

# ENDBERICHT

Wien, 30.12.2007

## NACHHALTIGKEITS-MONITORING DES PASSIVHAUS- STUDENTENHEIMS MOLKEREISTRASSE

(Projekt NaMoMo)

**Wissenschaftliche Evaluierung von Nutzerzufriedenheit, Energieperformance und Klimaschutzbeitrag von gemeinnützigen Wiener Wohnbauten in Passivhausstandard am Beispiel des Passivhaus-Studentenheims Molkereistraße in Wien.**

Univ.-Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg,  
DI Roman Smutny,  
Arbeitsgruppe ressourcenorientiertes Bauen,  
Institut für konstruktiven Ingenieurbau,  
Department für Bautechnik und Naturgefahren,  
Universität für Bodenkultur Wien (BOKU),  
Peter-Jordan Straße 82, A-1190 Wien



Mag. Andreas Oberhuber  
Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen (FGW)  
Löwengasse 47-5, A-1030 Wien



Gefördert durch die MA50 - Wiener Wohnbauforschung, Magistrat der Stadt Wien,  
Leitung: Dr. Wolfgang Förster  
Muthgasse 62, 1190-Wien

Weitere Unterstützung von ÖAD (Mag. Günter Jedliczka, Alexander Schmid), teamgmi (DI Michael Berger), ARWAG (DI Günther Stöllberger, DI Ibrahim Memic), MIGRA (Arch. DI Manfred Wasner), Wien Energie - Fernwärme Wien (DI Alexander Wallisch, DI Aarno Rappottig MBA, Ing. Reinhard Scheifler, Ing. Eike Ehrenreich) und Bergische Universität Wuppertal – Abteilung Bauphysik und technische Gebäudeausrüstung (Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss, DI Peter Engelmann).

### **Informationen über die Passivhausstudie Molkereistraße:**

#### MA50-Wohnbauforschung

19., Muthgasse 62

Mag. Dr. Wolfgang Förster, Tel.: 4000-74813, E-Mail: wolfgang.foerster@wien.gv.at

#### Gemeinnützige Bau- und Siedlungsgesellschaft MIGRA GesmbH.

3., Würtzlerstraße 15

Arch. DI Manfred Wasner, Tel.: 01/794 58, E-Mail: wasner@arwag.at

#### Universität für Bodenkultur Wien

Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen

Institut für konstruktiven Ingenieurbau

19, Peter Jordan Straße 82

Univ.-Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg, Tel.: 01/476 54-5260,

