molkereistraße/Stüwerstraße/Obermüllerstraße) und Schnitt in O-W-Richtung (aus [Ecoplus, 2004, S.6])

Das Passivhaus-Studentenheim Molkereistraße besitzt ein Lüftungssystem mit 63 dezentralen Komfortlüftungsgeräten mit integrierten Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauschern für die Wärmerückgewinnung aus der Abluft. Diese Komfortlüftungsgeräte versorgen jeweils 2 Wohnungseinheiten mit Frischluft. Die Außenluft wird am Dach angesaugt und mittels Heizregister je nach Außenlufttemperatur vorgewärmt oder vorgekühlt. Die Energie dafür liefert bei Außenlufttemperaturen von weniger als -5 °C bzw. mehr als $+30\text{ °C}$ ein horizontaler solegeführter Erdwärmetauscher, der sich unter der Fundamentplatte befindet. Bei allen anderen Außenlufttemperaturen liefert die Fernwärme Wien die nötige Energie. Um in den Zimmern individuelle Temperaturwünsche zu erfüllen, wurden Mini-Radiatoren angebracht, die sich mittels Raumthermostat regeln lassen. Sowohl die Heizung als auch das Warmwasser, das in zwei jeweils 1.500 Liter fassenden zentralen Warmwasserspeichern erhitzt wird, werden durch die Fernwärme Wien versorgt. [Treberspurg et al., 2008]

Nähere Informationen zum Haustechnikkonzept inkl. Warmwasser siehe Kap. 5.

2 Ziel und Fragestellung

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die Analyse des Passivhaus-Studentenheims Molkereistraße in Wien hinsichtlich der Lüftungsanlage (Lüftungskonzept) und der Nutzerzufriedenheit. Das damit erlangte Wissen soll einen Beitrag liefern für die Planung zukünftiger Passivhäuser, im Speziellen großvolumiger Häuser für den sozialen Wohnbau, Studentenheime und Mehrfamilienhäuser. Genannte Gebäudetypen haben infolge eines geringeren A/V-Verhältnis (Oberflächen/Volumen-Faktor) einen wesentlich niedrigeren Energiebedarf als Einfamilienhäuser und sind dadurch effizienter in der Herstellung [Farion, 2002]. Das A/V-Verhältnis eines Einfamilienhauses liegt bei etwa 0,75 (Gebäudekörper 12x8x6 m, Grundfläche miteingerechnet) [Bundesministerium für Raumordnung, 1997]. Eine Zunahme der A/V-Werte bewirkt höhere Transmissionswärmeverluste. Ein freistehendes Einfamilienhaus hat beispielsweise einen ca. 50% höheren Energiebedarf als ein Reihenmittelhaus bei gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werten) [Farion, 2002].

Um dieses Ziel zu erreichen, werden 5 zentrale Fragestellungen, die das Passivhaus-Studentenheim Molkereistraße in Wien betreffen, erörtert:

- 1.) Wie ist das Planungskonzept der kontrollierten Wohnraumbelüftung?
- 2.) Wie verhalten sich die tatsächlichen (realen) Zuluftmengen und der Energieverbrauch im Vergleich zu den Planungswerten?
- 3.) Welche Ursachen gibt es für die Unterschiede aus Frage 2?
- 4.) Wie ist die Nutzerzufriedenheit?
- 5.) Welche Empfehlungen können für zukünftige Projekte und für den Betrieb der Molkereistraße ausgesprochen werden?

Die angeführten Fragestellungen werden im Folgenden näher beschrieben.

Ad 1.): siehe Kap.5

Es wird das Lüftungskonzept detailliert vorgestellt, sowohl gesamtheitlich als auch für die einzelnen Zimmer. Dabei wird die technische Ausführung der Lüftungsanlage inkl. Erdwärmetauscher, Luftvolumenströme und Lufttemperaturen, Anordnung der Zuluftauslässe und der Abluftventile etc. erörtert. Weiters wird auf das Haustechnikkonzept mit den Bereichen Warmwasser, Heizung und Frischluftversorgung (Lüftung inkl. Erdwärmetauscher) näher eingegangen. Das Hochbau- bzw. architektonische Konzept wird ebenfalls vorgestellt.

Ad 2.): siehe Kap.8

Mithilfe von Messungen in einzelnen Zimmern werden die tatsächlichen Zuluftmengen mit den in der Planung vorgesehenen Werten verglichen. Der bestehende Energieverbrauch wird dem berechneten (geplanten) Energiebedarf gegenübergestellt.

Ad 3.): siehe Kap.8

Die Unterschiede der Zuluftmengen und der benötigten Energie, die aus dem Soll/Ist – Vergleich hervor gehen, werden auf ihre Ursachen hin untersucht. Dabei steht als oberster Grundsatz eine Minimierung des Energieverbrauchs, um die Umwelt durch nachhaltiges Bauen so weit wie möglich zu schonen.

Ad 4.): siehe Kap.7

Die Nutzerzufriedenheit wird einerseits durch Fragebögen, andererseits durch persönliche Interviews erhoben, um Wünsche, Anregungen und Beschwerden der Bewohner (Studenten) optimal erfassen zu können. Da im Passivhaus-Studentenheim Molkereistraße großteils internationale Austauschstudenten wohnen, wird versucht, ein großes Spektrum individueller Bedürfnisse einzufangen, um in weiterer Folge durch Optimierungsmaßnahmen ein für alle Studenten bestmögliches Innenraumklima zu gewährleisten.

Ad 5.): siehe Kap.9

Es werden Schlussfolgerungen für zukünftige Projekte und den Betrieb der Molkereistraße gezogen, einerseits hinsichtlich einer Optimierung des Lüftungskonzepts und einer damit verbundenen Minimierung des Energieverbrauchs, andererseits in Bezug auf eine Maximierung der Nutzerzufriedenheit. Auf die Nutzerzufriedenheit wird dabei besonderes Augenmerk gelegt, da es in diesem Bereich nur wenige Erfahrungen mit großvolumigen Passivhäusern gibt und im modernen und nachhaltigen Wohnbau bzw. der Sanierung die Erreichung der Nutzerzufriedenheit bei bestmöglicher ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit oberste Priorität genießen sollte.

3 Wohnkomfort (Nutzerkomfort) in Passivhäusern

3.1 Begriffsbestimmung

„Der Wunsch nach einem Zuhause, in dem man sich wohlfühlt, ist ein fundamentales menschliches Bedürfnis, das tief in unserer Psyche wurzelt und nach Befriedigung verlangt.“
[Rybczynski, 1991]

Im deutschen Sprachgebrauch überschneidet sich die Bedeutung des Begriffs „Komfort“ mit Begriffen wie „Bequemlichkeit“, „Behaglichkeit“ oder „Wohnlichkeit“. Für den Architekten Witold Rybczynski unterscheidet sich der Ausdruck „Komfort“ allerdings in folgendem Punkt von den erwähnten anderen Begriffen: Komfort stellt eine Beziehung zur Moderne dar. Der Begriff beschreibt eine Behaglichkeit, die durch technische Gerätschaften realisiert wird, die dem Menschen körperlich anstrengende Tätigkeiten erleichtern. Wohnkomfort wird sowohl von subjektiven als auch von objektiven Faktoren bestimmt. Dass es objektive Faktoren zur Beschreibung von Komfort gibt, lässt sich schon allein daraus ableiten, dass es in jeder geschichtlichen Epoche zwar im Vergleich zu anderen Epochen unterschiedliche, aber weitgehend verbreitete Vorstellungen über Komfort gab. Allerdings ist es sehr schwierig, diese Faktoren zu beschreiben, also zu identifizieren und zu quantifizieren. Man könnte auch sagen: *„Wohnkomfort ist ein Zustand, in dem alle Situationsmerkmale, die geeignet sind, das Wohlfühl zu beeinträchtigen, eliminiert sind.“* [Rybczynski, 1991]

Ein anderer Zugang zur Begriffsbestimmung des Wohnkomforts wird in der Arbeit *„Behagliche Nachhaltigkeit. Untersuchungen zur Behaglichkeit und zum Gesundheitswert von Passivhäusern“* [Rohregger et al., 2004] vorgestellt: das Focus Group Interview. Dabei wurden 6 Passivhaus-Bewohner befragt. Das Interview dauerte 2 Stunden und wurde von einer Moderatorin und einem Co-Moderator geleitet.

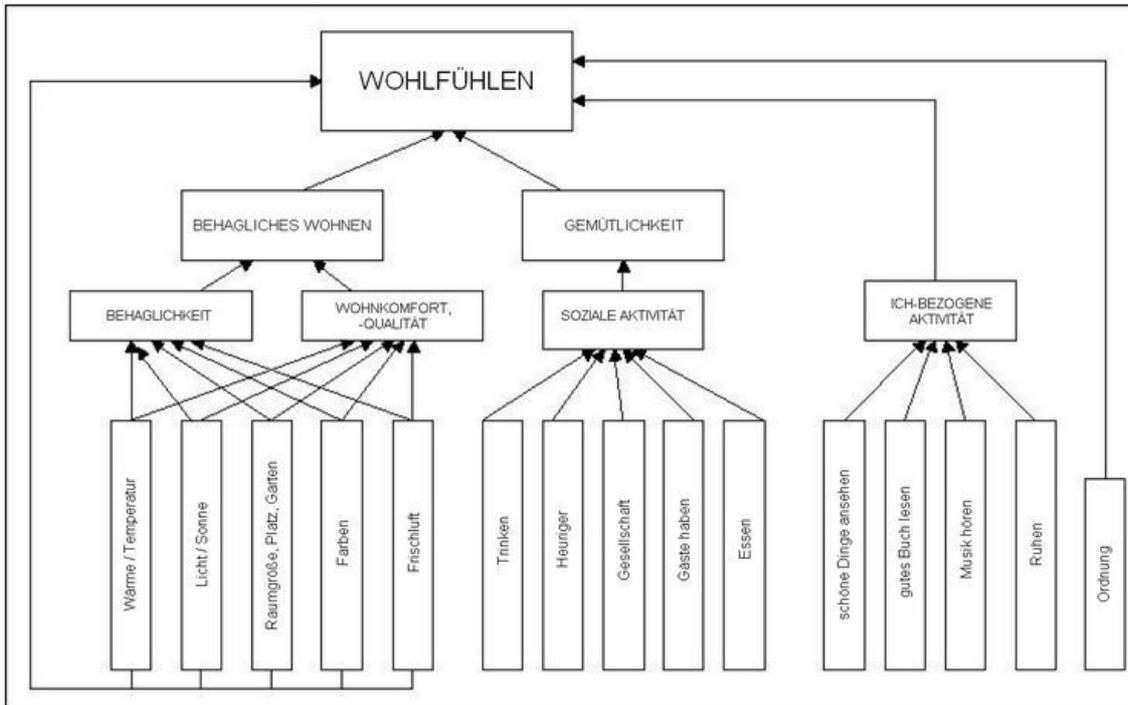


Abbildung 3.1 Strukturmodell „Wohlfühlen beim Wohnen“ (nach [Rohregger et al., 2004, S.76])

Die Passivhaus-Bewohner brachten ihre (subjektiven) Meinungen zu folgenden 4 Begriffen zu Protokoll: „Behaglichkeit“, „Komfort/Wohnkomfort“, „Gemütlichkeit“ und „Wohlfühlen“. Aus diesen Angaben wurde das Strukturmodell „Wohlfühlen beim Wohnen“ entwickelt (**Abbildung 3.1**). Demnach ist der Begriff „Wohlfühlen“ ein äußerst komplexer, der nicht nur durch technisch zu realisierende Anforderungen wie geeignete Temperatur, Licht und ausreichend Frischluft erreicht wird, sondern auch stark von sozialen Komponenten abhängig ist. Diese sozialen Komponenten spiegeln sich z.B. in Essen, Trinken und Gesellschaft haben wider.

3.2 Behaglichkeit des Innenraumklimas

3.2.1 Allgemeines

Der Mensch ist ein warmblütiges Lebewesen mit einer nahezu konstanten Körperkerntemperatur. „Als Kerntemperatur bezeichnet man die Temperatur der stoffwechselaktiven Organe im Rumpf. Sie liegt bei rund 37 Grad Celsius.“ [WeCareLife, 2008]

Damit die Körperkerntemperatur konstant bleibt, führt der Organismus eine sog. Thermoregulation durch (**Abbildung 3.2**). Dabei unterscheidet man die chemische Thermoregulation (Stoffwechsel) von der physikalischen Thermoregulation (Hautdurchblutung, Schweißabsonderung usw.). [Richter, 2003]

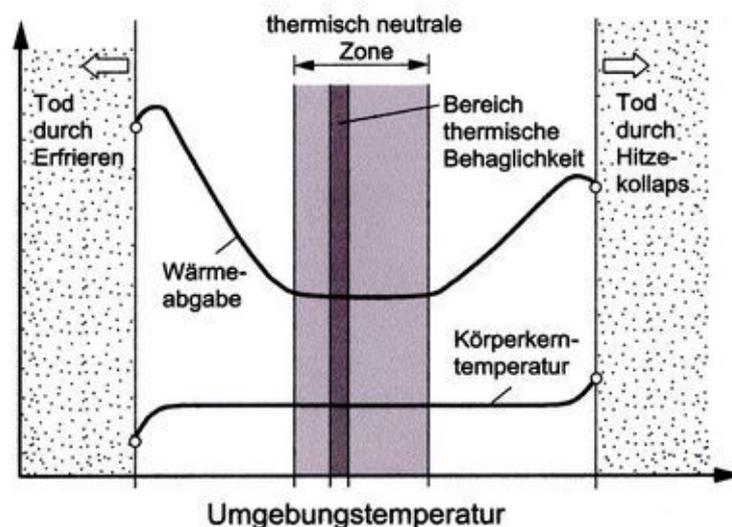


Abbildung 3.2 Schematischer Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur des Menschen und seiner Körperkerntemperatur bzw. Wärmeabgabe (aus [Richter, 2007, S.13])

Thermische Behaglichkeit wird durch zwei verschiedene Ansätze beschrieben, die sich gegenseitig ergänzen: dem „Wärmebilanzmodell“ und dem „Erwartungsmodell“ [Voss & Pfafferott, 2007].

Beim *Wärmebilanzmodell* wird die thermische Behaglichkeit dann erreicht, wenn sich ein Gleichgewicht zwischen Wärmeentwicklung und Wärmeabgabe einstellt. Die Körperkerntemperatur kann vom Organismus unter diesen Umständen mit minimalem thermoregulatorischem Aufwand gehalten werden. Die Umgebungsparameter (Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte) werden den personenbezogenen Parametern (körperliche Tätigkeit, Bekleidung) gegenübergestellt. Das Gleichgewicht wird durch die FANGER-Gleichung [Fanger, 1970] (siehe Kap. 0) ausgedrückt, aus der das vorausgesagte mittlere Votum PMV (predicted mean vote) resultiert [ÖNORM EN ISO 7730, 2006]. Nach Mayer [Mayer, 2005] empfindet der Mensch thermische Behaglichkeit, wenn die Körpertemperatur im Bereich zwischen 34°C (Hauttemperaturschwelle) und 37°C (Stammhirntemperatur) liegt.

Das *Erwartungsmodell* geht davon aus, dass thermische Behaglichkeit gegeben ist, wenn die Erwartungen der Nutzer an das sie umgebende Raumklima erfüllt werden. Dabei ist es essentiell, dass die Nutzer eine Möglichkeit haben, das Raumklima zu „steuern“: das kann ein mittels Thermostatventil einzustellender Heizkörper sein, ein Fenster, das sich öffnen lässt, oder eine regulierbare Sonnenschutzvorrichtung. Im Gegenzug akzeptieren die Nutzer im Sommer höhere und im Winter niedrigere Temperaturen. Als Bezugsgröße für das Raumklima wird dabei die sog. operative Raumtemperatur t_{op} verwendet, die sich als Mittelwert der mittleren Lufttemperatur t_a und der Strahlungstemperatur t_r ergibt: (Gl. 3.1 nach [Richter, 2003, S.20])

$$t_{op} = \frac{t_a + t_r}{2} \quad (3.1)$$

Unter Strahlungstemperatur versteht man die mittlere Temperatur aller Raumumschließungsflächen. Die operative Raumtemperatur wird in der Raummitte gemessen oder mittels Simulation berechnet. Sie berücksichtigt keine lokalen Temperaturunterschiede im Raum. [Voss & Pfafferott, 2007]

Abbildung 3.3 zeigt den sommerlichen thermischen Behaglichkeitsbereich anhand der operativen Raumtemperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur nach DIN 1946-2 (DIN 1946-2 wurde ersetzt durch DIN EN 13779). Für Richter und Hartmann [Richter & Hartmann, 2007] liegt thermische Behaglichkeit im Winter bei folgenden operativen Raumtemperaturen vor: im Wohnraum bei 20-22 °C, im Schlafraum bei 16-18 °C. Neue Erfahrungen zeigen aber, dass selbst Bewohner von sehr gut wärmegeämmten Gebäuden (Passivhäuser bzw. Niedrigenergiehäuser) im Winter operative Temperaturen von 21-23 °C (Wohnzimmer) bzw. größer als 20 °C (Schlafzimmer) bevorzugen [Hofbauer, 2009]. Weiters stellen sich Schlafzimmertemperaturen von 16-18 °C, wie sie von Richter und Hartmann angeführt werden, nur dann ein, wenn im Winter bei offenem Fenster geschlafen wird. In Passivhäusern besteht aufgrund der Komfortlüftungsanlage kein Bedarf, im Winter bei offenen Fenstern zu schlafen, da die auf ein angenehmes Niveau temperierte Frischluft kontinuierlich einströmt. Aus genannten Gründen wird eine Schlafzimmertemperatur von 16-18 °C als Spezialfall angesehen. Hier erscheinen Raumtemperaturen über 20 °C, wie sie von Hofbauer angegeben werden, als wesentlich praxisorientierter. Um operative Raumtemperaturen richtig interpretieren zu können, sind Angaben zur Bekleidung der Bewohner [clo] (vgl. Kap.3.2.2) wichtig, die in der Literatur oftmals fehlen.

Richter [Richter, 2003] unterscheidet zwischen globalen (Erfüllung der Gesamtwärmebilanz des Körpers) und partikulären (Erfüllung der Wärmebilanz einzelner Körperregionen) thermischen Behaglichkeitskriterien. Die Gesamtwärmebilanz (Gegenüberstellung von Wärmeentwicklung und Wärmeabgabe), mithilfe der gemessenen operativen Raumtemperatur ermittelt, lässt zwar laut Richter [Richter, 2003] „keine Aussagen zur lokalen Wärmestromdichte an unterschiedlichen Bereichen der menschlichen Oberfläche“ zu, kann aber „in solchen Räumen als hinreichend betrachtet werden, in denen keine spürbaren lokalen Unterschiede bei der ‚Entwärmung‘ (Wärmeabgabe) des Körpers auftreten (z.B. keine unangenehme Zugluft im Nackenbereich).“ In Gebäuden mit zeitgemäßem Baustandard nach EnEV [EnEV, 2007], zu denen Passivhäuser zählen, ist demnach die Messung der operativen Raumtemperatur für die Beurteilung der thermischen Behaglichkeit ausreichend [Voss & Pfafferott, 2007].

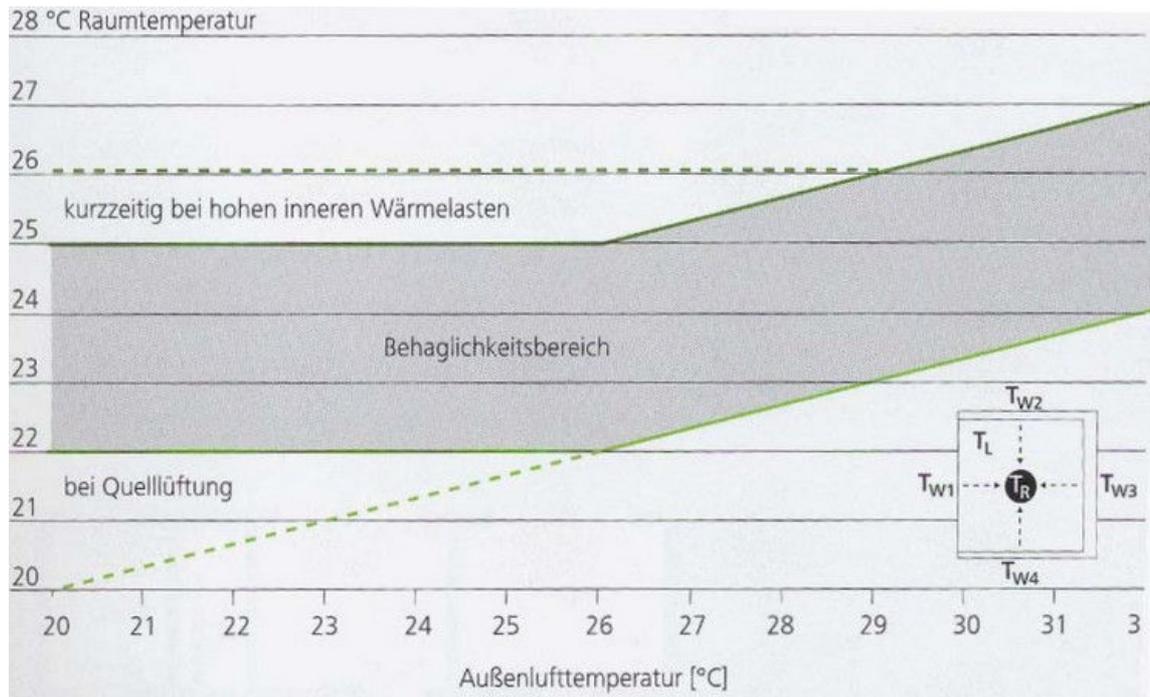


Abbildung 3.3 thermischer Behaglichkeitsbereich anhand der operativen Raumtemperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur – Sommeranforderung nach DIN 1946-2 (aus [Holzer, 2007a, S.21], grafische Darstellung nach [Voss, 2005])

3.2.2 Die FANGER-Gleichung (PMV-Maßstab)

Nach Fanger [Fanger, 1970] wird globale thermische Behaglichkeit dann erreicht, wenn die Summe der Wärmeentwicklung gleich der Summe der Wärmeabgabe ist. Fanger stellte ein Gleichungssystem dieser Wärmebilanz auf (FANGER-Gleichung, Gl. 3.2):

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = R + C \quad (3.2)$$

mit

$$M = H + W \quad = \frac{W}{M}$$

$$H = M(1 - \eta)$$

$$\frac{H}{F_{Du}} = \frac{M}{F_{Du}} (1 - \eta)$$

H [kJ/h]	Interne Wärmeproduktion im menschlichen Körper
W [kJ/h]	externe mechanische Arbeit
M [kJ/h]	Energieumsatz
η [kJ/h]	Wirkungsgrad
F_{Du} [m ²]	mittlere Körperoberfläche des Menschen (DuBois-Fläche)
E_d [kJ/h]	Wärmeverlust durch Wasserdampfdiffusion
E_{sw} [kJ/h]	Wärmeverlust durch Evaporation (Verdunstung) von Schweiß an der Hautoberfläche
E_{re} [kJ/h]	Latente Wärmeverluste durch Atmung
L [kJ/h]	Sensible Wärmeverluste durch Atmung
K [kJ/h]	Wärmeleitung durch die Kleidung (von der Hautoberfläche zur äußeren Kleidungsoberfläche)
R [kJ/h]	Wärmeverluste durch Strahlung
C [kJ/h]	Wärmeverluste durch Konvektion

Mit anderen Worten ausgedrückt, werden in der FANGER-Gleichung - sowie in der darauf aufbauenden ÖNORM EN ISO 7730, deren Parameterbezeichnungen nachfolgend verwendet werden - die Parameter der *Wärmeentwicklung*

- ★ interne Wärmeproduktion des Menschen H [W/m^2] (= Energieumsatz M minus wirksame [externe] mechanische Leistung W)

den Parametern der *Wärmeabgabe*

- ★ thermischer Widerstand der Bekleidung (Bekleidungsisolations) I_{cl} [$\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$]
- ★ Lufttemperatur t_a [$^{\circ}\text{C}$]
- ★ mittlere Strahlungstemperatur \bar{t}_r [$^{\circ}\text{C}$]
- ★ relative Luftgeschwindigkeit v_{ar} [m/s]
- ★ Luftfeuchte (Wasserdampfpartialdruck) p_a [Pa]
- ★ Oberflächentemperatur der Bekleidung t_{cl} [$^{\circ}\text{C}$]

gegenübergestellt. [Rohregger et al., 2004]

Besteht kein Gleichgewicht zwischen Wärmeentwicklung und Wärmeabgabe, empfindet der menschliche Körper Unbehagen. Mithilfe von Laborversuchen ermittelte Fanger das vorausgesagte mittlere Votum PMV (predicted mean vote), das die thermische Empfindung der Raumnutzer ausdrückt: (Gl. 3.3 aus [ÖNORM EN ISO 7730, 2006, S.6])

$$PMV = [0,303 \cdot e^{-0,036 \cdot M} + 0,028] \cdot$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

M [W/m^2]	Energieumsatz
W [W/m^2]	wirksame mechanische Leistung
I_{cl} [$\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$]	Bekleidungsisolations
f_{cl}	Bekleidungsflächenfaktor
t_a [$^{\circ}\text{C}$]	Lufttemperatur
\bar{t}_r [$^{\circ}\text{C}$]	mittlere Strahlungstemperatur
v_{ar} [m/s]	relative Luftgeschwindigkeit
p_a [Pa]	Wasserdampfpartialdruck
h_c [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$]	konvektiver Wärmeübertragungskoeffizient
t_{cl} [$^{\circ}\text{C}$]	Oberflächentemperatur der Bekleidung

Um PMV „greifbarer“ zu machen, wurde das Ergebnis (Einheit W/m^2) in eine siebenteilige Skala (von +3 = „hot“ bis -3 = „cold“) eingepasst (**Tabelle 3.1**).

Tabelle 3.1 Beurteilung der thermischen Behaglichkeit mittels PMV und PPD
(aus [Rohregger et al., 2004, S.19])
PMV (predicted mean vote) ... Vorausgesagtes mittleres Votum
PPD (predicted percentage of dissatisfied) ... Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen, %

Bezeichnung	PMV - Index	PPD - Index
zu warm (hot)	+3	99,1
warm (warm)	+2	76,8
etwas warm (slightly warm)	+1	26,1
neutral (neutral)	0	5,0
etwas kühl (slightly cool)	-1	26,1
cool (cool)	-2	76,8
kalt (cold)	-3	99,1

Aus PMV lässt sich der zu erwartende Prozentsatz der mit dem Raumklima unzufriedenen Personen (=vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen) PPD (predicted percentage of dissatisfied) errechnen: (Gl. 3.4 aus [ÖNORM EN ISO 7730, 2006, S.8])

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2} \quad (3.4)$$

PPD in Abhängigkeit von PMV zeigt die **Abbildung 3.4**. Dabei ist festzuhalten, dass weniger als 5% Unzufriedene (entspricht $PPD = 5,0$) empirisch nicht vorkommen.

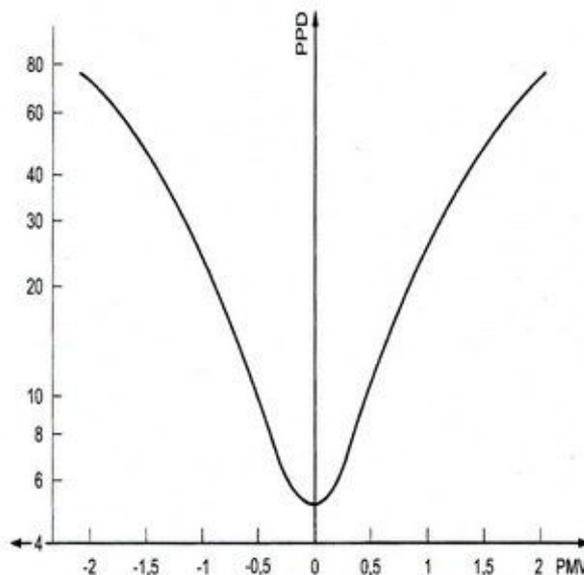


Abbildung 3.4 PPD als Funktion von PMV (aus [ÖNORM EN ISO 7730, 2006, S.9])
PMV (predicted mean vote) ... Vorausgesagtes mittleres Votum,
PPD (predicted percentage of dissatisfied) ... Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen, %

Um den Zusammenhang zwischen den einzelnen Parametern der FANGER-Gleichung (siehe Gl. 3.2) und der dazugehörigen Gleichung nach ÖNORM EN ISO 7730 (siehe Gl. 3.3) herzustellen, wurde die **Tabelle 3.2** erstellt. Dabei können die Parameter oft nicht 1:1 verglichen werden, da ein Parameter der FANGER-Gleichung von mehreren Parametern gemäß ÖNORM EN ISO 7730 abhängen kann. Tritt dieser Fall auf, wird in der Tabelle in der Spalte „ÖNORM EN ISO 7730“ mit „f {...}“ darauf hingewiesen. „f {...}“ bedeutet dabei „Funktion von...“.

Das folgende Beispiel soll zum besseren Verständnis von **Tabelle 3.2** dienen: sieht man sich den Fanger'schen Parameter R (=Wärmeverluste durch Strahlung) an, so ist dieser Parameter keinem Parameter gemäß ÖNORM EN ISO 7730 eindeutig zuzuordnen, er ist vielmehr von mehreren Parametern *abhängig*, also eine Funktion von diesen Parametern. In diesem Fall ist der Parameter R eine Funktion der ÖNORM-konformen Parameter t_{cl} , \bar{t}_r und f_{cl} (t_{cl} ... Oberflächentemperatur der Bekleidung; \bar{t}_r ... mittlere Strahlungstemperatur; f_{cl} ... Bekleidungsflächenfaktor). Dieser Zusammenhang wird in der Spalte „ÖNORM EN ISO 7730“ mit „f { t_{cl} , \bar{t}_r , f_{cl} ...}“ beschrieben.

Tabelle 3.2 Zusammenhang der einzelnen Parameter der FANGER-Gleichung mit der ÖNORM EN ISO 7730 (nach Fanger [Fanger, 1970] und nach ÖNORM EN ISO 7730)
 f {...} bedeutet „Funktion von...“
 M [W/m²] ... Energieumsatz; W [W/m²] ... wirksame mechanische Leistung;
 I_{cl} [m² K/W] ... Bekleidungsisolierung; f_{cl} ... Bekleidungsflächenfaktor;
 t_a [°C] ... Lufttemperatur; \bar{t}_r [°C] ... mittlere Strahlungstemperatur;
 v_{ar} [m/s] ... relative Luftgeschwindigkeit; p_a [Pa] ... Wasserdampfpartialdruck;
 h_c [W/(m² K)] ... konvektiver Wärmeübertragungskoeffizient;
 t_{cl} [°C] ... Oberflächentemperatur der Bekleidung

FANGER	PARAMETER- BEZEICHNUNG (nach Fanger)	ÖNORM EN ISO 7730
H [kJ/h]	Interne Wärmeproduktion im menschlichen Körper	= M – W [W/m ²]
W [kJ/h]	externe mechanische Arbeit	W [W/m ²]
M [kJ/h]	Energieumsatz	M [W/m ²]
E _d [kJ/h]	Wärmeverlust durch Wasserdampfdiffusion	f {p _a ,...}
E _{sw} [kJ/h]	Wärmeverlust durch Evaporation (Verdunstung) von Schweiß an der Hautoberfläche	-
E _{re} [kJ/h]	Latente Wärmeverluste durch Atmung	-
L [kJ/h]	Sensible Wärmeverluste durch Atmung	f {t _a ,...}
K [kJ/h]	Wärmeleitung durch die Kleidung (von der Hautoberfläche zur äußeren Kleidungsoberfläche)	f {I _{cl} ,...}
R [kJ/h]	Wärmeverluste durch Strahlung	f {t _{cl} , \bar{t}_r , f _{cl} ,...}
C [kJ/h]	Wärmeverluste durch Konvektion	f {v _{ar} , h _c , f _{cl} , t _{cl} , t _a ,...}

Nach ÖNORM EN ISO 7730 soll PMV nur für Werte von -2 bis +2 angewendet werden. Weitere Bedingungen lauten wie folgt:

- ★ Energieumsatz M = 46 bis 232 W/m² (0,8 bis 4 met)
- ★ thermischer Widerstand der Bekleidung I_{cl} = 0 bis 0,310 m² K/W (0 bis 2 clo)
- ★ Lufttemperatur t_a = 10 bis 30 °C
- ★ mittlere Strahlungstemperatur \bar{t}_r = 10 bis 40 °C
- ★ relative Luftgeschwindigkeit v_{ar} = 0 bis 1 m/s
- ★ Luftfeuchte (Wasserdampfpartialdruck) p_a = 0 – 2.700 Pa

Die Einheit met (metabolische Rate) ist dabei ein Zählmaßstab für den Bruttoenergieumsatz des Menschen (vgl. **Tabelle 3.3**, die den Energieumsatz des Menschen bei verschiedenen Tätigkeiten angibt). Die Einheit clo (clothed unit = Bekleidungseinheit) bezeichnet den Wärmedurchgangswiderstand der Kleidung (vgl. **Tabelle 3.4**). [Richter, 2003]

Nach ÖNORM EN ISO 7730 werden 3 Behaglichkeitsklassen unterschieden: A (PPD < 6 %), B (PPD < 10 %) und C (PPD < 15 %). Dabei werden die optimalen operativen Raumtemperaturen in Abhängigkeit von Bekleidung und Aktivität angegeben (**Abbildung 3.5**).

Tabelle 3.3 Gesamtwärmeabgabe des Menschen bei verschiedener Tätigkeit (aus [Recknagel et al., 1998, S.50])

Tätigkeit	Aktivitäts- grad DIN 1946 T.2	Metabolic Rate = Wärmeabgabe		
		W/m ²	met**)	≈ W
ruhend	I	46	0,8	80
sitzend, entspannt		58	1,0	100
stehend, entspannt		70	1,2	125
sitzend, leichte Tätigkeit (Büro, Wohnung, Schule, Labor)		70	1,2	125
stehend, leichte Tätigkeit (Zeichenbrett-Tätigkeit)	II	81	1,4	145
(Shopping, Labor, leichte Industrie)		93	1,6	170
mäßige körperliche Tätigkeit (Haus-, Maschinen-Arbeit)	III	116	2,0	200
schwere körperliche Tätigkeit (schwere Maschinenarbeit)	IV	165	2,8	300

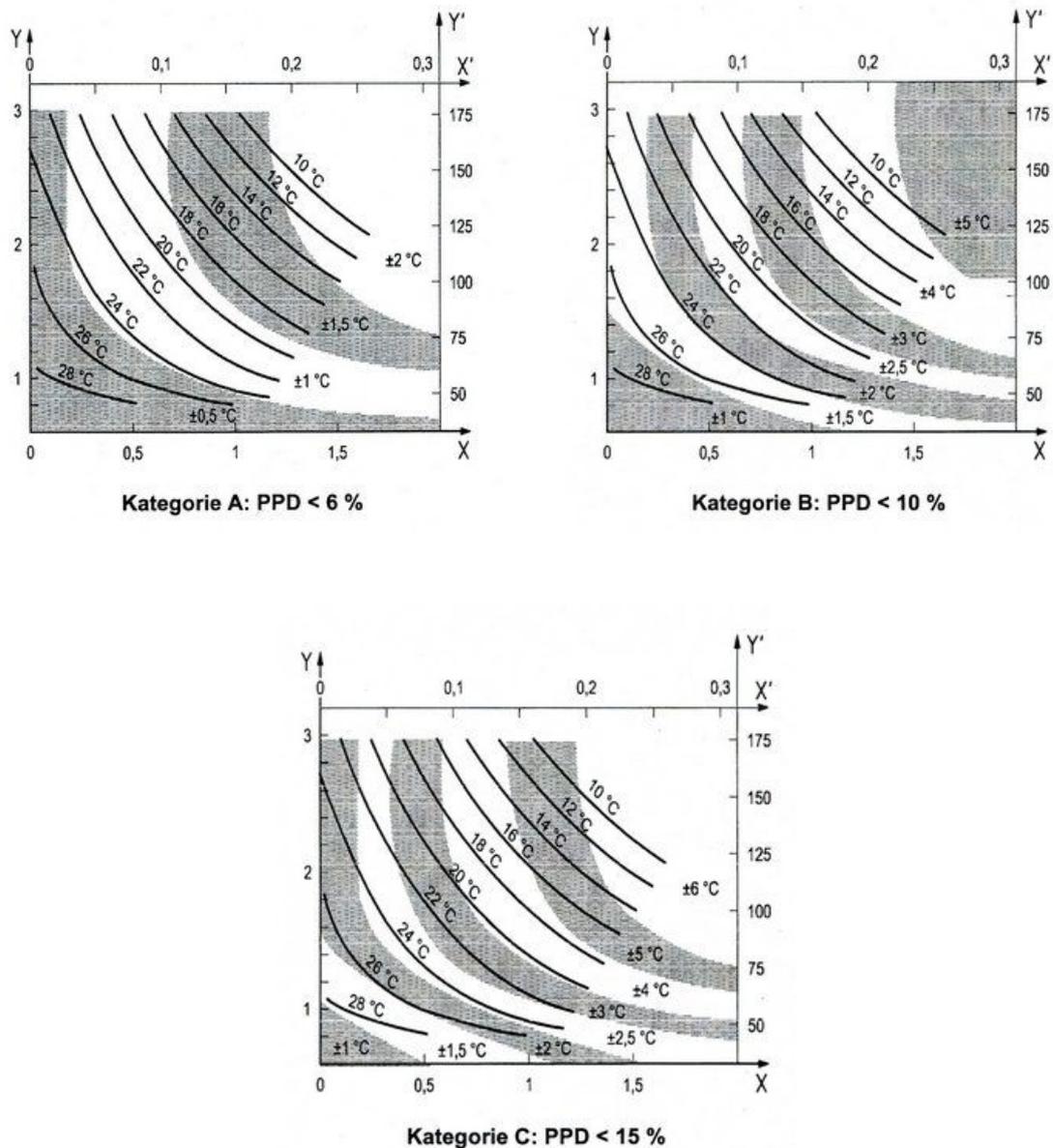
Tabelle 3.4 Wärmedurchgangswiderstand von Kleidung (aus [Recknagel et al., 1998, S.60])

Kleidung	m ² K/kW	clo
nackt	0	0
leichte Kleidung (Shorts, Hemd).....	80	0,5
Kleidung mit Hemd, Hose, Socken, Schuhen	100	0,65
normale Arbeitskleidung	125...160	0,8...1
leichte Sportkleidung mit Jacke	160	1
starke winterliche Innenbekleidung, dicker Pullover .	200	1,25
schwere Arbeitskleidung mit Unterwäsche, Socken, Schuhen, Weste, Jacke	210	1,3
Kleidung für kaltes Wetter mit Mantel	250...300	1,6...2
Kleidung für kältestes Wetter	450...600	3...4

Wie empfindlich der Mensch auf verschiedene Behaglichkeitsfaktoren reagiert, z.B. auf Lufttemperatur oder Luftbewegung, zeigt **Tabelle 3.5**. Interessant ist, dass der Mensch auf Temperatur oder Temperaturunterschiede sehr empfindlich reagiert, aber in Bezug auf die relative Luftfeuchtigkeit nur wenig empfindlich ist (Empfindlichkeitsschwelle bei +/- 15 %). Das zeigt, dass die relative Luftfeuchtigkeit für die Erfüllung der thermischen Behaglichkeit eine wesentlich kleinere Rolle spielt als die Lufttemperatur. [Richter, 2003]

Tabelle 3.5 Behaglichkeitsfaktoren und die dazugehörigen Empfindlichkeitsschwellen des Menschen (nach [Wuppertal-Institut & Planungs-Büro Schmitz, 1996])

Behaglichkeitsfaktor	Empfindlichkeitsschwelle	Beurteilung
Lufttemperatur	$\pm 0,5 \text{ K (}^\circ\text{C)}$	sehr empfindlich
Unterschied Lufttemperatur zur Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen	2 K ($^\circ\text{C}$)	sehr empfindlich
Luftbewegung in Hautnähe	0,1 m/s	sehr empfindlich
Strahlungswärme (Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen)	25 W/m ²	empfindlich
Relative Luftfeuchtigkeit	$\pm 15 \%$	wenig empfindlich

**Abbildung 3.5**

Die optimalen operativen Raumtemperaturen in Abhängigkeit von Bekleidung und Aktivität (für Kategorie A, B und C) (aus [ÖNORM EN ISO 7730, 2006, S.17+18]) Die weißen bzw. grauen Flächen geben die unterschiedlichen Toleranzbereiche der Raumlufttemperatur an. Die Temperaturkurven stellen jeweils die optimale Raumlufttemperatur in Abhängigkeit von Bekleidung und Aktivität dar.

PPD ... Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen, %

X ... Bekleidungsisolierung [clo]; X' ... Bekleidungsisolierung [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]

Y ... Energieumsatz [met]; Y' ... Energieumsatz [W/m^2]

clo ... clothed unit = Bekleidungseinheit; met ... metabolische Rate = Energieumsatz des Menschen

Zum leichteren Verständnis soll folgendes Beispiel dienen: Es wird das Diagramm Kategorie A herangezogen. Als Bekleidungsisolierung wird 1,0 clo (= leichte Sportkleidung mit Jacke, vgl. **Tabelle 3.4**, S.29) gewählt, der Energieumsatz wird mit 1,4 met (= stehende, leichte Tätigkeit, vgl. **Tabelle 3.3**, S.29) angenommen. Der sich ergebende Schnittpunkt liegt exakt auf der 20 °C-Temperaturkurve, d.h. 20 °C Raumlufttemperatur sind ideal, der Toleranzbereich liegt bei ± 1 °C (weiße Fläche).

Thermische Behaglichkeit ist neben Bekleidung, Aktivität, mittlerer Lufttemperatur und Strahlungstemperatur (die mittlere Lufttemperatur und die Strahlungstemperatur ergeben die operative Raumtemperatur, vgl. Gl. 3.1) laut Fanger [Fanger, 1970] noch von den Faktoren „Luftfeuchte“ und „Luftgeschwindigkeit“ abhängig. Den behaglichen Bereich in Abhängigkeit von Lufttemperatur und Feuchte zeigt **Abbildung 3.6**. Wichtig ist auch eine Unterscheidung zwischen Sommer und Winter, da die Luft je nach Temperatur unterschiedlich viel Wasserdampf aufnehmen kann. Wird die Luft erwärmt, sinkt die relative Luftfeuchtigkeit, was die Ursache dafür ist, dass die Raumluft im Winter oft als trocken empfunden wird.

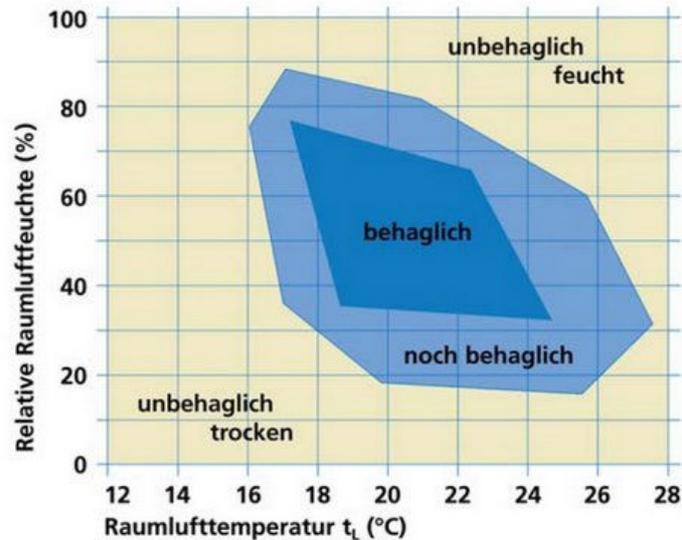


Abbildung 3.6 Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von Lufttemperatur und Feuchte (aus [Schmidt & Nicolaysen, 2007, S.80])

In **Abbildung 3.6** wird eine relative Feuchte zwischen ca. 35 % und 70 % bei 20 °C Raumlufttemperatur als behaglich angesehen. Die Schweizer Norm SIA 382/1 [SIA 382/1, 2007] empfiehlt eine relative Luftfeuchtigkeit im Bereich zwischen 30 % und 65 %, auch eine gelegentliche (an wenigen Tagen pro Jahr) Unterschreitung dieses Wertes ist akzeptabel, jedoch soll ein Mindestwert von 20 % r.F. (= relative Luftfeuchtigkeit) nicht unterschritten werden. Im *Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik* [Recknagel et al., 1998] wird die Raumluftfeuchte als behaglich angesehen, wenn sie zwischen 30 % und 65 % r.F. liegt.

Zu geringe Luftfeuchtigkeiten können sich außerdem negativ auf die Gesundheit des Menschen auswirken, häufige Symptome sind Infektionen der Atemwege, Schluckbeschwerden, Halsschmerzen und brennende Augen [INQA-Büro, 2008]. Aktuelle Untersuchungen von Univ.-Prof. Dr. J. Peter Guggenbichler von der Universität Erlangen (Deutschland) (zitiert in: [INQA-Büro, 2008]) belegen, dass eine Abhängigkeit zwischen der Immunabwehr der Schleimhäute und der relativen Raumluftfeuchtigkeit besteht. Je niedriger die relative Raumluftfeuchtigkeit, desto weniger Mikroorganismen können abtransportiert werden. Um eine effiziente Klärfunktion der Luftwege zu ermöglichen, wodurch die Anfälligkeit für Infektionskrankheiten sinkt, ist eine relative Luftfeuchtigkeit von mind. 30 %, besser jedoch 45 % notwendig.

Amerikanische Wissenschaftler wiesen folgenden Zusammenhang zwischen Influenza-A-Viren und der relativen Luftfeuchtigkeit nach [Lowen et al., 2007]: das Risiko, sich mit dem Influenza-A-Virus anzustecken ist bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 20-35 % etwa 3-4x so hoch wie bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 %. Bei 65 % r.F. ist das Risiko etwa 3x so hoch wie bei 50 % r.F. Mögliche Ursachen dafür sind eine höhere Stabilität (Lebensdauer) von Viren bei niedrigen relativen Luftfeuchtigkeiten [Schaffer et al., 1976] sowie eine umso längere

Aufenthaltszeit in der Luft, je kleiner die Tröpfchen sind (bei niedrigen relativen Feuchten entstehen in Folge von Verdunstung kleinere Tröpfchen als bei hohen relativen Feuchten, wo die Tröpfchen Wasser aufnehmen) [Buxton Bridges et al., 2003]. Die Studie wurde an weiblichen Meerschweinchen bei einer Temperatur von 20 °C durchgeführt.

Den Einfluss der relativen Luftfeuchte auf das Kleinklima in Gebäuden zeigt **Abbildung 3.7**. Das Behaglichkeitsfeld ist hier zwischen 30 % r.F. und ca. 65 % r.F. angegeben. Dies deckt sich gut mit den vorher erwähnten von der Fachliteratur gegebenen Empfehlungen zum Behaglichkeitsfeld der relativen Luftfeuchtigkeit. Bakterien- bzw. Virenwachstum ist ab ca. 60-65 % r.F. möglich, Milben finden optimale Bedingungen ab 65 % r.F. vor. Die Gefahr von Schimmelpilzbefall ist ab 70 % r.F. gegeben. Allgemein lässt sich aus **Abbildung 3.7** schließen, dass Raumluftfeuchten über ca. 65 % r.F. zu vermeiden sind, da die Gefahr von Krankheitserregern wie Bakterien, Viren und Schimmelpilz mit zunehmender relativer Feuchte ansteigt.

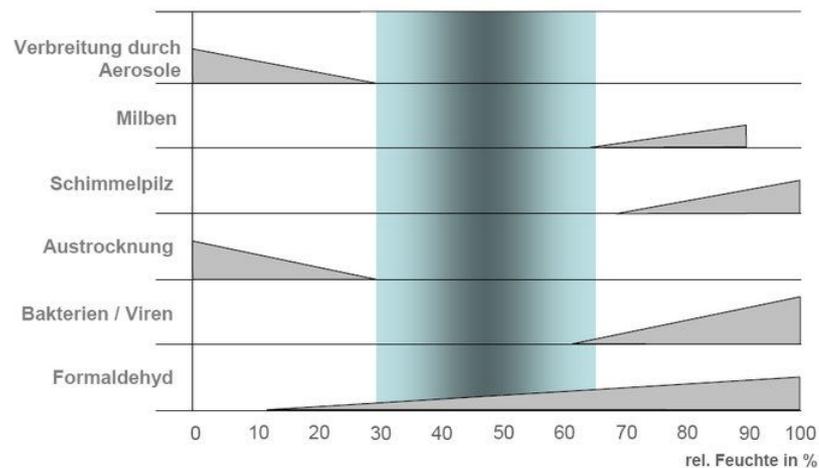


Abbildung 3.7 Einfluss der relativen Feuchte auf das Kleinklima in Gebäuden (aus [Holzer, 2007a, S.42], nach [Lazzarin, 2004])

Den Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die Behaglichkeit im Passivhaus (in der Heizsaison) stellt **Abbildung 3.8** dar. Demnach gilt der Bereich $0 < \text{Luftgeschwindigkeit} < 0,07 \text{ [m/s]}$ als unproblematisch. Dieser Bereich kann laut Feist [Feist, 2004] in Passivhäusern ohne Umstände erreicht werden.

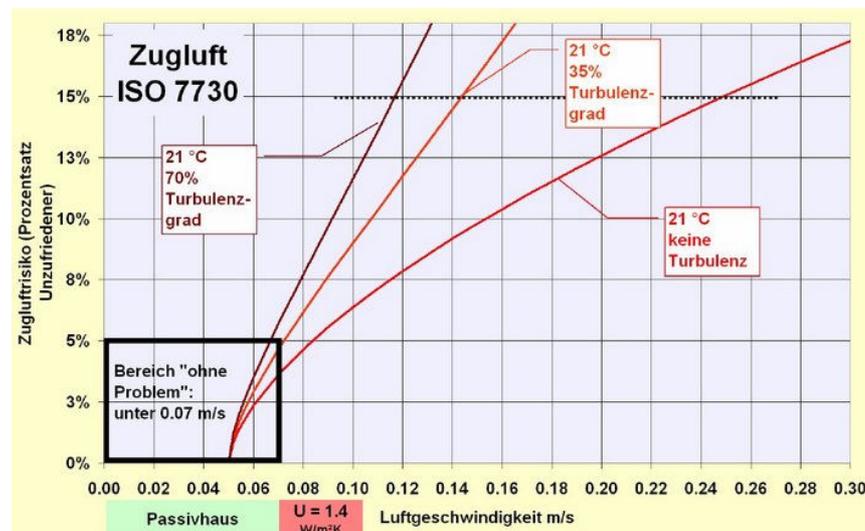


Abbildung 3.8 Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die Behaglichkeit (aus [Feist, 2004])

Nach ÖNORM EN ISO 7730 sind je nach Behaglichkeitsklasse A, B und C unterschiedliche Luftgeschwindigkeiten zulässig (**Abbildung 3.9**). Für die Behaglichkeitsklasse A, die ein Zugluftrisiko DR = 10 % fordert (DR ... Draft Risk = Zugluftrisiko), gelten demnach die strengsten Bedingungen mit den geringsten zulässigen Luftgeschwindigkeiten. Dabei bedeutet ein Zugluftrisiko DR = 10 %, dass max. 10 % der Raumnutzer unangenehme Zugluft empfinden werden.

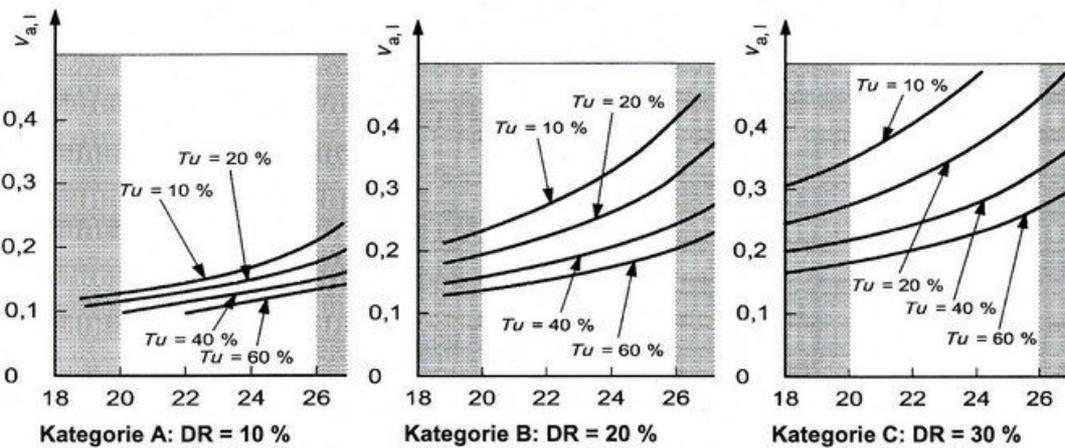


Abbildung 3.9 Zulässige mittlere Luftgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Lufttemperatur und Turbulenzgrad (aus [ÖNORM EN ISO 7730, 2006, S.19])

X-Achse = $t_{a,l}$ = lokale Temperatur [°C]; Y-Achse = $\bar{v}_{a,l}$ = lokale mittlere Luftgeschwindigkeit [m/s]; Tu = Intensität der Turbulenzen (Turbulenzgrad); DR ... Draft Risk = Zugluftrisiko

Die zulässige Luftgeschwindigkeit ändert sich in Abhängigkeit vom Turbulenzgrad und der Lufttemperatur. Sie darf 0,13 m/s (40 % Turbulenzgrad, 20 °C Lufttemperatur) bis 0,40 m/s (5 % Turbulenzgrad, 27 °C Lufttemperatur) nicht übersteigen. [Feist, 1997] Daraus ist ersichtlich (vgl. auch **Abbildung 3.9**), dass für den Sommerfall höhere Luftgeschwindigkeiten zulässig sind. Nach Feist [Feist, 1997] liegen „im Passivhaus gemessene Luftgeschwindigkeiten“ jedoch „an allen Aufenthaltsorten deutlich unter 0,1 m/s.“

Richter [Richter, 2003] führt für die Erfüllung der thermischen Behaglichkeit zusätzlich zu den bereits genannten Faktoren noch den vertikalen Lufttemperaturverlauf und die Strahlungsasymmetrie an. „Die Strahlungsasymmetrie (...) ist ein Maß für die Unterschiede der lokalen Verteilung der Strahlungswärmeabgabe. Diese kommen zustande, wenn im Raum stark von der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebung (...) abweichende einzelne Oberflächentemperaturen auftreten.“ [Richter, 2003]

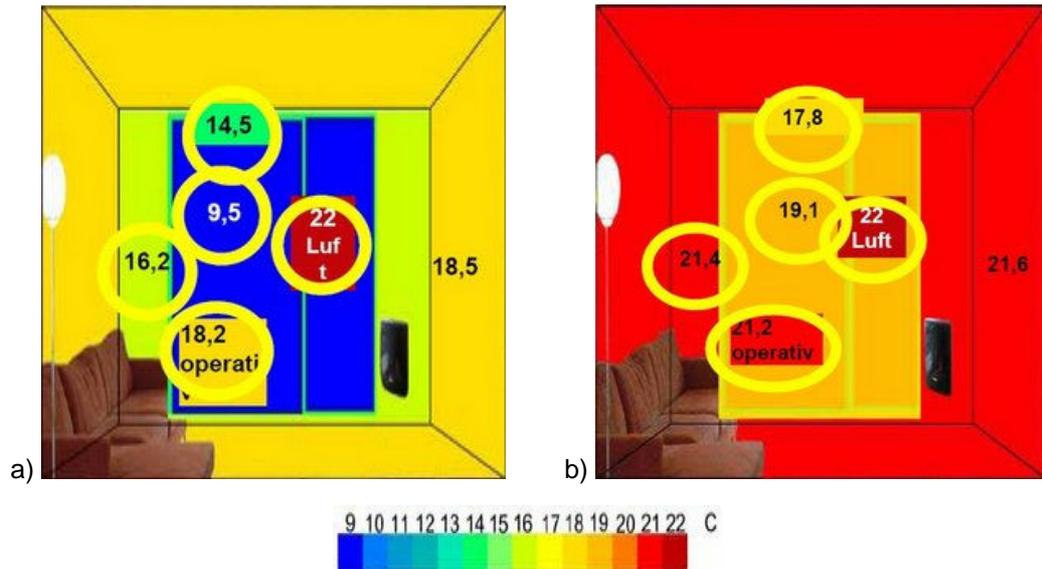


Abbildung 3.10 Strahlungsasymmetrie eines Wohnraumes im Altbau-Standard (Bild a) im Vergleich zum Passivhaus-Standard (Bild b) (aus [Holzer, 2007a, S.29], nach Krapmeier, H., Energieinstitut Vorarlberg)
Die Außenlufttemperatur beträgt -10°C , die Innenraumlufttemperatur 22°C

Die Strahlungsasymmetrie eines Wohnraumes im Altbau-Standard im Vergleich zum Passivhaus-Standard zeigt **Abbildung 3.10**. Die blaue Fläche im Bild a (Altbau) stellt eine Balkontür aus Glas dar. Diese Balkontür hat eine Oberflächentemperatur von $9,5^{\circ}\text{C}$, das ergibt eine Differenz zur Innenraumlufttemperatur (22°C) von $12,5^{\circ}\text{C}$. Die Balkontür im Bild b (orange Fläche, Passivhaus) ist dagegen wesentlich wärmer mit einer Oberflächentemperatur von $19,1^{\circ}\text{C}$, womit sich eine Differenz zur Innenraumlufttemperatur von $2,9^{\circ}\text{C}$ ergibt. Die operative Raumtemperatur liegt beim Altbau bei $18,2^{\circ}\text{C}$ (Differenz zur Innenraumlufttemperatur $3,8^{\circ}\text{C}$), beim Passivhaus bei $21,6^{\circ}\text{C}$ (Differenz zur Innenraumlufttemperatur $0,4^{\circ}\text{C}$). Diese „Temperaturvorteile“ erreicht das Passivhaus durch eine hocheffiziente Wärmedämmung verbunden mit modernsten Verglasungselementen. Durch dieses Beispiel wird offensichtlich, warum Richter [Richter, 2003] anmerkt, dass in der Heizsaison sowohl der vertikale Lufttemperaturverlauf als auch die Strahlungsasymmetrie für Gebäude mit hohem Wärmeschutzniveau (Passivhaus) nur mehr untergeordnete Bedeutung haben. Richter sieht hier die größere Herausforderung in der Zugluftvermeidung bei Lüftungsanlagen mit Außenluftansaugung.

3.2.3 Kritik an der FANGER-Gleichung/ISO 7730

Wie schon erwähnt, geht Fanger [Fanger, 1970] davon aus, dass bei bestmöglichen Temperaturbedingungen ($PMV = 0$) 5 % der Raumnutzer unzufrieden sind ($PPD = 5,0$). Neuere Untersuchungen des Fraunhofer Institutes für Bauphysik in Holzkirchen kommen jedoch zum Ergebnis, dass mindestens 15 % der Raumnutzer (bei $PMV = 0$) unzufrieden bleiben werden [Schwab & Mayer, 1990] [Mayer, 1993]. Nach McIntyre [McIntyre, 1982] muss außerdem zwischen Komfort und Akzeptanz unterschieden werden. Je nach kulturellen und klimatischen Einflüssen und der entsprechenden Kleidung können Temperaturen zwischen 16 °C und 32 °C als akzeptabel angesehen werden. Dies zeigt eine Auswertung von weltweit durchgeführten Studien zum Wärmekomfort von Humphreys (zitiert in [McIntyre, 1982]). Für Wyon und Sandberg [Wyon & Sandberg, 1993] sind noch weitaus höhere PPD-Werte bei optimalen Temperaturbedingungen ($PMV = 0$) möglich, sofern die Raumnutzer keine Möglichkeit der Temperaturregelung haben: *„Without individual micro-climate control, 30-40 % may be expected to experience local thermal discomfort under conditions which comply with ISO 7730 recommendations, rather than the 5 % which are predicted by the experiments on which these recommendations are based.“*

Gemäß Hofbauer [Hofbauer, 2009] werden folgende Punkte in der FANGER-Gleichung nicht berücksichtigt: a) die Auswirkungen der Sonneneinstrahlung (durch Glasflächen) auf die Körperoberfläche und b) die medizinisch festgestellten, physiologischen Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Bewohnern.