E-Mail: martin.treberspurg@boku.ac.at

DI Roman Smutny, Tel.: 01/47654-5264, E-Mail: roman.smutny@boku.ac.at

#### Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen

3., Löwengasse 47/5

Mag. Andreas Oberhuber, Tel.: 01/712 625 123, E-Mail: andreas.oberhuber@fgw.at

# INHALTSVERZEICHNIS

<b><u>TABELLENVERZEICHNIS .....</u></b>	<b><u>6</u></b>
<b><u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</u></b>	<b><u>7</u></b>
<b><u>1 DANKSAGUNG.....</u></b>	<b><u>9</u></b>
<b><u>2 ZIELSETZUNG UND FRAGESTELLUNGEN .....</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b><u>3 ARBEITSPROGRAMM UND METHODIK.....</u></b>	<b><u>12</u></b>
<b><u>4 GEBÄUDEBESCHREIBUNG.....</u></b>	<b><u>17</u></b>
<b>4.1 STÄDTEBAU UND ARCHITEKTUR .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 HAUSTECHNIK .....</b>	<b>19</b>
4.2.1 BENUTZERFREUNDLICHE BEDIENUNG .....	22
4.2.2 HEIZUNG .....	22
4.2.3 WARMWASSER .....	22
4.2.4 FRISCHLUFTVERSORGUNG .....	23
<b><u>5 ANALYSE DER ERRICHTUNGSKOSTEN UND FÖRDERUNGSFINANZIERUNG .....</u></b>	<b><u>26</u></b>
<b>5.1 FRAGESTELLUNGEN ZUR ÖKONOMISCHEN PERFORMANCE VON WOHNGEBÄUDEN IN PASSIVHAUSQUALITÄT .....</b>	<b>26</b>
<b>5.2 FÖRDERUNGSABWICKLUNG.....</b>	<b>27</b>
5.2.1 BEGUTACHTUNG IM WR. GRUNDSTÜCKSBEIRAT .....	27
5.2.2 ECKDATEN DES FÖRDERUNGSOBJEKTS.....	30
<b>5.3 PROJEKTFINANZIERUNG .....</b>	<b>31</b>
5.3.1 BESCHREIBUNG DES FÖRDERUNGSMODELLS UND VON RAHMENBEDINGUNGEN DER FINANZIERUNG .....	31
5.3.2 BAUKOSTENANALYSE .....	36
<b><u>6 ENERGIEPERFORMANCE MOLKEREISTRABE.....</u></b>	<b><u>39</u></b>
<b>6.1 ENERGIEKENNZAHLEN UND FUNKTIONALE EINHEITEN .....</b>	<b>39</b>
6.1.1 ENERGIEKENNZAHLEN .....	39
6.1.2 FLÄCHENBEZÜGE .....	40
<b>6.2 GEPLANTER ENERGIEBEDARF .....</b>	<b>41</b>
6.2.1 HEIZWÄRMEBEDARF .....	42
6.2.2 WARMWASSERENERGIEBEDARF .....	44
6.2.3 LÜFTUNGSENERGIEBEDARF .....	46
<b>6.3 AUBENKLIMA.....</b>	<b>46</b>

<b>6.4</b>	<b>GEMESSENE LEISTUNG .....</b>	<b>48</b>
<b>6.5</b>	<b>GEMESSENER ENERGIEVERBRAUCH.....</b>	<b>49</b>
<b>6.6</b>	<b>PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH (NICHT ERNEUERBAR) UND TREIBHAUSGASEMISSIONEN.....</b>	<b>55</b>
<b>6.7</b>	<b>VERGLEICH GEMESSENER ENERGIEVERBRAUCH MIT GEPLANTEM ENERGIEBEDARF .....</b>	<b>61</b>
6.7.1	HEIZWÄRME - BERECHNUNG DES STANDARDISIERTEN NUTZENERGIEVERBRAUCHS AUS DEM GEMESSENEN ENDENERGIEVERBRAUCH .....	61
6.7.2	EXKURS: GEGENÜBERSTELLUNG BERECHNETER HEIZWÄRMEBEDARF ZU GEMESSENEM HEIZWÄRMEVERBRAUCH LAUT EU-PROJEKT CEPHEUS .....	62
6.7.3	VERGLEICH GEMESSENER HEIZWÄRMEVERBRAUCH MIT GEPLANTEM HEIZWÄRMEBEDARF ..	63
6.7.4	ENDENERGIE WARMWASSER UND LÜFTUNG – GEMESSENER VERBRAUCH VERSUS GEPLANTER BEDARF .....	65
<b>7</b>	<b><u>ANALYSE DES THERMISCHEN UND HYGRISCHEN KOMFORTS SOWIE DER ALLGEMEINEN NUTZERZUFRIEDENHEIT .....</u></b>	<b>67</b>
7.1	INNENRAUMKLIMA - TEMPERATUR UND LUFTFEUCHTE .....	67
7.2	AUSWERTUNG NUTZERBEFRAGUNG .....	71
<b>8</b>	<b><u>VERGLEICH MIT ANDEREN GEBÄUDEN.....</u></b>	<b>73</b>
8.1	VERGLEICH MIT CEPHEUS-PASSIVHÄUSERN HINSICHTLICH HEIZWÄRMEVERBRAUCH (NUTZENERGIE).....	73
8.2	VERGLEICH MIT KONVENTIONELLEN WOHNHAUSANLAGEN HINSICHTLICH HEIZWÄRMEVERBRAUCH (NUTZENERGIE).....	75
8.3	VERGLEICH MIT ANDEREN WIENER STUDENTENHEIMEN.....	78
8.3.1	VERGLEICH DES ENDENERGIEVERBRAUCHS FÜR DIE RAUMBEHEIZUNG.....	79
8.3.2	VERGLEICH DES ENDENERGIEVERBRAUCHS FÜR DIE WARMWASSERBEREITUNG.....	81
8.3.3	VERGLEICH DES ENDENERGIEVERBRAUCHS AN ELEKTRISCHER ENERGIE .....	83
8.3.4	VERGLEICH DES GESAMTEN ENDENERGIEVERBRAUCHS .....	84
8.3.5	VERGLEICH DES NICHT ERNEUERBAREN ANTEILS AM PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH (KUMULIERTER ENERGIEAUFWAND $KEA_{NE}$ ) UND DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN.....	86
8.4	VERGLEICH MIT STUDENTENHEIMEN IN DEUTSCHLAND .....	89
8.4.1	GEBÄUDEKENNDATEN DER VERGLICHENEN STUDENTENHEIME .....	89
8.4.2	ENERGIEVERBRAUCH DER VERGLICHENEN STUDENTENHEIME .....	90
<b>9</b>	<b><u>ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</u></b>	<b>92</b>
9.1	PERFORMANCE UND MEHRWERT DES PASSIVHAUS-STUDENTENHEIMS MOLKEREISTRABE	93
9.2	ERRICHTUNGSKOSTEN UND FÖRDERUNG .....	96
9.3	OPTIMIERUNGSPOTENZIALE FÜR DAS STUDENTENHEIM MOLKEREISTRABE .....	97
9.3.1	REDUKTION DES ENERGIEVERBRAUCHS FÜR DIE RAUMBEHEIZUNG.....	97
9.3.2	REDUKTION DES ENERGIEVERBRAUCHS FÜR DIE WARMWASSERBEREITUNG.....	98
9.3.3	REDUKTION DES ENERGIEVERBRAUCHS FÜR DIE KONTROLLIERTE BELÜFTUNG DURCH REGELMÄßIGEN FILTERWECHSEL .....	98