Da die Expertenmeinungen in Bezug auf die FANGER-Gleichung und die daraus resultierenden Größen PMV und PPD differieren, sind weitere Forschungen auf diesem Gebiet wünschenswert, insbesondere auch aufgrund der Tatsache, dass die FANGER-Gleichung die Grundlage für die Europäische Norm ISO 7730 und damit auch die länderspezifischen Normen (z.B. für Österreich die ÖNORM EN ISO 7730 oder für Deutschland die DIN EN ISO 7730) darstellt.

3.2.4 Sommerfall

Die Besonderheiten des sommerlichen Betriebes eines Passivhauses werden nachfolgend kurz erläutert. Nach Feist [Feist, 1997] sind, wie schon erwähnt, Luftgeschwindigkeiten bis 0,40 m/s (5 % Turbulenzgrad, 27 °C Lufttemperatur) zulässig. Richter [Richter, 2007] bemerkt, dass sowohl PMV und PPD als auch der vertikale Lufttemperaturverlauf im Vergleich zur Heizsaison eine stärkere Bedeutung für die thermische Behaglichkeit besitzen. Richter führt für den Sommerfall weitere Größen wie Wärmeschutzniveau, Wärmequellenausbildung oder Anordnung von Luftauslässen an, konzentriert sich aber auf folgende Faktoren:

- ★ Verschattung
- ★ Bauschwere
- ★ Fensterflächenanteil
- ★ Kühlsystem

Von diesen 4 Faktoren ist eine geeignete Verschattung mit Abstand am Wichtigsten. Nach Voss und Pfafferott [Voss & Pfafferott, 2007] ist ein außen angebrachter Sonnenschutz, der automatisch auf den Winkel der Sonneneinstrahlung reagiert, deutlich wirksamer als eine statische Verschattung (z.B. auskragender Balkon), die nur in Südrichtung ausgerichtet die Raumlufttemperatur verringert. Innen oder zwischen den Fensterscheiben angebrachte Sonnenschutzeinrichtungen sind weniger effizient [Voss & Pfafferott, 2007]. Treberspurg [Treberspurg, 1999] sieht für nach Süden orientierte Sonnenfenster eine horizontale statische Verschattung (Balkon, Dachüberstand etc.) - hierbei sollte der mit dem Fußpunkt der Verglasung eingeschlossene Winkel 30-35 ° betragen - oder außen angebrachte Jalousien bzw. Fensterläden als sehr günstig an. Ist eine geeignete Verschattungseinrichtung vorhanden, hat der Fensterflächenanteil - gefolgt von der Bauschwere - nur eine geringe Bedeutung [Hofbauer, 2009]. Aus wärmephysiologischer Sicht gilt: eine mittelschwere oder schwere Bauweise ist günstiger als eine leichte Bauweise, Flächenkühlsysteme sind günstiger als Luftkühlsysteme [Richter, 2007].

Thermische Behaglichkeit ist im Sommer im Passivhaus wie in jedem anderen Gebäude auch vom Nutzerverhalten abhängig. So sind an einem heißen Tag die Fenster und der Sonnenschutz tagsüber zu schließen und am Abend bzw. in der Nacht zu öffnen, um einen Luftaustausch mit der kühlen Außenluft zu ermöglichen. Die Luftwechselrate – das ist der Luftaustausch des Gebäudes pro Stunde – sollte 5-10 /h sein. Bei dieser Luftwechselrate wird die gesamte Luft im Gebäude in einer Stunde 5-10 mal ausgetauscht, womit die Raumtemperatur über Nacht im günstigsten Fall um 5 °C absinkt. Über gekippte Fenster lässt sich ein solcher Luftaustausch nicht bewerkstelligen. Ist das manuelle Lüften in der Nacht z.B. wegen Einbruchgefahr nicht möglich, empfiehlt sich eine automatische mechanische Nachlüftung. [Oehler, 2004]

3.2.5 Zusammenfassung

Thermische Behaglichkeit liegt vor, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind: (sofern nicht anders angegeben nach [Feist, 2004])

- ★ operative Temperatur (Winter):
 - Wohnraum 21-23 °C
 - Schlafräum >20 °C
 - Bad 24-26 °C (Erfahrungswert [Richter & Hartmann, 2007])

} Erfahrungswerte [Hofbauer, 2009]
- ★ Zugluftrisiko (hier gibt es in der Literatur verschiedene Angaben):
 - max. 0,08 m/s im Winter, max. 0,10 m/s im Sommer
 - 0,13 m/s (Turbulenzgrad 40 %, Raumtemperatur 20 °C) bis 0,40 m/s (Turbulenzgrad 5 %, Raumtemperatur 27 °C) [Feist, 1997]
 - abhängig von den Behaglichkeitsklassen A, B, und C nach ÖNORM EN ISO 7730 sind verschiedene Werte zwischen ca. 0,10 m/s und ca. 0,50 m/s tolerierbar (vgl. **Abbildung 3.9**, S.34)
- ★ Strahlungstemperatur-Asymmetrie Decke / Boden:
 - max. 5 K
- ★ Vertikaler Temperaturunterschied:
 - Kopf bis Fußknöchel *sitzende* Person max. 2 K
 - Kopf bis Fußknöchel *stehende* Person max. 3 K [Richter & Hartmann, 2007]
- ★ Differenz Wandoberflächentemperaturen und Raumlufttemperatur: [Richter & Hartmann, 2007]
 - max. 4 K
- ★ relative Luftfeuchtigkeit (hier gibt es in der Literatur verschiedene Angaben):
 - ca. 35-70 % r.F. bei 20 °C [Schmidt & Nicolaysen, 2007] (vgl. auch **Abbildung 3.6**, S.32)
 - ca. 30-65 % r.F. nach Schweizer Norm SIA 382/1, auch eine gelegentliche Unterschreitung an wenigen Tagen im Jahr ist akzeptabel, ein Mindestwert von 20 % r.F. soll jedoch nicht unterschritten werden
 - ca. 30-65 % r.F. [Recknagel et al., 1998]
- ★ absolute Luftfeuchtigkeit (relevant für den Sommerfall):
 - max. 11,5 g/kg

- ★ Zahl der Überhitzungsstunden (Stunden mit Raumlufttemperaturen über 25 °C bzw. 26 °C):
 - maximal 10 %
- ★ Temperatur der Zuluft:
 - minimal 16,5 °C bei Außenlufttemperatur von -10 °C

Eine Möglichkeit der Gesamtbewertung der thermischen Behaglichkeit stellt die sog. *summative thermische Behaglichkeit* dar, die die globalen (PMV und PPD) und die lokalen Behaglichkeitskriterien (Strahlungsasymmetrie, Zugluftrisiko und vertikaler Temperaturverlauf) zusammenfasst [Richter, 2007].

3.3 Stoffliche Raumlufthqualität

Die Raumlufthqualität trägt wesentlich zum Wohnkomfort bei. Durch Schadstoffe, die beim Rauchen, Kochen oder Reinigen entstehen, aber auch solche, die von Baumaterialien, Einrichtungsgegenständen oder technischen Geräten abgegeben werden, wird die Raumlufthqualität verschlechtert. [Rietschel, 1994] Im Passivhaus wird durch die Lüftungsanlage ständig frische Außenluft angesaugt und gelangt als Zuluft in den Wohnbereich. Die Abluft wird abgesaugt und die in ihr enthaltene Wärme rückgewonnen. Dadurch wird im Passivhaus eine hygienische Raumlufthqualität sichergestellt, bei der der Schadstoffgehalt laut Messungen deutlich tiefer liegt als bei vergleichbaren Gebäuden.

Max von Pettenkofer [Pettenkofer, 1858] schrieb im 19. Jhdt. in seiner Arbeit „Über den Luftwechsel in Wohngebäuden“, dass die primäre Ursache für „schlechte“ Luft nicht im Sauerstoffmangel liegt, sondern in einer erhöhten CO₂-Konzentration. Aus diesem Grund sollte eine CO₂-Konzentration von 1.000 ppm (parts per million) nicht überschritten werden. Dieser Wert, die sog. „Pettenkoferzahl“, wurde jahrelang für die Beurteilung der Raumlufthqualität verwendet, ohne jemals von Pettenkofer toxikologisch begründet worden zu sein. Heutzutage gilt eine CO₂-Konzentration von 1.500 ppm (entspricht 0,15 Vol.%) als „hygienischer Grenzwert“. Bei diesem Wert wird allerdings keine Geruchsfreiheit gewährleistet, was sich daran zeigt, dass sich 35 % aller Raumnutzer durch Gerüche belästigt fühlen. Erst ab CO₂-Konzentrationen von weniger als 1.000 ppm („Pettenkoferzahl“) wird die Raumlufthqualität vom Großteil der Raumnutzer als gut befunden. [Rohregger et al., 2004]

Als ideal gilt eine CO₂-Konzentration von 700 ppm [Gremel et al., 2004]. Die Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) beträgt 5.000 ppm (= 0,5 Vol.%) [Recknagel et al., 1995]. Außenluft hat im Normalfall eine CO₂-Konzentration von 385-390 ppm [Hofbauer, 2009]. Da die vom Menschen ausgeatmete Luft eine CO₂-Konzentration von etwa 40.000 ppm aufweist, erhöht sich die CO₂-Konzentration rasch, wenn die Raumlufth nicht ausgetauscht wird. Eine erhöhte CO₂-Konzentration kann zu Leistungseinbußen, Kopfschmerzen, Müdigkeit oder Konzentrationsstörungen führen. [Rohregger et al., 2004]

In der Arbeit „Behagliche Nachhaltigkeit. Untersuchungen zur Behaglichkeit und zum Gesundheitswert von Passivhäusern“ [Rohregger et al., 2004] wurden im Schlafzimmer eines Niedrigenergiehauses über Nacht die auftretenden CO₂-Konzentrationen gemessen. Dabei wurden drei unterschiedliche Fälle untersucht:

- ★ laufende Lüftungsanlage
- ★ geschlossene Fenster, abgeschaltete Lüftungsanlage
- ★ gekippte Fenster

Es zeigte sich, dass bei geschlossenen Fenstern schon nach 2 Stunden CO₂-Konzentrationen nahe 1.500 ppm („hygienischer Grenzwert“) auftreten. Daraus folgt, dass in der Nacht alle 2 Stunden die Fenster kurz geöffnet werden müssten, um hygienische Raumlufthqualitäten sicherzustellen. Dies ist natürlich in der Praxis nicht durchführbar. Bei laufender Lüftungsanlage sowie bei gekippten Fenstern konnten die CO₂-Konzentrationen die ganze Nacht unter 1.000 ppm gehalten werden, was dem Grenzwert entspricht, ab dem die Raumlufthqualität vom

Großteil der Raumnutzer als gut befunden wird. Die Variante mit den gekippten Fenstern hat im Vergleich mit der laufenden Lüftungsanlage aber den Nachteil, dass wertvolle Energie über die Fenster verloren geht und damit auch die Lufttemperatur rasch abnimmt, was wiederum die Behaglichkeit negativ beeinflusst.

Eine Vergleichsmöglichkeit zwischen Geruchsbelastungen, die durch menschliche „Ausdünstungen“ (je nach Tätigkeit) entstehen und solchen, die von Einrichtungsgegenständen bzw. –materialien ausgehen, bietet die „*Personen-Gleichwert –Verunreinigungslast*“ mit der Einheit olf (lat. olfactus = Geruch, Geruchssinn). Typische olf-Werte von Personen und Einrichtungsmaterialien werden in **Tabelle 3.6** bzw. **Tabelle 3.7** angeführt. [Greml et al., 2004]

1 olf entspricht der Luftverschmutzung durch eine Standardperson:
(nach [Recknagel et al., 2002])

- ★ 1,8 m² Hautoberfläche
- ★ 1 met sitzende Tätigkeit (met ... metabolische Rate = Zählmaßstab für den Bruttoenergieumsatz des Menschen, vgl. **Tabelle 3.3**, S.29)
- ★ 0,7 mal geduscht pro Tag
- ★ Täglich frische Wäsche

Tabelle 3.6 Geruchsbelastungen (olf-Werte) von Personen (aus [Greml et al., 2004, S.19], nach Dr. Kunesch); met ... metabolische Rate = Zählmaßstab für den Bruttoenergieumsatz des Menschen

1 Person sitzend (1 met)*	1 olf
1 Kind (12 Jahre)	2 olf
1 Aktive Person	5 olf
1 Raucher beim Rauchen	25 olf

Tabelle 3.7 Geruchsbelastungen (olf-Werte) von einzelnen Stoffen (aus [Greml et al., 2004, S.20], nach Dr. Kunesch)

Teppich (Wolle)	0,2 olf/m ²
Teppich (Kunstfaser)	0,4 olf/m ²
PVC/Linoleum	0,2 olf/m ²
Marmor	0,01 olf/m ²
Materialien in Büros	0,5 olf/m ²

Bei bekannten olf-Werten lässt sich die Luftqualität – Einheit decipol - im Gebäudeinneren nach Greml [Greml et al., 2004] folgendermaßen beschreiben: 1 decipol ist „*jene Luftverunreinigung, die entsteht, wenn 10 l/s reine Luft (36 m³/h) mit 1 olf verunreinigt wird.*“

Eine Auflistung einiger decipol-Werte findet sich in **Tabelle 3.8**.

Tabelle 3.8 Luftqualität in decipol (aus [Greml et al., 2004, S.20], nach Dr. Kunesch)

100	decipol	Abgase am Schornstein
10	decipol	Sick building
1	decipol	Gesundes Gebäude
0,1	decipol	Außenluft, Stadt
0,01	decipol	Außenluft, Gebirge

4 Beschreibung der Anlagenkonzepte – Passivhaus, Lüftung, Erdwärmetauscher – im Allgemeinen

4.1 Passivhaus Konzept

Nach Feist [Feist, 2001] ist ein Passivhaus „ein Gebäude mit derart geringem Heizwärmebedarf, dass eine separate Heizung überflüssig wird: Die Wärme kann über das ohnehin vorhandene Lüftungssystem zugeführt werden.“

Die folgende Definition nach Passivhaus Institut Darmstadt [Passivhaus Institut, 2008a] liefert zusätzlich eine Erklärung für den Begriff Passivhaus:

„Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in welchem die thermische Behaglichkeit (ISO 7730) allein durch Nachheizen oder Nachkühlen des Frischluftvolumenstroms, der für ausreichende Luftqualität (DIN 1946) erforderlich ist, gewährleistet werden kann - ohne dazu zusätzlich Umluft zu verwenden.“

Diese Definition ist rein funktional, enthält keinerlei Zahlenwerte und gilt für jedes Klima. Die Definition zeigt, dass es nicht um einen willkürlich gesetzten Standard geht, sondern um ein grundlegendes Konzept. Das Passivhaus wurde also nicht erfunden - das Passivhaus-Prinzip wurde vielmehr entdeckt. Einzig streiten könnte man über die Frage, ob der Name "Passivhaus" treffend für dieses Konzept ist. Nun - es gibt keinen besseren. Denn thermische Behaglichkeit wird so weit wie irgend möglich durch passive Maßnahmen (Wärmedämmung, Wärmerückgewinnung im Temperaturgefälle, passiv genutzte Sonnenenergie und innere Wärmequellen) gewährleistet.“

Oehler [Oehler, 2004] merkt dazu an, dass mit dem Begriff Passivhaus ein Baustandard und nicht etwa ein Architekturstil gemeint ist. Der Passivhaus-Standard setzt keine bestimmten Baumaterialien wie z.B. Beton oder Holz voraus und lässt dadurch Architekten und Planern alle Freiheiten. Vielmehr kann man sich das Passivhaus als ein energetisches Gesamtkonzept vorstellen, mit dem Ziel des ökologisch und ökonomisch nachhaltigen Bauens und Wohnens.

Aus diesem Grund sind die Kriterien für Passivhäuser gemäß Feist energetischer Natur: (sofern nicht anders angegeben nach [Feist, 2001])

- ★ Spezifischer Heizwärmebedarf – nach PHPP (Passivhaus-Projektierungs-Paket) - < 15 kWh/(m².a)
- ★ Maximale Heizlast 10 W/m²
- ★ Gesamter Primärenergiebedarf (Heizung, Warmwasser, Strom) < 120 kWh/(m².a)
- ★ Gesamter Endenergiebedarf (Heizung, Warmwasser, Strom) < 42 kWh/(m².a) (nach [Feist et al., 2001])

Vergleicht man die Endenergiekennwerte vom Gebäudebestand mit dem Passivhaus (**Abbildung 4.1**), so wird man das riesige Einsparpotential an Energie erkennen, das durch den Passivhaus-Standard möglich wird. Ein durchschnittliches Altbauhaus benötigt 7x so viel Endenergie wie ein Passivhaus, ein Gebäude nach der Wärmeschutz Verordnung 1984 mehr als 5x so viel Endenergie. In Zeiten immer teurer werdender begrenzter Rohstoffe wie z.B. fossiler Brennstoffe muss das Augenmerk auf eine in Bezug auf Energieeffizienz und -sparsamkeit bestmögliche Bau- und Wohnweise gerichtet werden. Die Passivhausbauweise stellt momentan den (erprobten) energietechnischen Standard dar, aber nicht den Letztstand der Entwicklung, die in Richtung Nullenergiehaus (Verluste und Gewinne gleich groß) bzw. energieerzeugendes Haus (Gewinne größer als Verluste) gehen könnte.

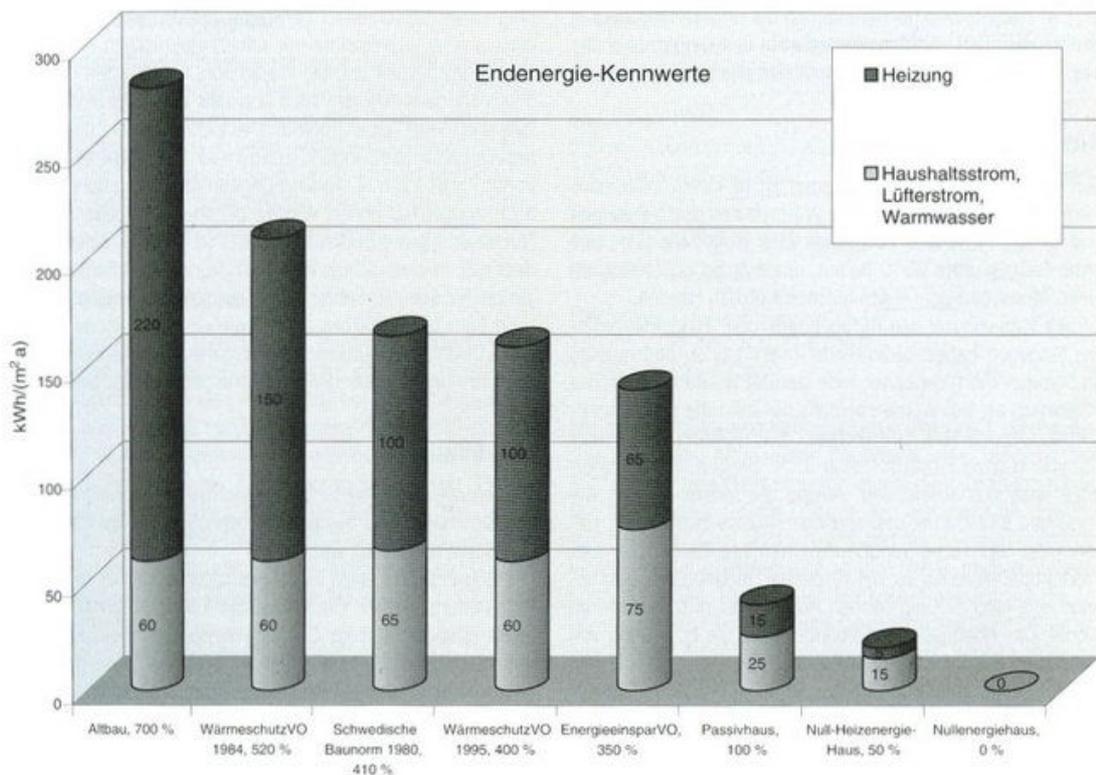


Abbildung 4.1 Endenergiekennwerte von Gebäuden im Vergleich (aus [Oehler, 2004])
Die Prozentangaben beziehen sich auf den Passivhaus-Standard (=100%)

Wie erreicht man nun den Passivhaus-Standard aus konstruktiver Sicht? Der erste und allerwichtigste Schritt ist die Minimierung der Verluste, im Speziellen der Wärmeverluste. Stellt man sich ein Gebäude als ein „Fass ohne Boden“ vor [Oehler, 2004], welches man mit Wasser füllen möchte, so wird es nicht zweckdienlich sein, immer mehr Wasser oben hineinzuschütten, wenn unten annähernd die gleiche Wassermenge wieder herausströmt. Sinnvoller ist es, sich mit der Ursache zu beschäftigen, warum das Wasser unten wieder herausströmt, nämlich dem Loch im Boden. Dichtet man dieses Loch so gut wie möglich ab und stopft auch etwaige andere Löcher z.B. in der Seitenwand des Fasses, braucht man oben nur mehr tröpfchenweise Wasser nachfüllen um die Wassermenge im Fass nahezu konstant zu halten. Das Wasser stellt in diesem Beispiel die Energie, die Wärme im Haus dar, das Fass die Gebäudehülle. Wenn die Gebäudehülle sehr gut wärmegeämmt und dicht ist, kühlt das Gebäude im Winter wesentlich weniger und langsamer aus und braucht demnach auch weniger zugeführte Heizenergie.

Dieses Prinzip, nämlich die Wärmeverluste zu verringern (bei gleichzeitiger Erhöhung der solaren Gewinne), macht man sich beim Passivhaus zunutze, ergänzt durch einige andere technische Optimierungen, die nachfolgend als *Eckpfeiler der Passivhausbauweise* angeführt werden (vgl. **Abbildung 4.2**):

- ★ *Sehr gute Wärmedämmung*: die Mindestdicke beträgt 25 cm (Wärmeleitgruppe 040) an jeder Stelle der Gebäudehülle mit Ausnahme von Fenstern und Verglasungselementen, damit ergibt sich ein U-Wert von $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Anzustreben ist ein U-Wert von $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (entspricht Dämmstoffstärke 40 cm, Wärmeleitgruppe 040). [Feist, 2001]

U-Wert ... Wärmedurchgangskoeffizient in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

- ★ *Sorgfältig ausgeführte wärmebrückenfreie Anschlüsse*: es gilt (vereinfachtes Kriterium) $\psi \leq 0,01 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. ψ ... linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient. Regeln zur Verringerung von Wärmebrückeneffekten: (nach [Feist, 1999])
 - *Vermeidungsregel*: wo möglich, die dämmende Hülle nicht durchbrechen.
 - *Durchstoßungsregel*: Wenn eine unterbrochene Dämmschicht unvermeidbar ist, so sollte der Wärmedurchgangswiderstand in der Dämmebene möglichst hoch sein. Also z.B. Verwendung von Porenbeton oder noch besser Holz statt Ziegel oder Stahlbeton.
 - *Anschlussregel*: Dämmlagen an Bauteilanschlüssen lückenlos ineinander überführen, Anschluss in der vollen Fläche.
 - *Geometrieregeln*: Kanten mit möglichst stumpfen Winkeln wählen.

Relevant für Wärmebrücken sind lineare Durchdringungen der thermischen Gebäudehülle, daher sollen diese Durchdringungen auf statisch notwendige punktuelle Durchdringungen reduziert werden [Feist, 1999].

- ★ *Möglichst luftdichte Gebäudehülle*: n_{50} -Werte $< 0,6 \text{ h}^{-1}$ (in der Praxis üblich: $0,2 - 0,6 \text{ h}^{-1}$). Durch eine unzureichend luftdichte Gebäudehülle gelangt warme Innenluft nach außen und kühlt sich ab. Infolgedessen kondensiert der in der Luft enthaltene Wasserdampf, es kommt zu einer Durchfeuchtung und damit zu Bauschäden (z.B. Schimmelpilz). Weiters muss klar zwischen Luftdichtheit und Wärmedämmung unterschieden werden. Übliche Dämmstoffe wie Mineralwolle oder Zelloseschüttung sind nicht luftdicht, im Gegensatz dazu sind luftdichte Baustoffe nicht zwangsweise wärmedämmend (z.B. Aluminiumblech). [Passivhaus Institut, 2008c]

n_{50} -Wert ... Luftwechselrate bei einem Differenzdruck von 50 Pa zwischen Innen und Außen. Dieser Differenzdruck wird mithilfe eines Ventilators, der in die Tür eingebaut wird, erzeugt und gehalten (engl. „Blower-Door“, Gebläsetür). Der vom Ventilator geförderte Luftvolumenstrom ist gleich dem Volumenstrom, der über Undichtigkeiten (z.B. Ritzen) verloren geht. Der n_{50} -Wert ist demnach ein Maß für die Luftdichtheit eines Gebäudes. [Farion, 2002]

- ★ *Winddichtheit*: muss gewährleistet sein, damit keine Außenluft in die Wärmedämmung oder in Hohlräume gelangt, wodurch die Wärmedämmeigenschaften der einzelnen Bauteile verringert würden [Schöberl et al., 2004].

- ★ *Spezielle Passivhausfenster bzw. –verglasungselemente:* Stand der Technik sind 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen. Mittels hauchdünn aufgebracht Metallschichten low-e (low-emissivity = niedrigemittierend) wird die Wärmestrahlung zwischen den Scheiben beträchtlich verringert. Diese low-e Schichten wirken wie ein Spiegel, sie reflektieren aber nur infrarotes Licht und lassen sichtbares Licht durch. Die Beschichtung ist für das menschliche Auge nicht sichtbar. Eine weitere Verbesserung bringt der Einsatz von Edelgasen (z.B. Argon) als Füllgase für die Scheibenzwischenräume, da Edelgase eine schlechtere Wärmeleitfähigkeit besitzen als Luft. Die Fensterrahmen sind bestmöglich wärmegeämmt. [Passivhaus Institut, 2008d] [Kaufmann et al., 2002] Für Passivhausfenster gelten nachfolgende Kriterien: (sofern nicht anders angegeben nach [Holzer, 2007b], Nomenklatur gemäß ÖNORM EN ISO 10077)

- $U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $U_{w,\text{eingeb}} \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ mit Verglasung $U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $U_g - 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) * g < 0$
- $g \geq 50 \%$ [Feist, 1998a]

Der U-Wert soll möglichst klein werden um die Wärmeverluste zu minimieren. Im Gegenzug soll der g-Wert möglichst groß werden um die solaren Gewinne zu maximieren. Das optimale Passivhausfenster ist demnach ein guter Kompromiss zwischen beiden Größen. [Passivhaus Institut, 2008e]

U-Wert ... Wärmedurchgangskoeffizient in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; g-Wert ...

Gesamtenergiedurchlassgrad in %; U_w ... U-Wert Fenster (window); U_f ... U-Wert Rahmen (frame); U_g ... U-Wert Glas (glas); $U_{w,\text{eingeb}}$... U-Wert Fenster (window) unter Berücksichtigung der Wärmebrückenverluste aufgrund der Einbausituation

- ★ *Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung:* um Anforderungen an Hygiene und Behaglichkeit zu erfüllen. Bei automatischen Be- und Entlüftungsanlagen gelangt frische Außenluft als Zuluft in das Gebäude, die verbrauchte Abluft wird abgesaugt (Küche, Bad, WC). Mittels Wärmetauscher wird die in der Abluft enthaltene Wärme rückgewonnen. Nach Feist [Feist, 2001] sind Luftvolumenströme von ca. 25-30 m^3 pro Stunde und Person sowie Wärmerückgewinnungsgrade $> 75 \%$ erforderlich. Eine ausschließliche Fensterlüftung oder Außenluftdurchlässe sind bei Passivhäusern nicht geeignet, da die Wärmeverluste viel zu hoch wären.

Wärmerückgewinnungsgrad [%] ... Energie, die tatsächlich aus dem Abluftstrom entzogen wird (je höher desto besser) [Energiesparhaus, 2008c]

- ★ *Erdwärmetauscher:* um die Zuluft im Winter vorzuwärmen und im Sommer abzukühlen. Die Temperatur im Erdreich ist im Winter wärmer und im Sommer kühler als die Lufttemperatur. Aus diesem Grund ist es möglich, die sog. Erdwärme energetisch für Heizung und Kühlung von Gebäuden zu nutzen. Diese Aufgabe bewerkstelligen Erdwärmetauscher, die aus in der Erde verlegten luft- bzw. soledurchströmten Rohren (Sole = Wasser-Frostschutzmittel-Gemisch) bestehen, die die Erdwärme aufnehmen. Bei Nutzung der Erdwärme für Raumheizung und Warmwasseraufbereitung wird diese Wärme zu einer Wärmepumpe weitergeleitet, die die Temperatur auf das notwendige Niveau anhebt. [StMUGV, 2005]

- ★ *Solarenergienutzung und sommerlicher Wärmeschutz:* die Ausrichtung der Fassade nach Süden ist der einfachste Weg zur Nutzung der Sonnenenergie. Genauso wichtig sind aber auch entsprechende Verschattungseinrichtungen, um eine sommerliche Überhitzung des Passivhauses zu vermeiden (vgl. Kap. 3.2.4, S.37). [Oehler, 2004] Neben den Fenstern bzw. Verglasungselementen kann die Sonnenenergie mittels Solarkollektoren und Photovoltaikanlagen „eingefangen“ werden. Solarkollektoren wandeln die Sonnenenergie in Wärme um und dienen der Warmwasseraufbereitung, während Photovoltaikanlagen elektrischen Strom erzeugen. [Megasol, 2008]

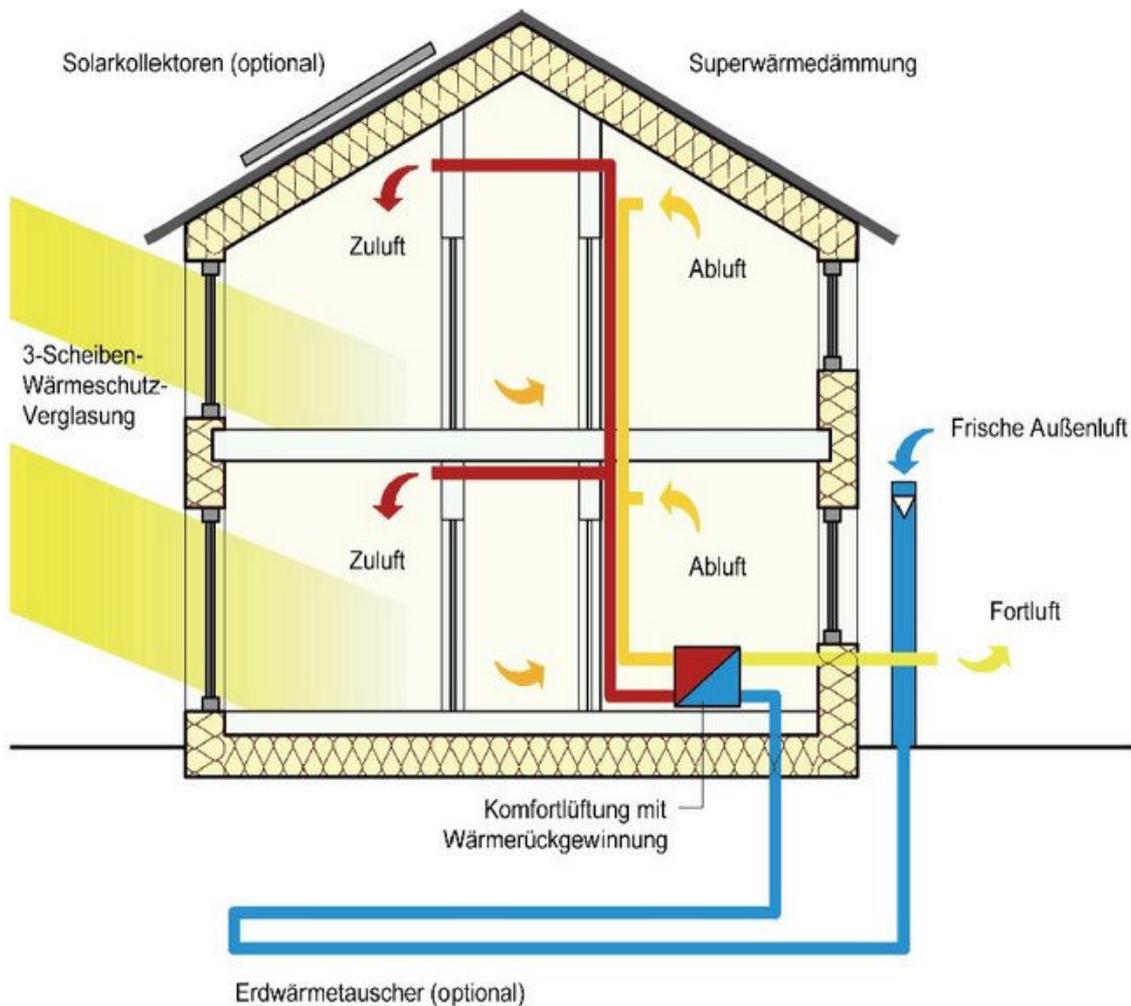


Abbildung 4.2 Das Passivhaus, schematische Darstellung (aus [Passivhaus Institut, 2008b])

Als Hilfsmittel für die Planung von Passivhäusern dient z.B. das vom Passivhaus Institut (PHI) Darmstadt entwickelte Passivhaus Projektierungspaket (PHPP). Das PHPP besteht aus einer Microsoft Excel Arbeitsmappe mit Handbuch. Das Programm beinhaltet Tools für die Berechnung von Energiebilanzen, die Auslegung von Heizung und Warmwasseraufbereitung, die Auslegung der Heizlast, eine Voraussage für den sommerlichen Komfort uvm.

4.2 Lüftungsanlagen Konzept

4.2.1 Allgemeines

“Gesundheit und Behaglichkeit für die Bewohner sind die wichtigsten Ziele jeder Planung. Insbesondere eine ausgezeichnete Luftqualität ist dafür unverzichtbar.“
[Passivhausinstitut, 2008f]

Der Hauptgrund, weshalb Lüftungsanlagen in Gebäuden eingesetzt werden, ist hygienischer Natur: Gute Innenraum-Luftqualität lässt sich am besten durch permanente Frischluftzufuhr realisieren. Diese Aufgabe übernehmen Lüftungsanlagen. Um eine hygienisch noch ausreichende Luftwechselrate – das ist der Luftaustausch des Gebäudes pro Stunde – von 0,33 /h ohne Lüftungsanlage zu erzielen, müssen die Fenster mindestens alle 3 Stunden für 5-10 Minuten ganz geöffnet werden (Stoßlüften). In der Praxis lüften die Menschen weitaus weniger, speziell in der Nacht ist diese Anforderung undurchführbar. [Passivhausinstitut, 2008g] Mit dauerhaft gekippten Fenstern kann die CO₂-Konzentration gemäß Rohregger [Rohregger et al., 2004] zwar unter 1.000 ppm gehalten werden (was dem Grenzwert entspricht, ab dem die Raumluftqualität vom Großteil der Raumnutzer als gut befunden wird), die Energieverschwendung ist jedoch beträchtlich.

In Abhängigkeit der Luftwechselrate stellt sich im Gebäude die relative Luftfeuchtigkeit ein. In der Heizsaison kommt es in Gebäuden mit Lüftungsanlagen durch das Ansaugen der trockenen Außenluft, die dann als (erwärmte) Frischluft in den Innenraum gelangt, oftmals zu sehr niedrigen relativen Raumluftfeuchten, die durchaus auch unter die Behaglichkeitsgrenze von 30 % (vgl. Kap.3.2.2, S.32) fallen können. Das Problem der niedrigen relativen Raumluftfeuchte in der Heizsaison haben aber auch konventionelle Gebäude ohne Lüftungsanlage. Lösungen dafür bieten z.B. Lüftungsanlagen mit Feuchterückgewinnung an (die aber derzeit noch sehr selten sind) bzw. der Einsatz von besonders feuchtigkeitsspendenden Pflanzen (vgl. Kap.9.2, S.146).

Lüftungsanlagen bieten folgende Vorteile: (sofern nicht anders angegeben nach [Energiesparhaus, 2008a])

- ★ *stets hygienische Luftverhältnisse*: Schadstoffe, Feuchtigkeit und Gase, z.B. CO₂, werden permanent abgeführt.
- ★ *saubere Zuluft in allen Räumen*: durch den Filter bei der Außenluftansaugung werden Feinstaub sowie Pollen und Sporen zurückgehalten. Weiters wird durch die Abluftabsaugung der sich im Gebäude befindende Staub permanent abgeführt. Daraus ergeben sich verbesserte Verhältnisse für Allergiker. [Gremel et al., 2008a]
- ★ *weniger Bauschäden*: durch die gesicherte Abfuhr der Luftfeuchtigkeit (Kochen, Duschen etc.) wird Schimmelpilz verhindert. [Gremel et al., 2008a]
- ★ *weniger Energieverbrauch*: durch die permanente Frischluftzufuhr könnten die Fenster theoretisch immer zu bleiben. In der Praxis werden die Fenster hin und wieder geöffnet, was aber im Vergleich zur ausschließlichen Fensterlüftung immer noch zu einer deutlichen Reduktion der Wärmeverluste (über die Fenster) führt. Weiters wird mithilfe von

Wärmetauschern die Wärme der Abluft entnommen und der Zuluft zugeführt (Wärmerückgewinnung).

- ★ *Komfortsteigerung*: keine Belästigung durch Gerüche, die im Inneren des Gebäudes entstehen (z.B. durch Kochen), keine störenden Insekten, keine Zuglufterscheinungen etc.
- ★ *sehr leise (nicht hörbare) Betriebsweise*: durch speziell entwickelte Schalldämpfer und leise Geräte wird die Lüftungsanlage von den Raumnutzern akustisch nicht wahrgenommen. [Gremel et al., 2008b]
- ★ *weniger Lärmbelästigung von außen*: da die Fenster geschlossen bleiben können, dringt weitaus weniger Lärm von außen in das Gebäude. Dies ist speziell an viel befahrenen Straßen oder in der Nacht vorteilhaft.

Trotz vieler Vorteile haben auch Lüftungsanlagen ihre Grenzen, auf die im Folgenden näher eingegangen wird: (nach [Gremel et al., 2008c])

- ★ *kein Ersatz für eine Klimaanlage*: eine Lüftungsanlage kann weder die Luft aktiv kühlen noch die Luftfeuchtigkeit regeln. Dies ist die Aufgabe einer Klimaanlage, die prinzipiell lauter im Betrieb ist und mehr Strom verbraucht. Zwar ist es bei einer Lüftungsanlage möglich, die Zuluft mittels Erdwärmetauscher passiv etwas vorzukühlen, diese Kühlwirkung kann man jedoch bei Weitem nicht mit der einer Klimaanlage vergleichen.
- ★ *Luftheizung nur bei Passivhäusern möglich*: eine ausschließliche Beheizung über die Zuluft ist nur bei Gebäuden, die dem Passivhaus Standard (siehe Kap. 4.1) entsprechen, möglich. Bei allen anderen Gebäuden sind die Wärmeverluste so hoch, dass ohne ein zusätzliches konventionelles Heizungssystem die Lufttemperatur nicht auf ein behagliches Niveau angehoben werden kann.
- ★ *keine Beseitigung der Außengerüche*: Gerüche von außen können handelsübliche Filter (angebracht an der Außenluftansaugung) passieren und ins Gebäudeinnere gelangen. Eine Ausnahme stellen sog. Aktivkohlefilter dar.
- ★ *vollständige Abfuhr von Zigarettenrauch nicht möglich*: wird im Gebäude bei geschlossenen Fenstern geraucht, kann die Lüftungsanlage den Rauch (und damit den Geruch) nicht vollständig abführen. Dies liegt daran, dass die von der Lüftungsanlage bereitgestellten Luftmengen und -geschwindigkeiten für diesen Zweck zu klein sind.
- ★ *kein Ersatz für sorgsamen Umgang mit Baustoffen etc.*: eine Lüftungsanlage führt zwar permanent Schadstoffe ab, ist aber nicht dafür geeignet, sich der Verantwortung eines sorgsamen Umgangs mit möglichst schadstoffarmen Baustoffen und -materialien, Einrichtungsgegenständen, Reinigungsmitteln etc. zu entziehen.

Als weiterer Nachteil ist der Stromverbrauch für die notwendigen Ventilatoren zu sehen.

Es wird zwischen 3 grundlegenden Lüftungsarten unterschieden: (nach [GBT, 2008])

- ★ *Natürliche Lüftung*: darunter versteht man Fensterlüftung, Fugenlüftung, Spaltlüftung und Schachtlüftung. Bei der Fugenlüftung strömt Luft durch die Undichtheiten der Gebäudehülle. Nach Feist [Feist, 1998b] schwankt aber der Luftwechsel je nach Witterung beträchtlich, was starke Zuglufterscheinungen und damit verbundene erhebliche Wärmeverluste hervorrufen kann. Bei der Spaltlüftung gelangt Frischluft über Klappen, Ventile etc. durch die Außenhülle des Gebäudes ins Gebäudeinnere. Auch hier ist der Luftaustausch hauptsächlich vom Winddruck und der Außenlufttemperatur abhängig und kann nur unzureichend über einstellbare Öffnungen geregelt werden. Die Schachtlüftung

macht sich das physikalische Prinzip zunutze, dass warme Luft aufsteigt. Da für diese Art der Lüftung große Schachthöhen erforderlich sind, wird sie hauptsächlich in mehrgeschossigen Gebäuden eingesetzt. Zusammenfassend kann man sagen, dass alle Arten der natürlichen Luft stark von den (nicht beeinflussbaren) Witterungsverhältnissen und vom Nutzerverhalten abhängig sind und vor allem aus energetischer Sicht als nicht mehr zeitgemäß einzustufen sind. [Gremel et al., 2004]

- ★ *Mechanische Lüftung*: dies bewerkstelligt eine Lüftungsanlage.
- ★ *Lüftungstechnische Anlage*: dies ist die Bezeichnung für eine Klimaanlage.

Zusätzlich findet sich in der Literatur folgende Unterteilung der mechanischen Lüftung: (nach [Pfafferott, 2003])

- ★ *Mechanische Entlüftung*: die Abluft wird kontrolliert abgesaugt, die Zuluft strömt von außen über die Fenster oder Spaltöffnungen in der Außenwand (Nachströmöffnungen) nach.
- ★ *Mechanische Belüftung*: die Zuluft wird kontrolliert angesaugt, die Abluft strömt nach außen.
- ★ *Mechanische Be- und Entlüftung*: sowohl die Zuluft als auch die Abluft werden kontrolliert angesaugt bzw. abgesaugt. Dadurch kann die notwendige Luftmenge im Inneren des Gebäudes gesteuert werden.

Die mechanische Entlüftung und die mechanische Be- und Entlüftung gibt es in 2 Varianten: *mit* und *ohne* Wärmerückgewinnung der Abluft.

Die bisherigen Ausführungen geben einen Überblick über Lüftungsarten und Lüftungsanlagen von Gebäuden im Allgemeinen. Der Passivhausstandard stellt an Lüftungsanlagen noch höhere Anforderungen, die nachfolgend zusammengefasst werden: (sofern nicht anders angegeben nach [Gremel et al., 2008d])

- ★ *Mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung der Abluft*: mit reinen Be- oder Entlüftungsanlagen lässt sich der Passivhausstandard nicht erreichen, da die Wärmeverluste zu hoch sind. Demzufolge ist eine mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit integrierter Wärmerückgewinnung der Abluft (Wärmetauscher) zwecks Minimierung der benötigten Energie erforderlich. [Energiesparhaus, 2008b]
- ★ *Spezielle Lüftungsgeräte*: (nach [Energiesparhaus, 2008b])
 - Zulufttemperatur > 16 °C bei -10 °C Außenlufttemperatur
 - Wärmerückgewinnungsgrad > 75 %
 - Elektrische Leistungsaufnahme < 0,45 Wh/m³
 - Schallpegel < 25 dB(A)

Wärmerückgewinnungsgrad [%] ... Energie, die tatsächlich aus dem Abluftstrom entzogen wird (je höher desto besser) [Energiesparhaus, 2008c]

★ *Angepasste Luftmenge*: die Zuluftmenge ist an den hygienischen Bedarf angepasst. Greml [Greml et al., 2004] schlägt folgende Vorgangsweise bei der Berechnung der benötigten Luftvolumenströme vor:

- Bestimmung nach der Mindest-Zuluftmenge je Person (CO₂ ist der bestimmende Parameter): der Mindest-Zuluftvolumenstrom beträgt 36 m³/h und Person gemäß ÖNORM H 6038.
- Bestimmung nach dem Mindest-Abluftvolumenstrom (der Feuchtegehalt der Luft ist der bestimmende Parameter)
- Bestimmung nach dem stündlichen Mindestluftwechsel des Raumes bzw. der Wohnung (das Raumvolumen ist der bestimmende Parameter): berücksichtigt die Geruchsabgabe von Einrichtungsgegenständen und Materialien.

Der größte Luftvolumenstrom aus den drei genannten Methoden ist für eine gut funktionierende Lüftungsanlage sicherzustellen.

★ *Abstimmung mit sonstiger Haustechnik*: die Anlage ist mit anderen haustechnischen Einrichtungen (z.B. Heizung, Öfen, Dunstabzug etc.) abgestimmt.

★ *Einfache Bedienung und Instandhaltung*: der Nutzer kann die Lüftungsanlage einfach bedienen und bei Bedarf kleine Instandhaltungsarbeiten selber durchführen, z.B. die Filter austauschen.

Lüftungsanlagen, die diese hohen Anforderungen erfüllen, werden auch Komfortlüftungen genannt. Im Rahmen des Projekts „Ausbildungsoffensive Komfortlüftung“ werden 55 Qualitätskriterien für Komfortlüftungen angeführt, die über den Mindeststandard lt. ÖNORM H 6038 hinausgehen. Dabei ist zu beachten, dass die Kriterien für Einfamilienhäuser bzw. Reihenhäuser ausgelegt sind und daher nicht oder nur bedingt Anwendung bei zentralen Anlagen in mehrgeschossigen Wohngebäuden finden dürfen. [Greml et al., 2007]

4.2.2 Aufbau und Beschreibung einer Komfortlüftungsanlage und deren Komponenten im Detail

Bei Passivhäusern ist es wie schon erwähnt möglich, das gesamte Gebäude ausschließlich über die Zuluft zu beheizen. Man unterscheidet daher Lüftungsanlagen *mit* Luftheizung von solchen *ohne* Luftheizung. [Holzer, 2007c] Passivhäuser mit Lüftungsanlagen *ohne* Luftheizung verwenden konventionelle Heizsysteme, wie z.B. das Passivhaus-Studentenheim Molkereistraße. Hier kommen Radiatoren über den Zimmertüren zum Einsatz. Mit Hilfe von Thermostaten kann die Raumtemperatur vom Raumnutzer individuell geregelt werden. Diese Regelungsmöglichkeit ist bei einer Lüftungsanlage *mit* Luftheizung nicht gegeben, da die Zuluft (am Beispiel Einfamilienhaus) zentral mittels Nachheizregister erwärmt wird und dann im gesamten Gebäude verteilt wird. Hier ist anzumerken, dass die Lufttemperatur am Nachheizregister nach Feist [Feist, 2001] immer unter 50 °C bleiben muss, damit es zu keiner Staubverschmelzung kommt. Im Rahmen der „55 Qualitätskriterien für Komfortlüftungen“ [Gremel et al., 2007] darf die Oberflächentemperatur eines elektrischen Heizregisters gemäß Qualitätskriterium 36c nicht über 55 °C ansteigen.

Sieht man sich den Aufbau einer modernen Komfortlüftungsanlage eines Passivhauses an, so besteht diese grundsätzlich aus einem Komfortlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung, dem Rohrnetz mit Luftauslässen (Zuluft) und Luftabsaugvorrichtungen (Abluft), einer Außenluftansaugung und einem Fortluftauslass, einer Frostschutzeinrichtung (z.B. elektrisches Heizregister) und einem optionalen Erdwärmetauscher (vgl. **Abbildung 4.2**, S.46, und **Abbildung 4.3**). Die Luftbewegung erfolgt über geräuscharme Ventilatoren. Schutz gegen Staub, Insekten etc. bieten spezielle Filter. Nicht vergessen werden darf die notwendige Regelungs- und Steuerungstechnik, um die Funktionsfähigkeit des Lüftungssystems zu gewährleisten.

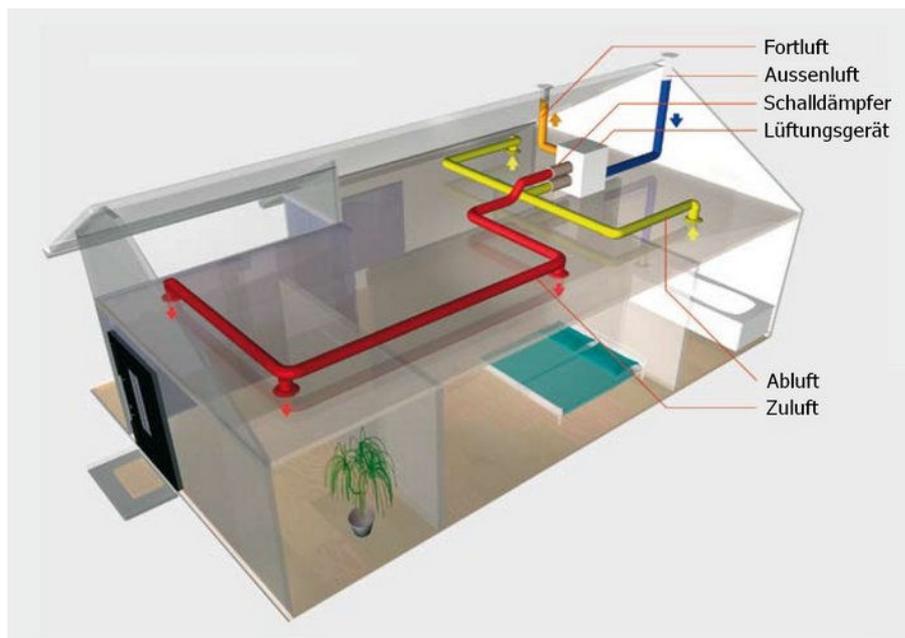


Abbildung 4.3 Komfortlüftungsanlage im Einfamilienhaus (Ausführung: mechanische Be- und Entlüftungsanlage) (aus [Genvex, 2008a, S.4])

Gebäude mit Komfortlüftungsanlagen werden in 3 Bereiche untergliedert: Zuluft-, Überström- und Abluftbereiche. Die Zuluft wird mittels Ventilatoren in die Wohn- und Schlafräume (= *Zuluftbereich*) eingeblasen. Von dort gelangt sie über sog. Überströmöffnungen (z.B. Türschlitze) in das Vorzimmer (= *Überströmbereich*) und weiter in die Küche und den Sanitärbereich. Aus Küche, Bad und WC (= *Abluftbereich*) wird die verbrauchte Abluft mittels Ventilatoren abgesaugt.

Das Komfortlüftungsgerät besteht vereinfacht ausgedrückt aus einem Wärmetauscher mit Filtern, 4 Luftrohren (Außenluft, Zuluft, Abluft, Fortluft), Ventilatoren, Heizregistern und einem Kondensatablauf (vgl. **Abbildung 4.4**). Jeweils 2 Luftrohre, nämlich Außenluft und Zuluft bzw. Abluft und Fortluft, sind zu einem Rohrstrang zusammengefasst. Das ergibt 2 Rohrstränge, die beide den Wärmetauscher durchströmen. Es kommt dabei aber zu keiner Durchmischung der Luftvolumenströme, um eine hygienische Innenraumlufthqualität zu gewährleisten. Die Hauptaufgabe des Wärmetauschers ist die Übertragung der in der Abluft enthaltenen Wärme auf die Zuluft (ohne diese Wärmerückgewinnung wäre die Erreichung des Passivhausstandards nicht möglich, siehe Kap. 4.2.1). Dies geschieht folgendermaßen: die kalte Außenluft durchströmt gleichzeitig mit der warmen Abluft den Wärmetauscher (die Luftbewegung erfolgt durch im Komfortlüftungsgerät eingebaute Ventilatoren). Bei diesem Vorgang gibt die Abluft Wärme ab, d.h. ihre Temperatur sinkt und sie wird als Fortluft aus dem Gebäude ausgeblasen. Die nun im Wärmetauscher „gespeicherte“ Abluftwärme wird simultan auf die kalte Außenluft übertragen. Diese erwärmt sich und strömt als Zuluft in den Wohnbereich. Mittels Heizregister wird die Zulufttemperatur bei Bedarf auf Behaglichkeitsniveau angehoben.

Sofern nicht schon eine Frostschutzmaßnahme getroffen wurde (z.B. elektrisches Heizregister bei der Außenluftansaugung), kann auch direkt im Komfortlüftungsgerät mittels Drosselung des Zuluftvolumenstroms für Frostsicherheit gesorgt werden [Zehnder, 2008].

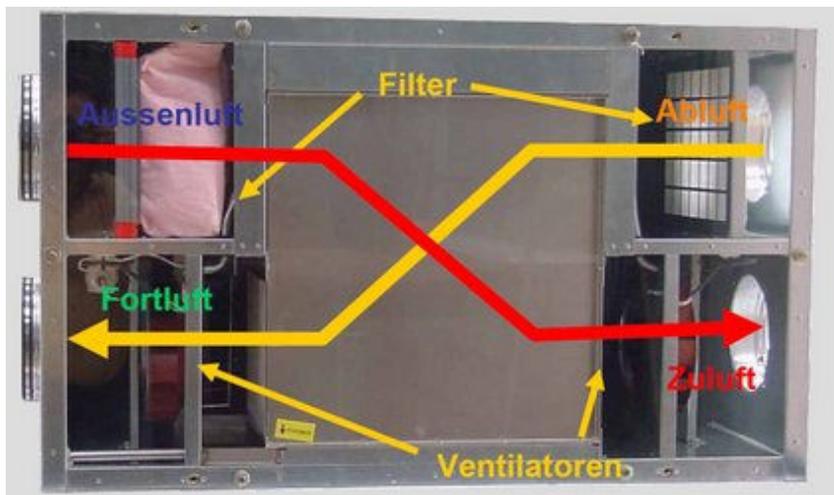


Abbildung 4.4 Luftströme im Komfortlüftungsgerät (aus [Holzer, 2007d, S.4], nach Heinrich Huber HTA Luzern)

Das Herzstück eines Komfortlüftungsgeräts stellt der *Wärmetauscher* dar. Prinzipiell gibt es 3 Arten von Wärmetauschern, die teilweise miteinander kombiniert werden (vgl. **Abbildung 4.5**): (nach [Energiesparhaus, 2008c])

- ★ *Kreuzstrom-Wärmetauscher*: die zwei Luftströme (Außenluft - Zuluft, Abluft - Fortluft) werden (im Normalfall durch ein Plattenpaket) über Kreuz geführt. Daher kommt auch die Bezeichnung Plattenwärmetauscher (den Plattenwärmetauscher gibt es als Kreuzstrom-Wärmetauscher und als Gegenstrom-Wärmetauscher). Der Wärmerückgewinnungsgrad beträgt gemäß Greml [Greml et al., 2004] typischerweise ca. 65 %.
- ★ *Gegenstrom-Wärmetauscher*: die zwei Luftströme werden parallel geführt bei entgegengesetzter Strömungsrichtung. Der Wärmerückgewinnungsgrad beträgt gemäß Greml [Greml et al., 2004] typischerweise ca. 85 %.
- ★ *Rotations-Wärmetauscher*: die zwei Luftströme werden durch einen Rotor, der mit zahlreichen Kanälen parallel zur Drehachse ausgestattet ist, geschickt. Die Luftströme haben eine zueinander entgegengesetzte Strömungsrichtung. Eine Hälfte des Rotors (z.B. oben) wird mit dem Abluft - Fortluft – Strom beschickt, die andere Hälfte (unten) mit dem Außenluft - Zuluft - Strom. Durch die Drehung des Rotors kommt es zu einer Wärmeübertragung von der Abluft auf die Zuluft. Aufgrund der Tatsache, dass sich Feuchtigkeit am kalten Rotor niederschlägt, besteht die Möglichkeit einer Feuchterückgewinnung, dh. einer Übertragung der Abluftfeuchtigkeit auf die Zuluft (diese Möglichkeit ist beim Kreuzstrom- wie auch beim Gegenstrom-Wärmetauscher *nicht* gegeben). Der Wärmerückgewinnungsgrad beträgt gemäß der Energieagentur NRW [NRW, 2005] ca. 50-80 %.

Wärmerückgewinnungsgrad [%] ... Energie, die tatsächlich aus dem Abluftstrom entzogen wird (je höher desto besser) [Energiesparhaus, 2008c]

Komfortlüftungsgeräte lassen sich anhand der eingebauten Wärmetauscher (nach der Art der Wärmerückgewinnung) unterscheiden (vgl. **Abbildung 4.6**, S.56): (nach [Greml et al., 2004])

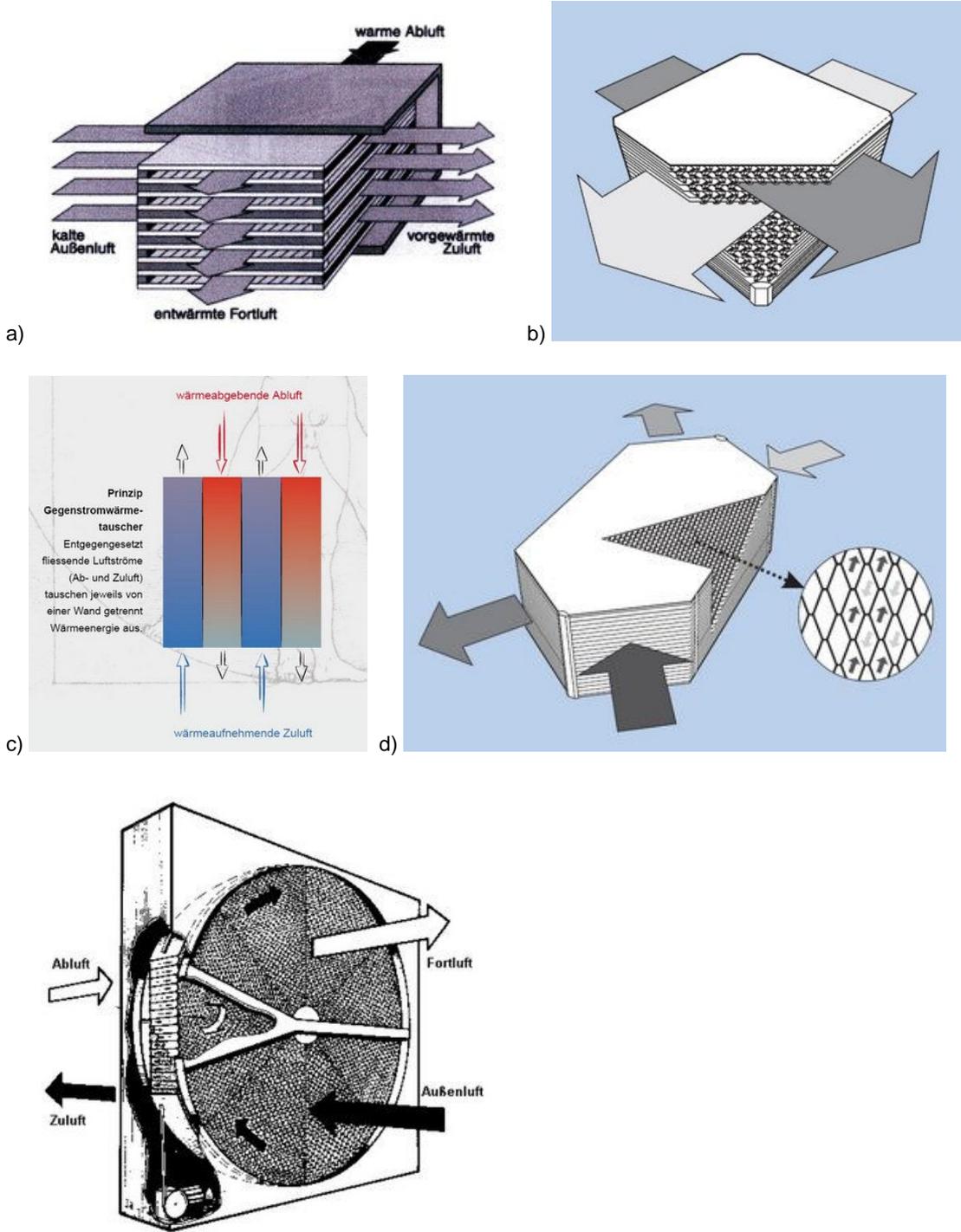
- ★ Lüftungsgerät mit Kreuzstrom-Wärmetauscher
- ★ Lüftungsgerät mit Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher
- ★ Lüftungsgerät mit Gegenstrom-Wärmetauscher
- ★ Lüftungsgerät mit Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher
- ★ Lüftungsgerät mit Rotations-Wärmetauscher

Kreuzstrom-, Gegenstrom- und Rotations-Wärmetauscher wurden bereits vorgestellt als die 3 Hauptarten von Wärmetauschern. Beim Kreuzgegenstrom- und beim Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher macht man sich die Vorteile von verschiedenen Wärmetauscherarten zunutze, in dem man sie miteinander kombiniert.

Der *Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher* stellt dabei eine Variante zwischen Kreuzstrom- und Gegenstrom-Wärmetauscher dar. Ein Teil des Wärmetauschers arbeitet nach dem Kreuzstrom-Prinzip, ein anderer nach dem Gegenstrom-Prinzip. Dadurch wird der Wärmerückgewinnungsgrad gegenüber dem Kreuzstrom-Wärmetauscher verbessert.

Beim *Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher* werden die Luftströme statt zwischen dünnen Platten durch Kanäle geführt, was zu einer weiteren Verbesserung des Wärmerückgewinnungsgrads gegenüber dem Gegenstrom-Wärmetauscher führt. [Greml et al., 2004]

Die Wärmerückgewinnungsgrade betragen typischerweise beim Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher ca. 75 % und beim Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher ca. 95 % [Gremel et al., 2004].



e) **Abbildung 4.5** Funktionsschemen der 3 Hauptarten von Wärmetauschern
 Kreuzstrom-Wärmetauscher – Bild a) und b)
 Gegenstrom-Wärmetauscher – Bild c) und d)
 Rotations-Wärmetauscher – Bild e)
 (Quellen: a) aus [RWE, 1998]; b) aus [Airflow, 2008a]; c) aus [Genvex, 2008a];
 d) aus [Airflow, 2008a]; e) aus [KHC, 2008])

Eine Auflistung typischer Wärmerückgewinnungsgrade von Wärmetauschern findet sich in **Tabelle 4.1**. Dabei ist festzuhalten, dass der Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher den derzeit höchsten Wärmerückgewinnungsgrad erreicht, d.h. er arbeitet am effizientesten. Mit Rotations-Wärmetauschern gibt es noch nicht sehr viele Erfahrungen, da sie relativ neu am Markt sind. [Gremi et al., 2004]

Ein nicht zu unterschätzender Vorteil von Rotations-Wärmetauschern liegt darin, dass eine Feuchterückgewinnung aus der Abluft im Gegensatz zu anderen Wärmetauscher-Arten ohne optionales Zubehör möglich ist. Gerade im Winter ist diese Funktion sehr nützlich, da durch das Aufheizen der Luft die relative Luftfeuchtigkeit im Innenraumbereich unter 30 % sinken kann, was eine nicht mehr behagliche Raumluftqualität zur Folge hat (vgl. **Abbildung 3.6**, S.32).

Tabelle 4.1 typische Wärmerückgewinnungsgrade von Wärmetauschern (nach [Gremi et al., 2004])
Wärmerückgewinnungsgrad [%] ... Energie, die tatsächlich aus dem Abluftstrom entzogen wird

Art des Wärmetauschers	typischer Wärmerückgewinnungsgrad
Kreuzstrom-Wärmetauscher	ca. 65 %
Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher	ca. 75 %
Gegenstrom-Wärmetauscher	ca. 85 %
Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher	ca. 95 %
Rotations-Wärmetauscher	ca. 50-80 % (nach [NRW, 2005])

Nachdem nun die Komponenten einer Komfortlüftungsanlage besprochen wurden, gilt es, sich die räumlichen Aufstellungsvarianten von Lüftungsanlagen näher anzusehen. Im Folgenden wird eine Unterscheidung von Lüftungsanlagen eben nach dieser räumlichen Aufstellung vorgenommen:

- ★ zentrale Lüftungsanlagen
- ★ dezentrale Lüftungsanlagen
- ★ semizentrale Lüftungsanlagen

Diese 3 verschiedenen Konzepte von Lüftungsanlagen werden in den nachfolgenden Kapiteln (Kap. 4.2.3, Kap. 4.2.4 und Kap. 4.2.5) näher beschrieben.

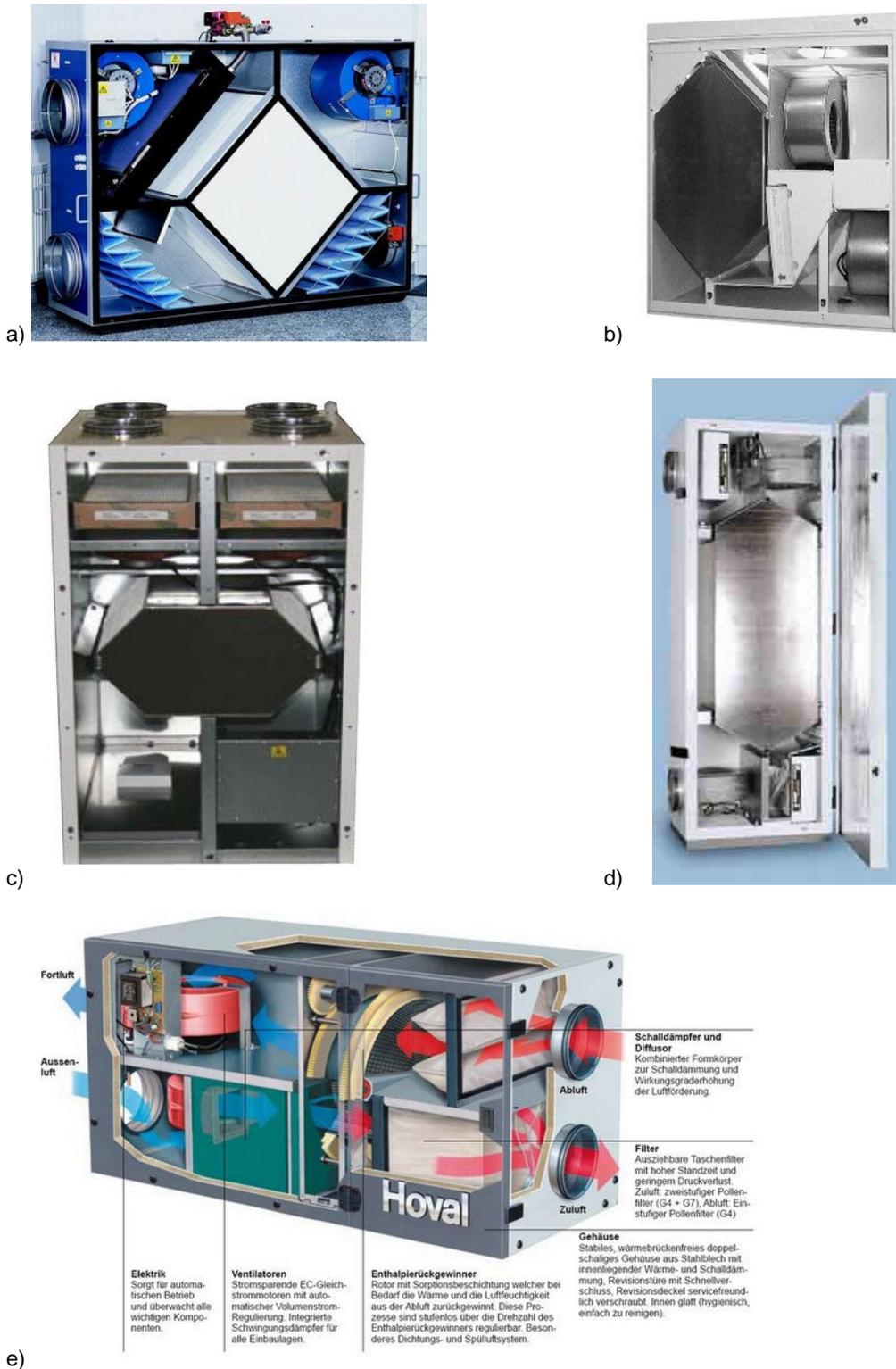


Abbildung 4.6 verschiedene Arten von Komfortlüftungsgeräten, Unterscheidung nach der Art des Wärmetauschers

Lüftungsgerät mit Kreuzstrom-Wärmetauscher – Bild a)

Lüftungsgerät mit Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher – Bild b)

Lüftungsgerät mit Gegenstrom-Wärmetauscher – Bild c)

Lüftungsgerät mit Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher – Bild d)

Lüftungsgerät mit Rotations-Wärmetauscher – Bild e)

(Quellen: a) aus [Airflow, 2008b]; b) aus [Vallox Oy, 2008]; c) aus [Genvex, 2008b];

d) aus [Paul, 2008]; e) aus [Hoval, 2008])

4.2.3 Zentrale Lüftungsanlagen

Bei einer zentralen Lüftungsanlage werden ein Haus bzw. mehrere Wohnungen von einem zentralen Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung versorgt (vgl. **Abbildung 4.7**). Das Komfortlüftungsgerät mitsamt den notwendigen Zu- und Abluftventilatoren befindet sich dabei meist in einem Haustechnikraum im Keller, bei Einfamilienhäusern stellt der Dachboden eine beliebte Variante dar. Die zentralen Ventilatoren zeichnen sich - verglichen mit den vielen Einzelventilatoren einer dezentralen Lüftungsanlage – durch einen sehr hohen Wirkungsgrad aus. Mithilfe von (dezentralen) Reglern lassen sich die Luftvolumenströme je nach Wohnungseinheit bzw. Wohnraum an individuelle Bedürfnisse anpassen. Pro Wohnung ist im Zuluftstrang ein Nachheizregister anzuordnen, um eine behagliche Lufttemperatur sicherzustellen. [Schöberl et al., 2004]

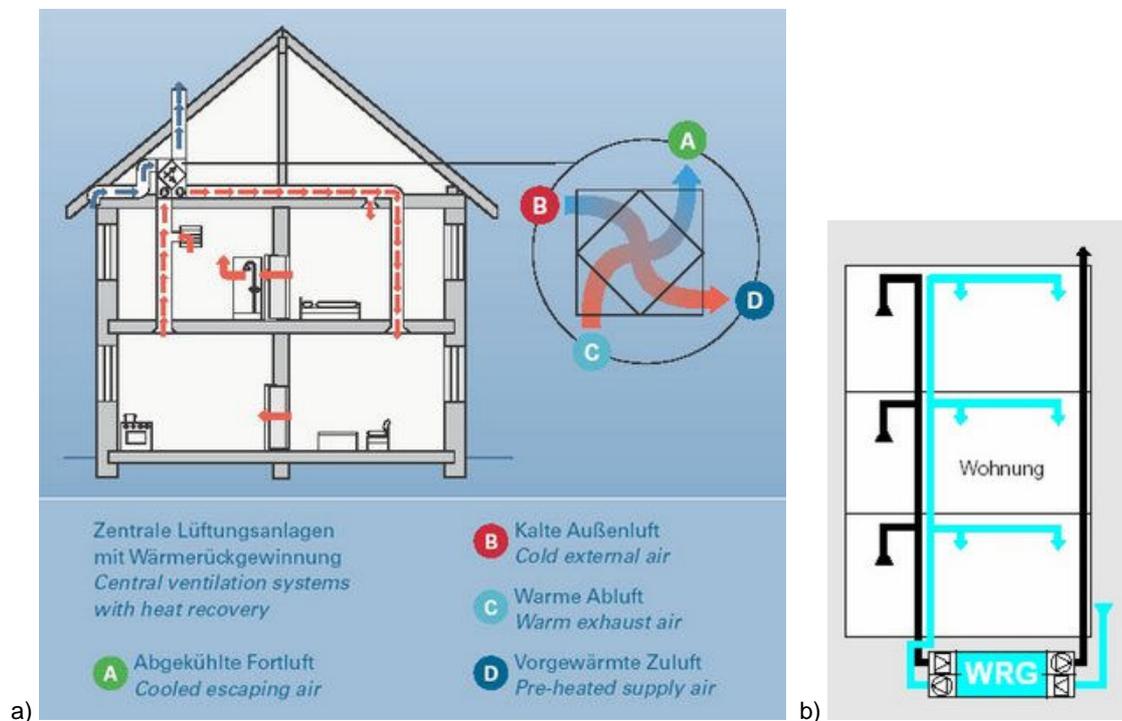


Abbildung 4.7 Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, schematische Darstellung: am Beispiel eines Einfamilienhauses – Bild a), am Beispiel eines mehrgeschossigen Wohngebäudes – Bild b) WRG ... Komfortlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung (Quellen: a) aus [BDH, 2008a]; b) aus [Leitzinger, 2007, S.38])

Die Vorteile einer zentralen Lüftungsanlage liegen einerseits darin, dass alle notwendigen Wartungsarbeiten (z.B. Filterwechsel, Wartung der Ventilatoren etc.) von einem geschulten Fachpersonal zentral im Haustechnikraum durchgeführt werden können [Pfluger et al., 2001]. Andererseits ist der Raumnutzer von der gesamten Lüftungstechnik „abgeschirmt“, was sich vorteilhaft in Bezug auf die Erreichung einer sehr leisen Betriebsweise der Lüftungsanlage auswirkt.

Als Nachteil ist die Tatsache zu werten, dass ein langes Zu- bzw. Abluftrohrsystem für den Betrieb der Anlage notwendig ist.

4.2.4 Dezentrale Lüftungsanlagen

Bei einer dezentralen Lüftungsanlage sorgt ein Lüftungsgerät (mit Wärmerückgewinnung) pro Raum bzw. pro Wohnung für die Frischluftzufuhr (vgl. **Abbildung 4.8**) [Schöberl et al., 2004].

Üblicherweise werden dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung direkt in der Außenwand montiert, es kommt dabei zu zwei Durchbrüchen (Außenluft und Fortluft) durch die wärmegeämmte Gebäudehülle. Der Wärmerückgewinnungsgrad ist geringer als bei Zentrallüftungsgeräten. Aufgrund der Tatsache, dass kein Rohrsystem notwendig ist, können die in die Wand zu montierenden dezentralen Lüftungsgeräte mit vergleichsweise geringen Kosten nachträglich eingebaut werden. Dadurch eignet sich dieses Lüftungskonzept auch für die Sanierung von Bestandsgebäuden. [Pekeler, 2008]

Eine eher seltene Variante mit zentraler Außenluftansaugung, die z.B. im Passivhaus Studentenheim Molkereistraße realisiert wurde, sieht (wie im zentralen Lüftungskonzept) einen Schacht mit zentralen Strängen für Außenluft - Zuluft und Abluft - Fortluft vor. Dadurch gibt es auch hier wie bei der zentralen Lüftungsanlage den Nachteil eines langen (und teuren) Rohrsystems. Um mit relativ einfachen Mitteln die geforderte sehr leise (unhörbare) und energieeffiziente Betriebsweise der Lüftungsanlage zu gewährleisten, befinden sich die dezentralen Lüftungsgeräte ebenfalls im Schacht, wo sie gut zugänglich sind.

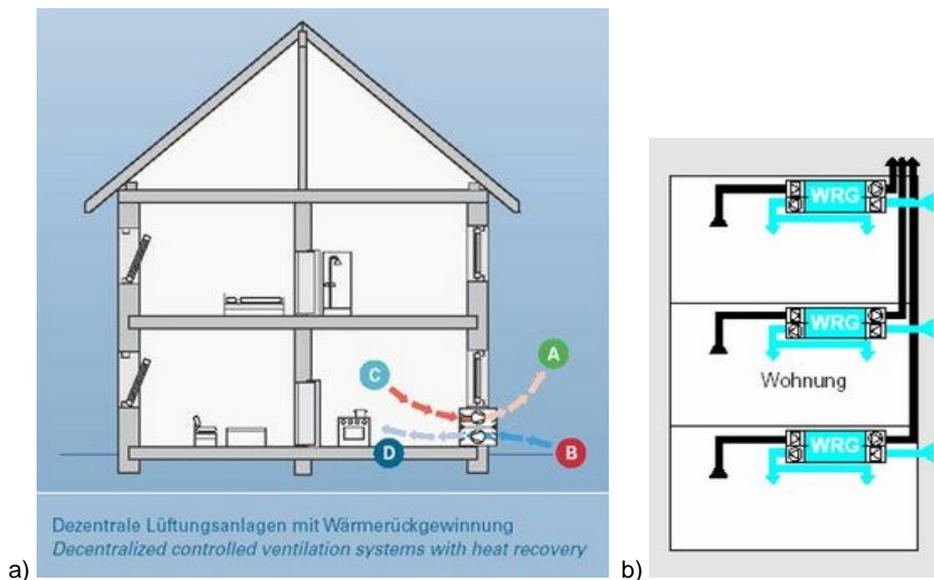


Abbildung 4.8 Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, schematische Darstellung:
am Beispiel eines Einfamilienhauses – Bild a),
am Beispiel eines mehrgeschossigen Wohngebäudes – Bild b)
WRG ... Komfortlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung
A ... Fortluft; B ... Außenluft; C ... Abluft; D ... Zuluft
(Quellen: a) aus [BDH, 2008b]; b) aus [Leitzinger, 2007, S.38])

4.2.5 Semizentrale Lüftungsanlagen

Als semizentrale Lüftungsanlage bezeichnet man eine Kombination aus zentraler und dezentraler Lüftungsanlage. Wie beim zentralen Lüftungskonzept gibt es auch hier ein zentrales Komfortlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung, das das ganze Haus mit Frischluft versorgt. Die Luftvolumenströme der einzelnen Wohnungen werden mittels dezentraler Gleichstromventilatoren (üblicherweise ein Ventilator pro Wohnung) geregelt. Diese Gleichstromventilatoren vereinfachen die Luftvolumenstromregelung deutlich im Vergleich zu den dezentralen Volumenstromreglern einer zentralen Lüftungsanlage. Die Zuluft wird ebenfalls dezentral (wohnungsweise) mithilfe von Heizregistern erwärmt. Um unnötig hohe Druckverluste im Rohrnetz zu vermeiden, können zusätzlich zu den dezentralen Einzelventilatoren zentrale Ventilatoren eingesetzt werden. [Schöberl et al., 2004]

Für Pfluger [Pfluger et al., 2001] stellt die Erreichung einer ausgeglichenen Bilanz zwischen den Zu- und Abluftvolumenströmen einer Wohnung ein sehr wichtiges Kriterium dar. Nur mit dieser sog. *balancierten* Lüftung ist es möglich, die Energieverluste durch unkontrolliertes Ein- bzw. Ausströmen von Luft durch die wärmegeämmte Gebäudehülle (= Infiltration bzw. Exfiltration) sehr gering zu halten. Die *balancierte* Lüftung wird dabei entweder mittels dezentraler Gleichstromventilatoren oder mit Hilfe von paarweisen dezentralen Volumenstromreglern in den einzelnen Wohnungen realisiert.

Nachfolgend werden die *Unterschiede* zwischen einem *semizentralen* und einem *zentralen* Lüftungskonzept erörtert: der Hauptunterschied liegt in der Luftvolumenstromregelung der einzelnen Wohnungen (am Beispiel eine mehrgeschossigen Wohngebäudes). Während bei einer semizentralen Lüftungsanlage oft mit dezentralen drehzahlgeregelten Gleichstromventilatoren geregelt wird, übernehmen bei einer zentralen Lüftungsanlage dezentrale Volumenstromregler diese Aufgabe. Gleichstromventilatoren sind dabei billiger als Volumenstromregler. [Schöberl et al., 2004]

Dezentrale Volumenstromregler regeln den Zuluftvolumenstrom z.B. mittels einer im Rohr befindlichen um die eigene Achse drehbaren Klappe. Dadurch kann der Volumenstrom verringert, aber nicht erhöht werden. Die vom zentralen Komfortlüftungsgerät geförderte Luftmenge stellt das Maximum dar, der Raumnutzer kann die eingeblasene Zuluftmenge bei Bedarf über den Volumenstromregler reduzieren. Energie wird dadurch aber keine eingespart, weil trotz der Regelung 100% der Luftmenge vom zentralen Ventilator gefördert wird, aber ein Teil durch die Klappe des Volumenstromreglers zurückgehalten wird.

Im Gegensatz dazu fördert ein dezentraler Gleichstromventilator den Zuluftvolumenstrom, dh. er kann die eingebrachte Luftmenge erhöhen. Es ist aber auch möglich, die Luftmenge gleich zu halten bzw. sie zu verringern, je nach Drehzahl des Ventilators. Damit bieten Gleichstromventilatoren eine erhöhte Flexibilität gegenüber Volumenstromreglern.

Nach Pfluger [Pfluger et al., 2001] sind Volumenstromregler störanfälliger und verursachen höhere Druckverluste als Gleichstromventilatoren, besitzen aber gemäß Schöberl [Schöberl et al., 2004] eine niedrigere elektrische Leistungsaufnahme.

4.2.6 Vor- und Nachteile von dezentralen Lüftungsanlagen

Die Vor- und Nachteile einer dezentralen Lüftungsanlage im Vergleich mit einer zentralen bzw. einer semizentralen Anlage werden nachfolgend kurz zusammengefasst: (sofern nicht anders angegeben nach [Schöberl et al., 2004])

★ Vorteile

- *individuelle Regelbarkeit der dezentralen Komfortlüftungsgeräte*: ein großer Vorteil von dezentralen Lüftungsanlagen liegt in der individuellen Regelbarkeit der dezentralen Komfortlüftungsgeräte. Voss und Pfafferott [Voss & Pfafferott, 2007] beschreiben im *Erwartungsmodell* (vgl. Kap. 3.2.1), dass die Bewohner thermische Behaglichkeit verspüren, wenn ihre Erwartungen an das sie umgebende Raumklima erfüllt werden. Es ist dabei für die Bewohner sehr wichtig, die Möglichkeit zu besitzen, das Raumklima individuell zu „regeln“. Gibt es diese individuelle Regelungsmöglichkeit nicht, erscheint es für Wyon und Sandberg [Wyon & Sandberg, 1993] selbst bei optimalen raumklimatischen Bedingungen gemäß FANGER-Gleichung [Fanger, 1970] möglich, dass 30-40 % der Bewohner unzufrieden sind (vgl. Kap. 3.2.2. sowie Kap. 3.2.3).
- *größere Anzahl von Anbietern*: für dezentrale Anlagen gibt es eine größere Anzahl von Anbietern Lüftungstechnischer Komponenten.
- *einfachere Heizwärmerechnung*: sowohl die Verrechnung als auch die Aufteilung der Heizwärme ist unkomplizierter als bei semizentralen Anlagen.
- *geringere Rohrleitungslängen*: üblicherweise sind dezentrale Lüftungsgeräte in den Außenwänden eingebaut, wodurch ein zentraler Lüftungsschacht inkl. Rohrleitungen entfallen kann. Verteilleitungen innerhalb der Wohnungen sind je nach Bedarf auszuführen.
- *für Sanierung von Bestandsgebäuden gut geeignet*: dezentrale Lüftungsgeräte können nachträglich mit vergleichsweise geringen Kosten eingebaut werden. Dadurch eignet sich das dezentrale Lüftungskonzept auch für die Sanierung von Bestandsgebäuden. [Pekeler, 2008]

★ Nachteile

- *höhere Investitionskosten*: die Investitionskosten von dezentralen Anlagen sind trotz kürzerer Rohrleitungslängen infolge der vielen notwendigen dezentralen Komfortlüftungsgeräte höher.
- *mehr Außenwanddurchbrüche*: bei dezentralen Anlagen sind pro Komfortlüftungsgerät 2 Durchbrüche durch die Gebäudehülle (Außenluft und Fortluft, vgl. **Abbildung 4.8**, S.58) notwendig. Bei semizentralen oder zentralen Anlagen sind im Normalfall insgesamt 2 Durchbrüche (für die Versorgung des Zentrallüftungsgeräts) von Nöten. Im Falle eines mehrgeschossigen Wohngebäudes mit mehreren Lüftungsschächten gibt es pro Lüftungsschacht ein Zentrallüftungsgerät (ergibt 2 Durchbrüche pro Schacht).

- *mehr Wartungsarbeiten*: infolge einer Vielzahl von dezentralen Lüftungsgeräten kommt es zu mehr Wartungsarbeiten als bei zentralen oder semizentralen Anlagen. Weiters müssen die Wartungsarbeiten direkt in den Wohnungen durchgeführt werden und können nicht wie bei zentralen oder semizentralen Anlagen in einen zentralen Haustechnikraum verlagert werden.

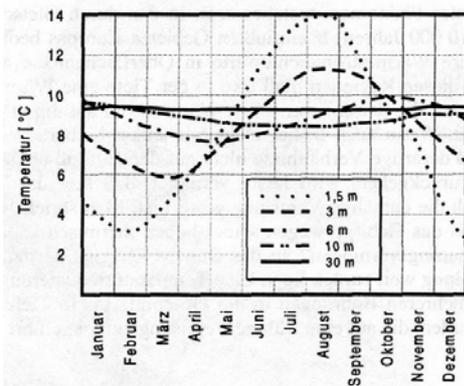
Als weiterer Nachteil einer dezentralen Lüftungsanlage sind erschwerte schalltechnische Bedingungen für die Realisierung einer sehr leisen Betriebsweise anzuführen, die sich daraus ergeben, dass die dezentralen Komfortlüftungsgeräte in den Außenwänden montiert sind.

4.3 Erdwärmetauscher

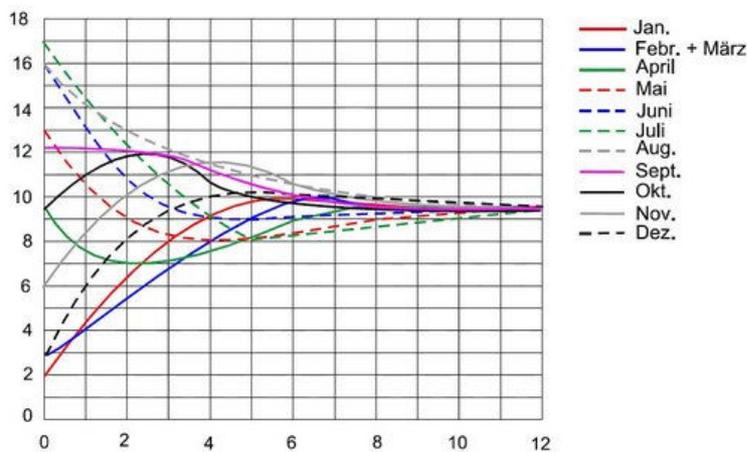
Erdwärmetauscher werden häufig in Kombination mit Komfortlüftungsanlagen ausgeführt, um die angesaugte Außenluft vorzuwärmen und damit auch Frostschäden zu vermeiden.

4.3.1 Technische Nutzung von Erdwärme

Erdwärme oder geothermische Energie ist die (Wärme-) Energie der Erde, die unterhalb der festen Erdoberfläche gespeichert ist [VDI 4640, 1998]. Die Herkunftsart der Energie (dh. Sonnenenergie oder Energie aus dem Erdmantel) spielt dabei keine Rolle. Es wird unterschieden zwischen oberflächennaher Erdwärme und Erdwärme aus tieferen Schichten. Dabei gilt laut VDI [VDI 4640, 1998] eine Tiefe von 400 m unter der Erdoberfläche als Abgrenzung (diese Abgrenzung soll selbstverständlich nicht als *exakt* aufgefasst werden). Erdwärme in Tiefen von 0-400 m wird als oberflächennahe Erdwärme bezeichnet, solche in Tiefen von > 400 m als Erdwärme aus tieferen Schichten.



a)



b)

Abbildung 4.9 Temperaturverlauf im Erdreich für verschiedene Tiefen (mitteleuropäisches Klima) Jahresganglinie – Bild a); Monatswerte – Bild b)
 Bild b): x-Achse = Erdtiefe [m], y-Achse = Temperatur [°C]
 (Quellen: Bild a) aus [Kaltschmitt et al., 1999, S.40], nach [Kappelmeyer, 1961];
 Bild b) aus [Albers, 1991])

Das folgende Kapitel befasst sich ausschließlich mit der Nutzung der oberflächennahen Erdwärme mittels Erdwärmetauschern. Zwar ist es technisch ohne weiteres möglich, tiefer als 400 m zu bohren (und damit in den Bereich der Erdwärme aus tieferen Schichten zu gelangen), allerdings werden die Bohrkosten sehr hoch und es ist zu prüfen, ob sich das Vorhaben im wirtschaftlichen Rahmen bewegt. Weiters sind geologische Gutachten und gesonderte bergbaurechtliche Bewilligungen nötig.

Die Wärmeenergie, die im Erdreich gespeichert ist, hat meist ein Temperaturniveau unter 20 °C [Kaltschmitt et al., 1999]. Je nach Tiefe ergeben sich verschiedene Temperaturverläufe (vgl. **Abbildung 4.9**) Schon in einer Tiefe von 3 Metern schwankt die mittlere Temperatur im Jahresverlauf (Bild a) nur zwischen ca. 6 °C und ca. 11 °C. Bild b zeigt die Monatswerte für verschiedene Tiefen, die sich mit zunehmender Tiefe immer mehr einpendeln. Daraus ist ersichtlich, dass Erdwärme schon in geringen Tiefen übers Jahr gesehen nahezu konstante Temperaturverhältnisse bietet, was für technische Zwecke vorteilhaft ist. Um die Energie des Erdreichs technisch nutzen zu können (bei Passivhäusern u.a. für Lüftungsanlagen, Heizzwecke und Warmwasseraufbereitung), muss das Temperaturniveau z.B. mittels Wärmepumpe angehoben werden.

Aus diesem Grund besteht ein System zur Nutzung der oberflächennahen Erdwärme aus 2 Komponenten: (nach [Kaltschmitt et al., 1999])

- ★ *Wärmequellenanlage*: entzieht dem Erdreich Energie (Erdwärmetauscher)
- ★ *Wärmepumpe oder Ähnliches*: fördert die dem Erdreich entzogene Energie auf ein höheres Temperaturniveau

Die Temperatur im Erdreich (*Wärmequelle*) ist im Winter höher und im Sommer niedriger als die Außenlufttemperatur. Aus diesem Grund ist es möglich, die Erdwärme energetisch sowohl für die Heizung als auch für die Kühlung von Gebäuden zu nutzen. Diese Aufgabe bewerkstelligen Erdwärmetauscher (*Wärmequellenanlage*). Das Funktionsprinzip des Erdwärmetauschers ist schnell erklärt: Erdwärmetauscher bestehen aus in der Erde verlegten luft- bzw. soledurchströmten Rohren (Sole = Wasser-Frostschutzmittel-Gemisch). Diese gut wärmeleitenden Rohre nehmen die Erdwärme auf. Die Wärme wird zu einer *Wärmepumpe* weitergeleitet, die die Temperatur auf das benötigte Niveau anhebt. [StMUGV, 2005]

4.3.2 Vor- und Nachteile der Erdwärmenutzung

Die Vor- und Nachteile der Erdwärmenutzung durch Wärmequellenanlagen mit Wärmepumpe sowie deren Chancen und Gefahren listet **Tabelle 4.2** in Form einer sog. SWOT-Analyse (SWOT = Strengths / Stärken, Weaknesses / Schwächen, Opportunities / Chancen, Threats / Gefahren) auf.

Tabelle 4.2 SWOT-Analyse der Erdwärmenutzung durch Wärmepumpenanlagen
(nach [Spendlingwimmer, 2004])
SWOT ... Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen), Threats (Gefahren)

Stärken / Vorteile	Schwächen / Nachteile
Erdreich regenerative und fast unerschöpfliche Energieressource	Erhöhter Strombedarf durch Wärmepumpe (Primärenergie)
Lokale, heimische, verfügbare Energiequelle	Möglicher Interessenskonflikt mit wasserwirtschaftlichen Zielen
Wird individuell angepasst, dezentraler Einsatz möglich	Sorgfältige Planung und Ausführung notwendig, um Erdreich nicht nachhaltig zu stören
Verbesserung der Energiebilanz durch hohe Wirkungsgrade und Reduktion von Treibhausgasen	Hydrogeologische Basisdaten für die Planung (insbesondere von vertikalen Erdwärmetauschern) oft nicht verfügbar
Geringe Kosten und hohe Wirtschaftlichkeit für lange Heizperioden	Erhöhte Kosten durch nötige Voruntersuchungen und Kontrollen (insbesondere bei vertikalen Erdwärmetauschern)
Technisch ausgereift und zuverlässig, Angebotsvielfalt am Markt	Geplante Leistungszahl wird nicht immer erreicht
Entfall von Nebenkosten, platzsparend (je nach Verlegeart)	Genehmigungsantrag und Behördenverfahren aufwendig
Gute Erfahrungen im Niedertemperatur-Heizbereich	Energetisch sinnvoller Einsatz nur im Niedertemperaturbereich (günstig für Niedrigenergie- und Passivhäuser)
Chancen	Gefahren
Klimaschutzbeitrag durch Nutzung von regenerativer Ressource (Erdwärme)	Negative Beeinflussung des Grundwassers möglich (z.B. durch Unterdimensionierung)
Bei Einhaltung eines hohen technischen Qualitätsstandards in der Ausführung ist ein hohes Nutzungspotential gegeben	Im Zweifelsfall muss die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung Vorrang haben!
	Ablehnung durch Wissensdefizit über hydrologische Zusammenhänge möglich

4.3.3 Erdwärmetauscher im Allgemeinen

Erdwärmetauscher (EWT) entziehen dem Erdreich über gut wärmeleitende Rohre Wärmeenergie und leiten diese zu einer Wärmepumpe weiter. Die Wärmepumpe nimmt die Energie auf und fördert diese auf ein höheres Temperaturniveau, wie es z.B. für die Lüftungsanlage, zum Heizen und für die Warmwasserbereitstellung erforderlich ist. Bei diesem Vorgang benötigt die Wärmepumpe elektrische Energie (Strom). Der Vorteil eines Systems zur Nutzung von (oberflächennaher) Erdwärme – bestehend aus EWT und Wärmepumpe – liegt darin, dass die Wärmepumpe ein höheres Ausgangsenergieniveau zur Verfügung hat als eine herkömmliche Wärmepumpe *ohne* EWT.

Zum leichteren Verständnis soll folgendes Beispiel dienen: an einem kalten Jännertag herrscht eine Tagesdurchschnittstemperatur von -5 °C . Das Lüftungsgerät soll die Zuluft (vgl. Kap. 4.2) mit 20 °C in den Innenraumbereich einblasen. Vernachlässigt man die Wärmeverluste über das Rohrnetz, so muss eine Wärmepumpe *ohne* EWT die Außenluft von -5 °C auf $+20\text{ °C}$ erwärmen, das macht einen Temperaturunterschied $\Delta T_1 = 25\text{ °C}$. Im Falle eines fachgerecht eingebauten EWT beträgt die Ausgangstemperatur für die Wärmepumpe z.B. $+5\text{ °C}$, d.h. die Temperatur des Erdreichs (und damit auch die Temperatur im Inneren des EWT) beträgt $+5\text{ °C}$. Die Wärmepumpe muss die Luft von $+5\text{ °C}$ auf das gewünschte Temperaturniveau von $+20\text{ °C}$ erwärmen, überwindet also einen Temperaturunterschied $\Delta T_2 = 15\text{ °C}$.

Aus diesem einfachen Beispiel wird ersichtlich, dass eine mit einem EWT gekoppelte Wärmepumpe durch ein höheres Ausgangsenergieniveau einen bedeutend geringeren Temperaturunterschied überwinden muss als eine Wärmepumpe *ohne* EWT. Im Beispiel beträgt dieser Temperaturunterschied 10 °C ($\Delta T_1 = 25\text{ °C}$ minus $\Delta T_2 = 15\text{ °C}$). Dadurch kann eine Menge an Energie und damit an Kosten eingespart werden. Diesen vom Erdreich kostenlos zur Verfügung gestellten „Energievorteil“ kann man sich natürlich auch für Heizzwecke etc. zunutze machen.

Im Sommer können Erdwärmetauscher in begrenztem Ausmaß zur Kühlung von Gebäuden eingesetzt werden, da die Temperatur des Erdreichs kühler ist als die Außenlufttemperatur.

EWT können laut bayrischem Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz [StMUGV, 2005] neben ihrem „Energiebeitrag“ zum Heizen und Kühlen auch zur thermischen Energiespeicherung (z.B. solarthermische Energie, Prozessabwärme, Abwärme aus der Raumkühlung etc.) verwendet werden. Man spricht in diesem Zusammenhang von Erdpendelspeichern, die im Kap. 4.3.8 näher erläutert werden.

Die Leistung von EWT ist abhängig von:

- ★ *Dimensionierung des Kollektors*: Verlegetiefe, Verlegeart, Abstände zwischen den Rohren, Rohrmaterial, Rohrdimension und –länge [Paul, 2005]
- ★ *Wärmeträger*: Volumenstrom, Wärmeträgermedium (Luft, Sole)
- ★ *Boden und Klima*: Thermische Bodenkennwerte, Erdfeuchte, Grundwasser, Standort, klimatische Verhältnisse, Wetter

4.3.4 Wärmepumpen im Allgemeinen

Eine Wärmepumpe entzieht einer Wärmequelle Wärmeenergie und fördert diese auf ein höheres Temperaturniveau. Für diesen Prozess ist externe (Antriebs-) Energie erforderlich. Je nachdem, in welcher Form die Antriebsenergie zugeführt wird, unterscheidet man zwischen 2 grundlegenden Arten von Wärmepumpen: (nach [Kaltschmitt et al., 1999])

- ★ *Kompressionswärmepumpe*: der Antrieb des Verdichters erfolgt mittels Kompressor (mechanische Energiezuführung)
- ★ *Sorptionswärmepumpe*: der Antrieb des Verdichters erfolgt vorwiegend thermisch (thermische Energiezuführung), z.B. durch Verbrennung (Gas, Öl) oder Nutzung von industrieller Abwärme. Sorptionswärmepumpen werden in Absorptions- und Resorptionspumpen unterteilt.

Im Folgenden wird das Funktionsprinzip einer Kompressionswärmepumpe näher erörtert.

In einer Kompressionswärmepumpe laufen 4 Hauptprozesse in einem geschlossenen Kreislauf ab (vgl. **Abbildung 4.10**): Verdampfung, Verdichtung, Kondensation (Verflüssigung) und Expansion (Ausdehnung). Diese Prozesse finden im Verdampfer, Verdichter, Kondensator und im Expansionsventil statt. Für einen ordnungsgemäßen Ablauf sind weitere Hilfseinrichtungen (Manometer, Ventile etc.) und steuer- bzw. regelungstechnische Komponenten notwendig.

Verdampfer und Kondensator agieren als Bindeglieder zwischen der Wärmepumpe und der übrigen Anlage. Der Verdampfer hängt zusätzlich zum Kreislauf innerhalb der Wärmepumpe (Wärmepumpenkreislauf) in einem separaten Kreislauf. In diesem separaten Kreislauf hängt eine Wärmequelle (z.B. EWT), die dem Verdampfer Wärmeenergie liefert. Mithilfe dieser Wärmeenergie wird im Verdampfer bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck das Arbeitsmittel (Kältemittel) des Wärmepumpenkreislaufs verdampft. Das nun gasförmige Arbeitsmittel wird vom Verdichter (Kompressor) angesaugt und komprimiert. Durch diese Druckerhöhung wird der Dampf auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Im Kondensator wird das Arbeitsmittel verflüssigt. Die dabei frei werdende Wärmeenergie wird vom Kondensator – der wie der Verdampfer noch in einem zusätzlichen Kreislauf hängt – an eine angeschlossene Wärmenutzungsanlage (z.B. Heizung) abgegeben. Das Arbeitsmittel, das noch immer unter hohem Druck steht, wird durch das Expansionsventil auf ein niedriges Druckniveau übergeführt und gelangt von dort in den Verdampfer, wo der gesamte Kreislauf von vorne beginnt. [Kaltschmitt et al., 1999]

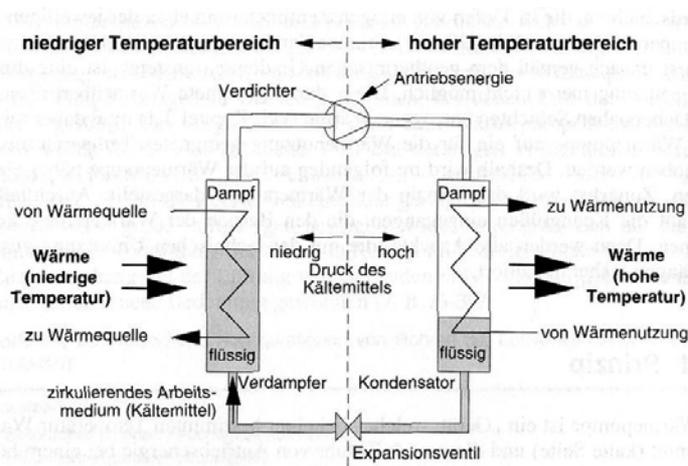


Abbildung 4.10 Prozesse in einer Kompressionswärmepumpe (aus [Kaltschmitt et al., 1997])

4.3.5 Wärmepumpenmarkt in Österreich

Einen Überblick über die Heizungswärmepumpen, die in Österreich im Jahr 2008 installiert wurden, gibt **Abbildung 4.11**. Die einzelnen Anteile unterscheiden sich in der Art des verwendeten Wärmeträgermediums. Die Gesamtmenge der in Österreich im Jahr 2008 installierten Heizungswärmepumpen (inkl. Wohnraumlüftung) beträgt 13.111 Stück. Im Vergleich zu 2007 (10.884 Stück) bedeutet dies einen Zuwachs von +20,5 % bzw. 2.227 Anlagen.

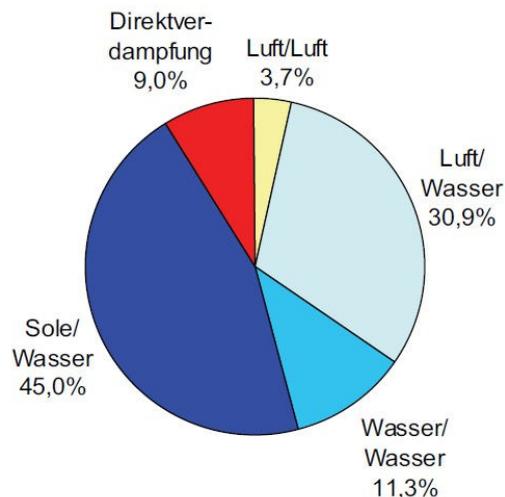


Abbildung 4.11 Heizungswärmepumpen, die in Österreich 2008 installiert wurden. Anteile verschiedener Wärmeträgermedien (aus [Biermayr et al., 2009, S.58])
Die Gesamtmenge der in Österreich im Jahr 2008 installierten Heizungswärmepumpen (inkl. Wohnraumlüftung) beträgt 13.111 Stück.

45 % aller Neuanlagen wurden in Österreich 2008 als Sole-Wasser-Wärmepumpen ausgeführt. Luft/Wasser-Anlagen (Luft-EWT) machen 30,9 % aller Neuanlagen aus und sind damit weit vor Wasser/Wasser-Anlagen (Grundwasserquell- und -schluckbrunnen) mit 11,3 % bzw. Direktverdampfungsanlagen (hier dient der EWT als Verdampfer, siehe Kap. 4.3.4) mit 9 %.

Im Gesamten wurden im Jahr 2008 in Österreich 18.690 Wärmepumpen verbaut (exkl. Wärmepumpen zur Schwimmbadentfeuchtung, über deren Anzahl für 2008 keine Daten vorliegen), darunter 12.623 Stück (67,5 %) für Heizzwecke, 5.579 Stück (29,9 %) für Brauchwasser und 488 Stück (2,6 %) für Lüftungszwecke (Wärmerückgewinnung und kontrollierte Wohnraumlüftung). [Biermayr et al., 2009]

4.3.6 Bauarten von Erdwärmetauschern

Erdwärmetauscher können als horizontale oder vertikale Kollektoren ausgeführt werden. Das Wärmeträgermedium innerhalb der Rohre kann Luft, Sole (=Wasser-Frostschutzmittel-Gemisch) oder ein Arbeitsmittel zur Direktverdampfung (z.B. Ammoniak) sein.

Beim Direktverdampfungssystem strömt das Arbeitsmittel der Wärmepumpe (z.B. Ammoniak) in Kupferrohren mit Kunststoffummantelung. [StMUGV, 2005] Der EWT selbst übernimmt demnach im Wärmepumpenkreislauf die Rolle des Verdampfers (siehe Kap. 4.3.4). Dabei ist auf eine eventuelle Grundwassergefährdung bei Undichtigkeiten (DIN 8901) zu achten [Recknagel et al., 1998]. Da bei diesem System keine Zwischenwärmetauscher und Soleumwälzpumpen notwendig sind, ergeben sich um ca. 15 % höhere Leistungszahlen [Huber, 2005].

Tabelle 4.3 zeigt die verschiedenen Bauarten von EWT und nimmt Bezug auf techn. Ausführung und Wärmeträgermedium.

Tabelle 4.3 Bauarten von Erdwärmetauschern (nach [StMUGV, 2005])
GW ... Grundwasser

	Bauart	Wärmeträgermedium	Techn. Ausführung
horizontal	Horizontaler EWT – Flachkollektor	Luft, Sole, Arbeitsmittel zur Direktverdampfung (z.B. Ammoniak)	nicht überbaute Freifläche notwendig, die 1,5 bis 2 mal so groß wie die zu beheizende Fläche sein soll
	Horizontaler EWT – Grabenkollektor, Künettenkollektor	Luft, Sole, Arbeitsmittel zur Direktverdampfung	wesentliche Verringerung des Platzbedarfs durch (in gewissem Abstand) übereinanderliegende Rohre, in Gräben bzw. Künetten
	Horizontaler EWT – in erdberührten Betonbauteilen	Luft, Sole, Arbeitsmittel zur Direktverdampfung	z.B. in der Fundamentplatte („Energiebodenplatte“) oder darunter (z.B. im Studentenheim Molkereistraße)
vertikal	Vertikaler EWT - Tiefensonde	Sole	nach VDI 4640-2 als Einfach-U- Sonde, Doppel-U-Sonde oder einfache Koaxialsonde. Tiefen bis 100 m (selten darüber)
	Vertikaler EWT – in erdberührten Betonbauteilen	Sole	in Gründungspfählen („Energiepfähle“), in Schlitzwänden („Energieschlitzwände“)
	Vertikaler EWT – im Grundwasser	Wasser	Erschließung des GW mittels Förderbrunnen, Rückführung mittels Schluckbrunnen, GW nahezu konstante Temperatur (8-10 °C)

4.3.7 Horizontal verlegte Erdwärmetauscher - Horizontalkollektoren

Die folgenden Punkte sind für die Dimensionierung von Horizontalkollektoren (=horizontal verlegte Erdwärmetauscher) zu beachten: (sofern nicht anders angegeben nach [Rieberer, 2007])

- ★ *Spezifische Entzugsleistung:* 10 W/m² (trockener, bindiger Boden) bis 40 W/m² (wassergesättigter Sand/Kies) bei 1800 h Jahresbetriebsdauer gemäß VDI 4640-2.
- ★ *Notwendige Kollektorfläche:* ca. 20-40 m² Kollektor pro kW Heizlast (plus Zuschlag für Warmwasseraufbereitung). Niedrigerer Wert für feuchtes Erdreich und höherer Wert für trockenen Schotter. [Recknagel et al., 1998]
- ★ *Rohrleitungslänge:* 30-40 m für Flach- und Grabenkollektor [Pregitzer, 2002]
- ★ *Rohrmaterial:* gut wärmeleitende, druckfeste (Erddruck), lebensmittelechte Rohre. Gut geeignet: speziell für EWT ausgelegte PE-HD-Rohre (Polyethylen). Rohre sollen innen glatt sein, um bei Luft-EWT das anfallende Kondensat abzuleiten (bei gewellten Rohren kann sich Kondensat absetzen und zu Bakterienwachstum führen). [Passivhaus-Konkret, 2008]
- ★ *Rohrgefälle:* mind. 2–3 % für Luft-EWT, wichtig für den Ablauf von anfallendem Kondensat.
- ★ *Verlegetiefe:* mind. 1,0-1,5 m (bis 2,0 m), jedenfalls unterhalb der Frostgrenze des Bodens.
- ★ *Verlegeabstand:* 0,5-0,8 m. Niedrigerer Wert für trockenen Schotter und höherer Wert für feuchtes Erdreich.
- ★ *Abstand zu Fundamenten und Bepflanzung:* mind. 1 m
- ★ *Abstand zu Abwasser- und Trinkwasserleitungen:* mind. 1,5 m [Huber, 2005]

Nachfolgende Faktoren wirken sich positiv auf die Leistung von horizontalen EWT aus: (nach [Paul, 2005])

- ★ betreffend *Erdreich/Klima:*
 - hohe Erddichte
 - gute Verdichtung des Erdreichs nach Einbau des EWT
 - hoher Anteil an Lehm/Ton
 - hohe Erdfeuchte
 - Oberflächenwasser, welches über dem EWT versickert
 - hoher Grundwasserspiegel
 - hoher solarer Wärmeeintrag in das Erdreich (speziell im Herbst)
 - kurze Zeitdauer der Kälte- (bzw. Hitze-) periode

★ betreffend *Rohrdimensionierung*:

- bei Luft-EWT: geringe Strömungsgeschwindigkeit der Luft im EWT
- große Rohrlänge
- kleiner Rohrdurchmesser
- mehrere parallele Rohre
- großer Rohrabstand
- hohe Verlegetiefe (bis max. 6 m)

Mögliche Verlegungsarten von horizontalen EWT zeigt **Abbildung 4.12**.

Eine schematische Darstellung einer horizontalen EWT-Anlage mit Wärmepumpe und Wärmenutzungsanlage (Heizung) findet sich in **Abbildung 4.13**, S.72.

Bei Luft-EWT wird als Rohrmaterial normalerweise Kunststoff (PE oder PP, Durchmesser ca. 15-20 cm) eingesetzt, bei größeren Gebäuden manchmal auch Beton. Luft-EWT haben im Vergleich zu Sole-EWT den Nachteil, dass Luft eine geringere spezifische Wärmekapazität als Sole hat. Weiters ist bei Luft-EWT großes Augenmerk auf eine hygienisch einwandfreie Ausführung zu legen, da am Beispiel Passivhaus die Außenluft durch den EWT in das Gebäude strömt. Es ist darauf zu achten, dass glatte, im Gefälle verlegte Rohre verwendet werden, damit das anfallende Kondensat in einen vorgesehenen Ablauf rinnen kann. [Michael, 2007]

Bei solegeführten EWT wird oft PE (Durchmesser z.B. 3 cm) als Rohrmaterial eingesetzt. Sole-EWT haben gegenüber Luft-EWT folgende Vorteile: (nach [Michael, 2007])

- ★ *Höhere spezifische Wärmekapazität*
- ★ *Bessere Regelbarkeit*
- ★ *Robuster in der Ausführung*: da wesentlich kleinere Rohrdurchmesser als bei Luft-EWT verwendet werden können.
- ★ *Hygienische Unbedenklichkeit*: es ist auch bei Luft-EWT durch sorgfältige Planung, Ausführung und Wartung möglich, hygienisch einwandfreie Zuluft für das Gebäudeinnere bereitzustellen. Jedoch stellt sich die Frage nach hygienischen Luftverhältnissen bei Sole-EWT gar nicht, da hier nur die vom EWT bereitgestellte Wärmeenergie verwendet wird. Die Zuluft gelangt über eine separate Außenluftansaugung in das Gebäude und strömt *nicht* wie beim Luft-EWT durch ein im Erdreich verlegtes Rohrsystem.

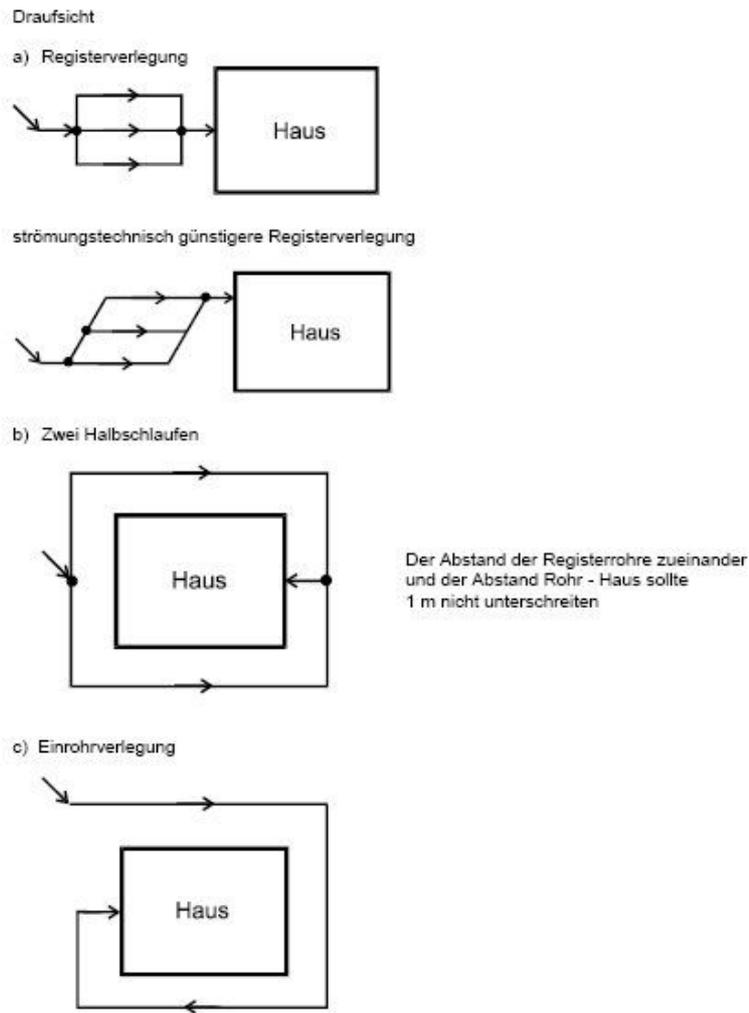


Abbildung 4.12 Verlegungsarten von horizontalen Erdwärmetauschern (aus [Paul, 2005, S.10+11])

Tabelle 4.4 gibt einen Überblick darüber, welche Lufttemperaturen an der Austrittsstelle eines Luft-EWT in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur zu erwarten sind. Die Werte gelten für die Heizsaison. Es ist ersichtlich, dass die erzielbare Luftvorwärmung (=Temperaturdifferenz zw. Außenlufttemperatur und Lufttemperatur an der Austrittsstelle des EWT) umso größer ist, je tiefer die Außenlufttemperatur ist.

Tabelle 4.4 erzielbare Luftvorwärmung (in der Heizsaison) mithilfe von Erdwärmetauschern, gemessen an den Austrittsstellen mehrerer Luft-Erdwärmetauscher (aus [Paul, 2005, S.2], nach [3] Messwerten von Arch. Manfred Brausem (Köln) am eigenen Wohnhaus-Erdwärmetauscher [2005], [4] [Trümper et al., 1992, S.695f], [5] [Sedlbauer et al., 1994, S.3-7])

Außentemperatur [°C]	- 15	- 9	- 7	- 4	- 10	- 15	-10	- 20
EWT-Austrittstemperatur [°C]	+2	+ 3	+ 4	+ 5	+ 2	+ 1	+ 2	0
Literatur	[3]			[4]		[5]		
\dot{V} [m³/h]	200			140		160		
Durchmesser \varnothing [mm]	200			125		100		
Länge l [m]	23			42		40		
Verlegetiefe [m]	1,7			1,5		1		



Abbildung 4.13 horizontaler Erdwärmetauscher (schematische Darstellung) (aus [BDH, 2008c])

4.3.8 Vertikal verlegte Erdwärmetauscher - Vertikalkollektoren

Ab etwa 15 m Tiefe ist die Temperatur im Erdreich übers Jahr gesehen konstant und liegt bei 8-12 °C. Aufgrund des Wärmestroms aus dem Erdinneren nimmt ab ca. 50 m Tiefe die Erdreichtemperatur um etwa 3 °C pro 100 m Tiefe zu. Diese konstante Wärmeenergiequelle macht man sich bei Vertikalkollektoren (Erdwärmesonden) zunutze. Eine schematische Darstellung einer Anlage mit Erdwärmesonden zeigt **Abbildung 4.14**. Dabei werden die Bohrlöcher mit sehr gut wärmeleitendem Spezialzement aufgefüllt, um den Wärmefluss zwischen Erdreich und Erdwärmetauscher (EWT) zu optimieren. Werden EWT in Gründungspfähle aus Stahlbeton eingebaut, spricht man von sog. Energiepfählen. Aufgrund der guten Wärmeleitfähigkeit von Beton sind Energiepfähle bestens für Heiz- und Kühlzwecke sowie für die thermische Energiespeicherung (z.B. solarthermische Energie, Prozessabwärme, Abwärme aus der Raumkühlung etc.) geeignet. Energiepfähle und Erdwärmesonden dienen somit als Erdpendelspeicher, die z.B. im Sommer die Abwärme aus Klimaanlage in die Beton/Spezialzement-Bauteile sowie in das umgebende Erdreich einleiten und dort speichern. Diese gespeicherte Wärmeenergie steht im Winter für Heizzwecke zur Verfügung. [StMUGV, 2005]

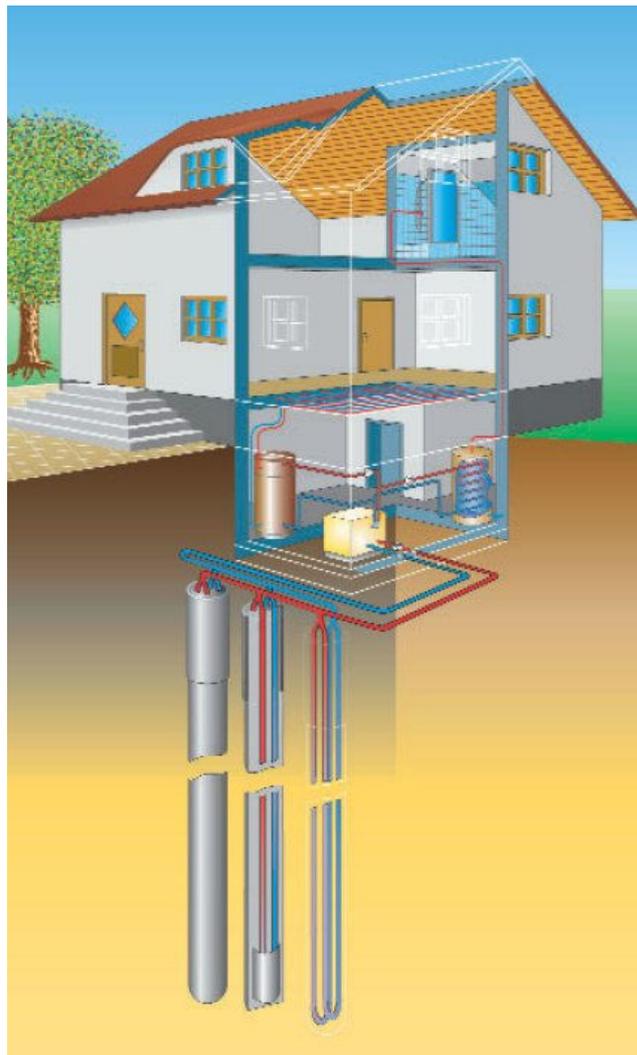


Abbildung 4.14 vertikaler Erdwärmetauscher – Erdwärmesonde (schematische Darstellung) (aus [StMUGV, 2005, S.6])

Für den Einsatz von Vertikalkollektoren sind eine hoch wärmeleitende Bohrlochumgebung (z.B. massiver Fels, wassergesättigter Boden) und eine hoch wärmeleitende Bohrlochverfüllung (Spezialzemente, ThermoCem) ideal (vgl. die in Kap.4.3.9 angegebenen Bodenkennwerte) [Hofbauer, 2009].

Für die Dimensionierung von Vertikalkollektoren (für mitteleuropäisches Klima) sind nachfolgende Punkte zu beachten:

- ★ *Spezifische Entzugsleistung*: 25 W/m (schlechter Untergrund, trockenes Sediment) bis 84 W/m (Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit) bei 1800 h Jahresbetriebsdauer nach VDI 4640-2. Das bayrische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz [StMUGV, 2005] hält Werte von 20 W/m bis 80 W/m – je nach hydrogeologischen Verhältnissen – für möglich. Diese Werte resultieren aus einer jährlichen Betriebsdauer von 1.800-2.400 h, nur Wärmeentzug.
- ★ *Verhältnis Bohrtiefe zu Heizlast*: ca. 11-25 m/kW Heizlast (plus Zuschlag für Warmwasseraufbereitung) [Rieberer, 2007]
- ★ *Notwendige Bohrtiefe*: etwa 60-90 m (bis 160 m) [Rieberer, 2007]. Werte über 100 m sind laut bayrischem Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz [StMUGV, 2005] oft nicht mehr wirtschaftlich.
- ★ *Sondenabstand*: mind. 5 m [Huber, 2005], besser sind jedoch 15 m [Hofbauer, 2009]
- ★ *Behördenaufgaben*: Bodenuntersuchung, Genehmigung durch die Wasserrechtsbehörde [Huber, 2005]

Vorteile von vertikalen EWT: (nach [StMUGV, 2005])

- ★ *Geringer Flächenbedarf*
- ★ *Überbauung möglich*
- ★ *Hohe Arbeitszahl*
- ★ *Niedrige Betriebskosten*
- ★ *Hohe Zuverlässigkeit*
- ★ *Lange Lebensdauer*

Als Nachteil sind hohe Bohrkosten und damit hohe Anschaffungskosten anzuführen.

Aber auch Gefährdungen durch Erdwärmetiefensonden sind möglich: (nach [Spendlingwimmer, 2004])

- ★ *Schadstoffeintrag beim Bohrvorgang*: Öl, Spülmittel, Verkeimung, kurzfristige hydraulische Veränderungen etc.
- ★ *Kurzschluss (Horizontalverbindung) verschiedener Grundwasserhorizonte*: dadurch können sich anhaltende, kaum kontrollierbare hydraulische Veränderungen ergeben. Infolgedessen ist ein Druckabfall bzw. eine Verschlechterung der Grundwasserqualität in den betroffenen Horizonten möglich.
- ★ *Austritt von Sole*
- ★ *Thermische Beeinträchtigung von Nutzern stromabwärts*

Anhydrit- bzw. Gips Horizonte sind für die vertikale Erdwärmenutzung ungeeignet, da sie infolge von Wasserzutritt quellen und ihr Volumen stark vergrößern. Dadurch kann es im Extremfall zur Hebung von Bauwerken kommen.

Eine Hilfestellung bei der Dimensionierung von Erdwärmesonden bietet **Tabelle 4.5**. Für kleinere Anlagen kann **Tabelle 4.6** gemäß VDI 4640-2 herangezogen werden. In beiden Tabellen werden die spezifischen Entzugsleistungen - die am Verdampfer der Wärmepumpe verfügbaren Wärmeleistungen in Relation zur Größe des EWT - verschiedener Gesteine/Böden in Abhängigkeit der Betriebsstunden des EWT pro Jahr angegeben.

Tabelle 4.5 Dimensionierung von Erdwärmesonden gemäß VDI 4640 (aus [StMUGV, 2005, S.11])
 β_A ... Jahresarbeitszahl (kennzeichnend für Wärmepumpenanlagen)

Fest- bzw. Lockergestein	spezifische Wärmeentzugsleistung (Quelle: VDI 4640) [W/m]		Sondenzlänge je 1 kW Heizleistung (mit $\beta_A = 4$) [m]	
	1.800 h/a	2.400 h/a	1.800 h/a	2.400 h/a
Kies/Sand, trocken	< 25	< 20	> 30	> 38
Kies/Sand, wasserführend	65–80	55–65	12–9,4	14–12
Ton/Schluff, feucht	35–50	30–40	21–15	25–19
Kalkstein (massiv)	55–70	45–60	14–11	17–13
Sandstein	65–80	55–65	12–9,4	14–12
Granit, Gneis	65–85	55–70	12–8,8	14–11
Basalt	40–65	35–55	19–12	21–14

Tabelle 4.6 Bemessung für kleine Anlagen mit Erdwärmesonden nach VDI 4640-2
(aus [VDI 4640, 1998])
 λ ... Wärmeleitfähigkeit

Untergrund	spezifische Entzugsleistung	
	für 1800 h	für 2400 h
<i>Allgemeine Richtwerte:</i>		
Schlechter Untergrund (trockenes Sediment) ($\lambda < 1,5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	25 W/m	20 W/m
Normaler Festgesteins-Untergrund und wassergesättigtes Sediment ($\lambda = 1,5\text{--}3,0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	60 W/m	50 W/m
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit ($\lambda > 3,0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	84 W/m	70 W/m
<i>Einzelne Gesteine:</i>		
Kies, Sand, trocken	< 25 W/m	< 20 W/m
Kies, Sand, wasserführend	65–80 W/m	55–65 W/m
Bei starkem Grundwasserfluss in Kies und Sand, für Einzelanlagen	80–100 W/m	80–100 W/m
Ton, Lehm, feucht	35–50 W/m	30–40 W/m
Kalkstein (massiv)	55–70 W/m	45–60 W/m
Sandstein	65–80 W/m	55–65 W/m
saure Magmatite (z.B. Granit)	65–85 W/m	55–70 W/m
basische Magmatite (z.B. Basalt)	40–65 W/m	35–55 W/m
Gneis	70–85 W/m	60–70 W/m

Die Werte können durch die Gesteinsausbildung wie Klüftung, Schieferung, Verwitterung erheblich schwanken.

4.3.9 Bodenkennwerte

Für die Bemessung von Erdwärmetauschern sind hauptsächlich zwei bodenphysikalische Parameter maßgebend: die spezifische Wärmekapazität c_p und die Wärmeleitfähigkeit λ . Beide Parameter hängen vom Wassergehalt w und der spezifischen Rohdichte ρ des anstehenden Gesteinsmaterials ab. Sowohl Wärmekapazität c_p als auch Wärmeleitfähigkeit λ steigen mit zunehmendem Wassergehalt w . Die Wärmekapazität ist ein Maß dafür, wie viel Wärmeenergie der Boden speichern kann. Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt den Wärmeenergie-transport innerhalb des Bodens. Im Umgang mit EWT sollen beide Werte – Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit – möglichst groß werden, daher ist ein hoher Wassergehalt w vorteilhaft. Der Optimalfall ergibt sich bei einem wassergesättigten Boden, also bei einer Einbindung des EWT ins Grundwasser. Als Kenngröße für die Dimensionierung von EWT wird die spezifische Entzugsleistung in W/m^2 (Fläche des Horizontalkollektors) bzw. W/m (Tiefe der Erdwärmesonde) angegeben. Die spezifische Entzugsleistung gibt die am Verdampfer der Wärmepumpe verfügbare Wärmeleistung in Relation zur Größe des EWT an (vgl. auch Kap. 4.3.4, S.66). [StMUGV, 2005]

Tabelle 4.7, **Tabelle 4.8** und **Tabelle 4.9** bieten allgemein gültige Orientierungswerte für verschiedene Bodenkenngrößen an. Da bei Bodenkennwerten teils beträchtliche Schwankungen auftreten, ist für genauere Werte jeweils der Wassergehalt w anzugeben.

Tabelle 4.7 verschiedene Bodenkennwerte aus Analysen der Oklahoma State University, USA (aus [Oklahoma State University, 1988])
 λ ... Wärmeleitfähigkeit; ρ ... spezifische Rohdichte; c ... Wärmekapazität

	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)
Schwere Erde, durchnässt	2,42	3204	840
Schwere Erde, feucht	1,30	2098	960
Schwere Erde, trocken	0,87	2002	840
Leichte Erde, feucht	0,87	1602	1050
Leichte Erde, trocken	0,35	1442	840

Tabelle 4.8 verschiedene Bodenkennwerte (aus [Paul, 2005, S.3], nach [VDI, 1994] und [Recknagel et al., 1995])

Erdreich	φ Rohdichte · 10 ³ [kg/m ³]	c_p spez. Wärme [Wh/kgK]	λ Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
grob kiesig	2,0	0,51	0,52
Lehm	1,5...1,8	0,28...0,83	2,3
Ton, trocken	1,8	0,23	0,84
Tonboden	1,5	0,24	1,28
Sandboden	1,6	0,31...0,89	0,93

Tabelle 4.9 verschiedene Bodenkennwerte (aus [Dibowski, 2005, S.5], nach [Sanner, 1992] und [Sanner & Lehmann, 1994])

Bodenart	Korndichte	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Spezif.Wärmekap. [kJ/kg/K]
Torf	n.a.	0,2 – 0,7	n.a.
Kies, fein, trocken	2,73	0,39 – 0,41	n.a.
Kies, mittel, trocken	2,77	0,41 – 0,43	n.a.
Kies, grob, trocken	2,71	0,47 – 0,52	n.a.
Sand, div.	n.a.	0,2-2,3	n.a.
Sand, trocken	2,66	0,27-0,57	0,84
Sand, feucht	2,66	0,58-1,75	0,91-1,0
Sand, gesättigt	2,66	1,73-5,02	1,36
Sand, gesättigt, gefroren	2,66	2,94	1,03
Sand/Kies	2,7	1,54	0,95
Sand/Kies, gefroren	2,7	1,25	0,86
Sand/Kies, tonig, trocken	2,71	0,52	n.a.
Sand/Kies, tonig, gesättigt	2,71	2,46	n.a.
Sand, verdichtet	n.a.	1,11-1,25	n.a.
Schluff, div.	n.a.	1,0-2,3	n.a.
Schluff, div. Trocken	n.a.	0,38	n.a.
Ton	2,64	< 1,7	n.a.
Lehm, tonig	2,39	< 1,4	n.a.
Ton, div.	n.a.	0,9-2,22	0,93 (für 2,22)
Ton, feucht	n.a.	1,11-1,25	n.a.
Erde, tonig, feucht	n.a.	1,51-2,5	n.a.
Erde, trocken	n.a.	0,34-0,36	n.a.

Welchen Einfluss der Wassergehalt auf die Wärmeleitfähigkeit eines Bodens hat zeigt **Abbildung 4.15**. Dabei spielt die Rohdichte des Bodens [kg/m^3] eine wichtige Rolle. **Abbildung 4.16** stellt die Wärmeleitfähigkeit von Böden verschiedener Rohdichte in Abhängigkeit des Feuchtigkeitsgehalts dar. **Abbildung 4.17** erläutert den Zusammenhang zwischen Temperatur und Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs ebenfalls in Abhängigkeit des Feuchtigkeitsgehalts.

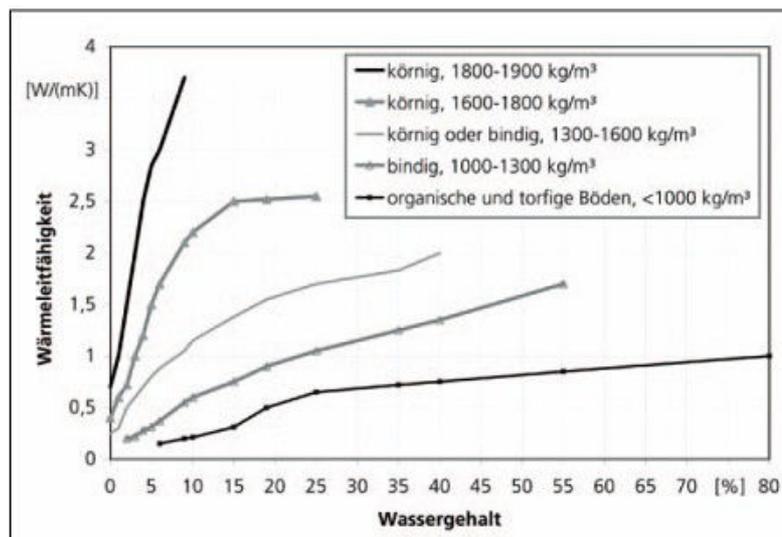


Abbildung 4.15 Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Wärmeleitfähigkeit verschiedener Böden (aus [Sanner, 1992])
Angaben für bestimmte Rohdichten [kg/m^3]

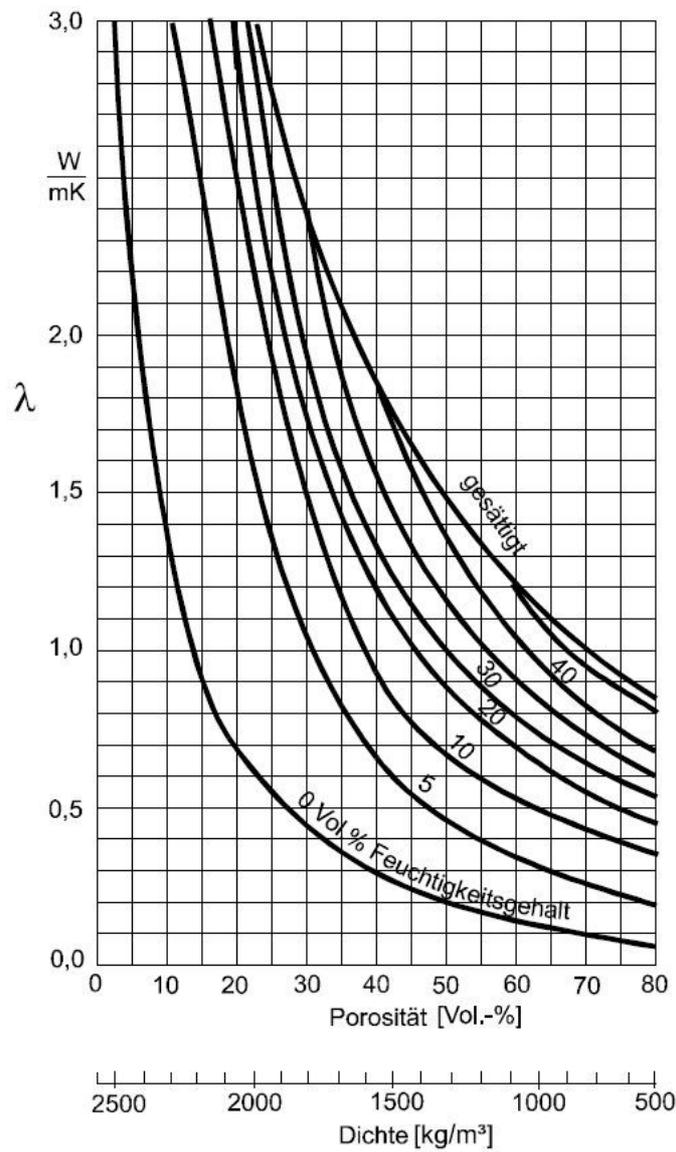


Abbildung 4.16 Zusammenhang zwischen Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt für Erdreich bei 20 °C (aus [VDI, 1994])

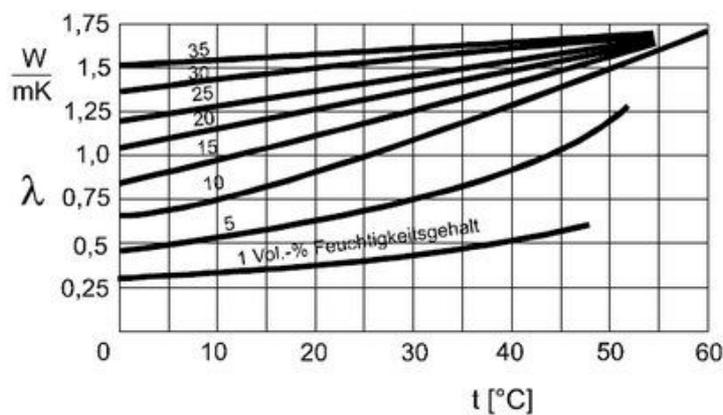


Abbildung 4.17 Zusammenhang zwischen Temperatur und Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt für Erdreich (aus [VDI, 1994])

5 Beschreibung des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße

5.1 Hochbaukonzept

Das grundlegende architektonische Konzept des Passivhaus-Studentenheims Molkereistraße im 2. Wiener Gemeindebezirk wurde bereits in Kap. 1.2 vorgestellt. Aus diesem Grund wird im folgenden Kapitel auf einen groben Überblick verzichtet. Stattdessen werden einige Punkte herausgegriffen und detailliert erörtert. Alle Angaben stammen - sofern nicht anders angegeben - aus der Pressemappe des Passivhaus-Studentenheims Molkereistraße [Ecoplus, 2004].

Der Primärenergiebedarf laut PHPP (Passivhaus Projektierungspaket) des Passivhaus-Studentenheims Molkereistraße liegt bei ca. $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ und damit deutlich unter dem für Passivhäuser geforderten Maximalwert von $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Der Heizwärmebedarf bleibt mit ca. $12 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ebenfalls unter dem geforderten Maximalwert von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Im Zusammenspiel mit einer ausreichend luftdichten Gebäudehülle ($n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$) sind damit die Passivhauskriterien erfüllt. [Team gmi, 2005]

Die wichtigsten Bauteile des Gebäudes sind nachfolgend zusammengefasst: (nach [Ecoplus, 2004] [Team gmi, 2005])

- ★ Fundamentplatte (70 cm WU-Beton) steht auf 15 cm XPS. Darunter 10 cm Unterbeton mit Absorber (Flächenwärmetauscher). U-Wert = $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- ★ Außenwand 18 cm Betonfertigteile mit 26 cm EPS-F plus oder Steinwolle (bei Fenstern aus Brandschutzgründen). U-Wert = $0,146 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- ★ Schrägdach mit 20 cm Stahlbeton und 36 cm Steinwolle, hinterlüftet, verblecht. U-Wert = $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- ★ Flachdach mit 20 cm Stahlbeton, 32 cm EPS und extensiver Begrünung (8 cm). U-Wert = $0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- ★ Fenster: $U_{\text{Glas}} = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $U_{\text{Fenster}} = \text{ca. } 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, g-Wert = 0,52

Die Standard-Außenwände sowie die Außenwände im Fensterladenbereich bestehen aus Betonfertigteilen. Sämtliche Feuermauern, die Außenwände gegen das Erdreich sowie tragende Innenwände sind als Stahlbetonwände ausgeführt. Spezielle Innenwände wie Gemeinschaftsraum gegen Technikraum, Müllraum Innenwand, Trafo Innenwand und Wand gegen Stiegenhaus wurden ebenfalls in Stahlbetonbauweise errichtet. Alle anderen nicht-tragenden Innenwände wurden aus Gipskartonplatten mit innen liegender Steinwolle-Wärmedämmung gefertigt.

Alle Deckenplatten sowie die Fundamentplatte bestehen aus Stahlbeton. [Team gmi, 2005]

In einer 10 cm starken Unterbetonschicht unterhalb der Fundamentplatte befindet sich ein horizontaler solegeführter Erdwärmetauscher (vgl. **Abbildung 5.1**). Für nähere Informationen über die Funktionsweise des EWT wird auf Kap. 4.3 verwiesen.



Abbildung 5.1 horizontaler Erdwärmetauscher des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße in Wien (aus [Ecoplus, 2004, S.11])

Im Folgenden werden ein paar architektonische Details erörtert:

Eine Wohnung des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße besteht standardmäßig aus 2 Zimmern, es gibt jedoch auch 1-, 3- und 4-Zimmer-Wohnungen. Das Gebäude ist 7-geschoßig, wobei das oberste Geschoß E06 (= Dachgeschoß) schräge Außenwände hat. Die Wohnungen sind beiderseitig entlang eines zentralen Erschließungsganges pro Geschoß angeordnet (vgl. **Abbildung 5.2** und **Abbildung 5.3**, die den Grundriss eines Regelgeschoßes bzw. einer Standardwohnung zeigen).

Das Flachdach besitzt Glaselemente, die zwecks Nachtlüftung bzw. bei einem Brandfall geöffnet werden. Diese Glaselemente sind genau oberhalb der Gänge positioniert.

Über 7 vertikale Lichtschächte gelangt das Tageslicht ins Innere des Gebäudes und wird dort von weißen Wandelementen reflektiert. Dadurch ist es möglich, sämtliche Küchenbereiche sogar im Erdgeschoß über auf den Gang gerichtete liegende Küchenfenster natürlich zu beleuchten. Die Lichtschächte befinden sich abwechselnd links und rechts von den Gängen und erstrecken sich vom Erdgeschoß bis zum Dach. Durch diese alternierende Anordnung wird „eine schwingende Bewegung beim Durchschreiten“ erzeugt [Ecoplus, 2004]. Weiters entstehen kleine hell erleuchtete Flächen (Spots) vor den Wohnungstüren (vgl. **Abbildung 5.4**).

Sämtliche Installationen wie Warmwasser, Kaltwasser, Heizung und Lüftung laufen in 9 zentralen Haustechnikschächten zusammen.

Die Fensteröffnungen in den Außenwänden sind geschoßweise versetzt angeordnet. Jeweils 2 Fenster sind optisch miteinander durch einen Metallrahmen, auf dem sich 2 verschiebbare Verschattungselemente aus Bronze befinden, verbunden. Dadurch entsteht eine charakteristische Grundordnung der Fassadenfläche, die sich ständig verändert, je nachdem, ob die Verschattungselemente offen oder geschlossen sind.

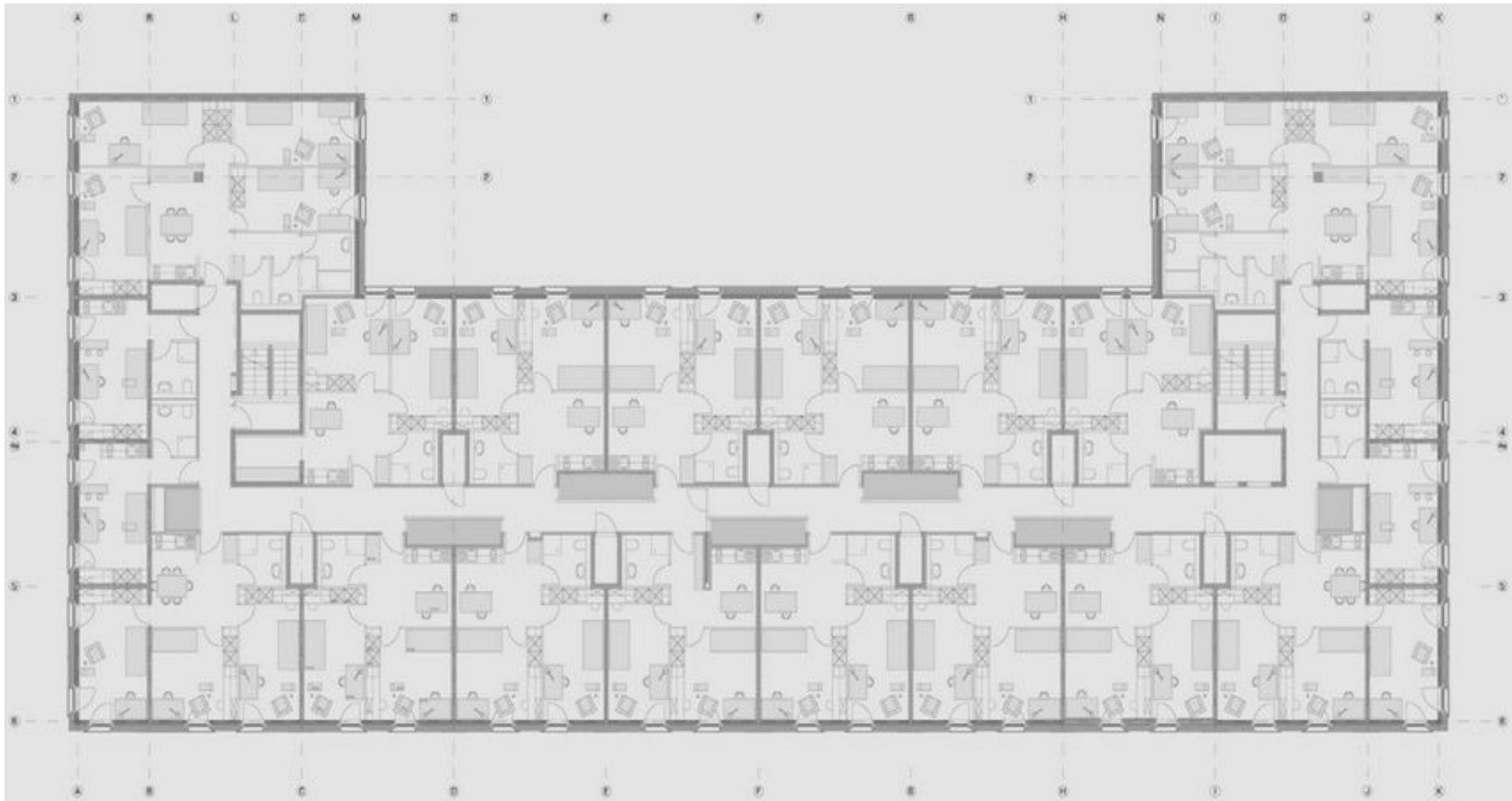


Abbildung 5.2 Regelgeschoß Studentenheim Molkereistraße (aus [Ecoplus, 2004, S.8])

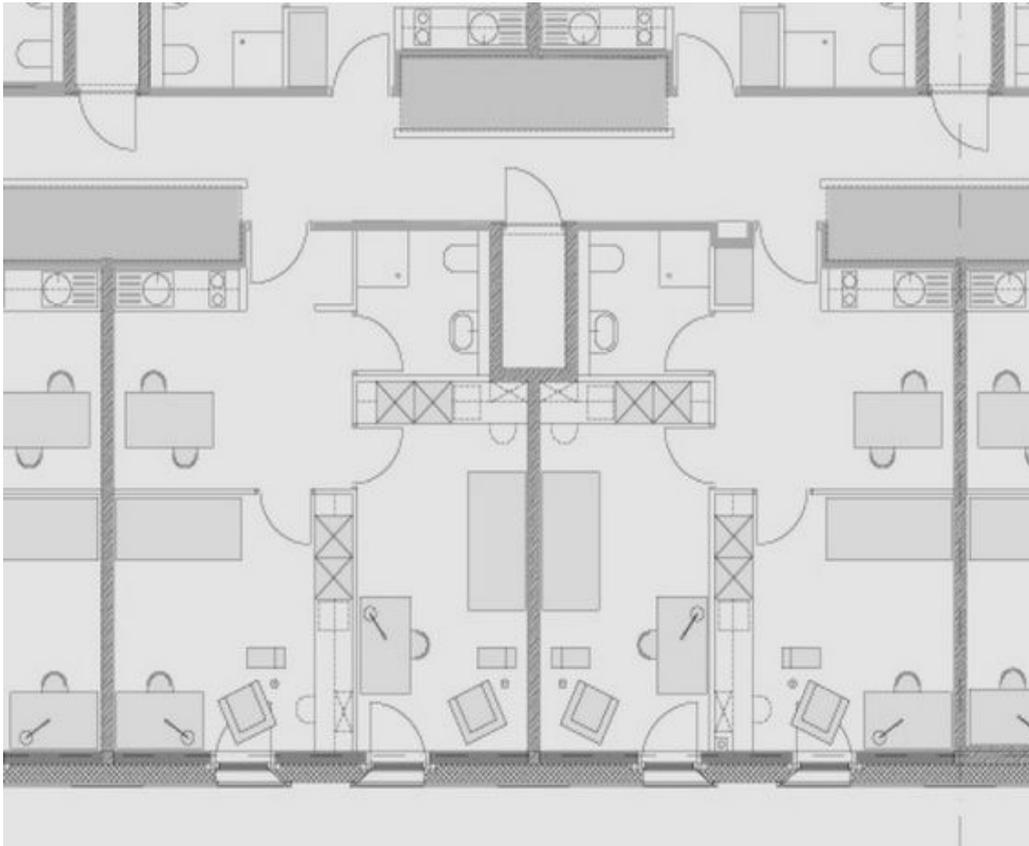


Abbildung 5.3 Standard-2-Zimmer-Wohneinheit des Studentenheims Molkereistraße
(aus [Ecoplus, 2004, S.8])

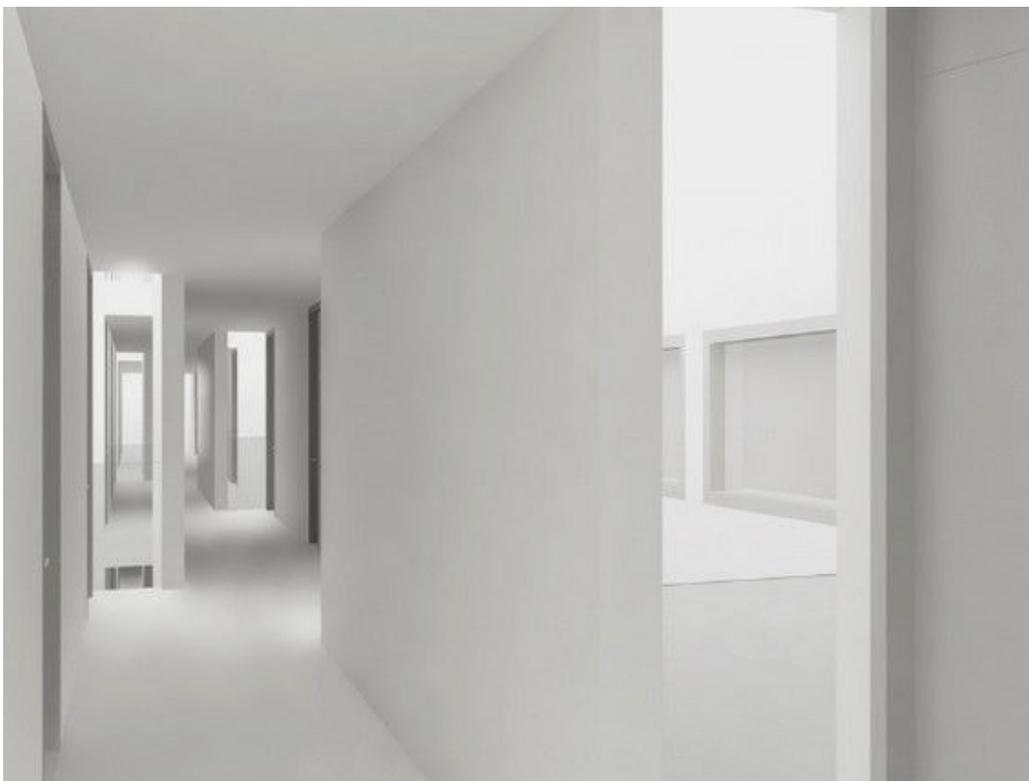


Abbildung 5.4 natürliche Beleuchtung der Gänge des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße
mittels 7 zentraler Lichtschächte (aus [Ecoplus, 2004, S.8])

5.2 Haustechnikkonzept

Alle Angaben betreffend Haustechnikkonzept des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße stammen – sofern nicht anders angegeben – aus dem Gebäudeklimakonzept vom Team gmi [Team gmi, 2005] bzw. der Funktionsbeschreibung der Regelungs- und Steuerungstechnik der Fa. Lohr [Lohr, 2005].

Einen Überblick über das Haustechnikkonzept gibt **Abbildung 5.5**. Die Haustechnikanlagen werden dabei in die Bereiche „Nachheizung Warmwasser“, „Heizkörper und Fußbodenheizung“ und „Luftvorwärmung“ (mithilfe eines EWT) eingeteilt.

Um den Benutzern des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße einen möglichst hohen Wohnkomfort bieten zu können, wurde eine Einzelraumtemperaturregelung vorgesehen. Diese wird mithilfe von Nachheizelementen (Radiatoren) über den Zimmertüren ermöglicht. Raumthermostate regeln die Nachheizelemente auf das gewünschte Temperaturniveau (18 °C bis 23 °C). Wenn die Zimmerfenster geöffnet werden, schalten Fensterkontakte die Nachheizelemente auf die niedrigste Stufe (16 °C), um einen unnötig hohen Energieverbrauch zu vermeiden.

Die Nachheizelemente sind Teil der aktiven wassergeführten Heizanlage. Sie befinden sich direkt über den Zimmertüren. Über den Nachheizelementen sind die Zuluft-Auslässe angeordnet. Die Trennung von Lüftungssystem und Heizung hat den Vorteil, dass eine individuelle Raumtemperaturregelung möglich ist.

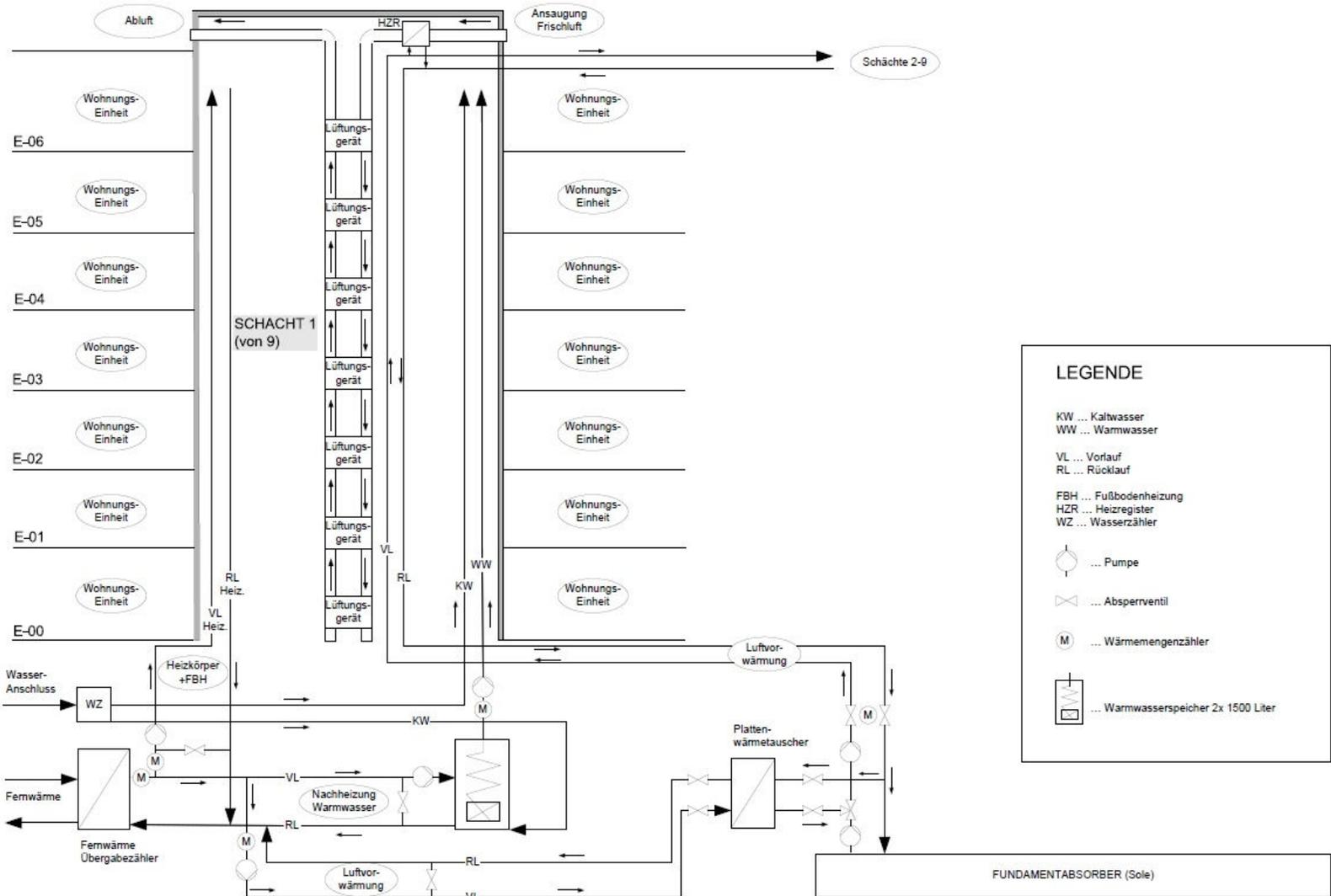
Das *Heizungssystem* ist als 2-Rohr-System (80 °C / 60 °C) ausgeführt. Mithilfe eines Witterungsfühlers wird die Außentemperatur von einem stetigen Temperaturregler erfasst und der Sollwert mit der momentanen Heizkennlinie verglichen. Dadurch kann der Regler den Sollwert der Vorlauftemperatur bestimmen. Diesen Wert vergleicht er mit der momentanen Vorlauftemperatur (wird mittels Vorlauftemperaturfühler gemessen) und steuert bei einer Abweichung das Heizventil entsprechend. Weiters gibt es einen Rücklauftemperaturfühler. Steigt die Rücklauftemperatur über einen festgesetzten Maximalwert, greift der Temperaturregler wiederum ein, indem er die Stellung des Heizventils verändert. Regelung und Umwälzpumpe werden jeweils bedarfsabhängig ein- bzw. ausgeschaltet. Das Heizungssystem wird über einen Fernwärmeanschluss mit Energie versorgt.

Für die *Warmwasseraufbereitung* wird Trinkwasser in zwei zentralen Warmwasserspeichern erhitzt. Die Energie dafür liefert der Fernwärmeanschluss, der auch das Heizungssystem versorgt. Die Warmwasserspeicher in zylindrischer Form fassen jeweils 1.500 l und sind gedämmt (25 cm). Ursprünglich wurden vom Team gmi zwei 2.200 l-fassende Warmwasserspeicher empfohlen. In Absprache mit der Fernwärme Wien wurden von der ausführenden Firma Hofer die Speicher jedoch auf etwa 68 % (= 1.500 l) des Volumens reduziert. Zur Warmwasserverteilung wird ein 1-Leiter-Konzept mit einer wärmedämmten elektrischen Bandbegleitheizung verwendet. Diese Bandbegleitheizung soll die Verteilverluste minimieren. Dadurch ist es möglich, eine Bereitschaftstemperatur von 45 °C im Netz zu halten.

Das 1-Leiter-Konzept bietet gegenüber dem gebräuchlicheren 2-Leiter-Konzept (separate Vorlauf- bzw. Rücklaufleitung) gemäß Recknagel [Recknagel et al., 1998] nachfolgende Vorteile: a) die Rohrleitungslänge kann um etwa die Hälfte verringert werden, dementsprechend sinken auch die Verteilverluste. b) es ist keine Zirkulationspumpe notwendig. Demgegenüber stehen die Nachteile der höheren Kosten für die Errichtung und die schwierige Installation der Bandbegleitheizung (Rohrschellen) [Recknagel et al., 1998].

Unterhalb der Fundamentplatte befindet sich ein horizontal verlegter solegeführter *Erdwärmetauscher* (Fundamentabsorber). Dieser dient zur Luftvorwärmung. Der EWT ist über ein Rohrsystem mit den Heizregistern der 9 Außenluftansaugvorrichtungen (eine pro Schacht) verbunden und sorgt dafür, dass die Heizregister bei tiefen Außentemperaturen nicht einfrieren. Darüber hinaus hebt der EWT die angesaugte Außenluft auf ein höheres Temperaturniveau, wodurch Energiekosten eingespart werden.

Die *Lüftungsanlage* wird im nächsten Kapitel besprochen.



LEGENDE

- KW ... Kaltwasser
- WW ... Warmwasser
- VL ... Vorlauf
- RL ... Rücklauf
- FBH ... Fußbodenheizung
- HZR ... Heizregister
- WZ ... Wasserzähler
- ... Pumpe
- ... Absperrventil
- ... Wärmemengenzähler
- ... Warmwasserspeicher 2x 1500 Liter

Abbildung 5.5 Haustechnikschema des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße (in Anlehnung an Pläne von Team gmi)

5.3 Lüftungskonzept

Alle Angaben zum Lüftungskonzept des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße stammen – sofern nicht anders angegeben – aus dem Gebäudeklimakonzept vom Team gmi [Team gmi, 2005] bzw. der Funktionsbeschreibung der Regelungs- und Steuerungstechnik der Fa. Lohr [Lohr, 2005].

Das Passivhaus Studentenheim Molkereistraße besitzt 9 vertikale Haustechnik-Schächte (vgl. **Abbildung 5.5**, S.85 und **Abbildung 5.6**). In den Schächten werden in 2 separaten Luftkanälen die Außenluft und die verbrauchte Fortluft geführt. Die Luftkanäle sind über Rohrstränge (Durchmesser jeweils 160 mm, 2 cm Dämmung für den Fortluftstrang bzw. 5 cm Dämmung für den Außenluftstrang) mit den dezentralen Lüftungsgeräten verbunden und erstrecken sich vom Erdgeschoß bis zum Dach, wo sie in eine Außenluftansaugvorrichtung und einen Fortluftauslass münden. Unmittelbar vor der Außenluftansaugvorrichtung ist ein elektrisches Heizregister zwischengeschaltet. Das Heizregister ist über ein 2-Leiter Netz (Vorlauf, Rücklauf) mit einem horizontalen solegeführten Erdwärmetauscher verbunden, der sich unterhalb der Fundamentplatte befindet.

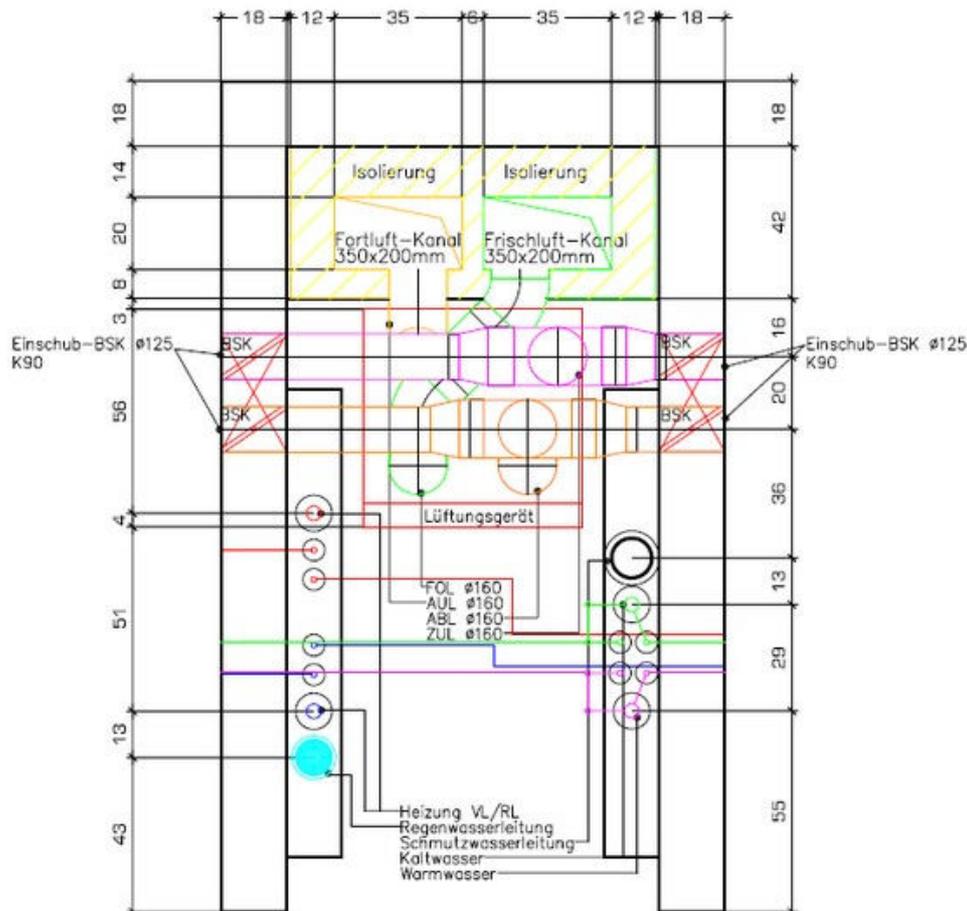


Abbildung 5.6 Detail Haustechnikschacht aus dem Ausführungsplan HLS – 2./3./5. OG vom 15.10. 2003. Mit freundlicher Genehmigung vom Haustechnikplaner Team GMI und Architekturbüro P.ARC GmbH.
 FOL ... Fortluft; AUL ... Außenluft; ABL ... Abluft; ZUL ... Zuluft;
 BSK ... Brandschutzklappe

Wenn die Temperatur der angesaugten Außenluft unter -2 °C sinkt, wird sie mittels Heizregister vorgewärmt, um Frostschäden an den Lüftungsgeräten zu verhindern. Bei Außentemperaturen $\geq -4\text{ °C}$ wird das Heizregister durch Fernwärme versorgt, bei Außentemperaturen $\leq -5\text{ °C}$ durch den Erdwärmetauscher. Im Sommer kann der Erdwärmetauscher über das Heizregister die angesaugte Außenluft abkühlen. Dies geschieht bei Temperaturen $\geq 30\text{ °C}$. Fällt die Temperatur unter 28 °C , schaltet sich die Pumpe für den Erdwärmetauscher wieder ab.

Am 19.06.2008 wurden im Zuge einer Optimierung der Energieperformance die „Sommerwerte“ für den Betrieb des Erdwärmetauschers umgestellt. Der Erdwärmetauscher schaltet sich nun bei einer Außenlufttemperatur $\geq 25\text{ °C}$ an bzw. bei $\leq 24\text{ °C}$ ab [Smutny, 2008].

Die vertikalen Außenluft- bzw. Fortluftstränge in den Haustechnikschächten sind mit 63 dezentralen Komfortlüftungsgeräten verbunden. Pro Schacht (insgesamt 9) sind 7 Komfortlüftungsgeräte installiert, eines pro Stockwerk. Ein Komfortlüftungsgerät versorgt jeweils 2 Wohneinheiten mit Frischluft.

Die dezentralen Komfortlüftungsgeräte des Typs „Aerosilent Standard“ der Fa. Drexel und Weiss [Drexel & Weiss, 2004] sind mit Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauschern ausgestattet (Wärmebereitstellungsgrad $85 - 93\%$, Wärmerückgewinnungsgrad 85% nach VDI 2071 bei Nennvolumenstrom). Mit diesen Wärmetauschern ist es möglich, die Außenluft / Zuluft durch die Wärmeabgabe der Abluft auf $16 - 20\text{ °C}$ vorzuwärmen. Die Komfortlüftungsgeräte fördern eine Nennluftmenge von $160\text{ m}^3/\text{h}$ und eine maximale Luftmenge von $230\text{ m}^3/\text{h}$ (bei 100 Pa Druckverlust). Die maximale Leistungsaufnahme der Ventilatoren beträgt 100 W . Diese wird bei der maximalen Luftmenge von $230\text{ m}^3/\text{h}$ erreicht, allerdings bei einem höheren Druckverlust von 150 Pa . **Abbildung 5.7** zeigt die Leistungsaufnahme und die Stromeffizienz der dezentralen Komfortlüftungsgeräte in Abhängigkeit des externen Druckverlustes. Die Druckverluste werden zum Teil durch die am Dach verwendeten Filter verursacht. Pro Außenluftansaugvorrichtung gibt es einen Grob- und einen Feinfilter, die zu einem Druckverlust von $17 - 43\text{ Pa}$ (je nach Verschmutzung) führen. Gemäß einer groben Schätzung vom Team gmi verursachen die Filter der dezentralen Komfortlüftungsgeräte zusätzlich einen Druckverlust von 10 Pa / Gerät, die Rohrleitungen von $0,8\text{ Pa}$ / Meter Rohrleitung plus $2 - 7\text{ Pa}$ / Formstück und die Schalldämpfer von $10 - 20\text{ Pa}$ / Schalldämpfer.

In **Abbildung 5.8** werden Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärtechnik im Studentenheim Molkereistraße anhand zweier Standard-2-Zimmer-Wohnungen, die von einem gemeinsamen Komfortlüftungsgerät versorgt werden, detailliert dargestellt (Planausschnitt 3. OG). Von den Komfortlüftungsgeräten verlaufen Zuluftkanäle in die Wohneinheiten hinein, wo sie Badezimmer und Vorraum durchqueren bis sie in die Küche und in die einzelnen Zimmer gelangen. Die Zuluftkanäle sind in abgehängten Decken untergebracht. Die Zuluftauslässe in den Zimmern sind direkt über den Nachheizelementen oberhalb der Zimmertüren angeordnet (vgl. **Abbildung 6.1**, S.93). In der Küche ist der Zuluftauslass in einem Küchenregal in Deckennähe eingebaut (es gibt jedoch ein paar Wohneinheiten, die keinen Zuluftauslass in der Küche haben z.B. Top 53 / EG und Top 92 / 4.OG). Damit wird bei allen Zuluftauslässen eine verbaulichere Lufteinbringung mit einer guten Raumdurchströmung sichergestellt. Nachdem die in die Zimmer eingebrachte Luft durch Überströmöffnungen unterhalb der Zimmertüren (Schleiftürenspalt) in die restliche Wohnung gelangt ist, wird sie im Eingangsbereich und im Bad / WC abgesaugt.

Die in die Zimmer eingebrachten Zuluftmengen betragen etwa $30\text{ m}^3/(\text{h Person})$ (etwa $20\text{ m}^3/\text{h}$ in der Küche) und werden bei einer Außentemperatur $< 0\text{ °C}$ auf $20\text{ m}^3/(\text{h Person})$ reduziert. Dadurch wird vermieden, dass die relative Innenraum-Luftfeuchtigkeit unbehaglich niedrig wird.

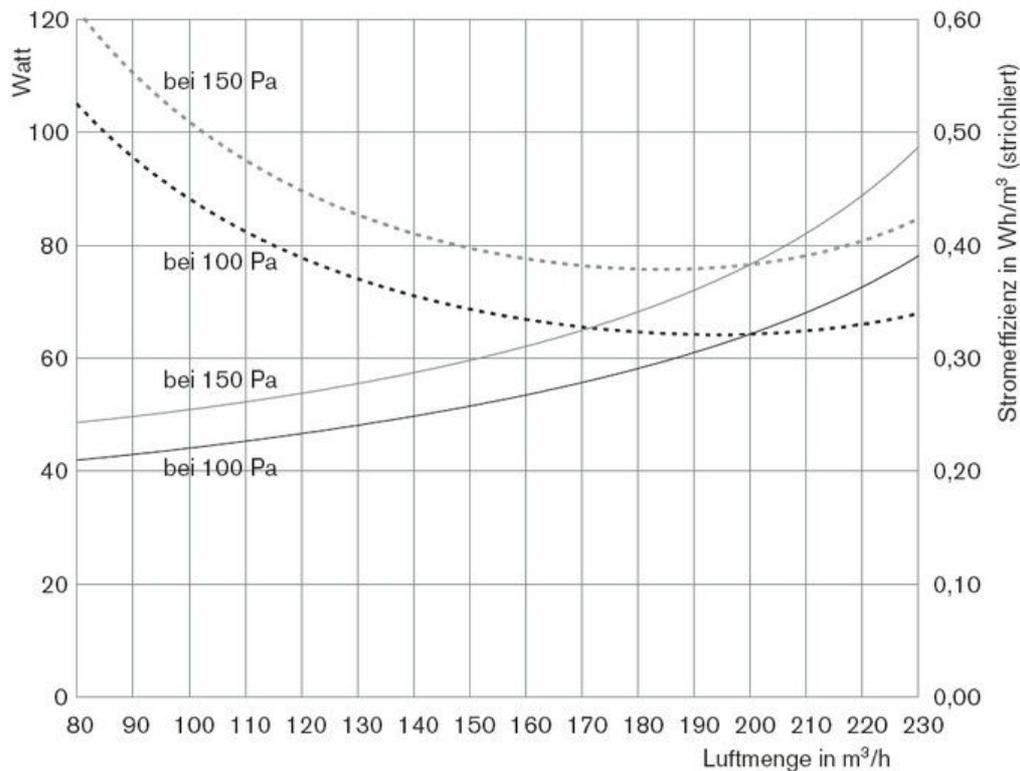


Abbildung 5.7 Leistungsaufnahme und Stromeffizienz der Ventilatoren (inkl. Umwandlungsverluste) der dezentralen Komfortlüftungsgeräte Typ „Aerosilent Standard“ (Fa. Drexel und Weiss) in Abhängigkeit des externen Druckverlustes (aus [Drexel & Weiss, 2004, S.6]) Die strichlierten Kurven geben die Stromeffizienz in Wh/m³ an.

Im Untergeschoß des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße befinden sich 4 zentrale Lüftungsgeräte. Zwei sind für die Belüftung der Räumlichkeiten im Untergeschoß vorgesehen. Der Wärmerückgewinnungsgrad dieser Geräte liegt bei 50 %. Die Nennluftmenge beträgt 2.600 m³/h für den unbeheizten Bereich und 2.000 m³/h für den beheizten Bereich. Die restlichen zwei Lüftungsgeräte sind für Ganglüftung, Sommerkühlung und Branddruckbelüftung verantwortlich. Die Lüftungssteuerung für die Gangbereiche funktioniert mithilfe eines Mischgasfühlers bzw. eines Temperaturfühlers. Um die Luftqualität der Gangbereiche dauerhaft auf einem hygienischen Niveau zu halten, sind Zuluftmengen von 2x 350 m³/h erforderlich. Für die sommerliche Nachtlüftung wird eine Luftmenge von 2x 3.000 m³/h eingeblasen, für die Brandrauchentlüftung 2x 14.700 m³/h.

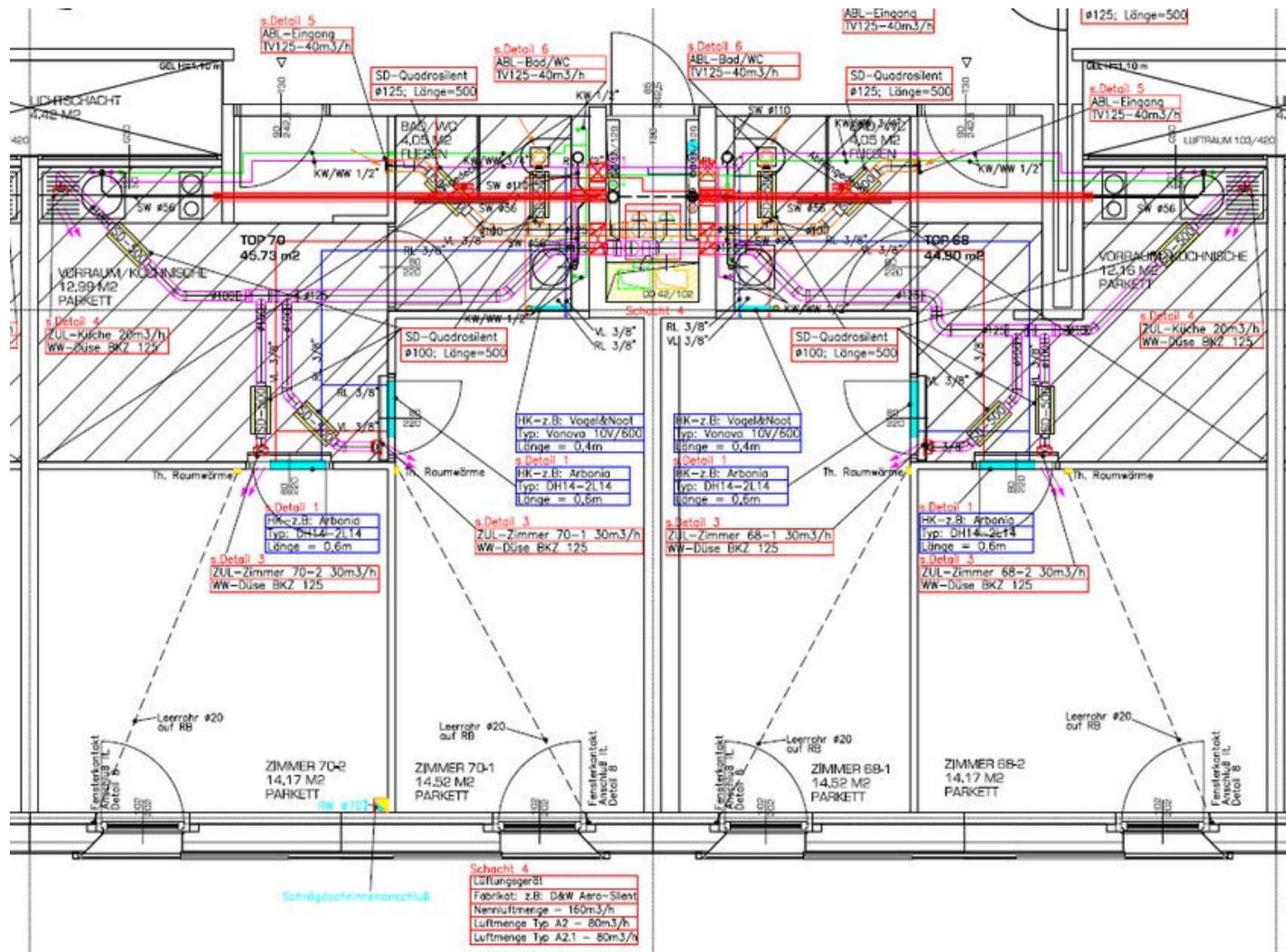


Abbildung 5.8 Ausschnitt aus dem Ausführungsplan HLS – 2./3./5. OG vom 15.10. 2003. Grundriss 3. OG. Top 68 und Top 70. Mit freundlicher Genehmigung vom Haustechnikplaner Team GMI und Architekturbüro P.ARC GmbH. Zwei Standard-2-Zimmer-Wohnungen werden von einem dezentralen Komfortlüftungsgerät versorgt.

6 Messungen und Messergebnisse

6.1 Messkonzept, Geräte

Der Messaufbau und die verwendeten Geräte werden in weiterer Folge für die 3 untersuchten Bereiche *Energieverbrauch, Zuluftmenge und Zulufttemperatur* bzw. *Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchtigkeit* einzeln erläutert und detailliert beschrieben.

6.1.1 Energieverbrauch

Vom 02.02.2007 bis 31.07.2008 wurde im Passivhaus Studentenheim Molkereistraße der Stromverbrauch (in kWh) von 4 dezentralen Komfortlüftungsgeräten und den zentralen Lüftungsgeräten im Keller gemessen.

Die 4 dezentralen Lüftungsgeräte versorgen jeweils 2 Wohneinheiten: Top 40 + Top 42 (2. Obergeschoß), Top 80 + Top 81 (4. Obergeschoß), Top 32 + Top 33 (1. Obergeschoß) und Top 90 + Top 92 (4. Obergeschoß). Bei den zentralen Lüftungsgeräten im Keller ist anzumerken, dass aus messtechnischen Gründen der gesamte Stromverbrauch inkl. Hilfsttechnik (Pumpen, Schaltschrank und Regelungstechnik) ermittelt wurde.

Als Messgeräte wurden folgende Zähler der dänischen Firma Kamstrup A/S verwendet: das Modell Kamstrup 382 für die zentralen Lüftungsgeräte im Keller und das Modell Kamstrup 162 für die dezentralen Lüftungsgeräte.

Die *technischen Daten* der Messgeräte wurden den Funktionsbeschreibungen der Fa. Kamstrup entnommen: [Kamstrup, 2006a] [Kamstrup, 2006b]

★ Kamstrup 382:

- *Allgemeines:* Kamstrup 382 ist ein ein-, zwei- oder dreiphasiger Haushaltszähler mit Nulleiter. Der Vollstromkreislauf des Zählers misst die drei Phasen separat mittels eines Shunts, wodurch ein großer und genauer Dynamikbereich erzielt wird. Der Zähler ist im gesamten Messbereich linear.
- *Elektrizitätszähler:* mittels S0-Impulsdioden werden 1.000 Impulse pro verbrauchter kWh abgegeben (Impulsdauer: 30 ms. ±10 %).
- *Messprinzip:* einphasige Strommessung über Shunt
- *Genauigkeitsklasse:* Klasse 1 bzw. 2 nach DIN 43 857

★ Kamstrup 162:

- *Allgemeines*: Kamstrup 162 ist ein einphasiger Haushaltszähler. Der Vollstromkreislauf des Zählers misst mittels eines Shunts, wodurch ein großer und genauer Dynamikbereich erzielt wird. Der Zähler ist im gesamten Messbereich linear.
- *Elektrizitätszähler*: mittels LED-Diode werden 1.000 Impulse pro verbrauchter kWh abgegeben.
- *Messprinzip*: Einphasenstrommessung über Shunt
- *Genauigkeitsklasse*: Klasse 2

Anm.: Ein Shunt (= Nebenschlusswiderstand) ist ein niederohmiger elektrischer Widerstand, der zur Messung von Strömen verwendet wird.

6.1.2 Zuluftmenge und Zulufttemperatur

Am 15. Mai 2008 wurden im Passivhaus Studentenheim Molkereistraße in den Wohneinheiten Top 10 + Top 12 (Erdgeschoß) und Top 122 + Top 124 (6. Obergeschoß) Zuluftmengen und Zulufttemperaturen gemessen. Die Messungen wurden in Zusammenarbeit mit DI Hannes Konder und ao.Univ.Prof. DI Dr. Thomas Bednar von der Technischen Universität Wien (Zentrum für Bauphysik und Bauakustik), die dankenswerterweise die Messgeräte zur Verfügung stellten, durchgeführt. Um einen späteren Vergleich zwischen den Zuluft- und Abluftvolumenströmen zu ermöglichen, wurden zusätzlich die Abluftmengen und Ablufttemperaturen gemessen.

Die Wohnungen Top 10 + Top 12 (Erdgeschoß) sowie Top 122 + Top 124 (4. Obergeschoß) werden jeweils von einem dezentralen Komfortlüftungsgerät, das sich im zugehörigen Haustechnikschacht befindet, versorgt.

Alle 4 Wohneinheiten besitzen folgende Raumaufteilung. Vorraum / Küche inkl. Eingangsbereich, Bad / WC, Zimmer 1, Zimmer 2. In Zimmer 1 und Zimmer 2 sowie der Küche befinden sich jeweils Zuluftauslässe, die in Deckennähe situiert sind. Die Zuluftauslässe in den beiden Zimmern sind direkt über den Nachheizelementen oberhalb der Zimmertüren angeordnet. In der Küche ist der Zuluftauslass in einem Küchenregal in Deckennähe eingebaut. Die Abluftventile befinden sich im Eingangsbereich in Deckennähe bzw. im Bad / WC an der Decke.

Auf die einzelnen Zuluftauslässe bzw. Abluftventile wurde ein Kunststoff-Trichter der Fa. Testo (Typ Testovent 417) aufgesetzt (vgl. **Abbildung 6.1**). Um verfälschte Messergebnisse zu vermeiden, wurde der Trichter seitlich mit Klebeband abgedichtet, damit ein luftdichter Abschluss zwischen Wand und Trichter entsteht. Die Messung selber erfolgte mithilfe des dazugehörigen Flügelrad-Anemometers mit integriertem Flügelrad (Durchmesser 100 mm) Testo 417. Dieses Kombi-Messgerät (das zusätzlich zu den Volumenströmen die Temperatur misst) wurde über das Flügelrad auf den Trichter gesteckt.

Die nachfolgenden *technischen Daten* des Flügelrad-Anemometers wurden der Produktbeschreibung auf der Homepage der Fa. Testo [Testo, 2008] entnommen:

★ *Temperaturmessung:*

- Messbereich: 0 °C bis +50 °C
- Genauigkeit: $\pm 0,5$ °C
- Auflösung: 0,1 °C

★ *Strömungsgeschwindigkeitsmessung:*

- Messbereich: +0,3 m/s bis +20 m/s
- Genauigkeit: $\pm (0,1 \text{ m/s} + 1,5 \% \text{ v. Mw.})$
- Auflösung: 0,01 m/s

Anm.: v. Mw. bedeutet „vom Messwert“

Da die luftdurchströmte Fläche des Flügelrades bekannt ist, kann das Messgerät aus der Strömungsgeschwindigkeit [m/s bzw. m/h] multipliziert mit der luftdurchströmten Fläche [m²] den Volumenstrom [m³/h] berechnen. Der Volumenstrom wird direkt am Display des Messgeräts angezeigt.



Abbildung 6.1 Zuluftauslass und Volumenstrom- / Temperaturmessung im Passivhaus Studentenheim Molkereistraße in Wien. Fotos: W. Oberkleiner
Der Zuluftauslass befindet sich oberhalb der Zimmertüre bzw. über dem Nachheizelement – Bild oben
Messung des Volumenstroms und der Lufttemperatur mithilfe eines Trichters und eines Flügelrad-Anemometers – Bild unten

6.1.3 Raumlufthemperatur und Raumlufftfeuchtigkeit

Von 19.01.2007 bis 20.05.2007 wurden in 21 Zimmern des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße die Raumlufthemperatur und die relative Raumlufftfeuchtigkeit gemessen. Die Montage der Messgeräte erfolgte am 19.01. um ca. 10:00 Uhr, die Demontage am 26.06. um ca. 10:00 Uhr.

Als Messgeräte wurden die Datenlogger HOBO H08-004-02 der Fa. Onset Computer Corporation verwendet. Diese Geräte können die Temperatur, die relative Luftfeuchtigkeit, die Lichtintensität bzw. optional auch weitere Größen über extern anzuschließende Sensoren messen.

Nachfolgend werden die der Bedienungsanleitung entnommenen *technischen Daten* der Datenlogger HOBO H08-004-02 angeführt: (nach [Onset, 2008])

★ *Temperaturmessung:*

- Messbereich: -20 °C bis +70 °C (-4 °F bis +158 °F)
- Genauigkeit: temperaturabhängig (vgl. **Abbildung 6.2**)
- Auflösung: temperaturabhängig (vgl. **Abbildung 6.2**)

★ *Messung der relativen Luftfeuchtigkeit:*

- Messbereich: 0 % bis 95 % r.F.
- Genauigkeit: temperaturabhängig, ±5 % im Bereich von +5 °C bis +50 °C (+41 °F bis +122 °F)
- Auflösung: keine Angabe

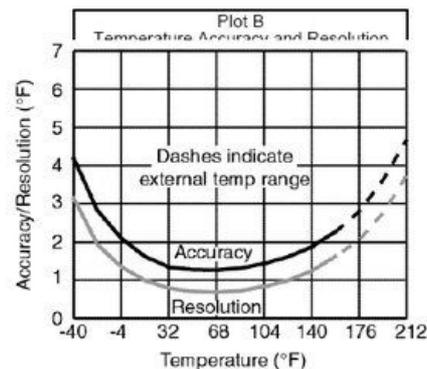


Abbildung 6.2 Genauigkeit (Accuracy) und Auflösung (Resolution) des Datenloggers HOBO H08-004-02 (Fa. Onset Computer Corporation) in Abhängigkeit der Temperatur (aus [Onset, 2008, S.2])
Umrechnung Grad Fahrenheit (°F) in Grad Celsius (°C): $(°F) = (°C) \times 1,8 + 32$

Die Messgeräte wurden in den einzelnen Zimmern installiert. Sie zeichneten über den gesamten Zeitraum von 19.01.2007 bis 20.05.2007 einen Messwert pro Stunde (24 Messwerte pro Tag) auf und speicherten sie ab.

Drei Messgeräte fielen aus: der Datenlogger 6 speicherte überhaupt keine Daten, die Logger 3 bzw. 47 lieferten keine brauchbaren Daten. Diese drei Datenlogger wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt.

Um einen möglichst guten Gesamtüberblick über die Temperaturverhältnisse und die relativen Luftfeuchtigkeiten des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße zu bekommen, wurde sowohl eine in Bezug auf die Stockwerke als auch in Bezug auf die einzelnen Orientierungen ausgewogene Verteilung der Messgeräte angestrebt.

Die *räumliche Verteilung* der Datenlogger wird anhand der Stockwerke und der Orientierungen der einzelnen Zimmer nachfolgend angeführt:

★ *Stockwerk:*

- E00 (=Erdgeschoß): 3 Logger
- E01: 3 Logger
- E02: 3 Logger
- E03: 2 Logger
- E04: 3 Logger
- E05: 2 Logger
- E06 (=Dachgeschoß): 5 Logger

★ *Orientierung:*

- Norden: 3 Logger
- Süden: 3 Logger
- Westen: 7 Logger
- Osten: 8 Logger

Eine Übersicht über die verwendeten Messgeräte zeigt **Tabelle 6.1**. Die in dieser Tabelle enthaltenen Bezeichnungen der einzelnen Daten-Logger werden in allen Diagrammen des Kapitels verwendet. Es ist dadurch ein rasches Auffinden aller relevanten Informationen der Daten-Logger (Aufstellungsort, Stockwerk, Orientierung) möglich.

Tabelle 6.1 Liste der Datenlogger HOBO H08-004-02, die für die Messungen verwendet wurden, geordnet nach der Logger Bezeichnung
Topnr. ... Wohnungsnummer; E00 ... Erdgeschoß; E06 ... Dachgeschoß

Logger Bezeichnung / Orientierung	H_01 / Ost	H_02 / West	H_04 / Nord	H_10 / Nord	H_17 / Ost	H_18 / Ost	H_20 / Ost
Logger Seriennr.	701.838	701.836	694.013	716.205	716.214	716.210	716.184
Topnr.	123	33	55	113	125	121	119
Zimmernr.	2	2	1	1	2	2	2
Stockwerk	E06	E01	E02	E05	E06	E06	E06
Logger Bezeichnung / Orientierung	H_23 / West	H_24 / Nord	H_25 / West	H_26 / Ost	H_31 / West	H_33 / Süd	H_35 / Süd
Logger Seriennr.	716.181	716.215	716.197	716.202	716.190	716.188	716.183
Topnr.	90	16	32	7	42	59	117
Zimmernr.	2	1	2	2	2	1	1
Stockwerk	E04	E00	E01	E00	E02	E03	E06
Logger Bezeichnung / Orientierung	H_36 / West	H_37 / Ost	H_40 / Ost	H_46 / West	H_48 / Ost	H_49 / Süd	H_50 / West
Logger Seriennr.	716.185	716.177	716.192	716.179	716.206	716.207	716.211
Topnr.	81	61	23	40	5	98	80
Zimmernr.	2	2	2	2	2	1	2
Stockwerk	E04	E03	E01	E02	E00	E05	E04

Die Daten der Außenlufttemperatur der nächstgelegenen meteorologischen Messstellen Donauefeld und Hohe Warte wurden gemittelt. Diese Daten liegen nicht über die gesamte Messperiode vor, sondern nur bis 31.03.2008.

Die meteorologischen Daten der Außenlufttemperatur wurden von der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien) zur Verfügung gestellt.

6.2 Messergebnisse

6.2.1 Energieverbrauch der dezentralen Lüftungsanlage

Es wurde der Stromverbrauch von 4 dezentralen Komfortlüftungsgeräten (für einzelne Wohnungen) und den zentralen Lüftungsgeräten im Keller gemessen. Die Tagesdifferenzen der Zählerstände (kWh/Tag) der dezentralen Geräte wurden zwecks besserer Vergleichbarkeit in Wattstunden pro Quadratmeter Wohnnutzfläche und Tag ($\text{Wh}/\text{m}^2_{\text{WNFL}} \cdot \text{d}$) umgerechnet. Da bei den zentralen Lüftungsgeräten im Keller aus messtechnischen Gründen nur der Stromverbrauch inkl. Hilfstechnik (Pumpen, Schaltschrank und Regelungstechnik) ermittelt werden konnte, wurden diese Lüftungsgeräte für die Auswertung nicht berücksichtigt. Die umgerechneten Daten wurden mit vorhandenen Außenlufttemperatur-Daten verglichen. Die Dateneingabe und -auswertung erfolgten mit der Tabellenkalkulations-Software Microsoft Excel.

Die Daten der Außenlufttemperatur der nächstgelegenen meteorologischen Messstellen Donauefeld und Hohe Warte wurden gemittelt. Diese Daten liegen nicht über die gesamte Messperiode vor, sondern nur bis 31.03.2008.

Der Gesamtstromverbrauch aller dezentralen Komfortlüftungsgeräte beträgt hochgerechnet 59.393 kWh/a bzw. $9,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \cdot \text{a})$ bei einer Wohnnutzfläche von 6.338 m^2 .

Abbildung 6.3 stellt die Tagesmittelwerte des Stromverbrauchs der 4 dezentralen Komfortlüftungsgeräte in Relation zur Außenlufttemperatur dar. Der Stromverbrauch der einzelnen Geräte liegt im Mittel meist zwischen $23 \text{ Wh}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \cdot \text{d})$ und $25 \text{ Wh}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \cdot \text{d})$ und schwankt damit recht wenig. Die Außenlufttemperatur unterliegt wesentlich größeren Schwankungen.

Es ist zu beachten, dass die in die Zimmer eingebrachten Zuluftmengen von $30 \text{ m}^3/(\text{h Person})$ bei einer Außentemperatur $< 0 \text{ °C}$ auf $20 \text{ m}^3/(\text{h Person})$ reduziert werden, damit die relative Luftfeuchtigkeit nicht unbehaglich niedrig wird [Team gmi, 2005].

Weiters ist zu sagen, dass die Filter der dezentralen Lüftungsgeräte im Februar und im Juni 2008 gereinigt wurden.

Aus dem Diagramm ist die Reduktion des Stromverbrauchs infolge der Verringerung der Zuluftmengen bei Außentemperaturen $< 0 \text{ °C}$ nicht deutlich erkennbar. Es lässt sich auch über die gesamte Messperiode gesehen kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Außenlufttemperatur und dem Stromverbrauch der dezentralen Lüftungsgeräte erkennen. Weiters sind keine positiven Auswirkungen der Filterreinigung auf den Stromverbrauch ersichtlich.

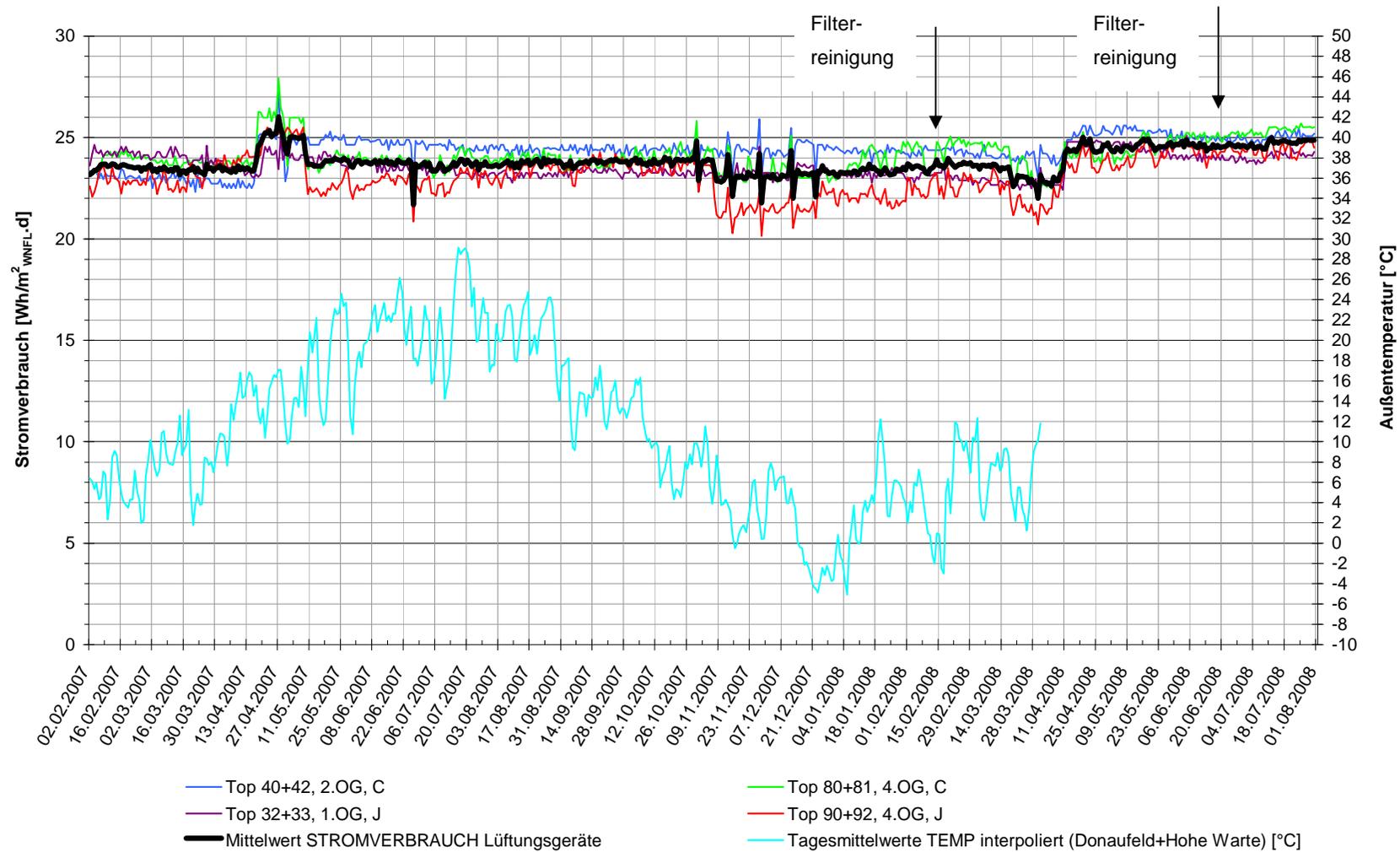


Abbildung 6.3 Tagesmittelwerte des Stromverbrauchs der dezentralen Lüftungsgeräte im Passivhaus Studentenheim Molkereistraße im Vergleich zur Außentemperatur (02.02.2007 bis 31.07.2008)
 WNFL ... Wohnnutzfläche. Top 40 ... Wohnung 40. Die Daten für die Außenlufttemperatur liegen nur bis inkl. 31.03.2008 vor.

6.2.2 Zuluftmenge und Zulufttemperatur

Es wurden in 4 verschiedenen Wohnungen die Luftvolumenströme bzw. die Lufttemperaturen an den Zuluftauslässen und Abluftventilen gemessen. Die Dateneingabe und –auswertung erfolgten mit der Tabellenkalkulations-Software Microsoft Excel.

Tabelle 6.2 zeigt eine Zusammenfassung der Messergebnisse. Dabei wurde für jede Wohnung die Summe aller Zuluftvolumenströme der Summe aller Abluftvolumenströme gegenübergestellt.

Die nachfolgenden Werte in Klammern geben jeweils die Planwerte an.

In der Wohnung 10 / EG lagen die Messwerte der Zuluftvolumenströme bei 31,5 m³/h (30 m³/h) und 27 m³/h (30 m³/h) in den Zimmern bzw. 16 m³/h (20 m³/h) in der Küche.

In der Wohnung 12 / EG (am selben Lüftungsgerät angeschlossen wie die Wohnung 10 / EG) wurden Zuluftvolumenströme von 28 m³/h (30 m³/h) und 30 m³/h (30 m³/h) in den Zimmern bzw. 20 m³/h (20 m³/h) in der Küche gemessen.

In der Wohnung 122 / 6.OG wurden Zuluftvolumenströme von 26,5 m³/h (30 m³/h) und 24,5 m³/h (30 m³/h) in den Zimmern bzw. 21,5 m³/h (20 m³/h) in der Küche gemessen.

In der Wohnung 124 / 6.OG (am selben Lüftungsgerät angeschlossen wie die Wohnung 122 / 6.OG) lagen die Messwerte der Zuluftvolumenströme bei 30,5 m³/h (30 m³/h) und 33,5 m³/h (30 m³/h) in den Zimmern bzw. 22 m³/h (20 m³/h) in der Küche.

Damit lässt sich für die 4 Wohnungen die Aussage machen, dass die gemessenen Zuluftvolumenströme in etwa den Planwerten entsprechen. Die größten Abweichungen vom Planwert ergeben sich in der Wohnung 122 / 6.OG (gemessener Wert: 24,5 m³/h; Planwert: 30 m³/h) mit -18 % bzw. in der Wohnung 124 / 6.OG (gemessener Wert: 33,5 m³/h; Planwert: 30 m³/h) mit +12 %.

Es ergeben sich folgende – pro Wohnung aufsummierte – Gesamt-Zuluftvolumenströme bzw. Gesamt-Abluftvolumenströme (die Abluftvolumenströme werden jeweils in Klammern angegeben): 74,5 m³/h (93 m³/h) für die Wohnung 10 / EG, 78 m³/h (103 m³/h) für die Wohnung 12 / EG, 72,5 m³/h (111 m³/h) für die Wohnung 122 / 6.OG und 86 m³/h (95 m³/h) für die Wohnung 124 / 6.OG.

Daraus ist ersichtlich, dass die kumulierten Abluftvolumenströme jeweils größer sind als die Zuluftvolumenströme, es wird also mehr Luft abgesaugt als zugeführt. Die maximale Differenz zwischen kumuliertem Abluftvolumenstrom und Zuluftvolumenstrom beträgt 38,5 m³/h (Wohnung 122 / 6.OG), d.h. es wird um 53 % mehr Luft abgesaugt als zugeführt. Im Schnitt wird um 30 % mehr Luft abgesaugt als zugeführt.

Im Idealfall sollten sich Zu- und Abluftmengen ausgleichen, also die Differenz zwischen Abluft und Zuluft gleich Null sein.

Die gemessenen Zulufttemperaturen betragen in den Wohnungen 10 / EG und 12 / EG im Mittel etwa 26 °C, in den Wohnungen 122 / 6.OG und 124 / 6.OG etwa 28 °C und 29 °C (die Wohnungen 10+12 bzw. 122+124 werden jeweils zu zweit von einem dezentralen Komfortlüftungsgerät versorgt).

Die Ablufttemperaturen entsprechen in etwa den Zulufttemperaturen.

Es ist zu beachten, dass die Messungen an diesem Tag im Erdgeschoß begannen (ca. 11:00), im Dachgeschoß beendet wurden (ca. 12:30) und in diesem Zeitraum die Außenlufttemperatur entsprechend anstieg. Um 11:00 wurde eine Außenlufttemperatur von 21,8 °C auf der Hohen Warte und von 21,9 °C im dicht verbauten Gebiet (Margaretenstraße) gemessen. Um 13:00 lag die Lufttemperatur bei 24,3 °C bzw. 24,4 °C für diese Messstationen (Datenquelle: ZAMG Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien).

Tabelle 6.2 Gemessene Luftvolumenströme und Lufttemperaturen in 4 Wohnungen des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße
Jeweils 2 Wohnungen (10+12 bzw. 122+124) werden von einem dezentralen Komfortlüftungsgerät versorgt.

		Datum	Uhrzeit	Wohnungsnummer	Etage	Volumenstrom [m ³ /h]	Temperatur [°C]
Zuluft	Zimmer 1	15.05.2008	11:00	10	EG	31,5	25,9
	Zimmer 2	15.05.2008	11:00	10	EG	27,0	26,0
	Küche	15.05.2008	11:00	10	EG	16,0	26,2
	SUMME	15.05.2008	11:00	10	EG	74,5	
Abluft	Eingang	15.05.2008	11:00	10	EG	46,0	26,2
	Bad+WC	15.05.2008	11:00	10	EG	47,0	26,1
	SUMME	15.05.2008	11:00	10	EG	93,0	
Differenz	Abluft - Zuluft	15.05.2008	11:00	10	EG	18,5	
Zuluft	Zimmer 1	15.05.2008	11:45	12	EG	28,0	26,0
	Zimmer 2	15.05.2008	11:45	12	EG	30,0	26,0
	Küche	15.05.2008	11:45	12	EG	20,0	26,0
	SUMME	15.05.2008	11:45	12	EG	78,0	
Abluft	Eingang	15.05.2008	11:45	12	EG	54,0	26,0
	Bad+WC	15.05.2008	11:45	12	EG	49,0	26,0
	SUMME	15.05.2008	11:45	12	EG	103,0	
Differenz	Abluft - Zuluft	15.05.2008	11:45	12	EG	25,0	
Zuluft	Zimmer 1	15.05.2008	12:10	122	6.OG	26,5	28,4
	Zimmer 2	15.05.2008	12:10	122	6.OG	24,5	28,2
	Küche	15.05.2008	12:10	122	6.OG	21,5	27,2
	SUMME	15.05.2008	12:10	122	6.OG	72,5	
Abluft	Eingang	15.05.2008	12:10	122	6.OG	55,0	28,8
	Bad+WC	15.05.2008	12:10	122	6.OG	56,0	28,4
	SUMME	15.05.2008	12:10	122	6.OG	111,0	
Differenz	Abluft - Zuluft	15.05.2008	12:10	122	6.OG	38,5	
Zuluft	Zimmer 1	15.05.2008	12:30	124	6.OG	30,5	29,0
	Zimmer 2	15.05.2008	12:30	124	6.OG	33,5	29,0
	Küche	15.05.2008	12:30	124	6.OG	22,0	28,9
	SUMME	15.05.2008	12:30	124	6.OG	86,0	
Abluft	Eingang	15.05.2008	12:30	124	6.OG	34,0	29,0
	Bad+WC	15.05.2008	12:30	124	6.OG	61,0	29,0
	SUMME	15.05.2008	12:30	124	6.OG	95,0	
Differenz	Abluft - Zuluft	15.05.2008	12:30	124	6.OG	9,0	

6.2.3 Raumlufthtemperatur und Raumlufthfeuchtigkeit in der gesamten Monitoringperiode

Es wurden von 19.01.2007 bis 20.05.2007 in 21 Zimmern die Raumlufthtemperatur und die relative Raumlufthfeuchtigkeit gemessen. Die Dateneingabe und –auswertung erfolgten mit der Tabellenkalkulations-Software Microsoft Excel.

Abbildung 6.4 zeigt die Tagesmittelwerte der Raumlufthtemperatur der einzelnen Zimmer, **Abbildung 6.5** den Median und die Quantile der Raumlufthtemperatur aller gemessenen Zimmer. In beiden Abbildungen sind zusätzlich die Außenlufthtemperatur und die mittlere relative Raumlufthfeuchtigkeit zu Vergleichszwecken dargestellt.

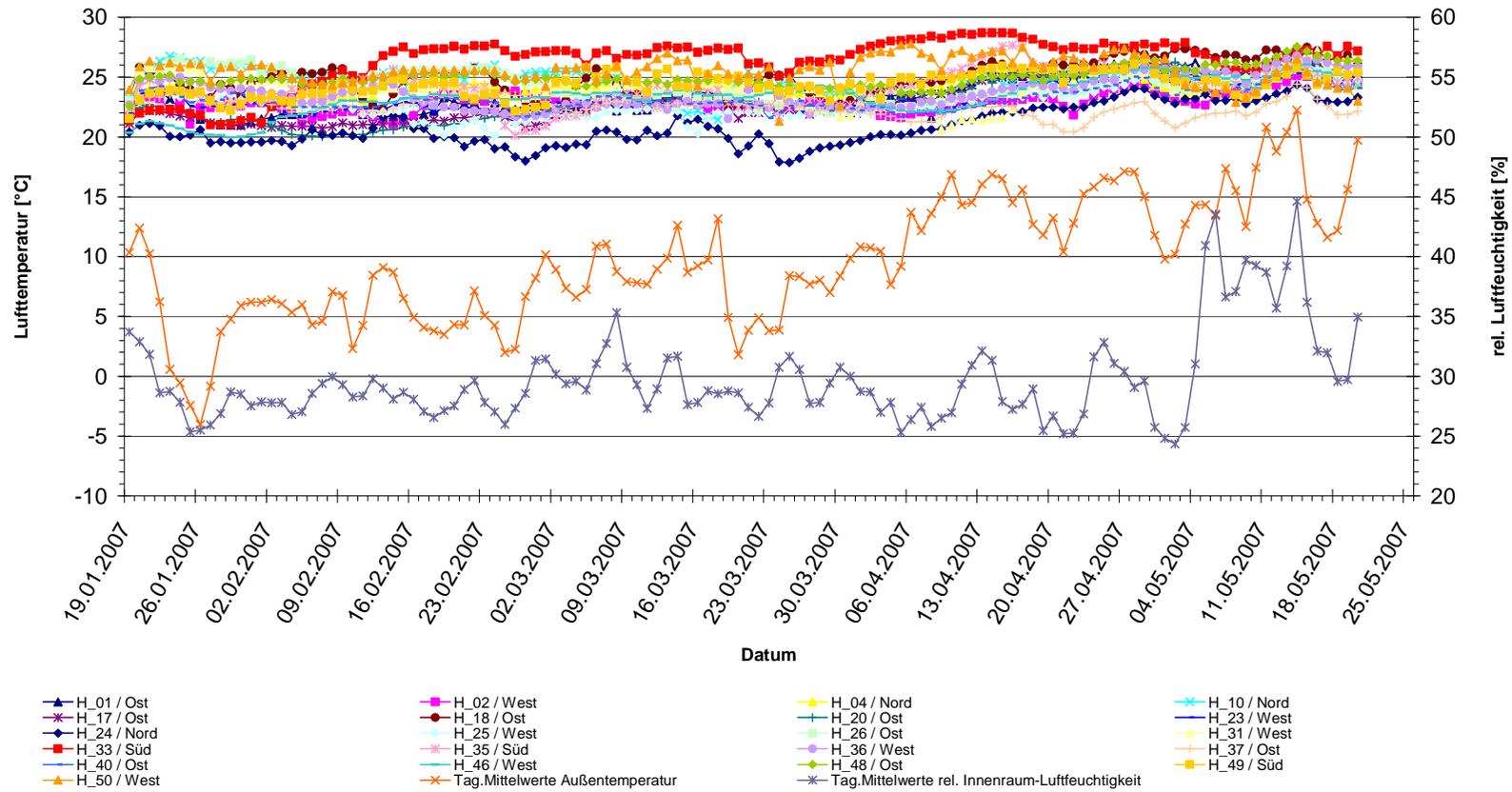


Abbildung 6.4 Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur der einzelnen Zimmer im Vergleich zur Außenlufttemperatur und zur mittleren relativen Raumluftfeuchtigkeit (19.01.2007 – 20.05.2007). Tag.Mittelwerte ... Tagesmittelwerte

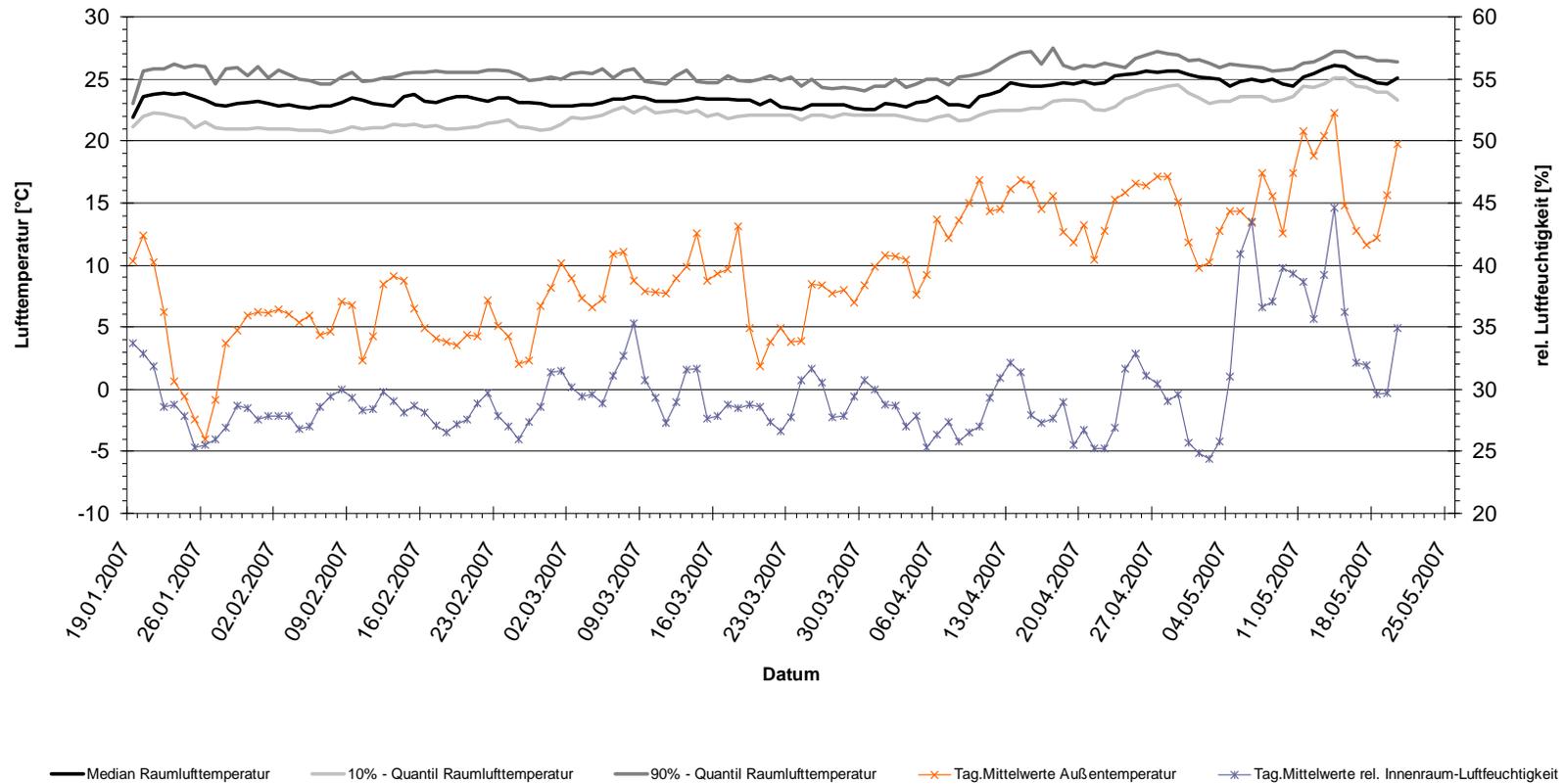


Abbildung 6.5 Median und Quantile der Raumlufttemperatur im Vergleich zur Außenlufttemperatur und zur mittleren relativen Raumluftfeuchtigkeit (19.01.2007 – 20.05.2007). Tag.Mittelwerte ... Tagesmittelwerte

Die Tagesmittelwerte der Raumlufftemperatur der einzelnen Zimmer können **Abbildung 6.6** entnommen werden. **Abbildung 6.7** zeigt den Median und das 10 % bzw. 90 % - Quantil der Raumlufftemperatur. Weiters werden die Tagesmittelwerte der Raumlufftemperatur des kühlfsten Zimmers (H_24) und des wärmfsten Zimmers (H_33) dargestellt (um zu eruieren, welches Zimmer am kühlfsten bzw. am wärmfsten ist, wurde für jedes Zimmer ein Mittelwert der Raumlufftemperatur für die gesamte Messperiode errechnet).

Gemäß **Tabelle 6.1**, S.96, lassen sich folgende Informationen für das kühlfste bzw. das wärmfste Zimmer zusammenfassen:

- ★ *Kühlfstes Zimmer (H_24):*
 - Wohnungsnr. 16, Zimmernr. 1, Erdgeschoß (E00)
 - Orientierung des Zimmers: Norden
- ★ *Wärmfstes Zimmer (H_33):*
 - Wohnungsnr. 59, Zimmernr. 1, 3. Obergeschoß (E03)
 - Orientierung des Zimmers: Süden

Aus **Abbildung 6.6** und **Abbildung 6.7** ist ersichtlich, dass die Temperatur der einzelnen Zimmer stark schwankt. Dies betrifft sowohl die Temperaturverläufe der Zimmer, wenn sie getrennt voneinander einzeln betrachtet werden, als auch die einzelnen Temperaturverläufe im direkten Vergleich untereinander.

Um diese Temperaturschwankungen in Zahlen zu fassen, wurden das kühlfste Zimmer 16-1 (H_24), das wärmfste Zimmer 59-1 (H_33) und der Median aller gemessenen Zimmer miteinander verglichen (vgl. **Abbildung 6.7**). Es ist zu beachten, dass das wärmfste Zimmer 59-1 im 3. Obergeschoß zwei Fenster nach Süden aufweist, die nur eine geringe natürliche Verschattung (Baumkrone einer Linde) erfahren, ganz im Gegensatz zum kühlfsten Zimmer 16-1, welches beide Fenster nach Norden hat und dadurch immer im Schatten liegt.

Die Raumlufftemperatur im Zimmer 16-1 (H_24) liegt mit 20,9 °C um durchschnittlich 2,7 °C unter dem Median für die gesamte Messperiode (23,6 °C). Die Raumlufftemperatur im Zimmer 59-1 (H_33) hingegen liegt mit 26,3 °C um durchschnittlich 2,7 °C über dem Median.

Im Extremfall – am 25.03.2007, Außenlufttemperatur 8,4 °C - war die Raumlufftemperatur des Zimmers 16-1 (H_24) um 5,0 °C niedriger als der (Tages-) Median. Das andere Extrem fand am 09.04.2007 (Außenlufttemperatur 15 °C) statt, als die Raumlufftemperatur im Zimmer 59-1 (H_33) um 5,5 °C höher lag als der (Tages-) Median.

Im Schnitt ist die Raumlufftemperatur im Zimmer 59-1 (H_33) um 5,4 °C höher als im Zimmer 16-1 (H_24). Der maximale Temperaturunterschied zwischen den beiden Zimmern liegt bei 8,9 °C (am 27.02.2007, Außenlufttemperatur 6,7 °C).

In der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007) war der durchschnittliche Temperaturunterschied zwischen den beiden Zimmern deutlich geringer als über die gesamte Messperiode und lag bei 2,5 °C. Vergleicht man jedoch die Zimmer nach der Kaltperiode (ab dem 08.02.2007) bis zum Ende der Heizsaison (ca. Ende März), so beträgt der Temperaturunterschied immer über 5 °C.

Daraus kann ein deutlicher Zusammenhang zwischen Nutzerverhalten und Raumlufftemperatur abgeleitet werden.

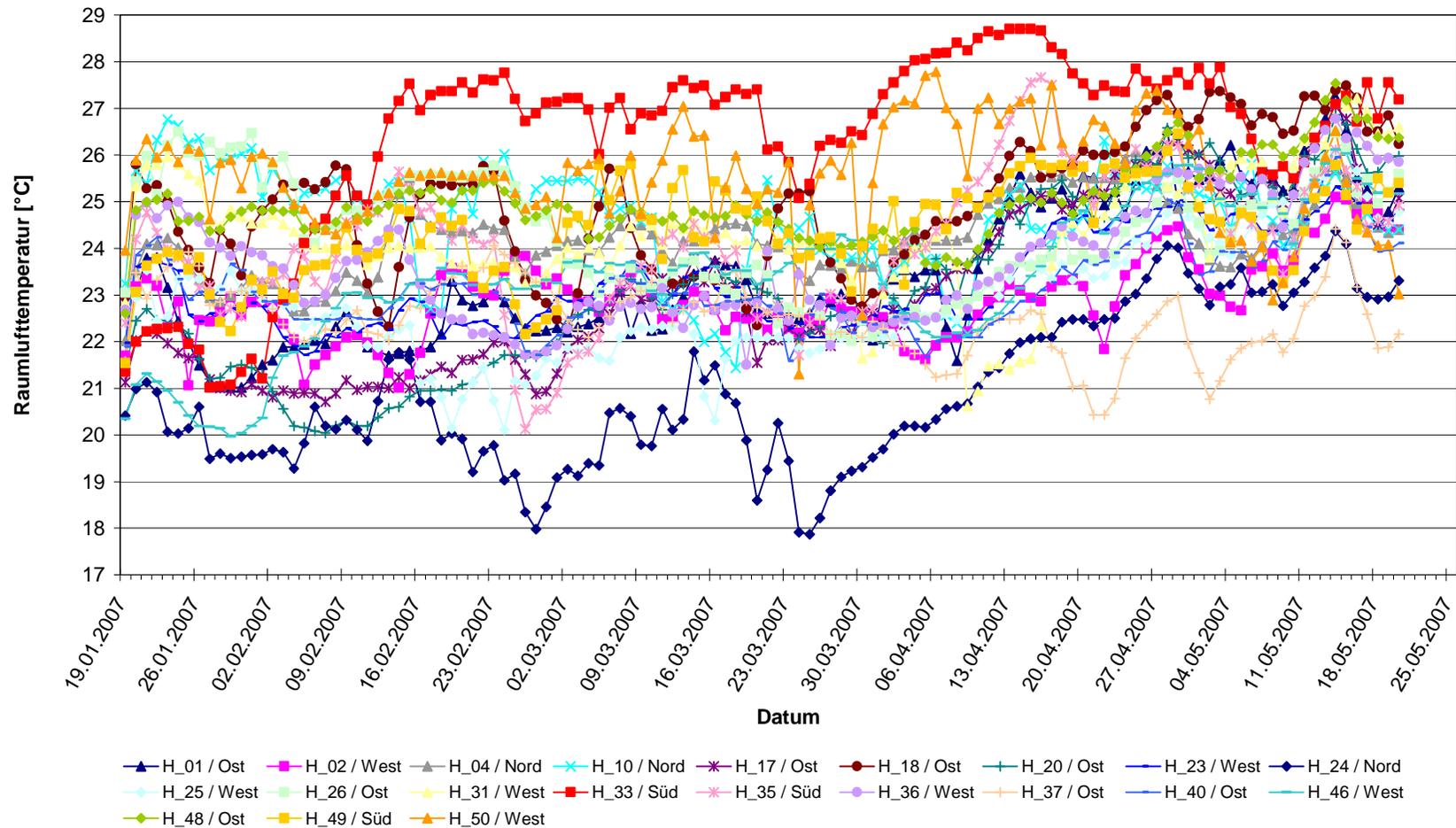


Abbildung 6.6 Tagesmittelwerte der Raumlufitemperatur der einzelnen Zimmer (19.01.2007 – 20.05.2007)

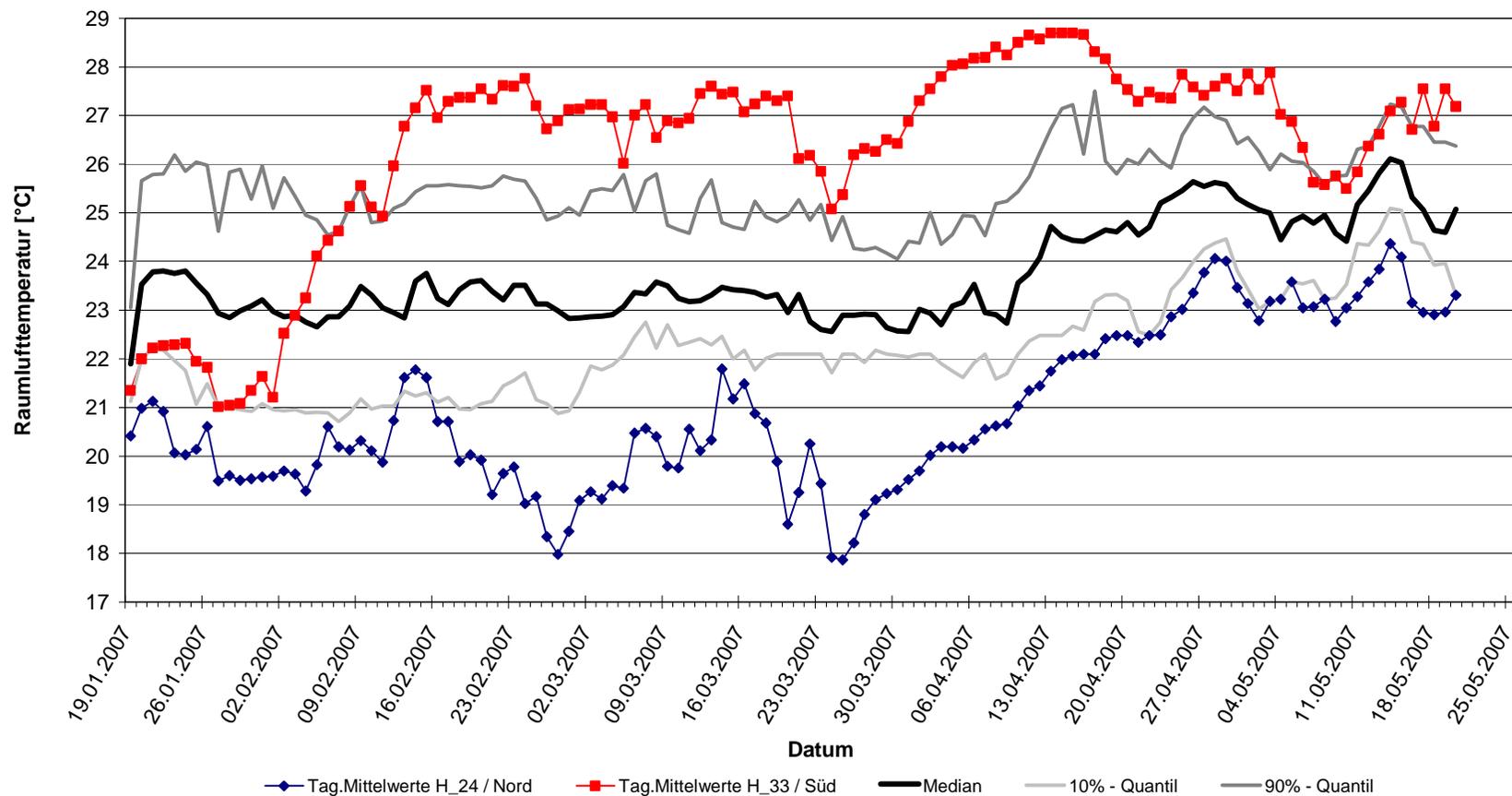


Abbildung 6.7 Median und Quantile der Raumlufthtemperatur im Vergleich mit dem kältesten und dem wärmsten Zimmer (19.01.2007 – 20.05.2007)
 kältestes Zimmer (im Mittel): H_24; wärmstes Zimmer (im Mittel): H_33; Tag.Mittelwerte ... Tagesmittelwerte

Der Verlauf der (über alle Zimmer gemittelten) relativen Raumlufffeuchtigkeit lässt sich aus **Abbildung 6.4**, S.103 entnehmen. Die gesamte Messperiode (19.01.2007 – 20.05.2007) umfasst 122 Tage, dementsprechend wurden 122 Tagesmittelwerte der relativen Raumlufffeuchtigkeit errechnet. An 83 Tagen - das entspricht etwa 2/3 der Messperiode (68 %) - lag die relative Raumlufffeuchtigkeit bei ≤ 30 %, an 2 Tagen (2 %) bei ≤ 25 %.

Werte unter 30 % r.F. (r.F. = relative Feuchte) gelten in der Fachliteratur als nicht mehr behaglich (vgl. Kap. 3.2.2, S.32). Relative Raumlufffeuchtigkeiten unter 25 % sollten auf jeden Fall vermieden werden [Hofbauer, 2009] [Treberspurg, 2009].

Zusammenfassend ist für die relative Raumlufffeuchtigkeit zu sagen, dass sie in der gesamten Messperiode (19.01.2007 – 20.05.2007) zu 2/3 (68 %) unterhalb von 30 % r.F. bzw. zu 2 % unterhalb von 25 % r.F. liegt.

6.2.4 Raumlufthtemperatur und Raumlufftfeuchtigkeit in der Kaltperiode und Warmperiode

Es wurden von 19.01.2007 bis 20.05.2007 in 21 Zimmern die Raumluffthtemperatur und die relative Raumlufftfeuchtigkeit gemessen. Die Dateneingabe und –auswertung erfolgten mit der Tabellenkalkulations-Software Microsoft Excel.

Sieht man sich die relative Raumlufftfeuchtigkeit in der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007) an (vgl. **Abbildung 6.8**), so liegen die Tagesmittelwerte (von allen Zimmern gemittelt) immer zwischen 25 % r.F. und 30 % r.F. Auch die Mittelwerte der einzelnen Stockwerke erreichen nur selten Werte über 30 % r.F. Die Extremwerte liegen bei 24 % r.F. am 25.01.2007 im 1. Obergeschoß (E01) bzw. bei 31,6 % r.F. am 07.02.2007 im 2. Obergeschoß (E02).

Die mittlere Außenluffthtemperatur (errechnet aus den Tagesmittelwerten der Messstationen Donauefeld und Hohe Warte) betrug in der Kaltperiode 3,3 °C (Standardabweichung 3,5 °C).

Es ist zu beachten, dass bei einer Außenluffthtemperatur < 0 °C die in die Zimmer eingebrachte Zuluftmenge von 30 m³/(h Person) auf 20 m³/(h Person) reduziert werden soll, damit die relative Lufftfeuchtigkeit nicht unbehaglich niedrig wird [Team gmi, 2005].

Allerdings lagen die Tagesmittelwerte der Außenluffthtemperatur in der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007) nur an 4 von 17 Tagen (24 %) unter 0 °C. Es ist daher fraglich, inwieweit die Reduktion der Zuluftmenge den Verlauf der relativen Raumlufftfeuchtigkeit beeinflusst bzw. ob die Reduktion der Zuluftmenge tatsächlich stattgefunden hat.

Über die gesamte Messperiode (19.01.2007 bis 20.05.2007) ist nur ein geringer Zusammenhang zwischen Außenluffthtemperatur und relativer Raumlufftfeuchtigkeit erkennbar (vgl. **Abbildung 6.4**, S.103).

Zusammenfassend lässt sich für die relative Raumlufftfeuchtigkeit festhalten, dass sie in der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007) dauerhaft unterhalb von 30 % r.F. liegt, jedoch nie unter 25 % r.F. fällt. In der gesamten Messperiode (19.01.2007 – 20.05.2007) liegt die relative Raumlufftfeuchtigkeit zu 2/3 (68 %) unter 30 % r.F. bzw. zu 2 % unter 25 % r.F. Zum Zeitpunkt der niedrigsten Außenluffthtemperatur ist auch ein Minimum der gemessenen Raumlufftfeuchtigkeit zu beobachten.

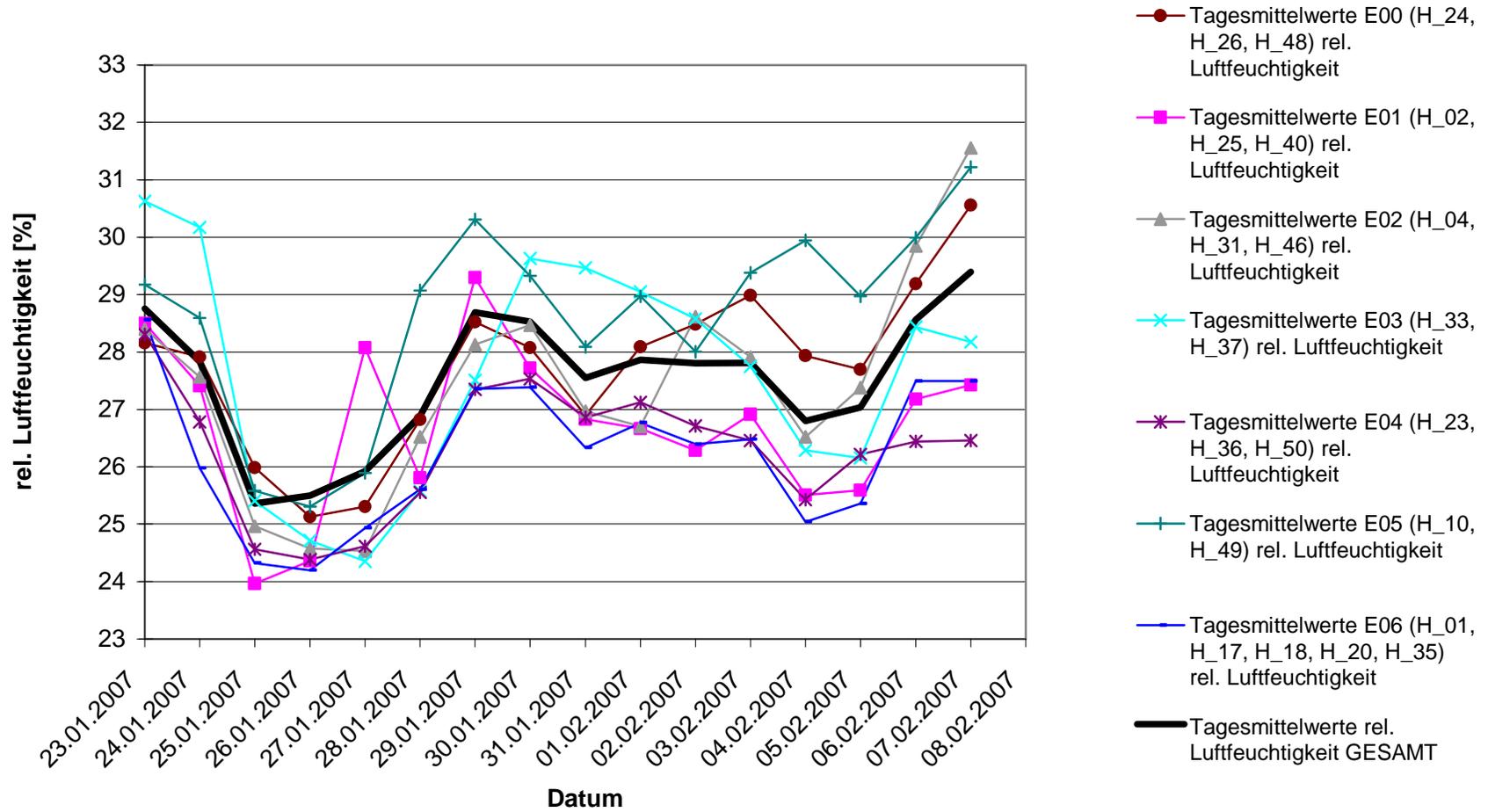


Abbildung 6.8 Tagesmittelwerte der relativen Raumluftfeuchtigkeit in der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007), aufgeschlüsselt nach einzelnen Stockwerken

Die Raumlufttemperatur der einzelnen Zimmer wurde hinsichtlich Orientierung und Stockwerk ausgewertet, jeweils für die Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007) und die Warmperiode (06.05.2007 – 20.05.2007).

Abbildung 6.9 stellt die Raumlufttemperatur der einzelnen Stockwerke in der Kaltperiode dar (23.01.2007 – 07.02.2007), **Abbildung 6.10** in der Warmperiode (06.05.2007 – 20.05.2007).

Aus **Abbildung 6.9** (Kaltperiode) ist ein möglicher Zusammenhang zwischen Stockwerk und Raumlufttemperatur nicht ersichtlich, in der Warmperiode (**Abbildung 6.10**) ist zumindest ein Zusammenhang erkennbar, wenn auch nicht deutlich ausgeprägt. Hier fällt auf, dass im Stockwerk E06 (=Dachgeschoß) eine höhere Raumlufttemperatur – im Mittel um 0,6 °C höher als die mittlere Temperatur aller Zimmer - als in allen anderen Stockwerken vorliegt. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Dachflächenfenster im Dachgeschoß eine höhere solare Einstrahlung bei einer weniger effektiven Verschattungsmöglichkeit aufweisen.

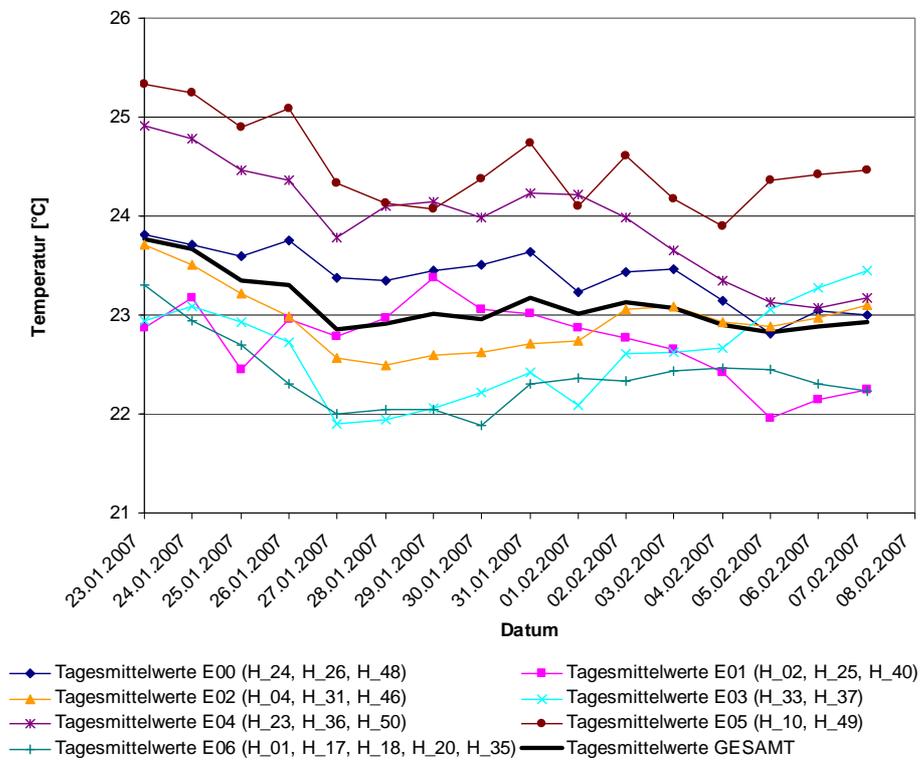


Abbildung 6.9 Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur der einzelnen Stockwerke in der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007)

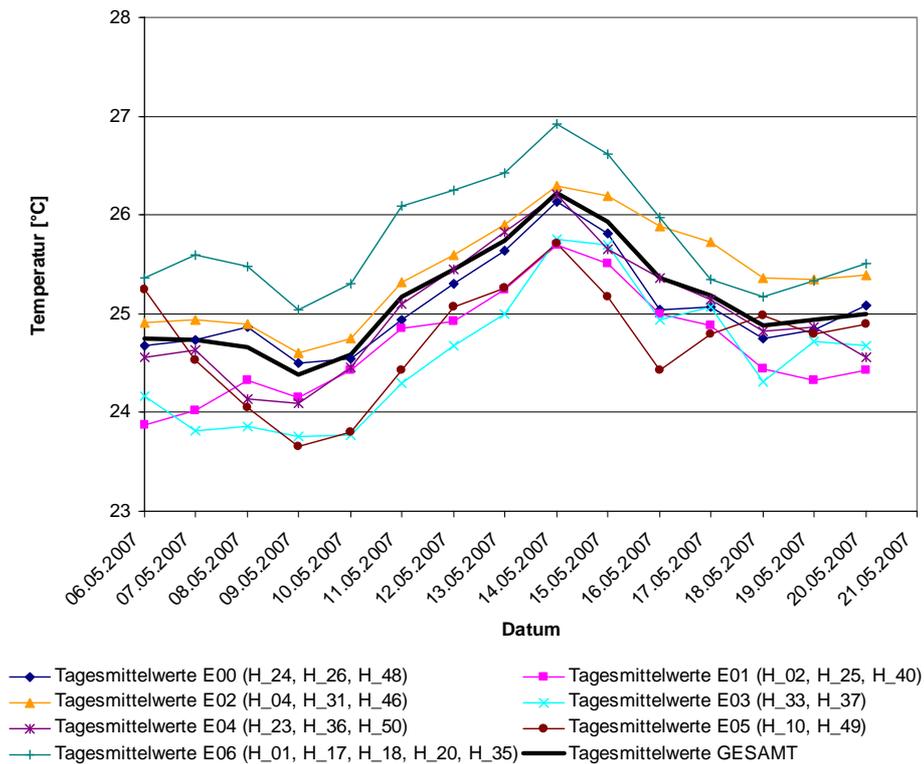


Abbildung 6.10 Tagesmittelwerte der Raumlufthtemperatur der einzelnen Stockwerke in der Warmperiode (06.05.2007 – 20.05.2007)

Die Temperatursauswertung hinsichtlich der Orientierung zeigen **Abbildung 6.11** für die Kaltperiode und **Abbildung 6.12** für die Warmperiode.

Es ist zu beachten, dass die südorientierten Zimmer nur eine geringe natürliche Verschattung (Linden) haben und dadurch den höchsten solaren Eintrag erzielen, gefolgt von den west- bzw. ostwärts orientierten Zimmern. Die solaren Gewinne werden gemindert durch die Lage des Studentenheims Molkereistraße im dicht verbauten Wohngebiet.

Weder für die Kalt- noch für die Warmperiode kann ein deutlicher Zusammenhang zwischen Orientierung und Raumlufthtemperatur hergestellt werden.

Die Warmperiode (**Abbildung 6.12**) zeigt aber, dass die nach Norden orientierten Zimmer eine deutlich kühlere Raumlufthtemperatur aufweisen als der Durchschnitt. Die Raumlufthtemperatur liegt dabei bei den nordwärts orientierten Zimmern im Mittel um 0,9 °C unter dem Mittelwert aller gemessenen Zimmer.

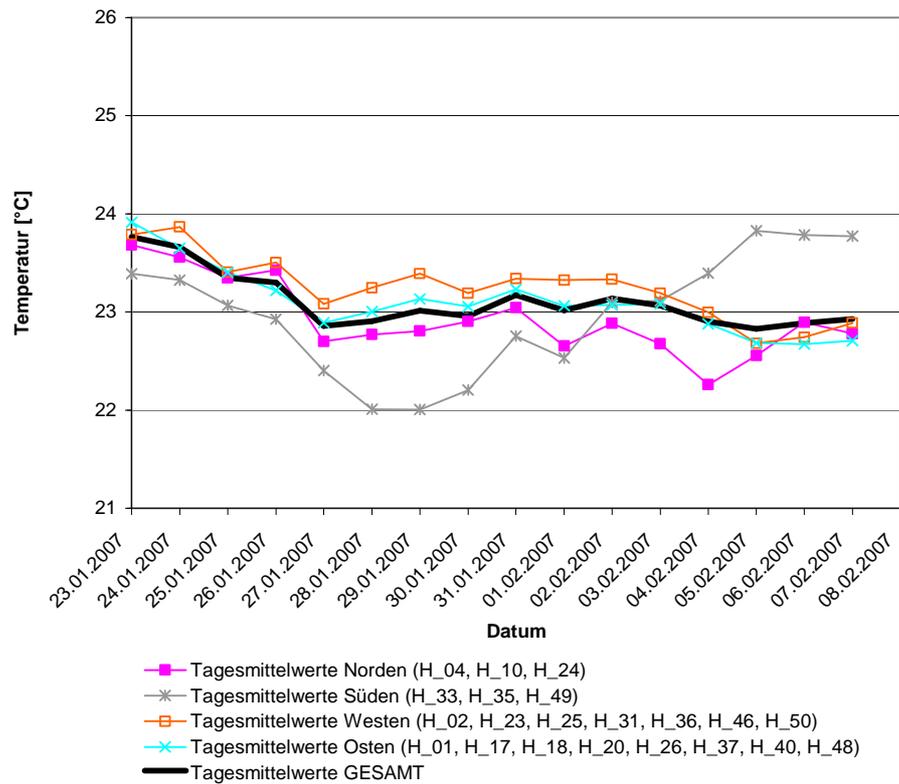


Abbildung 6.11 Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur in der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007), aufgeschlüsselt nach der Orientierung

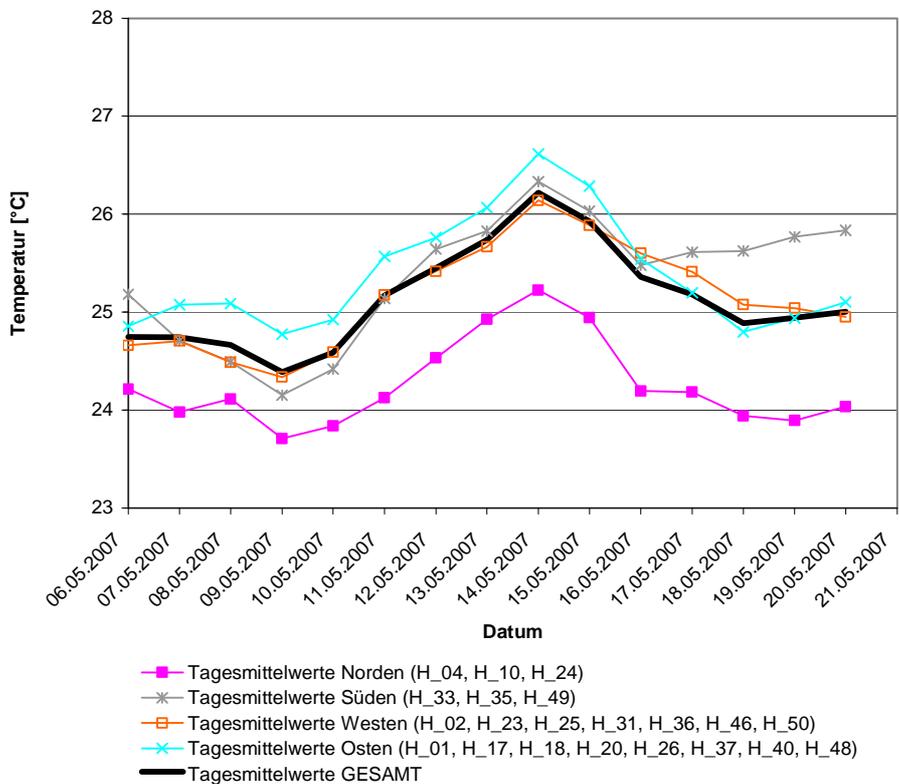


Abbildung 6.12 Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur in der Warmperiode (06.05.2007 – 20.05.2007), aufgeschlüsselt nach der Orientierung

Für die Warmperiode (06.05.2007 – 20.05.2007) wurde die Auswertung bezüglich der Orientierung zusätzlich zu der eben beschriebenen Auswertung auch im Detail durchgeführt.

Dabei ergab sich für die einzelnen *Orientierungen* Folgendes:

★ *Norden:*

- Wie schon erwähnt liegt die Durchschnittstemperatur der nordwärts orientierten Zimmer um 0,9 °C unter dem Mittelwert aller gemessenen Zimmer.
- Die Zimmer 55-1 im 2. Obergeschoß (H_04) sowie 113-1 im 5. Obergeschoß (H_10) weisen die gleiche Durchschnittstemperatur (Unterschied 0,1 °C) auf.

★ *Süden:*

- Das Zimmer 59-1 im 3. Obergeschoß (H_33) ist im Mittel um 1,7 °C wärmer als das Zimmer 117-1 im 6. Obergeschoß (H_35) bzw. um 1,8 °C wärmer als das Zimmer 98-1 im 5. Obergeschoß (H_49).

★ *Westen:*

- Das Zimmer 42-2 im 2. Obergeschoß (H_31) weist eine im Mittel um 1,9 °C höhere Raumtemperatur als das Zimmer 80-2 im 4. Obergeschoß (H_50) auf.

★ *Osten:*

- Das Zimmer 121-2 im 6. Obergeschoß (H_18) ist im Schnitt am wärmsten, gefolgt vom Zimmer 5-2 im Erdgeschoß (H_48). Die Durchschnittstemperatur der beiden Zimmer liegt um 1,7 °C bzw. 1,4 °C über dem Mittelwert aller gemessenen Zimmer.
- Das Zimmer 5-2 im Erdgeschoß (H_48) weist eine im Mittel um 3,9 °C höhere Raumlufthtemperatur als das Zimmer 61-2 im 3. Obergeschoß (H_37) auf.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Einfluss der Orientierung bzw. des Stockwerks auf die Raumlufthtemperatur der untersuchten Zimmer nicht sehr ausgeprägt ist. Lediglich in der Warmperiode weisen die Zimmer im Dachgeschoß eine höhere und die nordorientierten Zimmer eine niedrigere Raumlufthtemperatur als der Mittelwert auf. Aus der Detailauswertung ergibt sich, dass die Bewohner einen weitaus größeren Einfluss auf die Raumlufthtemperatur haben.

7 Nutzerbefragung

7.1 Konzeptfragebögen und Interviews

Für die Befragung der Bewohner des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße wurden insgesamt 3 verschiedene Fragebögen eingesetzt. In zeitlicher Reihenfolge zuerst ein einseitiger Fragebogen vom ÖAD (Österreichischer Austauschdienst), dann ein zweiseitiger Fragebogen vom ÖAD in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien und zuletzt ein von W. Oberkleiner erstellter Fragebogen.

Der einseitige Fragebogen vom ÖAD ist mit den anderen zwei Fragebögen aufgrund von größtenteils unterschiedlichen Fragen nicht vergleichbar und wurde deshalb für die Auswertung nicht berücksichtigt.

Im Folgenden werden die zwei Fragebögen, die in die Auswertung eingeflossen sind, näher beschrieben:

Der Fragebogen, der vom ÖAD in Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur (BOKU) und team GMI entwickelt wurde - in weiterer Folge „*Fragebogen ÖAD/BOKU*“ genannt - umfasst 2 Seiten mit insgesamt 10 Fragen (vgl. **Abbildung 7.1** bzw. Anhang). Die Fragen befassen sich mit den Lüftungsgewohnheiten der Studenten, dem allgemeinen Wohlbefinden, der Zufriedenheit mit einzelnen Parametern wie z.B. Innenraumtemperatur, Luftfeuchtigkeit etc. und statistischen Angaben. Der Fragebogen ÖAD/BOKU liegt – da es sich bei den Bewohnern des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße um internationale Austauschstudenten handelt – sowohl in deutscher als auch in englischer Sprache vor.

Dieser Fragebogen wurde im Jänner 2007 sowie von Oktober 2007 bis Juni 2008 an die Bewohner des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße verteilt. Im Jänner 2007 wurden 54 Fragebögen, von Oktober 2007 bis Juni 2008 wurden 115 Fragebögen ausgefüllt.

Im Juni 2008 wurde von W. Oberkleiner ein neuer Fragebogen – in weiterer Folge „*Fragebogen Oberkleiner*“ genannt – erstellt (vgl. **Abbildung 7.2** sowie Anhang). Dieser Fragebogen Oberkleiner basiert auf dem Fragebogen ÖAD/BOKU, wurde aber um zusätzliche Fragen erweitert. Da vielen Austauschstudenten Englisch leichter als Deutsch fällt, wurde der Fragebogen in englischer Sprache verfasst. Die Fragen 1-6 sowie 10 wurden vom Fragebogen ÖAD/BOKU übernommen (bzw. übersetzt), die Fragen EF01-05 wurden neu erstellt.

Die Fragen EF01-05 wurden dahingehend entwickelt, die Lüftungsgewohnheiten der Studenten im Detail kennen zu lernen. Dabei wurde im Speziellen der Sommerfall (warmer, sonniger Sommertag über 25 °C) berücksichtigt, um einen Eindruck über die „Sommerperformance“ des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße zu gewinnen. Da die dem Fragebogen ÖAD/BOKU entnommene Frage 5 „*Fühlen Sie sich im Passivhaus wohl?*“ keine Unterscheidung zwischen Sommer und Winter zuließ, wurde dieser Tatsache Rechnung getragen und die Frage explizit für Sommer bzw. Winter gestellt. Dadurch wird ein aussagekräftigeres Ergebnis für den Sommer- bzw. Winterfall erwartet. Weiters wurde danach gefragt (Frage EF04), ob die relative

Innenraum-Luftfeuchtigkeit im Winter als zu trocken empfunden wird. Diese Frage findet sich in einer etwas anderen Beschreibung zwar schon in Frage 6a unter dem Kriterium „*Angenehme Luftfeuchte im Winter?*“, wird aber in der neuen Frage EF04 deutlich präzisiert.

Am 25.06.2008 und am 26.06.2008 wurden im Passivhaus Studentenheim Molkereistraße 13 Bewohner persönlich interviewt. Die Auswahl der Interviewpartner erfolgte nach dem Zufallsprinzip. Es wurde jedoch angestrebt, die zum Interviewzeitpunkt am längsten dort wohnenden Studenten auf jeden Fall zu interviewen, da angenommen wurde, dass diese Studenten mit der Haustechnik in ihrem Zimmer am besten vertraut sind. Die dafür nötige Information wurde dankenswerterweise von Frau Brigitte Tajnikar vom ÖAD zur Verfügung gestellt. Es ist zu beachten, dass viele Austauschstudenten nur ein Semester in Wien verbringen und daher nur ein knappes halbes Jahr im Passivhaus Studentenheim Molkereistraße wohnen. Daraus ergibt sich eine sehr hohe Fluktuation, was zur Folge hat, dass die „Lerneffekte“ der Studenten bzgl. der richtigen Bedienung der Haustechnik deutlich geringer ausfallen als in anderen Studentenheimen.

Weiters wurde versucht, eine möglichst gute „räumliche Verteilung“ der Interviews zu gewährleisten. Dies erklärt sich wie folgt: aus Zeitgründen konnte nur ein Bruchteil der im Passivhaus lebenden Studenten interviewt werden. Um aber trotzdem Daten zu erheben, die repräsentativ für das gesamte Gebäude sind, wurde die Hauptfassade (westliche Orientierung) so gut wie möglich „abgedeckt“, indem in den Stockwerken Erdgeschoß, 2. Obergeschoß, 4. Obergeschoß und 6. Obergeschoß (=Dachgeschoß) jeweils mind. 3 Interviews geführt wurden. Jeweils ein Interview in den Eckwohnungen (Nord-West bzw. Süd-West) und ein Interview in etwa in der Mitte zwischen den Eckwohnungen. Diese Anforderung wurde mit 13 durchgeführten Interviews verwirklicht.

Die Interviews wurden auf Basis des Fragebogens Oberkleiner in Deutsch oder Englisch geführt. Die interviewten Studenten hatten hierbei ein Wahlrecht. Es wurden den Studenten die einzelnen Fragen bei Bedarf näher erklärt, auch auf allgemeine Fragen, Wünsche, Anregungen und Beschwerden wurde Rücksicht genommen. Obwohl die Stichprobe (13 Interviews ergeben 13 ausgefüllte Fragebögen) im Vergleich zur Grundgesamtheit (alle Zimmer im Studentenheim = 278 Zimmer) klein ist, kann aus genannten Gründen davon ausgegangen werden, dass die Daten die tatsächliche Situation zufrieden stellend beschreiben.

ÖAD

FRAGEBOGEN ZUM THEMA „PASSIVHAUS“

Bitte füllen Sie den Fragebogen gleich aus und lassen Sie ihn am Tisch in Ihrem Zimmer liegen. Ider Fragebogen wird von der Reinigungsdame abgeholt!

In Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur wurde dieser Fragebogen erstellt, um weitere Passivhäuser, wie die Molkereistraße, zu optimieren. Dies erfolgt im Rahmen eines wissenschaftlichen Forschungsprojekts, indem besonders die Meinung der Endnutzer berücksichtigt wird.

Zimmer Nummer: _____

1a Haben Sie sich die Informationsbroschüre (User Manual) zum Passivhaus durchgesehen?
 ja nein

1b Wären diese Informationen gut anwendbar für die Benutzung der Wohnung (Lüftungsanlage und Heizung)?
 Sehr gut gut weniger gut nicht gut
 Änderungsvorschläge: _____

2 Ist Ihrer Meinung nach auch ohne Fensteröffnen genügend Frischluft im Zimmer vorhanden?
 ja, sicherlich eher schon eher nicht absolut nicht

3a Öffnen Sie regelmäßig die Fenster in der Heizperiode (ca. Oktober bis März)?
 (Bitte pro Zeile (Dauer) eine Häufigkeit auswählen)

DAUER der Lüftung	HÄUFIGKEIT			
	mehrmals am Tag	1x pro Tag	1x pro Woche	so gut wie nie
< 10 Minuten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
> 10 Minuten und < 1 Stunde	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
> 1 Stunde	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3b Wie oft ist das Fenster Nachts oder Tags durchgehend gekippt?
 Oktober-März: 1-2x pro Woche 3-5x pro Woche täglich
 April-September: 1-2x pro Woche 3-5x pro Woche täglich

3c Warum öffnen Sie die Fenster in der Heizperiode (mehrfache Auswahl möglich)?
 zu warm zu wenig Frischluft nach dem Aufstehen
 zu trocken wegen Kontakt zur Außenwelt
 um zu rauchen Sonstiges: _____
 wegen Geruchsbelastung (zB durch Kochen)

4 Finden Sie es gut, dass sich die Heizung automatisch „abschaltet“, sobald das Fenster geöffnet oder gekippt ist?
 sehr gut gut weniger gut nicht gut

5 Fühlen Sie sich im Passivhaus wohl?
 Sehr wohl etwas wohl weniger wohl überhaupt nicht wohl

Warum? _____

BITTE WENDEN

6a Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit?
 (Bitte pro Zeile (Kriterium) eine Wichtigkeit und eine Häufigkeit ankreuzen!)

KRITERIEN	WICHTIGKEIT				ZUFRIEDENHEIT			
	sehr	teilweise	wenig	nicht	sehr	teilweise	wenig	nicht
Angenehme Raumtemperatur im Winter	<input type="radio"/>							
Angenehme Raumtemperatur im Sommer	<input type="radio"/>							
Regulierbarkeit der Heizung	<input type="radio"/>							
Angenehme Luftfeuchte im Winter	<input type="radio"/>							
Frische Luft	<input type="radio"/>							
Wenig Geräusche	<input type="radio"/>							
Zugerscheinung bzw. wenig Luftbewegung*	<input type="radio"/>							
Allgemeine Benutzerfreundlichkeit**	<input type="radio"/>							
Umweltschutz	<input type="radio"/>							

*durch Lüftungsanlage; ** betreffend Heizung, Lüftung und Warmwasserversorgung

6b Verbesserungsvorschläge betreffend obiger Kriterien (ev. zusätzliches Blatt verwenden ☺):

7 Beeinträchtigt Sie der Wartungsaufwand Ihrer Lüftungs- und Heizanlage?
 Sehr störend etwas störend weniger störend nicht störend

8 Welche Geräusche empfinden Sie als störend (mehrfache Auswahl möglich)?
 Geräusche der Lüftungsanlage Sonstige Geräusche:
 Geräusche vom Gangbereich _____
 Geräusche von Nachbarn keine Geräusche
 Geräusche von Außen

9 Ist die Wohnqualität in einem Passivhaus höher als in einem „normalen“ Haus?
 höher gleich gut schlechter

10 Zusätzliche statistische Angaben:
 Geschlecht weiblich männlich
 Alter < 20 20-24 25-29 30-34 35-39 40-44 > 44
 Nationalität _____
 Raucher ja nein
 häufig in der Wohnung (mehr als 5 Zigaretten/Tag)
 selten in der Wohnung (weniger als 5 Zigaretten/Tag)
 am Gang im Freien
 Öffnen Sie das Fenster beim Rauchen? ja nein

Anmerkung: Die Daten werden anonymisiert und nach Stockwerk, Himmelsrichtung, Altersgruppe etc. ausgewertet.

DANKE FÜR IHRE WERTVOLLE MITHILFE !

Abbildung 7.1 Fragebogen ÖAD/BOKU, entwickelt vom ÖAD (Österreichischer Austauschdienst) in Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur (BOKU) in Wien und team GMI

PASSIVE HOUSE QUESTIONNAIRE



This questionnaire has been developed in co-operation with the University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, in order to be able to optimize existing as well as future passive houses. The questionnaire is part of a research project that deals in special with the feed-back of the residents.

Room-Number: _____

- 1a Did you read the user manual for your room?
 yes no
- 1b Was this information good/helpful for using the flat (ventilation system and heating)?
 very good good not very good not good
 Suggestions for changes: _____
- 2 Do you think that you have enough fresh air in your room even with closed windows?
 yes, of course it's OK not really absolutely not
- 3a Do you open the windows in the heating period (october till march) regularly?
 (Please choose one frequency per line (length))
- | LENGTH of ventilation | FREQUENCY | | | |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | couple of times /day | 1x per day | 1x per week | practically never |
| < 10 minutes | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| > 10 minutes and < 1 hour | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| > 1 hour | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
- 3b How often ist the window permanently tilted (night or day)?
 october - march: 1-2x per week 3-5x per week daily
 april - september: 1-2x per week 3-5x per week daily
- 3c Why do you open the windows in the heating period (multiple choice possible)?
 too warm for getting contact to the outside world
 too dry for smoking any other business (AOB): _____
 for smoking
 bad smell (e.g. cooking) _____
 not enough fresh air after getting up
- 4 Do you think it's good that the heating is automatically turned off when the window is fully open or tilted?
 very good good not so good not good
- 5 Do you feel comfortable in this passive house?
 Winter: very comfortable a little bit not very comfortable not comfortable
 Summer: very comfortable a little bit not very comfortable not comfortable
- Why? _____

PLEASE TURN

6a How important are the following criteria for you and how satisfied are you with these criteria?
 (Please choose one importance field and one satisfaction field per line (criterion))

CRITERIA	IMPORTANCE				SATISFACTION			
	Very much	A little bit	not very much	not	Very much	A little bit	Not very much	not
Comfortable indoor temperature in winter	<input type="radio"/>							
Comfortable indoor temperature in summer	<input type="radio"/>							
Possibility of heating adjustment	<input type="radio"/>							
Comfortable indoor humidity in winter	<input type="radio"/>							
Fresh air	<input type="radio"/>							
Not much noise	<input type="radio"/>							
No or not noticeable air draft*	<input type="radio"/>							
General usability**	<input type="radio"/>							
Environmental protection	<input type="radio"/>							

*caused by ventilation system; ** concerning heating, ventilation system and hot water supply

6b suggestions for improvement concerning discussed criteria:

- EF01 Do you know that the windows can be completely shadowed with the help of outside brass panels?
 yes no
 If yes: How often do you close these outside brass panels on warm sunny days when leaving your room? almost always sometimes seldom never
- EF02 Is the gap below your roomdoor sometimes partly or fully covered by a carpet, clothes or any other things? (Note: This gap is necessary for reaching a fresh air flow from your room into the kitchen.)
 yes no
 If yes: How often? almost always often sometimes seldom
- EF03 How do you ventilate on hot days (more than 25°C = 77°F, F = (C * 9/5) + 32)?

- EF04 Do you think that the air in your room is too dry in winter (low indoor humidity)?
 almost always sometimes seldom never

EF05 What stands out in your room/ the flat in a very negative way?

- 10 additional statistics:
 Gender female male
 Age < 20 20-24 25-29 30-34 35-39 40-44 > 44
 Citizenship _____
 For how long have you been living in your room? _____
 Smoker yes no
 often in the room (more than 5 cigarettes/ day)
 seldom in the room (less than 5 cigarettes/ day)
 in the corridor
 outside
 Do you open the window when you smoke? yes no
 Note: Your data is made anonymous and is going to be analyzed (floor, orientation, age etc.).

Abbildung 7.2 Fragebogen Oberkleiner
 Die Fragen 1-6 sowie 10 wurden dem Fragebogen ÖAD/BOKU entnommen und ins Englische übersetzt. Die restlichen Fragen EF01-05 sind eigene Fragen von W. Oberkleiner.

7.2 Ergebnisse

Die Dateneingabe und –auswertung der Fragebögen erfolgten mit der Tabellenkalkulations-Software Microsoft Excel.

Dabei diente der Fragebogen Oberkleiner (vgl. Kap. 7.1 sowie **Abbildung 7.2**) als Auswertungsbasis. Da der Fragebogen Oberkleiner großteils die gleichen Fragen enthält wie der Fragebogen ÖAD/BOKU (Frage 1-6 sowie 10), können beide Fragebögen in den übereinstimmenden Fragen direkt miteinander verglichen werden. Lediglich Frage 5 „*Fühlen Sie sich im Passivhaus wohl?*“ unterscheidet sich in den Fragebögen etwas: während im Fragebogen Oberkleiner diese Frage explizit für Winter bzw. Sommer gestellt wird, gibt es im Fragebogen ÖAD/BOKU keine Unterscheidung. Der Fragebogen ÖAD/BOKU wurde im Jänner 2007 sowie in der Saison 2007/2008 (Oktober 2007 bis Juni 2008) verwendet. Für beide Zeiträume liegen getrennte Auswertungen vor, die vom ÖAD zur Verfügung gestellt wurden [ÖAD, 2007] [ÖAD, 2008]. Alle Angaben betreffend die Auswertung des Fragebogens ÖAD/BOKU wurden den genannten Quellen entnommen.

Da die Stückzahlen der ausgewerteten Fragebögen (Stichproben) sehr unterschiedlich waren (Fragebogen Oberkleiner 13 Stück, Fragebogen ÖAD/BOKU Jänner 2007 54 Stück. bzw. 2007/2008 115 Stück), wurde zusätzlich zu den Einzelauswertungen ein gewichteter Mittelwert errechnet. Die Gewichtung erfolgte anhand der Stückzahl: Faktor 13 für den Fragebogen Oberkleiner (13 Stk.), Faktor 54 für den Fragebogen ÖAD/BOKU Jänner 2007 (54 Stk.) und Faktor 115 für den Fragebogen ÖAD/BOKU 2007/2008 (115 Stk.).

Die Auswertung erfolgte für jede Frage einzeln. Alle Prozentangaben im Text beziehen sich auf den gewichteten Mittelwert der 3 Fragebögen, Prozentangaben in Klammern beziehen sich auf den Fragebogen Oberkleiner. Die komplette Auswertung findet sich im Anhang in Form einer Excel-Tabelle.

★ *Frage 1a - Haben Sie sich die Informationsbroschüre (User Manual) zum Passivhaus durchgelesen?*

- 81 % (77 %) aller Befragten geben an, die Informationsbroschüre gelesen zu haben.

Anm.: 81 % bezieht sich auf den gewichteten Mittelwert der 3 Fragebögen, 77 % bezieht sich auf den Fragebogen Oberkleiner.

★ *Frage 1b - Waren diese Informationen gut anwendbar für die Benutzung der Wohnung (Lüftungsanlage und Heizung)?*

- Für 82 % (70 %) der Bewohner sind die Informationen gut oder sehr gut nutzbar. Als Änderungsvorschlag wird 1x (Fragebogen Oberkleiner) angegeben, dass in der Informationsbroschüre verdeutlicht werden sollte, dass die Nachheizelemente auf die niedrigste Stufe (16 °C) geschaltet werden, wenn die Fenster geöffnet werden. Weiters wird die Informationsbroschüre auch in anderen Sprachen gewünscht (mind. 1x Fragebogen ÖAD/BOKU).

- ★ *Frage 2 - Ist Ihrer Meinung nach auch ohne Fensteröffnen genügend Frischluft im Zimmer vorhanden?*
 - 64 % (93 %) der Studenten finden, dass nicht genug Frischluft im Zimmer vorhanden ist, wenn die Fenster geschlossen sind.

- ★ *Frage 3a - Öffnen Sie regelmäßig die Fenster in der Heizperiode (ca. Oktober bis März)?*
 - 78 % (61 %) der Bewohner öffnen die Fenster in der Heizperiode mind. 1x pro Tag für weniger als 10 Minuten.
 - 60 % (93 %) öffnen die Fenster in der Heizperiode mind. 1x pro Tag zwischen 10 Minuten und 1 Stunde.
 - 38 % (61 %) öffnen die Fenster in der Heizperiode mind. 1x pro Tag für mehr als 1 Stunde.

- ★ *Frage 3b - Wie oft ist das Fenster nachts oder tags durchgehend gekippt?*
 - 52 % (69 %) der Befragten geben an, dass das Fenster von Oktober bis März (Heizperiode) mind. 3-5x pro Woche durchgehend gekippt ist.
 - 88 % (92 %) geben an, dass das Fenster von April bis September mind. 3-5x pro Woche durchgehend gekippt ist.

- ★ *Frage 3c - Warum öffnen Sie die Fenster in der Heizperiode (mehrfache Auswahl möglich)?*
 - 40 % (62 %) der Studenten öffnen die Fenster in der Heizperiode, weil ihnen zu warm ist.
 - 27 % (31 %) öffnen die Fenster, weil ihnen die Luft zu trocken ist.
 - 13 % (15 %) öffnen die Fenster um zu rauchen.
 - 53 % (46 %) öffnen die Fenster aufgrund einer Geruchsbelastung.
 - 68 % (92 %) der Studenten meinen, dass ohne Fensteröffnen zuwenig Frischluft nach dem Aufstehen vorhanden ist.
 - 18 % (15 %) öffnen die Fenster um Kontakt zur Außenwelt zu erhalten.
 - 3 % (0 %) öffnen die Fenster aus anderen Gründen.

- ★ *Frage 4 - Finden Sie es gut, dass sich die Heizung automatisch „abschaltet“, sobald das Fenster geöffnet oder gekippt ist?*
 - 74 % (92 %) der Bewohner begrüßen die Tatsache, dass die Nachheizelemente auf die niedrigste Stufe (16 °C) geschaltet werden, wenn die Fenster geöffnet werden.

★ *Frage 5 - Fühlen Sie sich im Passivhaus wohl?*

- 85 % der Studenten fühlen sich im Passivhaus wohl. Laut Fragebogen Oberkleiner, bei dem diese Frage explizit für den Winter- bzw. den Sommerfall gestellt wurde, fühlen sich im Winter 93 % der Bewohner im Passivhaus wohl, im Sommer sinkt dieser Wert auf 31 %.

★ *Frage 6a - Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit?*

- Eine *angenehme Raumtemperatur im Winter* ist 92 % (100 %) aller Befragten wichtig, zufrieden damit sind 83 % (100 %).
- Eine *angenehme Raumtemperatur im Sommer* befinden 79 % (100 %) der Bewohner für wichtig, die Zufriedenheit liegt bei 62 % (16 %).
- 76 % (84 %) der Studenten erachten die *Regulierbarkeit der Heizung* als wichtiges Kriterium, zufrieden damit sind 48 % (54 %).
- 80 % (85 %) der Bewohner befinden eine *angenehme Luftfeuchtigkeit im Winter* als wichtig, die Zufriedenheit liegt bei 75 % (69 %).
- 87 % (100 %) der Studenten geben an, dass *frische Luft* für sie wichtig sei, zufrieden sind 62 % (38 %) mit der Frischluftzufuhr.
- *Wenig Geräusche* zu vernehmen erachten 89 % (100 %) der Befragten als wichtig, zufrieden damit sind 80 % (93 %).
- Für 80 % (84 %) der Befragten ist es wichtig, *keine Zuglufterscheinung bzw. wenig Luftbewegung* zu verspüren, die Zufriedenheit mit diesem Kriterium liegt bei 77 % (100 %).
- 89 % (93 %) der Studenten befinden die *allgemeine Benutzerfreundlichkeit* des Passivhauses als wichtiges Kriterium, zufrieden damit sind 83 % (84 %).
- 90 % (93 %) der Bewohner sehen den *Umweltschutz*, zu dem das Passivhaus beiträgt, als wichtig an, zufrieden damit sind 95 % (92 %).

★ *Frage 6b - Verbesserungsvorschläge betreffend obiger Kriterien (aus Frage 6a)?*

- Folgende Verbesserungsvorschläge werden von den Studenten angeführt:
 - 5x genannt: Kleiner Ventilator für das Zimmer (1x Fragebogen ÖAD/BOKU, 4x Fragebogen Oberkleiner)
 - 5x genannt: Durchzug zwischen Wohnung und Gangbereich schaffen (Fragebogen Oberkleiner)
 - 4x genannt: Mehr Zuluft für das Zimmer (2x Fragebogen ÖAD/BOKU, 2x Fragebogen Oberkleiner)
 - Mind. 2x genannt: Will Heizung ganz abdrehen können bzw. bessere Regulierbarkeit der Heizung (mind. 1x Fragebogen ÖAD/BOKU, 1x Fragebogen Oberkleiner)

- Mind. 2x genannt: Abluftventil bzw. Dunstabzug in der Küche (mind. 1x Fragebogen ÖAD/BOKU, 1x Fragebogen Oberkleiner)
- 1x genannt: Mehr Zuluft für die Küche (Fragebogen Oberkleiner)

Alle Angaben der folgenden Fragen EF01 bis EF05 beziehen sich auf den Fragebogen Oberkleiner.

- ★ *Frage EF01 – Wissen Sie, dass bei den Fenstern Verschattungselemente (Metallplatten) angebracht sind, um die Zimmer im Sommer vor Überhitzung zu schützen? Wenn ja, wie oft schließen Sie diese Verschattungselemente an heißen Sommertagen?*
 - Alle Studenten wissen, dass es außen angebrachte Verschattungselemente gibt.
 - 53 % der Befragten geben an, die Verschattungselemente an heißen Tagen zumindest manchmal zu schließen.

- ★ *Frage EF02 – Kommt es vor, dass der Luftspalt unter Ihrer Zimmertür teilweise oder ganz durch Teppiche, Kleidungsstücke oder Ähnliches verdeckt wird? Wenn ja, wie oft ist der Spalt unter der Zimmertür verdeckt?*
 - 100 % der Bewohner versichern, dass der Luftspalt unter der Zimmertür nie verdeckt ist. Dadurch ist ein Luftstrom vom Zimmer in die Küche möglich.

- ★ *Frage EF03 – Wie lüften Sie an heißen Sommertagen in der Nacht bzw. untertags?*
 - 92 % der Studenten haben *in der Nacht* das Fenster offen, bei 85 % sind die Verschattungselemente offen.
 - Nur 8 % der Befragten haben *untertags* an heißen Sommertagen das Fenster geschlossen, 54 % schließen die Verschattungselemente.

- ★ *Frage EF04 – Finden Sie, dass die Luft in Ihrem Zimmer im Winter zu trocken ist (geringe relative Luftfeuchtigkeit)?*
 - 38 % der Bewohner erachten die Luft in ihrem Zimmer im Winter zumindest manchmal als zu trocken.

- ★ *Frage EF05 – Was stört Sie besonders an Ihrem Zimmer?*
 - 11x genannt: Am meisten stört die Studenten, dass es im Sommer in den Zimmern *zu heiß* wird.
 - 5x genannt: Der zweite große Kritikpunkt ist die *fehlende Durchzugsmöglichkeit* in den Wohnungen.
 - 1x genannt: Ganggeräusche durch die Wohnungstür hörbar, zu wenig Zuluft in der Wohnung, zu wenig Zuluft in der Küche, zu warm in der Küche.

Für die Frage 10 beziehen sich wie schon für die Fragen 1 bis 6 alle Prozentangaben im Text auf den gewichteten Mittelwert der 3 Fragebögen, Prozentangaben in Klammern beziehen sich auf den Fragebogen Oberkleiner.

★ *Frage 10 – Zusätzliche statistische Angaben*

- 2 % (8 %) der Studenten sind jünger als 20 Jahre, 90 % (93 %) sind zwischen 20 und 29 Jahre alt, 9 % (0 %) sind älter als 29 Jahre.
- Im Schnitt (Median) bewohnen die Studenten laut Fragebogen Oberkleiner zum Zeitpunkt der Befragung Ende Juni (= Semesterende) ihr Zimmer seit 5 Monaten.

Zusätzlich wurde die Frage 6a in Form einer Handlungsrelevanzmatrix grafisch dargestellt. Solche Matrizen wurden bisher meist in der Marktforschung angewendet. Sie haben den großen Vorteil, dass auf einen Blick die „Schwachstellen“ eines Gebäudes aus der Bewohnerperspektive erkennbar sind. [Gossauer & Wagner, 2008]

Von den Bewohnern wurden folgende 9 (Komfort-) Kriterien nach Wichtigkeit und Zufriedenheit beurteilt:

- ★ Angenehme Raumtemperatur im Winter
- ★ Angenehme Raumtemperatur im Sommer
- ★ Regulierbarkeit der Heizung
- ★ Angenehme Luftfeuchtigkeit im Winter
- ★ Frische Luft
- ★ Wenig Geräusche
- ★ Keine Zuglufterscheinung bzw. wenig Luftbewegung
- ★ Allgemeine Benutzerfreundlichkeit
- ★ Umweltschutz

Die Antworten der Frage 6a lagen in der Form „sehr wichtig“, „teilweise wichtig“, „wenig wichtig“, „nicht wichtig“ bzw. „sehr zufrieden“, „teilweise zufrieden“, „wenig zufrieden“ und „nicht zufrieden“ vor.

Um die Handlungsrelevanzmatrix erstellen zu können, wurden alle Antwortmöglichkeiten entsprechend bewertet:

★ *Wichtigkeit:*

- „sehr wichtig“ = Wichtigkeit 1
- „teilweise wichtig“ = Wichtigkeit 2/3
- „wenig wichtig“ = Wichtigkeit 1/3
- „nicht wichtig“ = Wichtigkeit 0

★ *Zufriedenheit:*

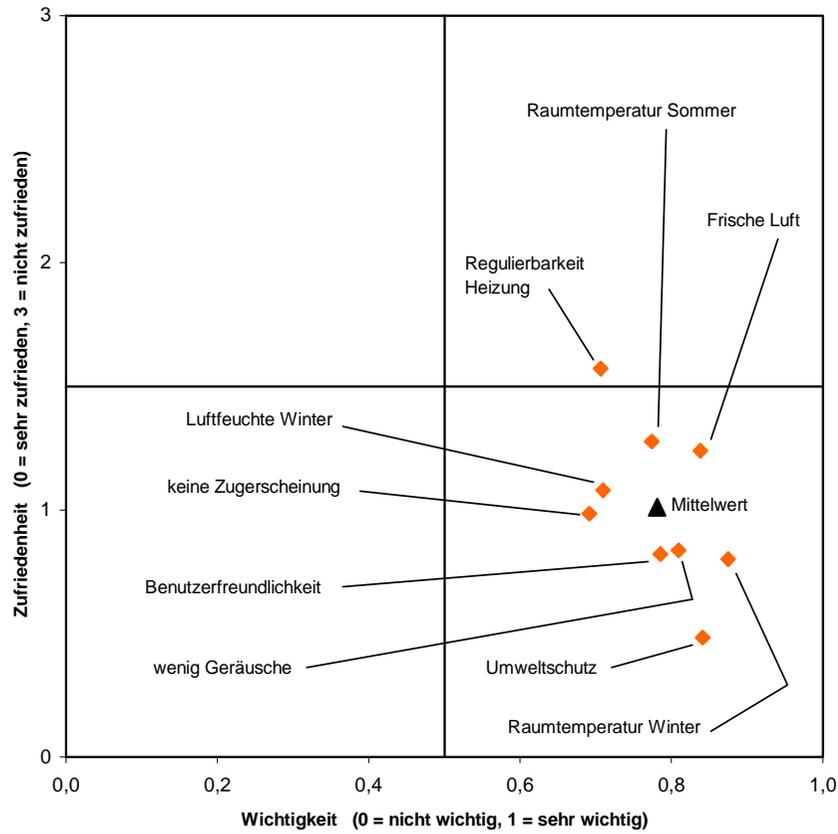
- „sehr zufrieden“ = Zufriedenheit 0
- „teilweise zufrieden“ = Zufriedenheit 1
- „wenig zufrieden“ = Zufriedenheit 2
- „nicht zufrieden“ = Zufriedenheit 3

Die auf den ersten Blick paradox anmutende Bewertung der Zufriedenheit (z.B.: „sehr zufrieden“ = Zufriedenheit 0) ergibt sich durch die Festlegung der grafischen Darstellung der Handlungsrelevanzmatrix. Für die Interpretation der Matrix wurde **Abbildung 7.3** herangezogen. Daraus ist ersichtlich, dass vom Standpunkt der Gebäudeoptimierung aus der Fall „geringe Zufriedenheit und sehr wichtig“ die größte Relevanz besitzt.



Abbildung 7.3 Interpretation der Handlungsrelevanzmatrix (aus [Gossauer & Wagner, 2008, S.450], angelehnt an Schulungsunterlagen der Firma SPSS)

Gesamtergebnisse aller 3 Fragebögen
(gewichteter Durchschnitt)



Ergebnisse des Fragebogens Oberkleiner (Juni 2008)

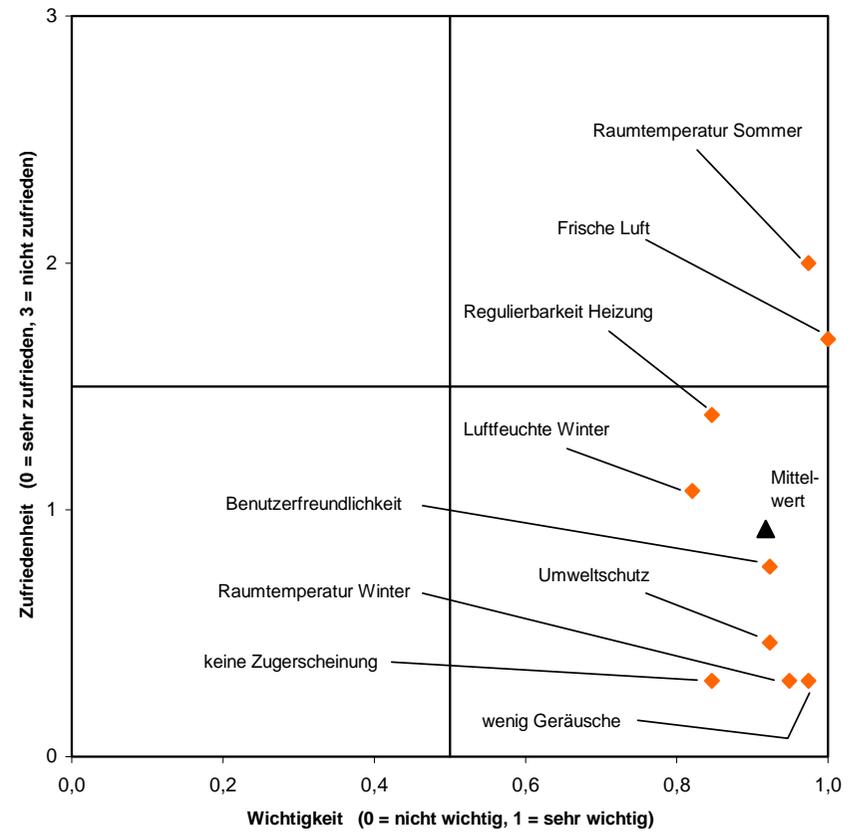


Abbildung 7.4 Komfortanalyse-Handlungsrelevanzmatrix des gewichteten Durchschnitts aller 3 Fragebögen (links) im Vergleich zum Fragebogen Oberkleiner (rechts)

Abbildung 7.4 stellt die Handlungsrelevanzmatrix des gewichteten Durchschnitts aller 3 Fragebögen im Vergleich zum Fragebogen Oberkleiner dar (die komplette Auswertung in tabellarischer Form findet sich im Anhang).

Die Matrix mit den Gesamtergebnissen aller 3 Fragebögen enthält die robusteren und aussagekräftigeren Resultate und zeigt, dass alle betrachteten Komfortkriterien als wichtig oder sehr wichtig eingeschätzt werden und dass die Zufriedenheit bei allen Kriterien mit Ausnahme der *Regulierbarkeit der Heizung* im positiven Bereich liegt.

Die Matrix mit den Ergebnissen des Fragebogens Oberkleiner zeigt an, wie sich die Ergebnisse verändern, wenn der Befragungszeitraum in den Sommermonaten (konkret Ende Juni 2008) liegt. Die Kriterien *Raumtemperatur im Sommer* und *Frische Luft* werden als noch wichtiger eingestuft, wobei gleichzeitig die Zufriedenheit damit sinkt. Bei beiden Kriterien wird gemäß der von Gossauer und Wagner [Gossauer & Wagner, 2008] vorgeschlagenen Interpretation der Handlungsrelevanzmatrix (vgl. **Abbildung 7.3**) Handlungsbedarf gesehen. Die *Regulierbarkeit der Heizung* steigt zwar ebenfalls in der Priorität, wird aber als zufriedenstellend erachtet.

8 Interpretation der Ergebnisse

8.1 Energieverbrauch der dezentralen Lüftungsanlage

Der Stromverbrauch der dezentralen Komfortlüftungsgeräte beträgt 59.393 kWh/a (ermittelt in der Messperiode vom 02.02.2007 bis 31.07.2008 und hochgerechnet auf ein Jahr) und ist damit 2,5x so groß wie der geplante Wert von 23.547 kWh/a gemäß Endbericht über das Nachhaltigkeits-Monitoring des Studentenheims Molkereistraße [Treberspurg et al., 2008].

Umgerechnet auf die Wohnnutzfläche ($WNFL = 6.338 \text{ m}^2$) ergibt sich ein elektrischer Energieverbrauch von $9,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{WNFL} \cdot \text{a})$ im Vergleich zum Planwert von $3,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{WNFL} \cdot \text{a})$.

Die Verringerung der Zuluftmengen von $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ auf $20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ bei einer Außentemperatur $< 0 \text{ }^\circ\text{C}$ wurde in der Berechnung des Planwerts nicht berücksichtigt.

Eine Reduktion des Stromverbrauchs infolge der Verringerung der Zuluftmengen bei Außentemperaturen $< 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ist aus der Stromverbrauchsmessung nicht deutlich erkennbar (vgl. **Abbildung 6.3**, S.98). Weiters sind keine ausgeprägten positiven Auswirkungen der Filterreinigung auf den Stromverbrauch ersichtlich.

Mögliche Ursachen für den Mehrverbrauch der dezentralen Lüftungsanlage:

- ★ Die Filter der dezentralen Lüftungsgeräte sind stark belegt und verursachen hohe Druckverluste, worauf der Stromverbrauch steigt. Die Filter wurden vom Betreuerteam des Studentenheims (Brigitte Tajnikar, Peter Weidlinger) im Jahr 2008 im Februar, Juni und September gewaschen sowie im Oktober erneuert. Für das Jahr 2007 liegen keine Aufzeichnungen vor. Da der Filterwechsel im Oktober 2008 außerhalb des Messzeitraums liegt, ist anzunehmen, dass in der gesamten Messperiode (02.02.2007 bis 31.07.2008) kein Filterwechsel stattfand, sondern die Filter jeweils gewaschen wurden. Gemäß der Bedienungsanleitung der dezentralen Lüftungsgeräte der Fa. Drexel und Weiss [Drexel & Weiss, 2004] wird durch das Absaugen oder Waschen der Filter die Funktionsweise stark beeinträchtigt. Drexel und Weiss geben weiters an, dass verschmutzte Filter immer durch neue Filter zu ersetzen sind. Aus genannten Gründen wird davon ausgegangen, dass die Filter in der Messperiode ihre Funktion nicht zufrieden stellend erfüllen konnten.
- ★ Die zentralen Filter am Dach sind belegt und verursachen einen höheren Stromverbrauch. Die Luftansaugungen am Dach wurden vom Betreuerteam des Studentenheims im Juli und im September 2008 gereinigt. Da sonst keine Aufzeichnungen vorliegen, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Filter in der Messperiode (02.02.2007 bis 31.07.2008) überhaupt nicht gewechselt bzw. gereinigt wurden. Es ist wahrscheinlich, dass die zentralen Filter am Dach infolge eines starken Verschmutzungsgrades hohe Druckverluste im Lüftungssystem verursachen. Dadurch müssen die Zuluftventilatoren in den dezentralen Lüftungsgeräten einen wesentlich höheren Luftwiderstand als geplant überwinden, was zu einem deutlichen Strommehrverbrauch und zu einem Ungleichgewicht zwischen Zu- und Abluft führt.

- ★ Die Gitter der Außenluftansaugvorrichtungen am Dach sind verschmutzt.
- ★ Durch die gemessenen erhöhten Abluftvolumenströme der dezentralen Lüftungsgeräte (im Mittel um 25 % über dem Planwert, vgl. Kap.8.2) ergibt sich ein entsprechend höherer Stromverbrauch der Abluftventilatoren.
- ★ Die Reduktion der Zuluftmengen von $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ auf $20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ bei einer Außentemperatur $< 0 \text{ }^\circ\text{C}$ hat nicht stattgefunden, was zu einem Strommehrverbrauch geführt hat. Allerdings ist zu sagen, dass diese Reduktion bei der Berechnung des Planwerts (betreffend Stromverbrauch der dezentralen Lüftungsgeräte) nicht berücksichtigt wurde.
- ★ Die Druckverluste der Lüftungsanlage wurden bei der Planung unterschätzt.

8.2 Zuluftmenge und Zulufttemperatur

Die Planwerte für die eingeblasenen Zuluftmengen im Passivhaus Studentenheim Molkereistraße lauten wie folgt: $30 \text{ m}^3/\text{h}$ jeweils für die beiden Zimmer und $20 \text{ m}^3/\text{h}$ für die Küche. Daraus ergibt sich für die 4 gemessenen Standardwohnungen mit 2 Zimmern ein kumulierter Zuluftvolumenstrom von $80 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Wohnung. Es ist festzuhalten, dass es auch 3-Zimmer-Wohnungen und 4-Zimmer-Wohnungen gibt sowie 1-Zimmer-Wohnungen, die keine räumliche Unterteilung zwischen Küche und Zimmer aufweisen. Diese speziellen Wohnungen weisen andere Zu- und Abluftmengen auf als die 2-Zimmer-Standardwohnungen, es fanden jedoch keine Messungen in 3-, 4- oder 1-Zimmer-Wohnungen statt.

Ein dezentrales Komfortlüftungsgerät fördert eine Nennluftmenge von $160 \text{ m}^3/\text{h}$. Dieser Planwert ergibt sich aus der Versorgung von 2 Standardwohnungen zu je $80 \text{ m}^3/\text{h}$.

Im Mittel betragen die gemessenen Zuluftmengen $77,8 \text{ m}^3/\text{h}$ und liegen damit um $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ oder $2,8 \%$ unter dem Planwert von $80 \text{ m}^3/\text{h}$. Die gemessenen Abluftmengen belaufen sich auf durchschnittlich $100,5 \text{ m}^3/\text{h}$ und liegen um $20,5 \text{ m}^3/\text{h}$ oder $25,6 \%$ über dem Planwert von $80 \text{ m}^3/\text{h}$.

Es ist ersichtlich, dass die Zuluftmengen ziemlich genau den Planwerten entsprechen, die Abluftmengen jedoch mit mehr als 25% (im Mittel) über den Planwerten deutlich zu hoch ausfallen.

Folgende Ursachen für die erhöhten Abluftvolumenströme sind denkbar:

- ★ Die dezentralen Lüftungsgeräte wurden nach der Erstinbetriebnahme unzureichend einreguliert.
- ★ Infolge der fehlenden Umluft-Dunstabzugshauben (inkl. Fettfilter) in den Küchenbereichen wurden die Abluftvolumenströme bei gleich bleibenden Zuluftvolumenströmen erhöht, um Geruchsproblemen vorzubeugen.

Vergleicht man die Zuluftmengen mit den Abluftmengen, so wird im Mittel um 30% mehr Luft abgesaugt als zugeführt. Dieses starke Ungleichgewicht führt zu einem permanenten Unterdruckzustand innerhalb der Wohneinheiten. Selbst ein Passivhaus ist nicht 100% luftdicht (das Kriterium ist hierbei ein geforderter n_{50} -Wert $< 0,6 \text{ h}^{-1}$, in der Praxis üblich laut Passivhaus Institut [Passivhaus Institut, 2008c]: $0,2 - 0,6 \text{ h}^{-1}$). Das Passivhaus Studentenheim Molkereistraße weist einen n_{50} -Wert von $0,6 \text{ h}^{-1}$ auf, demnach wird in einer Stunde bei einem Druckunterschied von 50 Pa 60% des Luftvolumens ausgetauscht. Durch den angesprochenen Unterdruckzustand entsteht eine Saugwirkung, d.h. durch alle Undichtigkeiten wird Außenluft angesaugt. Daraus ergibt sich ein höherer Heizwärmeverbrauch.

Aus diesem Grund ist es üblich, Lüftungsanlagen auszubalancieren, d.h. die Abluftmengen den erforderlichen Zuluftmengen anzugleichen. Gemäß den „55 Qualitätskriterien für Komfortlüftungen“ [Greml et al., 2007] wird eine fachgerechte Einregulierung der Lüftungsanlage als unbedingt notwendig erachtet (Qualitätskriterium 10a). Das Qualitätskriterium 27b fordert weiters eine maximale Abweichung von 10% zwischen Zu- und Abluftvolumenstrom.

Es ist zu beachten, dass die Kriterien für Einfamilienhäuser bzw. Reihenhäuser ausgelegt sind und daher nicht oder nur bedingt Anwendung bei Anlagen in mehrgeschossigen Wohngebäuden finden dürfen. Obwohl das Passivhaus Studentenheim Molkereistraße ein mehrgeschossiges Wohngebäude darstellt, erscheint aufgrund der geringen Fördermengen der einzelnen dezentralen Komfortlüftungsgeräte die Anwendung der „55 Qualitätskriterien für Komfortlüftungen“ als durchaus berechtigt.

Die gemessenen Zulufttemperaturen am 15. Mai 2008 betragen im Mittel 26 °C in den Erdgeschoßwohnungen und 28,5 °C in den Dachgeschoßwohnungen (6. OG). Dies liegt vor allem daran, dass die Messungen an diesem Tag im Erdgeschoß begannen (ca. 11:00), im Dachgeschoß beendet wurden (ca. 12:30) und in diesem Zeitraum die Außenlufttemperatur entsprechend anstieg. Um 11:00 wurde eine Außenlufttemperatur von 21,8 °C auf der Hohen Warte und von 21,9 °C im dicht verbauten Gebiet (Margaretenstraße) gemessen. Um 13:00 lag die Lufttemperatur bei 24,3 °C bzw. 24,4 °C für diese Messstationen (Datenquelle: ZAMG Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien).

Die Ablufttemperaturen entsprechen in etwa den Zulufttemperaturen.

Die erhöhte Zulufttemperatur kann nachfolgende Ursachen haben:

- ★ Die Außenluftansaugvorrichtungen sind nicht genügend verschattet. Dadurch wird die warme Außenluft durch die starke Sonneneinstrahlung im Sommer zusätzlich aufgeheizt.
- ★ Es wird kein Bypass zur Umgehung der Wärmerückgewinnung innerhalb der dezentralen Komfortlüftungsgeräte eingesetzt. Dadurch wird die warme Außenluft durch die Abluft zusätzlich aufgeheizt. Laut der Funktionsbeschreibung der Regelungs- und Steuerungstechnik der Fa. Lohr [Lohr, 2005] wird bei einer Außenlufttemperatur > Ablufttemperatur auf Umgebungsbetrieb des Wärmetauschers umgeschaltet. Dies funktioniert mithilfe eines Reglers, der die Umgehungsklappe entsprechend positioniert.
- ★ Die Regelung des Erdwärmetauschers (EWT) ist nicht optimal. Laut Planung kühlt der EWT bei Temperaturen ≥ 30 °C die angesaugte Außenluft über ein Heizregister ab. Fällt die Temperatur unter 28 °C, schaltet sich die Pumpe für den Erdwärmetauscher wieder ab. Am 19.06.2008 wurden im Zuge einer Optimierung der Energieperformance die „Sommerwerte“ für den Betrieb des Erdwärmetauschers umgestellt. Der Erdwärmetauscher schaltet sich nun bei einer Außenlufttemperatur ≥ 25 °C ein bzw. bei ≤ 24 °C ab [Smutny, 2008]. Inwieweit diese Maßnahme Auswirkungen auf die Zulufttemperaturen hat, ist derzeit nicht bekannt.
- ★ Die Kühlwirkung des solegeführten Erdwärmetauschers wurde in der Planung zu hoch eingeschätzt.

Eine Innenraumtemperatur von 26 °C kann zwar bei hohen Außenlufttemperaturen als gerade noch behaglich angesehen werden (vgl. **Abbildung 3.6**, S.32), muss jedoch im Falle von Erdgeschoßwohnungen als sehr hoch eingestuft werden. Die Temperatur im Dachgeschoß liegt mit 28,5 °C deutlich zu hoch und außerhalb des Behaglichkeitsfeldes.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass keine optimale Balance zwischen Zu- und Abluft der Lüftungsanlage gegeben ist, was sich in der Tatsache, dass etwa 30 % mehr Luft abgesaugt als zugeführt wird, widerspiegelt. Weiters sind die Zulufttemperaturen an sehr warmen Tagen deutlich zu hoch. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass in der Warmperiode kein Bypass zur Umgehung der Wärmerückgewinnung innerhalb der dezentralen Komfortlüftungsgeräte eingesetzt wurde.

8.3 Raumlufftemperatur und Raumlufffeuchtigkeit

Die Auswertung der Messungen ergab, dass der Median der Raumlufftemperaturen aller gemessenen Zimmer für die gesamte Messperiode (19.01.2007 – 20.05.2007) bei 23,6 °C liegt. Das kühlfte Zimmer 16-1 (H_24) liegt im Mittel um 2,7 °C unter dem Median, das wärmfste Zimmer 59-1 (H_33) um 2,7 °C über dem Median.

Für die Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007) ergibt sich ein Median der Raumlufftemperatur von 22,9 °C. Die mittlere Außenlufftemperatur (errechnet aus den Tagesmittelwerten der Messstationen Donauefeld und Hohe Warte) beträgt in der Kaltperiode 3,3 °C (Standardabweichung 3,5 °C).

Für die Heizperiode (ca. Oktober bis März) liegen erst ab 19.01.2007 Messungen vor, es ist aber zu erwarten, dass die vorhandenen Daten die Temperaturverhältnisse der Heizsaison gut beschreiben. Demnach liegt der Median in der Heizperiode bei 23,2 °C.

Im Schnitt ist die Raumlufftemperatur in der Heizperiode im wärmfsten Zimmer 59-1 (H_33) um 5,6 °C höher als im kühlfsten Zimmer 16-1 (H_24). Der maximale Temperaturunterschied zwischen den beiden Zimmern liegt bei 8,9 °C (am 27.02.2007, Außenlufftemperatur 6,7 °C).

Bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs wurde gemäß ÖNORM [ÖNORM B 8110-5, 2007] der Monatsmittelwert der Innenraumtemperatur mit 20 °C angenommen.

Aufgrund der Tatsache, dass die Mediane der Raumlufftemperatur über der Normtemperatur von 20 °C liegen, ergibt sich ein erhöhter Heizwärmebedarf (alle Angaben sind in Relation zum Normbedarf zu sehen):

- ★ +23 % für die Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007)
- ★ +26 % für die Heizperiode (19.01.2007 – 31.03.2007)

Der Berechnung zugrunde liegt ein etwa 8 % höherer Energiebedarf pro Kelvin höhere Raumtemperatur im Vergleich mit der Normtemperatur von 20 °C. Es ist jedoch zu beachten, dass sich erhöhte Raumlufftemperaturen primär auf Transmissionsverluste (Wärmeleitung durch Bauteile) und Lüftungsverluste (Verluste über die Lüftungsanlage) auswirken. Die berechneten Werte sind daher nicht als exakte Zahlen, sondern als Größenordnung aufzufassen. Für eine detaillierte Berechnung wird auf das vom Passivhaus Institut (PHI) Darmstadt entwickelte Passivhaus Projektierungspaket (PHPP) verwiesen.

Riccabona und Bednar [Riccabona & Bednar, 2008] stellen fest, dass in der Heizsaison die mittlere Innenraumtemperatur bei Mehrfamilienhäusern bei 22 °C liegt. Richter und Hartmann [Richter & Hartmann, 2007] geben für die operative Temperatur von Wohnräumen Erfahrungswerte zwischen 20 °C und 22 °C, Hofbauer [Hofbauer, 2009] zwischen 21 °C und 23 °C an (vgl. Kap. 3.2.1).

Die einzelnen Mediane der Raumlufthtemperatur im Vergleich zum Planwert von 20 °C nach ÖNORM B 8110-5 bzw. zum Erfahrungswert von 22 °C nach Riccabona und Bednar [Riccabona & Bednar, 2008] zeigt **Abbildung 8.1**.

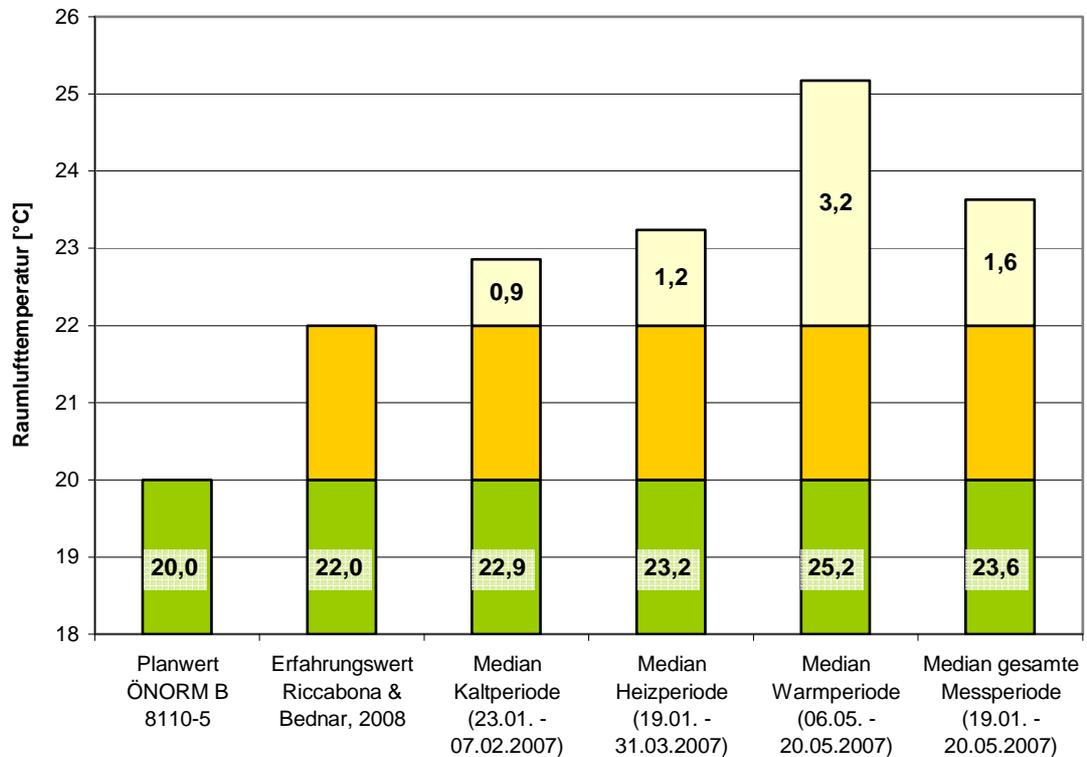


Abbildung 8.1 Mediane der Raumlufthtemperatur im Vergleich zum Planwert von 20 °C (ÖNORM B 8110-5) und zum Erfahrungswert von 22 °C (Riccabona & Bednar, 2008). Die unteren Zahlenwerte geben die Raumlufthtemperatur in Grad Celsius an, die oberen Zahlenwerte zeigen, um wie viel Grad Celsius der Erfahrungswert von 22 °C überschritten wurde.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Temperaturmessungen im Passivhaus Studentenheim Molkereistraße in den Zimmern durchgeführt wurden. Die Zimmer dienen den Studenten sowohl als Wohn- als auch als Schlafräume.

Der Planwert von 20 °C laut ÖNORM erscheint unter diesem Gesichtspunkt als recht niedrig angesetzt, eine mittlere Innenraumtemperatur von 22 °C, wie sie von Riccabona und Bednar [Riccabona & Bednar, 2008] angeführt wird, wirkt praxisorientierter. Riccabona und Bednar beschränken diesen Wert zwar auf Mehrfamilienhäuser, die Vergleichbarkeit scheint aber im Fall des mehrgeschoßigen Studentenheims Molkereistraße gegeben.

In der Warmperiode (06.05.2007 – 20.05.2007) beträgt der Median der Raumlufttemperatur 25,2 °C. Die mittlere Außenlufttemperatur (errechnet aus den Tagesmittelwerten der Messstationen Donaufeld und Hohe Warte) beträgt in der Warmperiode 16,3 °C (Standardabweichung 3,5 °C).

Laut Passivhaus Institut Darmstadt [Feist, 2004] gelten Stunden mit Raumlufttemperaturen über 25 °C bzw. 26 °C als Überhitzungsstunden. Die Zahl der Überhitzungsstunden darf maximal 10 % betragen. Gemäß der Pressemappe des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße [Ecoplus, 2004] sollten im Sommer „auch bei intensiver EDV-Nutzung [...] die Temperaturen nicht über 26° C steigen.“

Die beiden Ausführungen beschreiben kurzfristige Überschreitungen der Raumlufttemperatur. Im Studentenheim Molkereistraße liegt die Zahl der Überhitzungsstunden (> 26 °C) in der Warmperiode bei etwa 11 % und damit knapp über dem Maximalwert von 10 % gemäß Passivhaus Institut Darmstadt.

Für die hohe sommerliche Raumlufttemperatur sind folgende Ursachen denkbar:

- ★ Die Zulufttemperaturen sind zu hoch (Ursachen dafür finden sich in Kap. 8.2).
- ★ Die Studenten haben untertags die Fenster und die Verschattungselemente dauerhaft geöffnet. Einerseits holen sie dadurch die warme Außenluft in die Zimmer, andererseits werden die Zimmer durch die fehlende Verschattung von der Sonne aufgeheizt. Für das Lüftungsverhalten der Studenten gibt es folgende Gründe:
 - Die Studenten wissen nicht, wie man im Sommer richtig lüftet, da für viele von ihnen das Studentenheim Molkereistraße die erste eigene „Wohnung“ darstellt, die sie zudem nur einige Monate benützen.
 - Die Zulufttemperaturen sind zu hoch, weshalb die Studenten die Fenster durchgehend offen halten.
 - Da Umluft-Dunstabzugshauben (inkl. Fettfilter) in den Küchen fehlen, sammeln sich unangenehme Gerüche in den Küchenbereichen. Aus diesem Grund lüften die Studenten öfter.
- ★ Die Verschattungseinrichtungen im Dachgeschoß in Form von Rollos (wegen der Dachschräge) bieten zuwenig Sonnenschutz.

Die Raumlufttemperaturauswertung hinsichtlich Stockwerk und Orientierung brachte folgende Ergebnisse:

In der *Kaltperiode* (23.01.2007 – 07.02.2007) ist ein möglicher Zusammenhang zwischen Stockwerk und Raumlufttemperatur nicht ersichtlich. Auch eine mögliche Auswirkung der Orientierung auf die Raumlufttemperatur kann aus den vorhandenen Messdaten nicht abgeleitet werden.

Die Ergebnisse für die Kaltperiode fallen erwartungsgemäß aus. Aufgrund der wesentlich schwächeren solaren Einstrahlung im Winter als im Sommer, kann im Winter nicht davon ausgegangen werden, die verhältnismäßig geringen Auswirkungen von Stockwerk und Orientierung auf die Raumlufttemperatur entsprechend „einfangen“ zu können. Hier spielen die Heiz- und Lüftungsgewohnheiten der Bewohner eine wesentlich größere Rolle.

In der *Warmperiode* (06.05.2007 – 20.05.2007) kann ein Zusammenhang zwischen Stockwerk und Raumlufttemperatur hergestellt werden, jedoch ist dieser schwach ausgeprägt. Lediglich das Stockwerk E06 (=Dachgeschoß) zeigt eine höhere Raumlufttemperatur als die restlichen Stockwerke. Die Temperatur liegt dabei um 0,6 °C höher als die mittlere Temperatur aller Zimmer. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Dachflächenfenster im Dachgeschoß eine höhere solare Einstrahlung bei einer weniger effektiven Verschattungsmöglichkeit aufweisen. Hinsichtlich der Orientierung zeigt sich, dass ebenfalls kein deutlicher Einfluss auf die Raumlufttemperatur erkennbar ist. Jedoch weisen die nach Norden orientierten Zimmer eine wesentlich kühlere Raumlufttemperatur auf als der Durchschnitt. Die Raumlufttemperatur liegt dabei bei den nordwärts orientierten Zimmern im Mittel um 0,9 °C unter dem Mittelwert aller gemessenen Zimmer. Da die nach Norden orientierten Zimmer immer verschattet sind, erfahren sie einen wesentlich geringeren solaren Eintrag als die übrigen Orientierungen.

Die Ergebnisse der Warmperiode belegen zwar einen Einfluss von Stockwerk und Orientierung auf die Raumlufttemperatur, dieser fällt aber nicht sehr deutlich aus. Speziell in der Detailauswertung hinsichtlich der Orientierung ist hingegen gut erkennbar, dass die Lüftungsgewohnheiten der Bewohner einen dominierenden Einfluss auf die Raumlufttemperatur haben.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass die Raumlufttemperatur im Studentenheim Molkereistraße in der Heizperiode mit 23,2 °C (Median) höher als der Planwert (20 °C) ausfällt. Dadurch ergibt sich ein um ca. 26 % höherer Heizwärmebedarf. In der Praxis zeigt sich aber, dass die meisten Bewohner Raumlufttemperaturen von 21-23 °C bevorzugen [Hofbauer, 2009]. In der Warmperiode liegt die Zahl der Überhitzungsstunden (> 26 °C) bei etwa 11 % und damit knapp über dem Maximalwert von 10 % gemäß Passivhaus Institut Darmstadt [Feist, 2004]. Der Median der Raumlufttemperatur beträgt 25,2 °C.

Ein Einfluss von Stockwerk und Orientierung auf die Raumlufttemperatur ist ausschließlich in der Warmperiode erkennbar. Dieser zeigt sich in einer um 0,6 °C höheren mittleren Raumlufttemperatur im Dachgeschoß (infolge einer höheren solaren Einstrahlung bei einer weniger effektiven Verschattungsmöglichkeit) und einer um 0,9 °C niedrigeren mittleren Raumlufttemperatur der nordwärts orientierten Zimmer (infolge dauerhafter Verschattung), jeweils verglichen mit den übrigen Stockwerken bzw. Orientierungen.

Insgesamt gesehen ist jedoch der Einfluss der Bewohner (z.B. Heiz- und Lüftungsgewohnheiten) auf die Raumlufttemperatur wesentlich größer. Dies wird unter anderem durch die Temperaturunterschiede zwischen dem wärmsten und dem kältesten Zimmer sowie die Detailauswertung der Orientierung in der Warmperiode bekräftigt.

Die Tagesmittelwerte der relativen Raumlufffeuchtigkeit im Studentenheim Molkereistraße liegen an 83 von 122 Tagen bei $\leq 30\%$ (vgl. **Abbildung 6.4**, S.103). Dies entspricht etwa 2/3 der gesamten Messperiode (68 %). Zu 2 % (2 von 122 Tagen) liegen die Werte unter 25 % r.F.

In der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007) liegt die relative Raumlufffeuchtigkeit dauerhaft unter 30 % r.F, fällt jedoch nie unter 25 % r.F.

Es ist zu beachten, dass bei einer Außenlufttemperatur $< 0\text{ °C}$ die in die Zimmer eingebrachten Zuluftmengen von $30\text{ m}^3/(\text{h Person})$ auf $20\text{ m}^3/(\text{h Person})$ reduziert werden, damit die relative Luftfeuchtigkeit nicht unbehaglich niedrig wird [Team gmi, 2005].

Die niedrige relative Raumlufffeuchtigkeit kann nachfolgende Ursachen haben:

- ★ Die Studenten wissen nicht, wie man im Winter richtig lüftet, da für viele von ihnen das Studentenheim Molkereistraße die erste eigene „Wohnung“ darstellt, die sie zudem nur einige Monate benützen. Durch dauerhaft geöffnete oder gekippte Fenster gelangt neben der Außenluft, die durch die Lüftungsanlage eingebracht wird, eine große zusätzliche Außenluftmenge ins Innere und muss dort aufgeheizt werden. Dadurch sinkt die relative Raumlufffeuchtigkeit ab.
- ★ Bei einer Außenlufttemperatur $< 0\text{ °C}$ sollten laut Team gmi [Team gmi, 2005] die in die Zimmer eingebrachten Zuluftmengen von $30\text{ m}^3/(\text{h Person})$ auf $20\text{ m}^3/(\text{h Person})$ reduziert werden, damit die relative Luftfeuchtigkeit nicht unbehaglich niedrig wird. Die Regelung dieser Zuluftreduktion funktioniert nicht oder nur unzureichend.
- ★ Die von den Studenten „eingebrachte Luftfeuchtigkeit“ (durch Kochen, Duschen etc.) wird zu einem größeren Teil wieder „hinausgelüftet“ und trägt daher nur wenig zur Befeuchtung der Raumluff bei.
- ★ Die von den Studenten „eingebrachte Luftfeuchtigkeit“ ist im Vergleich zum üblichen Wohnbau geringer, weil zum einen die Wäsche nicht im Wohnbereich getrocknet wird sondern in der Waschküche mittels Trockner, und zum anderen wenig bis keine Pflanzen in den Wohnungen vorhanden sind.

Werte unter 30 % r.F. (r.F. = relative Feuchte) gelten in der Fachliteratur als nicht mehr behaglich und können sich negativ auf die Gesundheit des Menschen auswirken (vgl. Kap. 3.2.2, S.32). Relative Raumlufffeuchtigkeiten unter 25 % sollten auf jeden Fall vermieden werden [Hofbauer, 2009] [Treberspurg, 2009].

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die relative Raumlufffeuchtigkeit in der gesamten Messperiode zu 68 % und in der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007) dauerhaft unter 30 % r.F. liegt und damit deutlich zu niedrig ausfällt. Relative Raumlufffeuchtigkeiten unter 25 % r.F. kommen in der gesamten Messperiode zu 2 % vor, in der Kaltperiode liegt die relative Feuchte immer über 25 % r.F.

8.4 Befragung

81 % der Studenten geben an, die Informationsbroschüre gelesen zu haben, die Informationen darin sind für 82 % der Studenten gut nutzbar. 74 % der Bewohner begrüßen auch die Tatsache, dass die Nachheizelemente auf die niedrigste Stufe (16 °C) geschaltet werden, wenn die Fenster geöffnet werden. Jedoch ging aus den Interviews hervor, dass einige Studenten über diese Tatsache nicht Bescheid wussten und glaubten, die Heizung bzw. der Raumthermostat seien nicht funktionstüchtig (die Studenten drehten laut eigenen Angaben bei geöffnetem oder gekipptem Fenster am Thermostat, es änderte sich aber nichts an der Temperatur).

Dies ist insofern interessant, weil auf der ersten Seite der Informationsbroschüre die genannte Regelung der Nachheizelemente über Fensterkontakte groß und deutlich angeführt wird.

Daraus wird geschlossen, dass viele Studenten die Informationsbroschüre nur oberflächlich „überfliegen“ bzw. gar nicht lesen, obwohl diese nur 2 Seiten hat.

Von allen untersuchten Komfortkriterien wurde die Frischluftqualität als zweitwichtigste Eigenschaft eingestuft. 64 % der Bewohner finden, dass nicht genug Frischluft im Zimmer vorhanden ist, wenn die Fenster geschlossen sind. Die Mehrheit der Befragten (62 %) ist zufrieden mit der Frischluftqualität, allerdings ist der Anteil an wenig Zufriedenen und nicht Zufriedenen bedenklich hoch. Alle Bewohner geben an, dass der Luftspalt unter der Zimmertür immer frei ist und dadurch ein Luftstrom vom Zimmer in die Küche möglich ist.

In der Heizperiode (Oktober bis März) öffnen 60 % der Studenten die Fenster mind. 1x pro Tag zwischen 10 Minuten und einer Stunde, 38 % der Studenten sogar länger als 1 Stunde. 52 % der Studenten geben weiters an, die Fenster in der Heizperiode mind. 3-5x pro Woche nachts oder tags durchgehend gekippt zu haben. Auf die Gründe angesprochen meint die Mehrheit der Studenten (68 %), dass ohne Fensteröffnen zuwenig Frischluft nach dem Aufstehen vorhanden sei, gefolgt von den Ansichten, es gebe sonst Geruchsbelastungen (z.B. durch Kochen) bzw. es sei zu warm. Nur 27 % der Studenten öffnen die Fenster, weil ihnen die Luft zu trocken ist. Hierbei ist zu beachten, dass das Fensterlüften in der Heizsaison für gewöhnlich ein zusätzliches Austrocknen der Raumluft bewirkt.

Das intensive winterliche Lüftungsverhalten der Bewohner ist als problematisch einzustufen, da die Lüftungswärmeverluste sehr hoch werden können und damit zu einer deutlichen Erhöhung des Heizwärmeverbrauchs führen können.

Es muss aber auch beachtet werden, dass folgender Grund mitverantwortlich sein könnte für das winterliche Lüftungsverhalten der Studenten: es ist dies das Fehlen der Umluft-Dunstabzugshauben (inkl. Fettfilter) in den Küchen (die Studenten führen auch an, dass sie sich für die Küche Dunstabzugshauben oder Abluftventile wünschen). Aus den persönlichen Interviews geht hervor, dass die Studenten aus genanntem Grund bestärkt werden könnten, die Fenster zu öffnen. Ein negativer Effekt liegt darin, dass dadurch die relative Luftfeuchtigkeit abnimmt. Es beschwerten sich jedoch nur 38 % der Studenten über zu trockene Luft, was daran liegt (vgl. **Tabelle 3.5**, S.30), dass der Mensch auf Veränderungen der Luftfeuchtigkeit im Vergleich zu Temperaturveränderungen wenig empfindlich reagiert.

Im Wissen, dass sich niedrige relative Luftfeuchtigkeiten in Bezug auf Behaglichkeit und Gesundheit des Menschen negativ auswirken können (vgl. Kap. 3.2.2, S.32), ist festzuhalten, dass bei der Faktorenkette „winterliches Lüftungsverhalten der Bewohner“, „Frischluftezufuhr“, „fehlende Umluft-Dunstabzugshauben (inkl. Fettfilter)“ und „relative Luftfeuchtigkeit“ Optimierungspotentiale bestehen.

Alle Studenten wissen, dass es außen angebrachte Verschattungselemente als sommerlichen Hitzeschutz gibt, aber nur die Hälfte der Studenten (53 %) schließt die Verschattungselemente an heißen Tagen zumindest manchmal. Befragt nach dem sommerlichen Lüftungsverhalten führen 92 % der Studenten an, dass in der Nacht die Fenster offen sind, 85 % haben die Verschattungselemente offen. Untertags zeigt sich ein ähnliches Bild: fast alle Studenten (92 %) haben die Fenster offen, etwa die Hälfte (54 %) schließt die Verschattungselemente. Im Gegenzug erachten 79 % der Studenten eine angenehme Raumlufttemperatur im Sommer als wichtig, 62 % der Studenten sind mit der Raumlufttemperatur zufrieden. Im Zuge der persönlichen Interviews Ende Juni 2008 zeigte sich folgendes Bild: 85 % der Studenten stört an ihrem Zimmer am meisten, dass es im Sommer zu heiß wird. Es wird auch genannt, dass es in der Küche zu heiß wird. Viele Studenten wünschen sich deshalb einen kleinen Ventilator für das Zimmer bzw. die Schaffung einer Durchzugsmöglichkeit zwischen Wohnung und Gangbereich. Es ist zu beachten, dass die persönlichen Interviews während einer sommerlichen Hitzeperiode stattfanden.

Das Optimierungspotential des Sommerkomforts durch angepasstes Verhalten der Studenten (Lüften, Verschatten) wird als sehr groß angesehen. Es ist nicht verwunderlich, dass bei untertags geöffneten Fenstern die heiße Außenluft in die Zimmer strömt. Die Folge ist eine zu hohe Innenraumtemperatur.

Bei der Handlungsrelevanzmatrix mit den Gesamtergebnissen aller 3 Fragebögen zeigt sich, dass das Kriterium „*Regulierbarkeit der Heizung*“ im negativen Zufriedenheitsbereich liegt und hier gemäß der von Gossauer und Wagner [Gossauer & Wagner, 2008] vorgeschlagenen Interpretation der Handlungsrelevanzmatrix (vgl. **Abbildung 7.3**, S.124) Handlungsbedarf besteht. Die negative Bewertung der Bewohner lässt sich jedoch damit erklären, dass viele offensichtlich nicht über die Tatsache Bescheid wissen, dass die Nachheizelemente auf die niedrigste Stufe (16 °C) geschaltet werden, wenn die Fenster geöffnet werden. Daraus resultiert die Meinung, die Heizung bzw. der Raumthermostat seien nicht funktionstüchtig.

Die Kriterien „*Angenehme Raumtemperatur im Sommer*“ und „*Frische Luft*“ liegen zwar im positiven Zufriedenheitsbereich, schneiden jedoch bei den Studenten im Vergleich zu den anderen Merkmalen gleich nach dem Kriterium „*Regulierbarkeit der Heizung*“ am schlechtesten ab.

Bei der Handlungsrelevanzmatrix mit den Ergebnissen des Fragebogens Oberkleiner liegen diese beiden Kriterien - „*Angenehme Raumtemperatur im Sommer*“ und „*Frische Luft*“ - im negativen Zufriedenheitsbereich. Das Kriterium „*Regulierbarkeit der Heizung*“ liegt im positiven Zufriedenheitsbereich, wird jedoch von den Bewohnern im Vergleich zu den anderen Merkmalen am schlechtesten bewertet. Da die persönliche Befragung Oberkleiner in einer sommerlichen Hitzeperiode (Ende Juni 2008) stattfand, wurden die Kriterien „*Angenehme Raumtemperatur im Sommer*“ und „*Frische Luft*“, die den sommerlichen Wohnkomfort beschreiben, möglicherweise kritischer bewertet als in der Matrix mit den Gesamtergebnissen aller 3 Fragebögen.

Für die Kriterien „*Angenehme Raumtemperatur im Sommer*“ und „*Frische Luft*“ gibt es demnach den höchsten Handlungsbedarf.

Alle anderen Kriterien beider Matrizen liegen im positiven Zufriedenheitsbereich: „*angenehme Raumtemperatur im Winter*“, „*angenehme Luftfeuchtigkeit im Winter*“, „*wenig Geräusche*“, „*keine Zuglufterscheinung bzw. wenig Luftbewegung*“, „*allgemeine Benutzerfreundlichkeit*“ und „*Umweltschutz*“. Die Bewohner erachten alle Kriterien als überaus wichtig.

Übers Jahr gesehen fühlt sich die große Mehrheit der Studenten (85 %) im Passivhaus wohl. 93 % der Studenten fühlen sich im Winter im Passivhaus wohl, im Sommer sinkt dieser Wert auf 31 % (Stichprobenumfang n=13).

Die geringe Zufriedenheit im Sommer lässt sich damit erklären, dass die Raumlufttemperatur im Sommer zu hoch ist, was hauptsächlich auf ungünstiges Bewohnerverhalten (Lüften, Verschatten) zurückzuführen ist. Im Zuge der persönlichen Interviews, die in einer sommerlichen Hitzeperiode (Ende Juni 2008) stattfanden, war erkennbar, dass die Raumlufttemperatur bei den Studenten einen sehr großen Einfluss auf das sommerliche Wohlbefinden hat. Daher ist anzunehmen, dass die negative Bewertung des sommerlichen Wohlbefindens zum Großteil die Unzufriedenheit mit der sommerlichen Raumlufttemperatur widerspiegelt.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der Bewohnerbefragung, dass sich fast alle Studenten im Passivhaus wohl fühlen und dass die Zufriedenheit mit allen betrachteten Kriterien im positiven Bereich liegt.

9 Zusammenfassung und Empfehlungen

9.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die wichtigsten Ergebnisse aus den Messungen der vorliegenden Studie - Analyse der Lüftungsanlage und der Nutzerzufriedenheit in Passivhäusern am Beispiel des Studentenheims Molkereistraße in Wien - werden im Folgenden erörtert.

9.1.1 Energieperformance

★ *Zu hoher Stromverbrauch der dezentralen Komfortlüftungsgeräte:*

Der Stromverbrauch der dezentralen Komfortlüftungsgeräte beträgt 59.393 kWh/a (ermittelt in der Messperiode vom 02.02.2007 bis 31.07.2008 und hochgerechnet auf ein Jahr) und ist damit 2,5x so groß wie der geplante Wert von 23.547 kWh/a [Treberspurg et al., 2008]. Umgerechnet auf die Wohnnutzfläche (WNFL = 6.338 m²) ergibt sich ein elektrischer Energieverbrauch von 9,4 kWh/(m²_{WNFL}·a) im Vergleich zum Planwert von 3,7 kWh/(m²_{WNFL}·a).

Ursachen dafür sind stark verschmutzte Filter der dezentralen Lüftungsgeräte sowie der zentralen Außenluftansaugvorrichtungen am Dach. Die Filter wurden zwar vom Betreuersteam des Studentenheims gereinigt, jedoch nicht ausgewechselt. Die Herstellerfirma Drexel und Weiss [Drexel & Weiss, 2004] weist darauf hin, dass durch das Absaugen oder Waschen der Filter die Funktionsweise stark beeinträchtigt wird und diese daher in jedem Fall zu ersetzen sind. Weitere Ursachen für den hohen Stromverbrauch sind: a) verschmutzte Gitter der Außenluftansaugvorrichtungen am Dach; b) erhöhte Abluftvolumenströme der dezentralen Lüftungsgeräte, wodurch die Abluftventilatoren mehr Strom verbrauchen; c) eine nicht oder nur unzureichend funktionierende Reduktion der Zuluftmengen bei Außentemperaturen <0 °C sowie d) höhere Druckverluste in den Leitungen als geplant.

Im Rahmen des Endberichts über das Nachhaltigkeits-Monitoring des Passivhaus-Studentenheims Molkereistraße wurden die Energieperformance und die Nutzerzufriedenheit wissenschaftlich evaluiert [Treberspurg et al., 2008]. Durch seine hohe Kompaktheit mit $A/V = 0,2 \text{ m}^{-1}$ (A/V = Verhältnis der Fläche der thermischen Gebäudehülle zum Gebäudevolumen) verbunden mit einer sehr gut wärmegeämmten und luftdichten Gebäudehülle hat das Passivhaus Molkereistraße einen Heizwärmeverbrauch, der gegenüber konventionellen vergleichbaren Wohnhausanlagen deutlich niedriger ausfällt. Es ergeben sich dadurch folgende Einsparungen pro Jahr:

- ★ 680 MWh bzw. $102 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \cdot \text{a})$ an Fernwärme für die Raumheizung
- ★ 130 t bzw. $19 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \cdot \text{a})$ CO_2 -Äquivalente
- ★ 44.000 € bzw. $7 \text{ €/}(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \cdot \text{a})$ Betriebskosten (inkl. USt.)

Anm.: Wohnnutzfläche WNFL = 6.686 m^2 (inkl. Gemeinschaftsräume)

Verglichen mit drei Wiener Studentenheimen (ÖAD-Heime Tigergasse, Comeniusgasse und Simmeringer Hauptstraße) zeigt sich ein großer Mehrwert des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße (Einsparungen pro Jahr bei Annahme einer gleich großen Wohnnutzfläche) [Treberspurg et al., 2008]:

- ★ 290 – 520 MWh an Fernwärme für die Raumheizung
- ★ 700 – 1.300 MWh an nicht erneuerbarer Primärenergie
- ★ 55 – 100 t CO_2 -Äquivalente
- ★ 19.000 – 34.000 € Betriebskosten (inkl. USt.)

Die Aussagekraft dieses Vergleichs ist eingeschränkt, da das Studentenheim Molkereistraße zwar eine höhere Qualität als die anderen Studentenheime hinsichtlich Ausstattung mit elektrischen Geräten (verbunden mit einem höheren Stromverbrauch) und Raumklima aufweist, diese aber unberücksichtigt bleibt.

9.1.2 Innenraumklima und Zufriedenheit

- ★ *Zuluftmengen der dezentralen Lüftungsgeräte laut Plan, Abluftmengen im Vergleich zu hoch:*

Die Zuluftmengen der dezentralen Komfortlüftungsgeräte entsprechen ziemlich genau den Planwerten (80 m³/h für eine 2-Zimmer-Wohnung), die Abluftmengen liegen jedoch im Mittel um 30 % höher als die Zuluftmengen. Dieses starke Ungleichgewicht führt zu einem permanenten Unterdruckzustand innerhalb der Wohneinheiten. Dadurch entsteht eine Saugwirkung, d.h. durch alle kleinen Undichtigkeiten in der Gebäudehülle – selbst ein Passivhaus ist nicht zu 100 % luftdicht - wird Außenluft angesaugt. Daraus ergibt sich ein höherer Heizwärmeverbrauch.

Die Ursachen liegen in der Regelung der dezentralen Lüftungsgeräte. Zwei Möglichkeiten erscheinen hierbei plausibel: a) die dezentralen Lüftungsgeräte wurden nach der Erstinbetriebnahme unzureichend einreguliert bzw. b) infolge der fehlenden Umluft-Dunstabzugshauben (inkl. Fettfilter) in den Küchenbereichen wurden die Abluftvolumenströme bei gleich bleibenden Zuluftvolumenströmen erhöht, um Geruchsproblemen vorzubeugen. Die vollständige Abfuhr der beim Kochen entstehenden Gerüche ist aber nur dann möglich, wenn bei geöffneten Zimmertüren stoßgelüftet wird, also ein Durchzug zwischen Küche und Zimmer entsteht.

- ★ *Zulufttemperaturen an sehr warmen Tagen zu hoch:*

Die gemessenen Zulufttemperaturen am 15. Mai 2008 betragen im Mittel 26 °C in den Erdgeschoßwohnungen und 28,5 °C in den Dachgeschoßwohnungen (6. OG). Dies liegt vor allem daran, dass die Messungen an diesem Tag im Erdgeschoß begannen (ca. 11:00), im Dachgeschoß beendet wurden (ca. 12:30) und in diesem Zeitraum die Außenlufttemperatur entsprechend anstieg. Um 11:00 wurde eine Außenlufttemperatur von 21,8 °C auf der Hohen Warte und von 21,9 °C im dicht verbauten Gebiet (Margaretenstraße) gemessen. Um 13:00 lag die Lufttemperatur bei 24,3 °C bzw. 24,4 °C für diese Messstationen (Datenquelle: ZAMG Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien).

Wahrscheinlich ist eine Kombination von folgenden Gründen für die zu hohen Zulufttemperaturen verantwortlich: a) die Außenluftansaugvorrichtungen sind nicht genügend verschattet, wodurch die warme Außenluft infolge starker Sonneneinstrahlung im Sommer zusätzlich aufgeheizt wird; b) es wird kein Bypass zur Umgehung der Wärmerückgewinnung innerhalb der dezentralen Komfortlüftungsgeräte eingesetzt. Dadurch wird die warme Außenluft durch die Abluft zusätzlich aufgeheizt; c) die Regelung des Einschaltpunktes des Erdwärmetauschers (EWT) zur sommerlichen Kühlung ist nicht optimal. Am 19.06.2008 wurde im Zuge einer Optimierung der Energieperformance der Einschaltpunkt von 30 °C auf 25 °C herabgesetzt; d) die sommerliche Kühlwirkung des EWT wurde in der Planung überschätzt bzw. die Temperatur des Untergrunds liegt höher als erwartet.

★ *Raumlufttemperatur in der Heizsaison etwas zu hoch:*

Die Raumlufttemperatur liegt in der Heizperiode mit 23,2 °C (Median) höher als der Planwert von 20 °C gemäß ÖNORM [ÖNORM B 8110-5, 2007]. Dadurch steigt der Heizwärmebedarf um etwa 26 %.

Die Ursache dafür ist, dass die Studenten eine höhere Temperatur als geplant bevorzugen und den Thermostat im Zimmer auf ein entsprechend höheres Niveau drehen. Dies wird durch die Erfahrungen von Hofbauer [Hofbauer, 2009] bekräftigt, wonach die meisten Bewohner Raumlufttemperaturen von 21-23 °C als angenehm empfinden, sowie die Erfahrungen von Riccabona und Bednar [Riccabona & Bednar, 2008], die eine mittlere Innenraumtemperatur von 22 °C angeben. Weiters muss berücksichtigt werden, dass die Studenten ihr Zimmer als Wohn- und Schlafraum nutzen.

★ *Raumlufttemperatur an sehr warmen Tagen zu hoch:*

In der Warmperiode (06.05.2007 – 20.05.2007) beträgt der Median der Raumlufttemperatur 25,2 °C (bei einer mittleren Außenlufttemperatur von 16,3 °C). Die Zahl der Überhitzungsstunden (> 26 °C) liegt bei etwa 11 % und damit knapp über dem Maximalwert von 10 % gemäß Passivhaus Institut Darmstadt [Feist, 2004].

Für die erhöhte Raumlufttemperatur gibt es zwei Hauptursachen: a) die Zulufttemperaturen sind zu hoch (vgl. den angeführten Punkt „Zulufttemperaturen an sehr warmen Tagen zu hoch“); b) die Studenten haben untertags die Fenster und die Verschattungselemente durchgehend geöffnet und holen so einerseits die warme Außenluft in die Zimmer hinein, andererseits werden die Zimmer durch die fehlende Verschattung von der Sonne aufgeheizt.

Für das Lüftungsverhalten der Studenten gibt es folgende Gründe:

- Die Studenten wissen nicht, wie man im Sommer richtig lüftet, da für viele von ihnen das Studentenheim Molkereistraße die erste eigene „Wohnung“ darstellt, die sie zudem nur einige Monate benützen.
- Die Zulufttemperaturen sind zu hoch, weshalb die Studenten die Fenster durchgehend offen halten.
- Da Umluft-Dunstabzugshauben (inkl. Fettfilter) in den Küchen fehlen, sammeln sich unangenehme Gerüche in den Küchenbereichen. Aus diesem Grund lüften die Studenten öfter.

Weiters wird festgehalten, dass ein Einfluss von Stockwerk und Orientierung ausschließlich in der Warmperiode erkennbar ist. Dieser zeigt sich in einer niedrigeren mittleren Raumlufttemperatur der nordwärts orientierten Zimmer (um 0,9 °C niedriger als der Mittelwert aller gemessenen Zimmer) und in einer höheren mittleren Raumlufttemperatur im Dachgeschoß (um 0,6 °C höher als die mittlere Temperatur aller Zimmer). Für das Dachgeschoß ist zu sagen, dass die Verschattungseinrichtungen in Form von Rollos (wegen der Dachschräge) zuwenig Sonnenschutz bieten und daher mitverantwortlich für die zu hohen Raumlufttemperaturen (aufgrund hohen solaren Eintrags) sind. Die Zimmer nach Norden sind immer verschattet und erfahren dadurch einen deutlich geringeren solaren Eintrag als die übrigen Orientierungen.

Insgesamt gesehen ist jedoch der Einfluss der Bewohner (z.B. Lüftungsgewohnheiten) am größten.

★ *Relative Raumlufffeuchtigkeit zu niedrig:*

Die Tagesmittelwerte der relativen Raumlufffeuchtigkeit liegen in der gesamten Messperiode zu 68 % (an 83 von 122 Tagen) und in der Kaltperiode (23.01.2007 – 07.02.2007) dauerhaft unter 30 % r.F. (r.F. = relative Feuchte) und fallen damit deutlich zu niedrig aus. Die relative Raumlufffeuchtigkeit ist nach unten praktisch auf 25 % r.F. beschränkt (Werte unter 25 % r.F. kommen in der Kaltperiode gar nicht vor, in der gesamten Messperiode nur zu 2 %).

Werte unter 30 % r.F. gelten in der Fachliteratur als nicht mehr behaglich und können sich außerdem negativ auf die Gesundheit des Menschen auswirken (vgl. Kap. 3.2.2, S.32). Relative Raumlufffeuchtigkeiten unter 25 % sollten auf jeden Fall vermieden werden [Hofbauer, 2009] [Treberspurg, 2009].

Als Ursachen für die niedrige relative Raumlufffeuchtigkeit kommen in Frage: a) die Studenten wissen nicht, wie man im Winter richtig lüftet. Durch dauerhaft geöffnete oder gekippte Fenster gelangt neben der Außenluft, die durch die Lüftungsanlage eingebracht wird, eine große zusätzliche Außenluftmenge ins Innere und muss dort aufgeheizt werden. Dadurch sinkt die relative Raumlufffeuchtigkeit ab; b) die Regelung der Zuluftreduktion von 30 m³/(h · Person) auf 20 m³/(h · Person) bei einer Außenlufttemperatur < 0 °C [Team gmi, 2005] funktioniert nicht oder nur unzureichend; c) die von den Studenten „eingebrachte Luftfeuchtigkeit“ (durch Kochen, Duschen etc.) wird zu einem größeren Teil wieder „hinausgelüftet“ und trägt daher nur wenig zur Befeuchtung der Raumluff bei; d) die von den Studenten „eingebrachte Luftfeuchtigkeit“ ist im Vergleich zum üblichen Wohnbau geringer, weil zum einen die Wäsche nicht im Wohnbereich getrocknet wird sondern in der Waschküche mittels Trockner, und zum anderen wenig bis keine Pflanzen in den Wohnungen vorhanden sind.

★ *Überwiegend sehr hohe Zufriedenheit der Bewohner:*

Die Zufriedenheit der Bewohner mit den einzelnen Komfortkriterien wurde mittels Fragebögen und persönlichen Interviews erhoben und wird wie folgt zusammengefasst (in Klammern der Anteil an zufriedenen Bewohnern, gewichteter Mittelwert):

○ *Sehr hohe Zufriedenheit:*

- Wohlfühlen fast aller Studenten (85 %) im Passivhaus
- Angenehme Raumtemperatur im Winter (83 %)
- Angenehme Luftfeuchtigkeit im Winter (75 %, diese Bewertung steht teilweise im Widerspruch zur gemessenen Luftfeuchtequalität, gibt aber explizit die subjektive Meinung der Studenten wider)
- Wenig Geräusche, Lärmbelastung (80 %)
- Keine Zuglufterscheinung bzw. wenig Luftbewegung (77 %)
- Allgemeine Benutzerfreundlichkeit (83 %)
- Umweltschutz, zu dem das Passivhaus beiträgt (95 %)

- *Weniger hohe Zufriedenheit und Optimierungspotential:*
 - Zu hohe Raumtemperatur im Sommer (62 %) infolge des Lüftungsverhaltens der Studenten bzw. der geringen Nutzung der Verschattungselemente
 - Zu wenig frische Luft (62 %, diese Bewertung steht teilweise im Widerspruch zu den gemessenen Zuluftmengen, gibt aber explizit die subjektive Meinung der Studenten wider)
 - Regulierbarkeit der Heizung (48 %, diese Bewertung steht im völligen Widerspruch zum Ist-Zustand, gibt aber explizit die subjektive Meinung der Studenten wider)
 - Die geringe Zufriedenheit der Studenten lässt sich damit erklären, dass viele offensichtlich nicht über die Tatsache Bescheid wissen, dass die Nachheizelemente auf die niedrigste Stufe (16 °C) geschaltet werden, wenn die Fenster geöffnet werden. Daraus resultiert die Meinung, die Heizung bzw. der Raumthermostat seien nicht funktionstüchtig.
 - Winterliches Lüftungsverhalten der Studenten im Zusammenspiel mit Frischluftzufuhr, fehlender Umluft-Dunstabzugshauben (inkl. Fettfilter) und relativer Raumluftfeuchtigkeit im Winter (=Faktorenkette)
 - Geringer Wissensstand der Studenten in Bezug auf Haustechnik und Regelung

9.2 Empfehlungen für das Passivhaus Molkereistraße (Studentenheim)

Das Passivhaus Studentenheim Molkereistraße „funktioniert“ im Großen und Ganzen sehr gut. Obwohl ein Studentenheim in Passivhausbauweise architektonisch und haustechnisch eine Herausforderung darstellt, fühlen sich fast alle Studenten (85 %) im Passivhaus wohl. Dies zeugt im Zusammenspiel mit anderen positiven Faktoren (z.B. angenehme Raumtemperatur im Winter, keine Zuglufterscheinungen, geringe Lärmbelastung etc.) von einer gesamtheitlich guten Umsetzung des Passivhauskonzepts.

Verglichen mit drei Wiener Studentenheimen (ÖAD-Heime Tigergasse, Comeniusgasse und Simmeringer Hauptstraße) zeigt sich ein großer Mehrwert des Passivhaus Studentenheims Molkereistraße in Bezug auf die Energieeffizienz (vgl. Kap. 9.1.1). Beispielsweise lag der gesamte Endenergieverbrauch (Fernwärme und elektrische Energie) des Studentenheims Simmeringer Hauptstraße in der Monitoringperiode (Sept. 2005 bis August 2007) um etwa 42 % höher als der Endenergieverbrauch des Studentenheims Molkereistraße (jeweils bezogen auf die Wohnnutzfläche). Das entspricht einem Mehrverbrauch von 60 kWh/(m²_{WNFL}·a). Das Studentenheim Simmeringer Hauptstraße wurde im selben Jahr eröffnet wie das Passivhaus Studentenheim Molkereistraße und weist im Vergleich mit den anderen Studentenheimen die ähnlichste Ausstattungsqualität auf. [Treberspurg et al., 2008]

Das Passivhaus Studentenheim Molkereistraße erreichte von 25 Studentenheimen die zweithöchste allgemeine Nutzerzufriedenheit (66 % Rückmeldungen, Befragungszeitraum Jänner bis Juni 2007). 84 % der Bewohner der Molkereistraße fühlten sich im Passivhaus wohl. [Treberspurg et al., 2008]

Trotz des gut umgesetzten Passivhauskonzepts bestehen im Studentenheim Molkereistraße Verbesserungsmöglichkeiten aus architektonischer und haustechnischer Sicht. Mindestens genauso wichtig ist jedoch die aktive Mithilfe der Studenten. Es hat sich in dieser Studie gezeigt, dass es bei den Studenten enorme Wissensdefizite in Bezug auf richtiges Lüftungsverhalten sowie den Umgang mit der Haustechnik gibt.

Daher gilt es den Hebel gleichermaßen am Haus (samt Haustechnik) sowie am Verhalten der Bewohner (Studenten) anzusetzen. Diese Interaktion muss die Grundlage aller Optimierungsmaßnahmen sein, die nachfolgend – gegliedert nach den Ergebnissen - angeführt werden:

★ *Zu hoher Stromverbrauch der dezentralen Lüftungsgeräte:*

Die Filter der dezentralen Komfortlüftungsgeräte sowie der Außenluftansaugvorrichtungen am Dach sind in etwa vierteljährlich zu ersetzen. Ein Absaugen oder Abwaschen der Filter ist nicht akzeptabel, da dadurch die Funktionstüchtigkeit stark beeinträchtigt wird. Die Gitter der Außenluftansaugvorrichtungen am Dach sind regelmäßig zu reinigen. Weiters sind die erhöhten Abluftvolumenströme (im Mittel um 25 % über dem Planwert) den Zuluftvolumenströmen anzupassen bzw. zu überprüfen, ob die Reduktion der Zuluftmengen bei niedrigen Außenlufttemperaturen tatsächlich wie geplant stattfindet.

★ *Abluftmengen der dezentralen Lüftungsgeräte im Vergleich zu Zuluftmengen zu hoch:*

Die Balance zwischen Zu- und Abluftmengen der dezentralen Lüftungsgeräte ist herzustellen. Als positiver Nebeneffekt sinkt dadurch der Heizwärmeverbrauch. Um eine vollständige Abfuhr der beim Kochen entstehenden Gerüche zu gewährleisten, muss bei geöffneten Zimmertüren stoßgelüftet werden, also ein Durchzug zwischen Küche und Zimmer entstehen.

★ *Zu hohe Raum- und Zulufttemperaturen im Sommer:*

Da der Großteil der Studenten an sehr warmen Tagen untertags die Verschattungselemente sowie die Fenster durchgehend offen hält und so einerseits die warme Außenluft in die Zimmer gelangt und andererseits die Zimmer durch die fehlende Verschattung von der Sonne aufgeheizt werden, sind die Studenten in Bezug auf richtiges Lüftungsverhalten entsprechend zu schulen (z.B. könnte der Heimbetreiber den Studenten an sehr warmen Tagen per Email Tipps zum richtigen sommerlichen Lüftungsverhalten geben).

Die Studenten gaben an, dass die Frischluftzufuhr nicht ausreichend sei. Dies wird durch die Messungen widerlegt. Möglicherweise steht der Kritikpunkt der zu hohen Raumlufttemperatur mit den fehlenden Umluft-Dunstabzugshauben (inkl. Fettfilter) in Zusammenhang.

Um die Zulufttemperaturen zu reduzieren wird folgende Vorgangsweise empfohlen:

- Prüfung der Außenluftansaugvorrichtungen am Dach, ob diese genügend verschattet sind. Bei Bedarf entsprechende bauliche Maßnahmen vorsehen.
- Prüfung der Regelung des Umgebungsbetriebs der Wärmetauscher, die sich in den dezentralen Lüftungsgeräten befinden. Kann dadurch keine zufrieden stellende Lösung erzielt werden, ist eine Erweiterung der dezentralen Lüftungsgeräte um sog. „Sommerboxen“ zu überlegen. Diese Sommerboxen dienen als Sommerbypass, d.h. die Abluft gelangt im Sommer ohne Wärmerückgewinnung nach außen. Kostenpunkt etwa 100 – 150 € pro Gerät.
- Prüfung der Regelung des Einschaltpunktes des Erdwärmetauschers (EWT) zur sommerlichen Kühlung. Dieser Einschaltpunkt wurde am 19.06.2008 von 30 °C auf 25 °C herabgesetzt. Der Nutzen dieser Maßnahme ist zu klären.
- Die Verschattungseinrichtungen im Dachgeschoß (Rollos) bieten offensichtlich zu wenig Sonnenschutz. Geeignete Alternativen sind anzudenken.

★ *Zu geringe Raumluftfeuchtigkeit (speziell in der Heiz- und Kaltperiode):*

52 % der Studenten geben an, in der Heizperiode die Fenster mind. 3-5x pro Woche nachts oder tags durchgehend gekippt zu haben. Da dieses Lüftungsverhalten die Vorteile eines Passivhauses beträchtlich mindert, sind die Studenten entsprechend zu schulen.

Als umweltfreundlichste und kostengünstige Möglichkeit zur Luftbefeuchtung wird der Einsatz von Pflanzen empfohlen, die die Raumluftfeuchtigkeit wirkungsvoll erhöhen. Dazu zählen z.B. Zypergras und andere Gräser, Zimmerlinde, Kalmus, Segge, Simse und Zimmerbambus. Mehrere Pflanzen pro Wohnraum erscheinen ideal. [Bee Industries, 2009]

Um das Passivhaus Studentenheim Molkereistraße wirkungsvoll und nachhaltig zu optimieren, ist die tatkräftige Mithilfe der Studenten immens wichtig. Diese kann aber nur dann erfolgen, wenn die Studenten das nötige Wissen in Bezug auf richtiges Lüftungsverhalten und effizienten Umgang mit der Haustechnik haben.

Da dieses Wissen bei den meisten Studenten nur in unzureichendem Maß vorhanden ist, müssen Möglichkeiten erarbeitet werden, den Studenten dieses Wissen beizubringen. Natürlich wird dabei von den Studenten persönliches Engagement vorausgesetzt.

Derzeit ist es so, dass die Studenten beim Einzug Informationsbroschüren wahlweise in deutscher oder englischer Sprache bekommen, die sie mit der Haustechnik in ihrem Zimmer vertraut machen sollen. Jedoch wurde in den persönlichen Interviews der Eindruck gewonnen, dass viele Studenten die Informationsbroschüre nur oberflächlich „überfliegen“ bzw. gar nicht lesen, obwohl diese nur 2 Seiten hat. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass vielen ausschließlich internationalen Austauschstudenten, die im Passivhaus Molkereistraße im Schnitt ein Semester wohnen, die „Bedienung“ und Funktionsweise eines Passivhauses und dessen Haustechnik einfach egal sind. Aus eigener Erfahrung (Auslandssemester in Uppsala, Schweden) kann der Autor diese These bekräftigen.

Es wird daher vorgeschlagen, den Studenten einen finanziellen Anreiz zum Erlernen der „Bedienung“ und Funktionsweise eines Passivhauses zu geben. Dieser könnte in Form einer Verringerung der monatlichen Miete erfolgen, sofern die Studenten einen schriftlichen Test zur „Bedienung“ und Funktionsweise eines Passivhauses bestehen. Dafür wären zwei Einschulungstermine in Form von mündlichen Vorträgen eines Fachmanns zu Semesterbeginn notwendig, und zusätzlich zwei Prüfungstermine (jeweils zwei Termine um etwaige Terminkollisionen auszuschließen). Voraussetzung für die Absolvierung des schriftlichen Tests wäre die persönliche Anwesenheit jedes teilnehmenden Studenten bei einem Einschulungstermin. Je nach der erreichten Punkteanzahl beim schriftlichen Test könnte ab einer gewissen Mindestpunktzahl die monatliche Miete schrittweise reduziert werden. Es wäre auch dringend anzuraten, folgende Informationen sowohl in die Einschulung als auch in die Informationsbroschüre einzubauen: a) richtiges Lüftungsverhalten im Sommer und im Winter sowie b) raumklimatischer und gesundheitlicher Nutzen von Zimmerpflanzen (z.B. Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit).

Der Nachteil des Tests besteht im erhöhten Verwaltungs- und Kostenaufwand: es ist ein Fachmann notwendig, ein geeigneter Vortrags- und Prüfungsraum (hier können die Gemeinschaftsräume im Studentenheim genutzt werden), die Erstellung und Korrektur des Tests, sowie eine verwaltungstechnisch aufwendigere Mietvorschreibung. Als Variante wäre die Durchführung der Schulung und Prüfung über das Internet (e-learning) denkbar.

Die Vorteile sollten die Nachteile aber bei weitem übertreffen: mit der Passivhaustechnik vertraute Studenten, die dieses Wissen aktiv einsetzen und damit Energiekosten einsparen (wodurch wiederum der Kostenaufwand für die Studentenschulung problemlos gedeckt ist). Weiters könnte man damit folgenden Effekt erreichen: die mitwirkenden Studenten würden ihren Angehörigen und Freunden von ihren Passivhauserfahrungen berichten und den Gedanken des Passivhauses in die ganze Welt verbreiten. Diese fast kostenlose Werbung wäre wahrscheinlich der größte Vorteil einer solchen Studentenschulung.

9.3 Empfehlungen für zukünftige Studentenheime im Passivhausstandard

Das Passivhauskonzept ist mittlerweile ausgereift und hat sich bewährt. Die Anforderungen an Planung, Ausführung und Bedienung sind aber im Vergleich zu konventionellen Wohnhausanlagen deutlich höher.

Alle Empfehlungen wurden für zukünftige Studentenheime in Passivhaus- oder noch energieeffizienterer Bauweise (Nullenergiehaus etc.) ausgearbeitet, können aber größtenteils auf mehrgeschossige Wohngebäude (Wohnhausanlagen) des Bestands umgelegt werden:

★ *Lüftungsanlage:*

- Sorgfältige Planung, Ausführung, Einregulierung und Wartung der gesamten Lüftungsanlage durch Fachpersonal. Der Filterwechsel kann kostengünstiger durch den Heimbetreiber bzw. die Hausverwaltung erfolgen.
- Regelmäßigen Filterwechsel von entsprechend geschulten Personen (z.B. Heimbetreiber, Hausverwaltung etc.) durchführen lassen. Auf keinen Fall Filter absaugen oder abwaschen, gebrauchte Filter immer durch neue Filter ersetzen.
- Komfortlüftungsgeräte immer mit integriertem Sommerbypass ausführen.

★ *Bewohner (Studenten):*

- Die Bewohner bestmöglich in die „Bedienung“ und Funktionsweise des Passivhauses einschulen. Am geeignetsten erscheint die Einschulung durch einen Fachmann (mündlicher Vortrag) in Kombination mit einem schriftlichen Test. Um die Akzeptanz der Bewohner sicherzustellen ist ein finanzieller Anreiz unbedingt anzuraten (vgl. dazu die detaillierte Ausführung in Kap. 9.2). Kernpunkte der Informationsbroschüre bzw. der Einschulung sollten u.a. die Funktionsweise des Passivhauses, die richtige Bedienung der Haustechnik sowie das richtige Lüftungsverhalten im Sommer und im Winter sein.
- Den Bewohnern den raumklimatischen und gesundheitlichen Nutzen von Zimmerpflanzen (z.B. Luftbefeuchtung) näher bringen (vgl. Kap. 9.2).
- Sehr wichtig wäre weiters eine Schulung der Bewohner zum Thema „Energieeinsparung im Haushalt“, z.B. weniger Warmwasserverbrauch (z.B. Händewaschen mit Kaltwasser), energiesparendes Kochen (Kochtopf mit Deckel verwenden, Nachwärme der Herdplatten nutzen etc.), Energiesparlampen oder noch besser LEDs (Light Emitting Diode) statt Glühbirnen, elektronische Geräte ganz abschalten (z.B. mittels Funkfernbedienung und entsprechendem Empfänger) statt Standby, besonders energieeffiziente Computer bzw. Unterhaltungselektronik verwenden usw.
- Einen Wettbewerb unter den Bewohnern zum Thema Energiesparen anregen, möglicherweise durch finanzielle Anreize (Stromzähler pro Wohnungseinheit nötig).

★ *Allgemeine Energieeinsparung und Forschungsbedarf:*

- Solarkollektoren sowie Photovoltaikanlagen einbauen. Für Photovoltaikanlagen besteht großer Forschungsbedarf, z.B. kleinere und energieeffizientere Solarzellen entwickeln, um den Flächenbedarf zu reduzieren.
- Die Erdwärme nutzen. Hier gibt es z.B. Forschungsbedarf, inwieweit die Menge und Dauer der Erdwärmeentnahme das Erdreich „belastet“, speziell im Hinblick auf großvolumige Gebäude.
- Wasser- und energiesparende Armaturen einbauen, z.B. Mischarmaturen, die in der Mittelstellung kein Warmwasser zumischen, sparsame Duschköpfe etc.
- Die Forschung und Entwicklung in Bezug auf wartungsarme Wärmerückgewinnung aus Abwasser vorantreiben.
- Wärmerückgewinnung aus Haustechnikraum und Serverraum nutzen.
- Besonders energieeffiziente Haushaltsgeräte verwenden (z.B. Kühlschrank, Waschmaschine, Fernseher etc.)
- Statt Glühbirnen Energiesparlampen oder noch besser LEDs (Light Emitting Diode) verwenden.
- Elektronische Geräte ganz abschalten (z.B. mittels Funkfernbedienung und entsprechendem Empfänger) statt Standby. Alternativ Geräte mit sehr niedrigem Standby-Verbrauch ($<0,1$ W) verwenden.

Literaturverzeichnis

- [Airflow, 2008a]: Airflow Lufttechnik GmbH, 2008. *Plattenwärmetauscher. Allgemeine Grundsätze*. Broschüre. http://www.atrea.cz/?download=de/jednotky/prolog_5_de_2007_03_airflow.pdf. Abgerufen am 23.07.2008
- [Airflow, 2008b]: Airflow Lufttechnik GmbH, 2008. *Kreuzstromwärmetauscher Duplex*. http://www.airflow.de/Pressemitteilungen/Euplex-System/duplex_c.jpg. Abgerufen am 23.07.2008
- [Albers, 1991]: Albers, K.J., 1991. *Untersuchungen zur Auslegung von Erdwärmeübertragern für die Konditionierung der Zuluft für Wohngebäude*. Dissertation. Universität Dortmund
- [BDH, 2008a]: Bundesindustrieverband Deutschland. Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., 2008. *Zentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung*. http://www.bdh-koeln.de/html/service_produkte/img/blau/anlagen2.jpg. Abgerufen am 14.08.2008
- [BDH, 2008b]: Bundesindustrieverband Deutschland. Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., 2008. *Dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung*. http://www.bdh-koeln.de/html/service_produkte/img/blau/anlagen.jpg. Abgerufen am 14.08.2008
- [BDH, 2008c]: Bundesindustrieverband Deutschland. Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., 2008. *Hocheffiziente Systemtechnik und erneuerbare Energien*. http://www.bdh-koeln.de/html/pdf/pdf_1/bdh_portrait_2006-03.pdf. Abgerufen am 14.08.2008
- [Bee Industries, 2009]: Bee Industries (Impressum: Maja Dumat), 2009. *Niedrige Luftfeuchtigkeit erhöhen*. <http://www.diegruenewelt.de/Tipps-Luftfeuchtigkeit.phtml>. Abgerufen am 20.02.2009
- [Biermayr et al., 2009]: Biermayr, P., Weiss, W., Bergmann, I., Glück, N., Stukelj, S., Fechner, H., 2009. *Erneuerbare Energie in Österreich. Marktentwicklung 2008. Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen. Erhebung für die Internationale Energie-Agentur (IEA)*. Schriftenreihe 16/2009. Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien
- [Bundesministerium für Raumordnung, 1997]: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.), 1997. Bau- und Wohnforschung. In: *Handbuch passive Nutzung der Sonnenenergie*. Schriftenreihe Nr. 04/097
- [Buxton Bridges et al., 2003]: Buxton Bridges, C., Kuehnert, M.J., Hall, C.B., 2003. Transmission of influenza: implications for control in health care settings. In: *Clin Infect Dis* 37: 1094–1101. Hrsg. v. Gorbach, S.L. University of Chicago Press
- [Dibowski, 2005]: Dibowski, G., 2005. *Luft-Erdwärmetauscher. L-EWT. Planungsleitfaden*. Teil 2. Anhang. Version 1.0. AG Solar Nordrhein Westfalen
- [DIN EN 13779, 2007]: DIN EN 13779, 2007. *Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme*. Ausgabe: 2007-09. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [DIN 1946-2, 1994]: DIN 1946-2, 1994. *Raumlufttechnik, Teil 2: Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln)*. Ausgabe: 1994-01. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [DIN 8901, 2002]: DIN 8901, 2002. *Kälteanlagen und Wärmepumpen - Schutz von Erdreich, Grund- und Oberflächenwasser - Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen und Prüfung*. Ausgabe: 2002-12. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

- [Drexel & Weiss, 2004]: Drexel und Weiss, Energieeffiziente Haustechniksysteme GmbH, 2004. *aerosilent classic / standard*. Produktbroschüre.
- [Drexel, 2008]: Drexel, C., 2008. *Persönliche Mitteilungen und Empfehlungen betreffend Effizienz und Betrieb von Lüftungsgeräten*. Fa. Drexel und Weiss Energieeffiziente Haustechniksysteme GmbH. Vordenker der Energiewende. Wolfurt
- [Ecoplus, 2004]: Ecoplus Niederösterreichs Wirtschaftsagentur GmbH, 2004. *Student/Innenwohnheim in Passivhausbauweise. Informationen zu einem Student/Innenwohnheim – Ein Gebäude mit neuem Komfort*. Pressemappe. St. Pölten
- [Energiesparhaus, 2008a]: Energiesparhaus, 2008. *Kontrollierte Wohnraumlüftung (Lüftungsanlage)*. <http://www.energiesparhaus.at/energie/lueftung.htm>. Abgerufen am 18.06.2008
- [Energiesparhaus, 2008b]: Energiesparhaus, 2008. *Lüftungsanlage im Passivhaus*. <http://www.energiesparhaus.at/Gebaeudehuelle/passivhaus/lueftungsanlage.htm>. Abgerufen am 06.07.2008
- [Energiesparhaus, 2008c]: Energiesparhaus, 2008. *Wärmetauscher in Lüftungsgeräten*. <http://www.energiesparhaus.at/energie/lueftung-wt-arten.htm>. Abgerufen am 06.08.2008
- [Energy Globe Foundation, 2009]: Energy Globe Foundation, 2009. *Project Database*. Energy Globe. <http://database.energyglobe.info/listProjects.aspx?id=8610>. Abgerufen am 30.07.2009.
- [EnEV, 2007]: EnEV, 2007. Energieeinsparverordnung für Gebäude
- [Fanger, 1970]: Fanger, P.O., 1970. *Thermal Comfort. Analysis and Application in Environmental Engineering*. Danish Technical Press. Copenhagen
- [Farion, 2002]: Farion, T.L., 2002. Passivhäuser aus technischer und wirtschaftlicher Sicht. In: *Das Passivhaus. Bauen für die Zukunft*. Hrsg. v. Endhardt, M., Farion, T.L., Sengotta, R., Zimmermann, R. AG-SPAK-Bücher. Neu-Ulm
- [Feist, 1997]: Feist, W. (Hrsg.), 1997. *Haustechnik im Passivhaus*. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser. Protokollband Nr. 6. Passivhaus Institut. Darmstadt
- [Feist, 1998a]: Feist, W. (Hrsg.), 1998. *Passivhaus-Fenster*. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser – Phase II. Protokollband Nr. 14. Passivhaus Institut. Darmstadt
- [Feist, 1998b]: Feist, W. (Hrsg.), 1998. *Lüftung im Passivhaus*. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser. Protokollband Nr. 4. Passivhaus Institut. Darmstadt
- [Feist, 1999]: Feist, W. (Hrsg.), 1999. *Wärmebrückenfreies Konstruieren*. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser - Phase II. Protokollband Nr. 16. Passivhaus Institut. Darmstadt
- [Feist, 2001]: Feist, W., 2001. *Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser*. Das Beispiel. Darmstadt
- [Feist et al., 2001]: Feist, W., Peper, S., Görg, M., 2001. *CEPHEUS-Projektinformation Nr. 35*. Technischer Endbericht. Juli 2001. Hannover
- [Feist, 2004]: Feist, W. (Hrsg.), 2004. *Temperaturdifferenzierung in der Wohnung*. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser. Protokollband Nr. 25. Passivhaus Institut. Darmstadt
- [GBT, 2008]: GBT, Online Informationsdienst für Gebäudetechnik, 2008. *1.0 Lüftungsanlagen. Begriffe, Bauarten, Auslegung, Tips für Planung, Praxis, Energie*. http://www.gbt.ch/knowhow/1105605875_Lueftungsanlagen_Begriffe_Bauarten.pdf. Abgerufen am 06.07.2008
- [Genvex, 2008a]: Genvex A/S, 2008. *Lüftungssysteme – Wohnklima zum Wohlfühlen*. Broschüre. [http://www.genvex.dk/uploads/LUeftungsbrochure\(2\).pdf](http://www.genvex.dk/uploads/LUeftungsbrochure(2).pdf). Abgerufen am 06.08.2008

- [Genvex, 2008b]: Genvex A/S, 2008. *GES Energy 1*. Broschüre.
[http://www.genvex.dk/uploads/GES_Energy_1_-_D_-__\(V7.01_-_0408\).pdf](http://www.genvex.dk/uploads/GES_Energy_1_-_D_-__(V7.01_-_0408).pdf). Abgerufen am 08.08.2008
- [Gossauer & Wagner, 2008]: Gossauer, E., Wagner, A., 2008. Nutzerzufriedenheit und Komfort am Arbeitsplatz – Ergebnisse einer Feldstudie in Bürogebäuden. In: *Bauphysik 30*, Heft 6: 445-452. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG. Berlin
- [Greml et al., 2004]: Greml, A., Blümel, E., Kapferer, R., Leitzinger, W., 2004. *Endbericht: Technischer Status von Wohnraumlüftungen. Evaluierung bestehender Wohnraumlüftungsanlagen bezüglich ihrer technischen Qualität und Praxistauglichkeit*. Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften. Programmlinie Haus der Zukunft. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien
- [Greml et al., 2007]: Greml, A., Kapferer, R., Leitzinger, W., Blümel, E., 2007. *55 Qualitätskriterien für Komfortlüftungen. Wohnraumlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung*. 2. Ausgabe. Projekt Ausbildungsoffensive Komfortlüftung. Programmlinie Haus der Zukunft. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien
- [Greml et al., 2008a]: Greml, A., Leitzinger, W., Kapferer, R., Höfler, K., 2008. *Eine Lüftungsanlage bietet viele Vorteile*. <http://www.komfortlüftung.at/15.html>. Abgerufen am 18.06.2008
- [Greml et al., 2008b]: Greml, A., Leitzinger, W., Kapferer, R., Höfler, K., 2008. *Falsche Gerüchte*. <http://www.komfortlüftung.at/16.html>. Abgerufen am 23.06.2008
- [Greml et al., 2008c]: Greml, A., Leitzinger, W., Kapferer, R., Höfler, K., 2008. *Grenzen der Wohnraumlüftung*. <http://www.komfortlüftung.at/17.html>. Abgerufen am 23.06.2008
- [Greml et al., 2008d]: Greml, A., Leitzinger, W., Kapferer, R., Höfler, K., 2008. *Was unterscheidet eine Komfortlüftung von einer Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung?* <http://www.komfortlüftung.at/12.html>. Abgerufen am 10.07.2008
- [Hofbauer, 2009]: Hofbauer, W., 2009. *Persönliche Mitteilungen, Anregungen und Erfahrungen betreffend Passivhäuser, Niedrigenergiehäuser und Erdwärmetauscher*. Ingenieurbüro Wilhelm Hofbauer. Wien
- [Holzer, 2007a]: Holzer, P., 2007. Idee/Herleitung/Randbedingungen. Thermische Behaglichkeit. *Passivhaus Schulungsunterlagen*. 1.1. Programmlinie Haus der Zukunft. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien
- [Holzer, 2007b]: Holzer, P., 2007. Verringerung der Verluste der Gebäudehülle. Wärmeschutz Fenster. *Passivhaus Schulungsunterlagen*. 3.2. Programmlinie Haus der Zukunft. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien
- [Holzer, 2007c]: Holzer, P., 2007. Wärmeversorgung. Wärmeerzeugung. *Passivhaus Schulungsunterlagen*. 6.1. Programmlinie Haus der Zukunft. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien
- [Holzer, 2007d]: Holzer, P., 2007. Verringerung der Lüftungswärmeverluste. Lüftungsgeräte. *Passivhaus Schulungsunterlagen*. 5.4. Programmlinie Haus der Zukunft. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien
- [Hoval, 2008]: Hoval GmbH, 2008. *Hoval HomeVent. Die kontrollierte Wohnraumlüftung*. Broschüre.
http://www.hoval.at/docs/PDF/Prospekte/HomeVent_2007_web.pdf. Abgerufen am 07.08.2008
- [Huber, 2005]: Huber, H., 2005. *Wärmepumpenanlagen. Skripten zur Ausbildung zum EnergieberaterIn*. Arsenal Research. Nachhaltige Energiesysteme. Wien
- [INQA-Büro, 2008]: INQA-Büro, Initiativkreis Neue Qualität der Büroarbeit (Hrsg.), 2008. *Der Bürotipp 10. Zu trockene Luft macht krank! Welchen Einfluss hat die Luftfeuchte auf die Gesundheit am Arbeitsplatz?* St. Augustin (Deutschland)

- [Kaltschmitt et al., 1997]: Kaltschmitt, M., Lux, R., Sanner, B., 1997. Oberflächennahe Erdwärmennutzung. In: *Erneuerbare Energien*. 2. Auflage. S. 345-370. Hrsg. v. Kaltschmitt, M., Wiese, A. Springer. Berlin. Heidelberg
- [Kaltschmitt et al., 1999]: Hrsg. v. Kaltschmitt, M., Huenges, E., Wolff, H., 1999. *Energie aus Erdwärme. Geologie, Technik und Energiewirtschaft*. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Stuttgart
- [Kamstrup, 2006a]: Kamstrup A/S, 2006. *Kamstrup 162*. 08/2006. Funktionsbeschreibung.
- [Kamstrup, 2006b]: Kamstrup A/S, 2006. *Kamstrup 382*. 08/2006. Funktionsbeschreibung.
- [Kappelmeyer, 1961]: Kappelmeyer, O., 1961. Geothermik. In: *Lehrbuch der angewandten Geologie 1*. Hrsg. v. Bentz, A. Enke. Stuttgart
- [Kaufmann et al., 2002]: Kaufmann, B., Feist, W., John, M., Nagel, M., 2002. Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen. In: *Holzbau Handbuch*, Reihe 1, Teil 3, Folge 10
- [KHC, 2008]: KHC Group GmbH (Keramchemie), 2008. *Wärmerückgewinnung aus der Abluft einer Fertigungshalle mittels Rotationswärmetauscher*. Broschüre. <http://www.energie-industrie.de/pdf-projekte/wrg/kch-wrg.pdf>. Abgerufen am 06.08.2008
- [Lang, 2004]: Lang, G., 2004. *Passivhaus Objektdatenbank. 1000 Passivhäuser in Österreich. Interaktives Dokumentations-Netzwerk Passivhaus*. Programmlinie Haus der Zukunft. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien
- [Lang, 2009]: Lang, G., 2009. *1000 Passivhäuser in Österreich. Passivhaus Objektdatenbank. Interaktives Dokumentations-Netzwerk Passivhaus. 3. Dokumentationsperiode 2006-2008*. Zwischenbericht. Programmlinie Haus der Zukunft. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien
- [Lazzarin, 2004]: Lazzarin, R., 2004. Just a drop of water. Carel S.p.A. In: *Refrigeration World*. June 04 and September 04
- [Leitzinger, 2007]: Leitzinger, W., 2007. *Komfortlüftung*. Powerpoint-Präsentation. Lehrveranstaltung 875.070 - Integrierte und nachhaltige Hochbauplanung. 24.10.2007. Universität für Bodenkultur. Wien
- [Lohr, 2005]: Lohr GmbH, 2005. *Funktionsbeschreibung. Studentenwohnheim Molkereistraße. MSR*.
- [Lowen et al., 2007]: Lowen, A.C., Mubareka, S., Steel, J., Palese, P., 2007. Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature. In: *PLoS Pathogens* 3(10): e151 doi:10.1371/journal.ppat.0030151. Hrsg. v. Public Library of Science
- [Mayer, 2005]: Mayer, E., 2005. Wohlfühlen - Thermische Behaglichkeit. In: *Bürogebäude mit Zukunft. Konzepte, Analysen, Erfahrungen*. Hrsg. v. Voss, K., Löhnert, L., Herkel, S., Wagner, A., Wambsgaß, A. 2. Auflage. Solarpraxis Verlag. Berlin
- [Mayer, 1993]: Mayer, E., 1993. Vorschlag für ein individuelles Raumklima durch Infrarot-Strahlung mit Regelung über eine künstliche Haut. In: *Proceedings CLIMA 2000*. paper 290. London
- [McIntyre, 1982]: McIntyre, D.A., 1982. Chamber studies — Reductio ad absurdum? In: *Energy and Buildings* 5, 89-96. Hrsg. v. Todorovic, B., Meier, A. ELSEVIER
- [Megasol, 2008]: Megasol Solartechnik, 2008. *Nutzung der Solarenergie*. <http://www.megasol.ch/wissen/Nutzung/>. Abgerufen am 16.06.2008
- [Michael, 2007]: Michael, K., 2007. *Erdwärmetauscher zur Luftvorwärmung im Winter und Luftvorkühlung im Sommer*. Hrsg. v. Bárta, J., Hazucha, J. Pasivní Domy (Passivhaustage) Proceedings, 10.-11.10.2007, Brunn (CZ)

- [NRW, 2005]: Energieagentur NRW, 2005. *Ökoprofit Münster 2005*. http://www.uni-duisburg-essen.de/imperia/md/content/webredaktion/oep___heizung___regenerative_w_rmeerzeugung.pdf. Abgerufen am 07.08.2008
- [ÖAD, 2007]: Österreichischer Austauschdienst (ÖAD), Wohnraumverwaltungs-GmbH, 2007. *Fragebogen zum Thema Passivhaus Molkereistraße*. 24.07.2007. Wien
- [ÖAD, 2008]: Österreichischer Austauschdienst (ÖAD), Wohnraumverwaltungs-GmbH, 2008. *Fragebogenauswertung zum Thema Passivhaus 2007/2008*. Erstellt von Florian Musil am 14. Oktober 2008. Wien
- [Oehler, 2004]: Oehler, S., 2004. *Große Passivhäuser*. W. Kohlhammer GmbH. Stuttgart
- [Oklahoma State University, 1988]: Oklahoma State University, 1988. *Closed Loop / Ground-Source Heat Pump Systems – Installation Guide*. International Ground-Source Heat Pump Association
- [ÖNORM B 1800, 2002]: ÖNORM B 1800, 2002. *Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken*. Ausgabe: 2002-01. ON Österreichisches Normungsinstitut
- [ÖNORM B 8110-5, 2007]: ÖNORM B 8110-5, 2007. *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*. Ausgabe: 2007-08. ON Österreichisches Normungsinstitut
- [ÖNORM EN ISO 10077-1, 2006]: ÖNORM EN ISO 10077-1, 2006. *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Allgemeines (ISO 10077-1:2006)*. Ausgabe: 2006-12. ON Österreichisches Normungsinstitut
- [ÖNORM EN ISO 10077-2, 2003]: ÖNORM EN ISO 10077-2, 2003. *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen (ISO 10077-2:2003)*. Ausgabe: 2003-12. ON Österreichisches Normungsinstitut
- [ÖNORM EN ISO 7730, 2006]: ÖNORM EN ISO 7730, 2006. *Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005)*. Ausgabe: 2006-05. ON Österreichisches Normungsinstitut
- [ÖNORM H 6038, 2006]: ÖNORM H 6038, 2006. *Lüftungstechnische Anlagen - Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Wohnungen mit Wärmerückgewinnung - Planung, Montage, Prüfung, Betrieb und Wartung*. Ausgabe: 2006-05. ON Österreichisches Normungsinstitut
- [Onset, 2008]: Onset Computer Corporation, 2008. *HOBO H8 Family. User's Manual*. Bedienungsanleitung. http://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/2016_G_MAN_HO8.pdf. Abgerufen am 19.12.2008
- [Passivhaus Institut, 2008a]: Passivhaus Institut, 2008. *Passivhaus Definition*. http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/Passivhaus_Definition.html. Erstellt am 16.09.2005. Abgerufen am 13.06.2008
- [Passivhaus Institut, 2008b]: Passivhaus Institut, 2008. *Informationen zum Passivhaus*. http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/passivhaus.pdf. Abgerufen am 13.06.2008
- [Passivhaus Institut, 2008c]: Passivhaus Institut, 2008. *Luftdichtheit vermeidet Bauschäden*. http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/luftdicht_06.html. Erstellt am 31.10.2006. Abgerufen am 13.06.2008
- [Passivhaus Institut, 2008d]: Passivhaus Institut, 2008. *Passivhausfenster – höchste Qualität bei transparenten Bauteilen*. http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/PassivhausFenster_06.htm. Erstellt am 31.10.2006. Abgerufen am 14.06.2008

- [Passivhaus Institut, 2008e]: Passivhaus Institut, 2008. *Fenster – Wärmedurchgang U_w und Verglasungs – Gesamtenergiedurchlass g.* http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/Fenster_U_Wert.htm. Erstellt am 25.11.2006. Abgerufen am 14.06.2008
- [Passivhaus Institut, 2008f]: Passivhaus Institut, 2008. *Passivhäuser immer mit Komfort-Wohnungslüftung.* http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/Lueftung_06.html. Erstellt am 31.10.2006. Abgerufen am 18.06.2008
- [Passivhaus Institut, 2008g]: Passivhaus Institut, 2008. *Lüftung im Passivhaus – es geht nur mit höchster Effizienz.* http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/PassivhausLueftung.html. Erstellt am 31.10.2006. Abgerufen am 18.06.2008
- [Passivhaus-Konkret, 2008]: Passivhaus-Konkret (Impressum: Tim Brüggemann), 2008. *Erdwärmetauscher Material.* http://www.passivhaus-konkret.de/erdwaermetauscher_material.html. Abgerufen am 27.10.2008
- [Paul, 2005]: Paul Wärmerückgewinnung GmbH, 2005. *Der Einsatz von Erdwärmetauschern im Zusammenhang mit Wohnungslüftungsanlagen und Wärmerückgewinnung.* Mülsen
- [Paul, 2008]: Paul Wärmerückgewinnung GmbH, 2008. *ATMOS 175 DC. Universelles Wärmerückgewinnungsgerät in 2 Bauformen.* Broschüre. <http://www.paul-lueftung.net/downloads/atmos175dc.pdf>. Abgerufen am 08.08.2008
- [Pekeler, 2008]: Pekeler Meister- und Innungsbetrieb für Heizung & Sanitär, Elektro-Haustechnik, 2008. *Die dezentrale Lüftungsanlage mit oder ohne Wärmerückgewinnung.* http://www.haustechnik-pekeler.de/wohlfueh/dez_luef.html. Abgerufen am 16.08.2008
- [Pettenkofer, 1858]: von Pettenkofer, M., 1858. *Über den Luftwechsel in Wohngebäuden.* Literarisch-artistische Anstalt der Cotta'schen Buchhandlungen. München
- [Pfafferott, 2003]: Pfafferott, J., 2003. *Passive Kühlung mit Nachtlüftung.* Themen-Info I/2003. BINE Informationsdienst. Fachinformationszentrum Karlsruhe. Bonn
- [Pfluger et al., 2001]: Pfluger, R., Feist, W., Ludwig, S., Otte, J., 2001. Teil 4 des Abschlußberichtes: Nutzerhandbuch für den Geschoßwohnungsbau in Passivhaus-Standard. Teil B: Handbuch für die Gebäudeverwaltung. In: *Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise.* Abschlussbericht. Hrsg. v. Passivhaus Institut, Darmstadt. Fraunhofer IRB. Stuttgart
- [Pregitzer, 2002]: Pregitzer, D., 2002. *Grundlagen und Bau eines Passivhauses.* 1. Aufl.. Müller Verlag. Heidelberg
- [Recknagel et al., 1995]: Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E.-R., 1995. *Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik 94/95.* Oldenbourg. München
- [Recknagel et al., 1998]: Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E.-R., 1998. *Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik 97/98.* Oldenbourg. München
- [Recknagel et al., 2002]: Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E.-R., 2002. *Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik 01/02.* Oldenbourg. München
- [Riccabona & Bednar, 2008]: Riccabona, C., Bednar, T., 2008. *Baukonstruktionslehre 4. Bauphysik.* MANZ Verlag Schulbuch GmbH. Wien
- [Richter & Hartmann, 2007]: Richter, W., Hartmann, T., 2007. *Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus. Teil 1: Winterliche Verhältnisse. Planungsleitfaden für Architekten und Fachplaner.* Hrsg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), BDH Bundesindustrieverband Deutschland Haus-Energie- und Umwelttechnik e.V., BVF Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e.V. Berlin

- [Richter, 2003]: Richter, W., 2003. *Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Heizperiode* -. Wirtschaftsverlag NW. Dortmund/Berlin/Dresden
- [Richter, 2007]: Richter, W., 2007. *Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb* -. Forschung Projekt F 2071. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA). Dortmund/Berlin/Dresden
- [Rieberer, 2007]: Rieberer, R., 2007. *Vorlesungsunterlagen Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik. WS 2007/08*. Institut für Wärmetechnik. TU-Graz
- [Rietschel, 1994]: Rietschel, H., 1994. *Raumklimatechnik*. H. Springer Verlag. Berlin
- [Rohregger et al., 2004]: Rohregger, G., Lipp, B., Lackner H.K., Moser, M., Buber, R., Gadner, J., Waltjen, T., 2004. *Behagliche Nachhaltigkeit. Untersuchungen zur Behaglichkeit und zum Gesundheitswert von Passivhäusern*. Programmlinie Haus der Zukunft. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien
- [RWE, 1998]: RWE Energie AG, 1998. *RWE Energie Bau-Handbuch*. 12. Auflage. Essen
- [Rybczynski, 1991]: Rybczynski, W., 1991. *Verlust der Behaglichkeit. Wohnkultur im Wandel der Zeit*. dtv. München
- [Sanner & Lehmann, 1994]: Sanner, B., Lehmann, A., 1994. *Erdgekoppelte Wärmepumpen*. Informationszentrum Wärmepumpen+Kältetechnik. IZW-Bericht 1/94. 2.Symposium. Dezember 1994
- [Sanner, 1992]: Sanner, B., 1992. *Erdgekoppelte Wärmepumpen. Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation*. Fachinformationszentrum Karlsruhe. Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik. IZW-Berichte 2/92. Eggenstein-Leopoldshafen
- [Schaffer et al., 1976]: Schaffer, F.L., Soergel, M.E., Straube, D.C., 1976. Survival of airborne influenza virus: effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids. In: *Arch Virol* 51: 263–273. Springer Wien
- [Schmidt & Nicolaysen, 2007]: Schmidt, R., Nicolaysen, T., 2007. Präzisions- oder Komfortklimageräte? Eine vergleichende Gegenüberstellung. In: *Fach.Journal 2006/2007*. Hrsg. v. Industrieverband Heizungs-, Klima- und Sanitärtechnik Bayern, Sachsen und Thüringen (IHKS). München
- [Schöberl et al., 2004]: Schöberl, H., Bednar, T., Hutter, S., Jachan, C., Deseyve, C., Steininger, C., Sammer, G., Kuzmich, F., Münch, M., Bauer, P., 2004. *Anwendung der Passivtechnologie im sozialen Wohnbau*. Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften. Programmlinie Haus der Zukunft. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien
- [Schwab & Mayer, 1990]: Schwab, R., Mayer, E., 1990. Untersuchung der physikalischen Ursachen von Zugluft. In: *Gesundheits-Ingenieur: GI 111*. Nr.1, S.17-29
- [Sedlbauer et al., 1994]: Sedlbauer, K., Lindauer, E., Werner, H., 1994. Erdreich/Luft-Wärmetauscher zur Wohnungslüftung. In: *Bauphysik* 16 (1994) Nr. 2
- [SIA 382/1, 2007]: SIA 382/1, 2007. *Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen*. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA). Zürich
- [Smutny & Treberspurg, 2007]: Smutny, R., Treberspurg, M., 2007. *Post-Occupancy-Evaluation des Passivhaus-Studentenheims "Molkereistraße" in Wien*. In: Bárta, J., Hazucha, J.: *Pasivní domy 2007* Proceedings. Centrum pasivního domu, 10.-11. Oktober 2007, Brno, S. 257-268
- [Smutny, 2008]: Smutny, R., 2008. *Molkereistraße - Optimierung Energieperformance. Protokoll der Maßnahmen vom 19.06.2008 und Checkliste*. Entwurf vom 15.07.2008. Universität für Bodenkultur. Wien

- [Spendlingwimmer, 2004]: Spendlingwimmer, R., 2004. *Grundlagen der geothermischen Nutzung des Untergrundes zum Heizen und Kühlen*. VÖBU Seminar 21.10.2004. ARC Seibersdorf research GmbH. Geschäftsfeld Wasser
- [StMUGV, 2005]: Bayrisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) (Hrsg.), 2005. *Oberflächennahe Geothermie. Heizen und Kühlen mit Energie aus dem Untergrund*. Initiative klimafreundliches Bayern. München
- [Team gmi, 2005]: Team gmi Vorarlberg/Wien, 2005. *Passivhausstudentenheim Molkereistraße – Wien. Gebäudeklimakonzept / Passivhausnachweis*. Projektphase Ausführungsbegleitung 18.03.2005.
- [Testo, 2008]: Testo GmbH, 2008. *Testo 417, Flügelrad-Anemometer mit integriertem 100 mm Flügelrad, inkl. Temperaturmessung und Batterie*. Technische Daten. [http://www.testo.at/online/abaxx-?%\\$part=PORTAL.AUT.ProductCategoryDesk.active-area.catalog.ProductDetail.details.technical%20data](http://www.testo.at/online/abaxx-?%$part=PORTAL.AUT.ProductCategoryDesk.active-area.catalog.ProductDetail.details.technical%20data). Abgerufen am 12.12.2008
- [Treberspurg, 1999]: Treberspurg, M., 1999. *Neues Bauen mit der Sonne. Ansätze zu einer klimagerechten Architektur*. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage. Springer Verlag. Wien, New York
- [Treberspurg et al., 2008]: Treberspurg, M., Smutny, R., Oberhuber, A., 2008. *Nachhaltigkeits-Monitoring des Passivhaus-Studentenheims Molkereistraße (Projekt NaMoMo)*. Endbericht. Universität für Bodenkultur. Wien
- [Treberspurg, 2009]: Treberspurg, M., 2009. *Persönliche Mitteilung betreffend relative Raumluftfeuchtigkeiten in Innenräumen*. Institut für Konstruktiven Ingenieurbau. Arbeitsgruppe ressourcenorientiertes Bauen. Universität für Bodenkultur, Wien
- [Trümper et al., 1992]: Trümper, H., Hain, K., Albers, K.-J., 1992. *Wohnungslüftung - Energieeinsparung durch Wärmerückgewinnung und vorgeschaltetem Erdwärmeaustauscher*. TAB 4/92
- [Vallox Oy, 2008]: Vallox Oy, 2008. *VALLOX KWL 090SE*. Broschüre. http://www.heinemann-gmbh.de/download_infocenter/PDF_VALLOX/KWL090SE.pdf. Abgerufen am 08.08.2008
- [VDI 4640, 1998]: VDI 4640, 1998. *Thermische Nutzung des Untergrunds*. Blatt 1 und 2. Entwurf. Ausgabe: 1998-02. VDI Verein deutscher Ingenieure. Beuth. Berlin
- [VDI, 1994]: VDI Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), 1994. *VDI-Wärmeatlas: Berechnungsblätter für den Wärmeübergang*. VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC). 7., erw. Auflage. VDI-Verlag. Düsseldorf
- [Voss & Pfafferott, 2007]: Voss, K., Pfafferott, J., 2007. *Energieeinsparung contra Behaglichkeit?*. Schriftenreihe Forschungen Heft 121. Selbstverlag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung. Bonn
- [Voss, 2005]: Voss, K., 2005. *Wohlfühlen - Thermische Behaglichkeit*. In: *Bürogebäude mit Zukunft. Konzepte, Analysen, Erfahrungen*. Hrsg. v. Voss, K., Löhnert, L., Herkel, S., Wagner, A., Wambsganß, A. 2. Auflage. Solarpraxis Verlag. Berlin
- [WeCareLife, 2008]: WeCareLife, 2008. *Fieber. Teil 2: Körpertemperatur*. <http://www.wecarelife.at/gesundheit-medizin/fieber/koerpertemperatur/>. Abgerufen am 16.05.2008
- [Wohnfonds Wien, 2009]: Wohnfonds Wien, Fonds für Wohnbau und Stadterneuerung, 2009. *Wiener Wohnbau Preis 09*. Broschüre. Wien
- [Wuppertal-Institut & Planungs-Büro Schmitz, 1996]: Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie, Planungs-Büro Schmitz Aachen, 1996. *Energiegerechtes Bauen und Modernisieren*. Hrsg. v. Bundesarchitektenkammer Deutschland. Birkhäuser. Basel

[Wyon & Sandberg, 1993]: Wyon, D.P., Sandberg, M., 1993. *Vertical temperature gradients, mean room temperatures and their effects on thermal discomfort*. Research Report TN: 35. Swedish Institute for Building Research. Gävle

[Zehnder, 2008]: Zehnder Comfosystems AG, 2008. *Komfortlüftungsgerät Zehnder Comfoair Flat 150*. Broschüre. http://www.comfosystems.ch/pdf/TS120_-_Comfoair_150_-_DE_21_1125995576.pdf. Abgerufen am 14.08.2008

Anhang

- 1 Fragebögen
- 2 Auswertung Nutzerbefragung (Excel-Tabelle)
- 3 Handlungsrelevanzmatrix (Excel-Tabelle)
- 4 Informationsbroschüre (User Manual) des Passivhauses Molkereistraße

1 Fragebögen



FRAGEBOGEN ZUM THEMA „PASSIVHAUS“

Bitte füllen Sie den Fragebogen gleich aus und lassen Sie ihn am Tisch in Ihrem Zimmer liegen. Der Fragebogen wird von der Reinigungsdame abgeholt!

In Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur wurde dieser Fragebogen erstellt, um weitere Passivhäuser, wie die Molkereistraße, zu optimieren. Dies erfolgt im Rahmen eines wissenschaftlichen Forschungsprojekts, indem besonders die Meinung der Endnutzer berücksichtigt wird.

Zimmer Nummer: _____

- 1a Haben Sie sich die Informationsbroschüre (User Manual) zum Passivhaus durchgelesen?
 ja nein
- 1b Waren diese Informationen gut anwendbar für die Benutzung der Wohnung (Lüftungsanlage und Heizung)?
 Sehr gut gut weniger gut nicht gut
 Änderungsvorschläge: _____

- 2 Ist Ihrer Meinung nach auch ohne Fensteröffnen genügend Frischluft im Zimmer vorhanden?
 ja, sicherlich eher schon eher nicht absolut nicht

- 3a Öffnen Sie regelmäßig die Fenster in der Heizperiode (ca. Oktober bis März)?
 (Bitte pro Zeile (Dauer) eine Häufigkeit auswählen!)

DAUER der Lüftung	HÄUFIGKEIT			
	mehrmals am Tag	1x pro Tag	1x pro Woche	so gut wie nie
< 10 Minuten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
> 10 Minuten und < 1 Stunde	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
> 1 Stunde	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

- 3b Wie oft ist das Fenster Nachts oder Tags durchgehend gekippt?
 Oktober-März: 1-2x pro Woche 3-5x pro Woche täglich
 April-September: 1-2x pro Woche 3-5x pro Woche täglich

- 3c Warum öffnen Sie die Fenster in der Heizperiode (mehrfache Auswahl möglich)?
 zu warm zu wenig Frischluft nach dem Aufstehen
 zu trocken wegen Kontakt zur Außenwelt
 um zu rauchen Sonstiges: _____
 wegen Geruchsbelastung (zB durch Kochen) _____

- 4 Finden Sie es gut, dass sich die Heizung automatisch „abschaltet“, sobald das Fenster geöffnet oder gekippt ist?
 sehr gut gut weniger gut nicht gut

- 5 Fühlen Sie sich im Passivhaus wohl?
 Sehr wohl etwas wohl weniger wohl überhaupt nicht wohl

Warum? _____

BITTE WENDEN

6a Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit?
(Bitte pro Zeile (Kriterium) eine Wichtigkeit und eine Häufigkeit ankreuzen!)

KRITERIEN	WICHTIGKEIT				ZUFRIEDENHEIT			
	sehr	teilweise	wenig	nicht	sehr	teilweise	wenig	nicht
Angenehme Raumtemperatur im Winter	<input type="radio"/>							
Angenehme Raumtemperatur im Sommer	<input type="radio"/>							
Regulierbarkeit der Heizung	<input type="radio"/>							
Angenehme Luftfeuchte im Winter	<input type="radio"/>							
Frische Luft	<input type="radio"/>							
Wenig Geräusche	<input type="radio"/>							
Zugerscheinung bzw. wenig Luftbewegung*	<input type="radio"/>							
Allgemeine Benutzerfreundlichkeit**	<input type="radio"/>							
Umweltschutz	<input type="radio"/>							

*durch Lüftungsanlage; ** betreffend Heizung, Lüftung und Warmwasserversorgung

6b Verbesserungsvorschläge betreffend obiger Kriterien (ev. zusätzliches Blatt verwenden ☺):

- 7 Beeinträchtigt Sie der Wartungsaufwand Ihrer Lüftungs- und Heizanlage?
 Sehr störend etwas störend weniger störend nicht störend
- 8 Welche Geräusche empfinden Sie als störend (mehrfache Auswahl möglich)?
 Geräusche der Lüftungsanlage Sonstige Geräusche:
 Geräusche vom Gangbereich
 Geräusche von Nachbarn keine Geräusche
 Geräusche von Außen
- 9 Ist die Wohnqualität in einem Passivhaus höher als in einem „normalen“ Haus?
 höher gleich gut schlechter
- 10 Zusätzliche statistische Angaben:
 Geschlecht weiblich männlich
 Alter < 20 20-24 25-29 30-34 35-39 40-44 > 44
 Nationalität _____
 Raucher ja nein
 häufig in der Wohnung (mehr als 5 Zigaretten/ Tag)
 selten in der Wohnung (weniger als 5 Zigaretten/Tag)
 am Gang
 im Freien
 Öffnen Sie das Fenster beim Rauchen? ja nein

Anmerkung: Die Daten werden anonymisiert und nach Stockwerk, Himmelsrichtung, Altersgruppe etc. ausgewertet.

DANKE FÜR IHRE WERTVOLLE MITHILFE !



PASSIVE HOUSE QUESTIONNAIRE

The questionnaire is part of a research project that deals in special with the feed-back of the residents.

Room-Number: _____

- 1a Did you read the user manual for your room?
 yes no
- 1b Was this information good/helpful for using the flat (ventilation system and heating)?
 very good good not very good not good
 Suggestions for changes: _____

- 2 Do you think that you have enough fresh air in your room even with closed windows?
 yes, of course it's OK not really absolutely not

- 3a Do you open the windows in the heating period (october till march) regularly?
 (Please choose one frequency per line (length)!)

LENGTH of ventilation	FREQUENCY			
	couple of times /day	1x per day	1x per week	practically never
< 10 minutes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
> 10 minutes and < 1 hour	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
> 1 hour	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

- 3b How often ist the window permanently tilted (night or day)?
 october - march: 1-2x per week 3-5x per week daily
 april - september: 1-2x per week 3-5x per week daily

- 3c Why do you open the windows in the heating period (multiple choice possible)?
 too warm for getting contact to the outside world
 too dry any other business (AOB): _____
 for smoking _____
 bad smell (e.g. cooking) _____
 not enough fresh air after getting up

- 4 Do you think it's good that the heating is automatically turned off when the window is fully open or tilted?
 very good good not so good not good

- 5 Do you feel comfortable in this passive house?
 Winter:
 very comfortable a little bit not very comfortable not comfortable
 Summer:
 very comfortable a little bit not very comfortable not comfortable

Why? _____

PLEASE TURN

6a How important are the following criteria for you and how satisfied are you with these criteria?
(Please choose one importance field and one satisfaction field per line (criterion))

CRITERIA	IMPORTANCE				SATISFACTION			
	Very much	A little bit	not very much	not	Very much	A little bit	Not very much	not
Comfortable indoor temperature in winter	<input type="radio"/>							
Comfortable indoor temperature in summer	<input type="radio"/>							
Possibility of heating adjustment	<input type="radio"/>							
Comfortable indoor humidity in winter	<input type="radio"/>							
Fresh air	<input type="radio"/>							
Not much noise	<input type="radio"/>							
No or not noticeable air draft*	<input type="radio"/>							
General usability**	<input type="radio"/>							
Environmental protection	<input type="radio"/>							

*caused by ventilation system; ** concerning heating, ventilation system and hot water supply

6b suggestions for improvement concerning discussed criteria:

EF01 Do you know that the windows can be completely shadowed with the help of outside brass panels? yes no
If yes: How often do you close these outside brass panels on warm sunny days when leaving your room? almost always sometimes seldom never

EF02 Is the gap below your roomdoor sometimes partly or fully covered by a carpet, clothes or any other things? (Note: This gap is necessary for reaching a fresh air flow from your room into the kitchen.) yes no
If yes: How often? almost always often sometimes seldom

EF03 How do you ventilate on hot days (more than 25°C = 77°F, $F = (C * 9/5) + 32$)?

EF04 Do you think that the air in your room is too dry in winter (low indoor humidity)?
 almost always sometimes seldom never

EF05 What stands out in your room/ the flat in a very negative way?

10 additional statistics:

Gender female male

Age < 20 20-24 25-29 30-34 35-39 40-44 > 44

Citizenship _____

For how long have you been living in your room? _____

Smoker yes no

- often in the room (more than 5 cigarettes/ day)
- seldom in the room (less than 5 cigarettes/ day)
- in the corridor
- outside

Do you open the window when you smoke? yes no

Note: Your data is made anonymous and is going to be analyzed (floor, orientation, age etc.).

2 Auswertung Nutzerbefragung

	Frage	Antworten eigene Auswertung (13 Stk.)	Antworten	Antworten ÖAD 07/08 (115 Stk.)	Antworten ÖAD 06/07-Jänner (54 Stk.)	Gewichteter Durchschnitt
001a	Haben Sie sich die Informationsbroschüre (User Manual) zum PH durchgelesen?	77%	ja	79%	85%	81%
		23%	nein	21%	15%	19%
001b - 1	Waren diese Informationen gut anwendbar für die Benutzung der Wohnung (Lüftungsanlage und Heizung)?	10%	sehr gut	11%	13%	11%
		60%	gut	69%	78%	71%
		30%	weniger gut	18%	7%	16%
		0%	nicht gut	2%	2%	2%
001b - 2	Änderungsvorschläge	10%	in User Manual verdeutlichen, dass Heizung abschaltet, wenn Fenster offen	k.A.		
		0%	Broschüre auch in anderen Sprachen		mind. 1x	
002	Ist Ihrer Meinung nach auch ohne Fensteröffnen genügend Frischluft im Zimmer vorhanden?	8%	ja, sicher	9%	8%	8%
		0%	eher schon	26%	36%	27%
		62%	eher nicht	46%	38%	44%
		31%	absolut nicht	19%	19%	20%
003a - 1	Öffnen Sie regelmäßig die Fenster in der Heizperiode (ca. Oktober bis März)? # < 10 Minuten	46%	mehrmals am Tag	35%	47%	39%
		15%	1x pro Tag	42%	37%	39%
		0%	1x pro Woche	12%	5%	9%
		38%	so gut wie nie	12%	11%	13%
003a - 2	Öffnen Sie regelmäßig die Fenster in der Heizperiode (ca. Oktober bis März)? # > 10 Minuten und < 1 Stunde	62%	mehrmals am Tag	22%	35%	29%
		31%	1x pro Tag	27%	39%	31%
		8%	1x pro Woche	31%	13%	24%
		0%	so gut wie nie	21%	13%	17%
003a - 3	Öffnen Sie regelmäßig die Fenster in der Heizperiode (ca. Oktober bis März)? # > 1 Stunde	23%	mehrmals am Tag	19%	27%	22%
		38%	1x pro Tag	16%	10%	16%
		8%	1x pro Woche	12%	30%	17%
		31%	so gut wie nie	53%	33%	46%
003b - 1	Wie oft ist das Fenster nachts oder tags durchgehend gekippt? # Oktober-März	31%	1-2x pro Woche	55%	37%	48%
		46%	3-5x pro Woche	30%	17%	27%
		23%	täglich	15%	46%	25%
003b - 2	Wie oft ist das Fenster nachts oder tags durchgehend gekippt? # April-September	8%	1-2x pro Woche	16%	4%	12%
		23%	3-5x pro Woche	23%	23%	23%
		69%	täglich	61%	73%	65%
003c	Warum öffnen Sie die Fenster in der Heizperiode (ca. Oktober bis März)?	62%	zu warm	41%	33%	40%
		31%	zu trocken	31%	17%	27%
		15%	um zu rauchen	10%	19%	13%
		46%	wegen Geruchsbelastung (z.B. Kochen)	59%	43%	53%
		92%	zu wenig Frischluft nach dem Aufstehen	63%	74%	68%
		15%	wegen Kontakt zur Außenwelt	20%	15%	18%
0%	Sonstiges	3%	6%	3%		

	Frage	Antworten eigene Auswertung (13 Stk.)	Antworten	Antworten ÖAD 07/08 (115 Stk.)	Antworten ÖAD 06/07-Jänner (54 Stk.)	Gewichteter Durchschnitt
004	Finden Sie es gut, dass sich die Heizung automatisch "abschaltet", sobald das Fenster geöffnet oder gekippt ist?	46%	sehr gut	38%	33%	37%
		46%	gut	33%	44%	37%
		0%	weniger gut	21%	10%	16%
		8%	nicht gut	8%	13%	10%
005 - Wi	Fühlen Sie sich im Passivhaus wohl? # Winter	62%	sehr wohl	50%	45%	48%
		31%	etwas wohl	37%	38%	37%
		0%	weniger wohl	11%	13%	12%
		8%	überhaupt nicht wohl	2%	4%	4%
005 - So	Fühlen Sie sich im Passivhaus wohl? # Sommer	8%	sehr wohl	KEINE Unterscheidung zw. Winter und Sommer	KEINE Unterscheidung zw. Winter und Sommer	
		23%	etwas wohl			
		38%	weniger wohl			
		31%	überhaupt nicht wohl			
006a - 1	Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit? # Angenehme Raumtemperatur im Winter	85%	sehr wichtig	65%	82%	71%
		15%	teilweise wichtig	24%	16%	21%
		0%	wenig wichtig	9%	2%	6%
		0%	nicht wichtig	2%	0%	1%
		69%	sehr zufrieden	41%	35%	41%
		31%	teilweise zufrieden	39%	52%	42%
		0%	wenig zufrieden	14%	11%	12%
006a - 2	Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit? # Angenehme Raumtemperatur im Sommer	92%	sehr wichtig	53%	71%	61%
		8%	teilweise wichtig	20%	15%	18%
		0%	wenig wichtig	15%	15%	14%
		0%	nicht wichtig	12%	0%	7%
		8%	sehr zufrieden	30%	25%	27%
		8%	teilweise zufrieden	29%	56%	35%
		62%	wenig zufrieden	24%	8%	22%
006a - 3	Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit? # Regulierbarkeit der Heizung	69%	sehr wichtig	29%	67%	43%
		15%	teilweise wichtig	37%	28%	33%
		15%	wenig wichtig	21%	4%	16%
		0%	nicht wichtig	12%	0%	8%
		31%	sehr zufrieden	13%	18%	16%
		23%	teilweise zufrieden	31%	39%	32%
		23%	wenig zufrieden	29%	36%	31%
		23%	nicht zufrieden	28%	7%	21%
006a - 4	Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit? # Angenehme Luftfeuchte im Winter	62%	sehr wichtig	36%	37%	38%
		23%	teilweise wichtig	43%	44%	42%
		15%	wenig wichtig	13%	16%	14%
		0%	nicht wichtig	8%	2%	6%
		38%	sehr zufrieden	26%	28%	28%
		31%	teilweise zufrieden	50%	44%	47%
		15%	wenig zufrieden	14%	21%	16%
006a - 5	Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit? # Frische Luft	100%	sehr wichtig	52%	93%	68%
		0%	teilweise wichtig	27%	4%	19%
		0%	wenig wichtig	17%	2%	11%
		0%	nicht wichtig	4%	0%	2%
		15%	sehr zufrieden	22%	36%	26%
		23%	teilweise zufrieden	44%	21%	36%
		38%	wenig zufrieden	22%	33%	27%
23%	nicht zufrieden	11%	10%	11%		

	Frage	Antworten eigene Auswertung (13 Stk.)	Antworten	Antworten ÖAD 07/08 (115 Stk.)	Antworten ÖAD 06/07-Jänner (54 Stk.)	Gewichteter Durchschnitt
006a - 6	Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit? # Wenig Geräusche	92%	sehr wichtig	54%	57%	58%
		8%	teilweise wichtig	32%	33%	31%
		0%	wenig wichtig	9%	10%	9%
		0%	nicht wichtig	5%	0%	3%
		85%	sehr zufrieden	46%	29%	44%
		8%	teilweise zufrieden	30%	54%	36%
		0%	wenig zufrieden	17%	12%	14%
		8%	nicht zufrieden	7%	5%	7%
006a - 7	Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit? # keine Zugscheinung bzw. wenig Luftbewegung	69%	sehr wichtig	25%	37%	32%
		15%	teilweise wichtig	50%	53%	48%
		15%	wenig wichtig	20%	11%	17%
		0%	nicht wichtig	6%	0%	4%
		69%	sehr zufrieden	28%	34%	33%
		31%	teilweise zufrieden	43%	50%	44%
		0%	wenig zufrieden	20%	8%	15%
		0%	nicht zufrieden	9%	8%	8%
006a - 8	Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit? # Allgemeine Benutzerfreundlichkeit	85%	sehr wichtig	42%	51%	48%
		8%	teilweise wichtig	43%	44%	41%
		8%	wenig wichtig	13%	5%	10%
		0%	nicht wichtig	2%	0%	1%
		38%	sehr zufrieden	39%	36%	38%
		46%	teilweise zufrieden	45%	46%	45%
		15%	wenig zufrieden	10%	15%	12%
		0%	nicht zufrieden	6%	3%	4%
006a - 9	Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien und wie zufrieden sind Sie derzeit? # Umweltschutz	85%	sehr wichtig	58%	70%	63%
		8%	teilweise wichtig	33%	20%	27%
		8%	wenig wichtig	7%	9%	7%
		0%	nicht wichtig	3%	0%	2%
		69%	sehr zufrieden	62%	46%	58%
		23%	teilweise zufrieden	32%	51%	37%
		0%	wenig zufrieden	4%	2%	3%
		8%	nicht zufrieden	2%	0%	2%
006b	Verbesserungsvorschläge betreffend obiger Kriterien (Frage 006a-1 bis 006a-9)?	15%	mehr Zuluft für das Zimmer	2x		
		8%	will Heizung ganz abdrehen können		mind. 1x	
		31%	kleiner Ventilator für das Zimmer	1x	(Regulierbarkeit der Heizung)	
		38%	Durchzug zw. Wohnung und Gang schaffen			
		8%	mehr Zuluft für die Küche			
		8%	Abluftventil/Dunstabzug in der Küche			mind. 1x
EF01 - 1	Wissen Sie, dass bei den Fenstern Verschattungselemente (Metallplatten) angebracht sind um die Zimmer im Sommer vor Überhitzung zu schützen?	100%	ja			
		0%	nein			
EF01 - 2	Wie oft schließen Sie diese Verschattungselemente an heißen Sommertagen?	38%	fast immer			
		15%	manchmal			
		23%	selten			
		23%	nie			

	Frage	Antworten eigene Auswertung (13 Stk.)	Antworten	Antworten ÖAD 07/08 (115 Stk.)	Antworten ÖAD 06/07-Jänner (54 Stk.)	Gewichteter Durchschnitt
EF02 - 1	Kommt es vor, dass der Luftspalt unter Ihrer Zimmertür teilweise oder ganz durch Kleidungsstücke o.Ä. verdeckt wird?	0%	ja			
		100%	nein			
EF02 - 2	Wie oft ist der Spalt unter der Zimmertür verdeckt?	0%	fast immer			
		0%	manchmal			
		0%	selten			
		0%	nie			
EF03 - Na	Wie lüften Sie an heißen Sommertagen in der Nacht?	92%	Fenster offen			
		8%	Fenster zu			
		85%	Verschattung offen			
		15%	Verschattung zu			
EF03 - Ta	Wie lüften Sie an heißen Sommertagen untertags?	92%	Fenster offen			
		8%	Fenster zu			
		46%	Verschattung offen			
		54%	Verschattung zu			
EF04	Finden Sie, dass die Luft in Ihrem Zimmer im Winter zu trocken ist (geringe relative Luftfeuchtigkeit)?	23%	fast immer			
		15%	manchmal			
		15%	selten			
		46%	nie			
EF05	Was stört Sie besonders an Ihrem Zimmer?	8%	Ganggeräusche durch Wohnungstür hörbar			
		85%	im Sommer zu heiß			
		8%	zuwenig Zuluft in der Wohnung			
		38%	kein Durchzug in der Wohnung			
		8%	zuwenig Zuluft in der Küche			
		8%	zu warm in der Küche			
010 - 1	Geschlecht	69%	weiblich	50%	47%	50%
		31%	männlich	50%	53%	50%
010 - 2	Alter	8%	< 20	3%	0%	2%
		62%	20-24	77%	63%	72%
		31%	25-29	14%	24%	18%
		0%	30-34	4%	4%	4%
		0%	35-39	1%	4%	2%
		0%	40-44	0%	2%	1%
		0%	> 44	2%	2%	2%
EF010 - 3	Nationalität					
EF010 - 4	Seit wieviel Monaten bewohnen Sie Ihr Zimmer?	5,0	Monate (Median)			
010 - 5	Raucher	23%	ja	17%	29%	21%
		77%	nein	83%	71%	79%
010 - 5.1	Wo und wieviel rauchen Sie?	0%	häufig in der Wohnung (> 5 Zigaretten /Tag)	37%	31%	32%
		67%	selten in der Wohnung (< 5 Zigaretten /Tag)	42%	31%	40%
		0%	am Gang	11%	15%	11%
		33%	im Freien	11%	23%	16%
010 - 5.2	Öffnen Sie das Fenster beim Rauchen?	100%	ja	82%	90%	86%
		0%	nein	18%	10%	14%

4/4

Die Faktoren für die Berechnung des gewichteten Durchschnitts lauten wie folgt:

Faktor 13 für die eigene Auswertung (13 Stk. ausgefüllte Fragebögen), Faktor 115 für die Auswertung ÖAD 2007/2008 (115 Stk.) sowie Faktor 54 für die Auswertung ÖAD 2006/2007 – Jänner 2007 (54 Stk.).

Die Nationalitäten der interviewten Studenten wurden nur in der eigenen Auswertung (Fragebogen Oberkleiner) erhoben und sind deshalb nicht angeführt.

3 Handlungsrelevanzmatrix

	Frage	Antworten eigene Auswertung	Antworten ÖAD 07/08 (115 Stk.)	Antworten ÖAD 06/07- Jänner (54	Gewichteter Durchschnitt
Wichtigkeit	006a - 1	0,95	0,84	0,93	0,87
	006a - 2	0,97	0,71	0,85	0,77
	006a - 3	0,85	0,61	0,88	0,71
	006a - 4	0,82	0,69	0,72	0,71
	006a - 5	1,00	0,76	0,97	0,84
	006a - 6	0,97	0,78	0,83	0,81
	006a - 7	0,85	0,64	0,75	0,69
	006a - 8	0,92	0,75	0,82	0,79
	006a - 9	0,92	0,82	0,87	0,84
	Mittelwert	0,92	0,73	0,85	0,78
Zufriedenheit	006a - 1	0,31	0,85	0,80	0,80
	006a - 2	2,00	1,30	1,06	1,28
	006a - 3	1,38	1,71	1,32	1,57
	006a - 4	1,08	1,08	1,07	1,08
	006a - 5	1,69	1,22	1,17	1,24
	006a - 6	0,31	0,85	0,93	0,84
	006a - 7	0,31	1,10	0,89	0,98
	006a - 8	0,77	0,82	0,85	0,82
	006a - 9	0,46	0,45	0,56	0,48
	Mittelwert	0,92	1,04	0,96	1,01

Umrechnung: sehr wichtig = 1; teilweise wichtig = 2/3; wenig wichtig = 1/3; nicht wichtig = 0;
sehr zufrieden = 0; teilweise zufrieden = 1; wenig zufrieden = 2; nicht zufrieden = 3.

Die Faktoren für die Berechnung des gewichteten Durchschnitts lauten wie folgt:

Faktor 13 für die eigene Auswertung (13 Stk. ausgefüllte Fragebögen), Faktor 115 für die Auswertung ÖAD 2007/2008 (115 Stk.) sowie Faktor 54 für die Auswertung ÖAD 2006/2007 – Jänner 2007 (54 Stk.).

**4 Informationsbroschüre (User Manual) des Passivhauses
Molkereistraße**



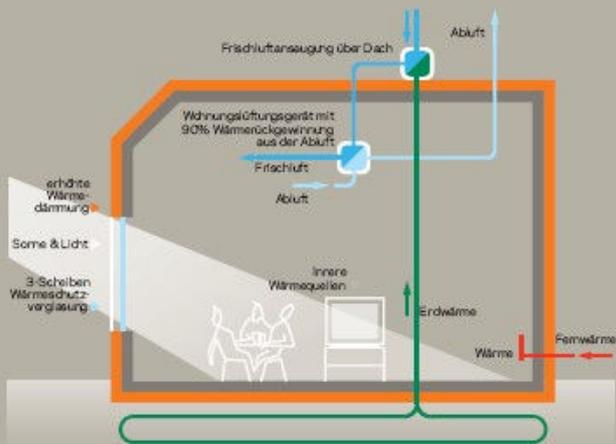
Passivhausstudentenheim Molkereistraße

Einem Passivhaus sieht man nicht zwangsläufig an, dass es ein Passivhaus ist. Das Haus daneben verbraucht vielleicht das 10-fache an Energie und das ist von außen nicht erkennbar. Auch das Wohnen in einem Passivhaus unterscheidet sich kaum von dem in einem gewöhnlichen Haus. Die folgenden Seiten beinhalten einen kurzen Leitfaden zum besseren Verständnis und zur Benützung eines Passivhauses.

Was ist passiv an einem Passivhaus? In einem Passivhaus wird ein komfortables Raumklima mit Hilfe passiver Komponenten verwirklicht. Das bedeutet, dass diese Komponenten für ihre Funktion keine aktive Betätigung durch den Bewohner benötigen und diesen auch nicht in seinem Verhalten einschränken. Jedoch dürfen die einzelnen Komponenten in ihrer Funktionalität auch nicht durch den Benutzer eingeschränkt werden!

Die Komponenten nicht einschränken!

Die Grundidee eines Passivhauses. Wärme bewahren! – Je geringer der Wärmeverlust, desto weniger muss „geheizt“ werden. Passivhäuser brauchen bis zu 90% weniger Energie als herkömmliche Gebäude! Das ist durch folgende Bestandteile zu erreichen (vgl. Abbildung): guter Wärmeschutz an der Gebäudehülle, eine Wohnraumlüftung (Komfortlüftung) mit hochwirksamer Wärmerückgewinnung aus der verbrauchten Luft, Nutzung innerer Wärmequellen, passive Sonnenenergienutzung, passive Vorerwärmung der Frischluft durch Nutzung des Erdreichtemperaturniveaus sowie ein Fernwärmeanschluss.



Wärmeschutz. 30cm Wärmedämmung verhindern, dass das Gebäude auskühlt. Die Wärme bleibt innerhalb der Gebäudehülle und geht nicht nach außen verloren. Auch die Fenster sind speziell für Passivhäuser konstruiert und mit hochwertigen 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen versehen, damit die Wärme im Zimmer bleibt. Die geringen Wärmemengen, die dann noch notwendig sind, um die Zimmer warm zu halten, werden durch die Nutzung innerer Wärmequellen sowie von den kleinen Heizkörpern über den Türen bereitgestellt. Um extrem überhöhte Energieverbräuche zu verhindern, schaltet die Heizung ab, sobald die Fenster geöffnet werden.

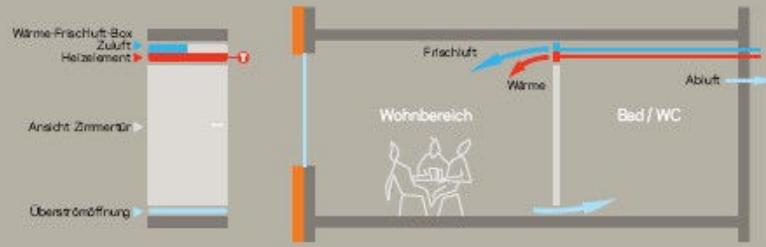
Das kann dazu führen, dass die Zimmertemperatur im Winter rasch absinkt. Durch den kleinen Heizkörper kann der Raum erst wieder sehr langsam erwärmt werden. Ein kurzes Öffnen der Fenster ist aber im allgemeinen unproblematisch. Bei Außentemperaturen über 10°C können die Fenster, ohne Beeinträchtigung der Passivhausfunktion, beliebig geöffnet werden.

Fensterkontakt schaltet Heizung ab!

Wohnraumlüftung. In herkömmlichen Wohnhäusern werden zur Vermeidung schlechter Luftqualität die Fenster geöffnet und dabei bis zu 50% der Heizenergie zur Erwärmung der Frischluft ver(sch)wendet. Eine automatisch kontrollierte Be- und Entlüftung sorgt in Ihrem Zimmer, dass immer für ausreichend frische Luft gesorgt ist – auch bei längerer Abwesenheit und nachts, ohne dass die Fenster geöffnet werden müssen. Dar-

über hinaus wird die Staubbelastung der Räume und das Risiko von Schimmelbildung reduziert. Die Frischluft wird über das Dach angesaugt und in den Zimmern oberhalb der Tür eingblasen. Über die Überströmöffnungen unterhalb der Türen bewegt sich die Luft in die Küche und das Badezimmer, von wo sie dann abgesaugt wird. Um die Funktion der Lüftung nicht zu beeinträchtigen, müssen Abluft-, Zuluft- und Überströmöffnungen frei gehalten werden. D.h. es sollten keine „Poster“ oder Aufkleber über die Öffnungen geklebt werden und der Luftspalt unterhalb der Tür sollte frei von Teppichen, Wäsche etc. gehalten werden.

Luftöffnungen freihalten!



Wärmerückgewinnung aus der verbrauchten Luft. Der Wärmeinhalt der verbrauchten Luft (nicht die Luft selbst) wird zu 90% zurückgewonnen und der frischen Luft zugeführt. Somit wird die Abluft nicht mit 20-22°C beim Fenster hinausgelüftet und die zur Erwärmung der Außenluft notwendige Energie auf ein Minimum reduziert.

Nutzung innerer Wärmequellen. Innere Wärmegewinne in der Wohneinheit bringen oft ähnliche Wärmen ein wie die Heizkörper. So werden z.B. über elektrische Geräte Wärmeleistungen freigesetzt, die auch signifikant zum schnellen Erwärmen des Raumes genutzt werden können.

Passive Sonnenenergienutzung. Die Sonne ist unser größter Energielieferant. Wenn die Sonnenstrahlen durch die Fenster ins Innere des Zimmers scheinen, wärmen sie dieses zusätzlich auf. Es ist daher darauf zu achten, dass in der kalten Jahreszeit tagsüber die Fenster möglichst nicht verschattet sind, um die „passive Heizung anzudrehen“. Im Sommer hingegen schützen die Verschattungseinrichtungen während des Tages vor Überhitzung.

Fenster im Winter nicht verschatten!

Passive Vorerwärmung bzw. Kühlung der Frischluft. Ein wassergeführter Flächenwärmetauscher leitet Erdwärme von unterhalb der Fundamentplatte zum Dach des Hauses, um die dort angesaugte Frischluft im Winter vorzuwärmen. Im Sommer wird die niedrigere Temperatur der Erde zur Kühlung der Frischluft verwendet.

Fernwärmeanschluss. Zur Warmwasserbereitung und der Versorgung der Heizkörper in den Zimmern gibt es einen Fernwärmeanschluss. Die Raumtemperaturen können zimmerweise mit Hilfe des Raumthermostats zwischen 17°C und 25°C eingestellt werden. Um die Messung der tatsächlichen Raumtemperatur nicht zu verfälschen, dürfen keine Kerzen vor das Bediengerät gestellt oder Kleider darüber gehängt werden. Die Temperaturregelung des Raumes funktioniert dann nicht mehr.

Raumbediengerät freihalten!

Zusammenfassung. Das Passivhausstudentenheim Molkereistrasse ist behaglich, energiesparend und umweltschonend. Nach heutigem Stand der Technik ist es die beste und günstigste Methode, komfortables Raumklima herzustellen. Wie eh und je sind aber Energieverbrauch und -kosten auch wesentlich vom Verhalten der Benutzer abhängig.