9.3.4	ERHÖHUNG DES BENUTZUNGSKOMFORTS .....	99
<b>9.4</b>	<b>EFFIZIENZSTEIGERUNG DURCH DAS MONITORING.....</b>	<b>100</b>
<b>9.5</b>	<b>KLIMASCHONENDE ENERGIEVERSORGUNG VON GEBÄUDEN .....</b>	<b>101</b>
9.5.1	KLIMASCHUTZ DURCH SCHONENDEN UMGANG MIT ELEKTRISCHER ENERGIE.....	101
9.5.2	ENERGIEVERSORGUNG DURCH DIE FERNWÄRME WIEN .....	101
9.5.3	QUANTIFIZIERUNG DES PRIMÄRENERGIEVERBRAUCHS UND DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN 102	
<b>9.6</b>	<b>EMPFEHLUNGEN FÜR DIE ZUKÜNFTIGE PLANUNG UND FÖRDERUNG VON KLIMASCHONENDEN GEBÄUDEN (INSBESONDERE STUDENTENHEIME) .....</b>	<b>103</b>
9.6.1	STRATEGIEN FÜR EINEN SCHONENDEN UMGANG MIT ELEKTRISCHER ENERGIE .....	103
9.6.2	REDUKTION DER VERLUSTE AUS DER WÄRMEVERTEILUNG (WARMWASSER UND HEIZUNG)	103
9.6.3	RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE PLANUNG UND FÖRDERUNG VON PASSIVHAUSKONZEPTEN	104
<b>9.7</b>	<b>BEDARF AN FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IM GEBÄUDEBEREICH.....</b>	<b>106</b>
9.7.1	EINFLUSS DES AUßENKLIMAS UND DER INTERNEN GEWINNE .....	106
9.7.2	WARMWASSERAUFBEREITUNG UND -VERTEILUNG .....	107
9.7.3	ERARBEITUNG VON STRATEGISCHEN GRUNDLAGEN.....	107
<b>10</b>	<b><u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS UND GLOSSAR.....</u></b>	<b>109</b>
<b>11</b>	<b><u>LITERATUR.....</u></b>	<b>112</b>
	<b><u>ANHANG: PRESSEINFORMATION.....</u></b>	<b>115</b>

## TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 1: Wiener Grundstücksbeirat Kriterienkatalog bis März 2004</i> .....	28
<i>Tabelle 2: Eckdaten des Projekts Studentenwohnheim Molkereistraße</i> .....	31
<i>Tabelle 3: Planungswerte für den Energiebedarf der Warmwasserbereitung für 280 Bewohner in der Molkereistraße (Nutzenergie und Endenergie)</i> .....	45
<i>Tabelle 4: Statistische Auswertung der gemessenen Leistungszahlen (pro Viertelstunde) am Fernwärmeübergabezähler</i> .....	48
<i>Tabelle 5: Endenergieverbrauch Molkereistraße für das Jahr 2006</i> .....	52
<i>Tabelle 6: Endenergieverbrauch Molkereistraße für das Jahr 2007</i> .....	53
<i>Tabelle 7: Umrechnung des gemessenen Endenergieverbrauchs für Raumheizung auf Nutzenergieverbrauch bei standardisierten Temperaturbedingungen und Vergleich mit geplantem Heizwärmebedarf</i> .....	63
<i>Tabelle 8: Vergleich des gemessenen Endenergieverbrauchs für Warmwasser und Frischluftversorgung der Wohnungseinheiten mit den Planungswerten aus der PHPP-Berechnung</i> .....	65
<i>Tabelle 9: Bewohnerzufriedenheit in Wiener Studentenheimen. Fragestellung: „Generelle Zufriedenheit mit der Unterbringung“. Bewertung: Sehr gut = 1, Gut = 2, Genügend = 4, Nicht genügend = 5</i> .....	71
<i>Tabelle 10: Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße im Vergleich zu einer konventionellen Wohnhausanlage mit gleicher Bruttogeschossfläche. Energieversorgung mit Fernwärme oder Erdgas</i> .....	77
<i>Tabelle 11: Effekte der energieoptimierten Raumbeheizung. Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße verglichen mit anderen Wiener Studentenheimen bei Annahme einer gleich großen Wohnnutzfläche (6686 m<sup>2</sup>)</i> .....	80
<i>Tabelle 12: Effekte der energieoptimierten Warmwasserverteilung. Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße verglichen mit anderen Wiener Studentenheimen bei Annahme einer gleich großen Wohnnutzfläche (6686 m<sup>2</sup>)</i> .....	82
<i>Tabelle 13: Effekte der energieoptimierten Raumbeheizung und Warmwasserverteilung. Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße verglichen mit anderen Wiener Studentenheimen bei Annahme einer gleich großen Wohnnutzfläche (6686 m<sup>2</sup>)</i> .....	87
<i>Tabelle 14: Vergleich der Gebäudekenndaten und Versorgungskonzepte der untersuchten Wohnheime [Engelmann et al., 2008]</i> .....	89
<i>Tabelle 15: Vergleich der Verbrauchsdaten der Lüftungsanlagen [Engelmann et al., 2008]</i> .....	90
<i>Tabelle 16: Verbrauchsdaten der Wohnheime. Primärenergieverbrauch als Summe aus Wärme und (elektrischer) Hilfsenergie. Der unterschiedliche Wasserverbrauch der Bürse zeigt z.B. die Auswirkung unterschiedlicher Stopp-Tasten bei der Toilettenspülung, bzw. verschiedener Drosselventile in den Dusch-Armaturen (NEH 17,5 l/min, PH 12,5 l/min) [Engelmann et al., 2008]</i> .....	91
<i>Tabelle 17: Effekte der energieoptimierten Raumbeheizung und Warmwasserverteilung. Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße verglichen mit anderen Wiener Studentenheimen bei Annahme einer gleich großen Wohnnutzfläche (6686 m<sup>2</sup>)</i> .....	95

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Aufgaben, Arbeitsschritte und geplante Ergebnisse des Forschungsprojekts.....	11
Abbildung 2: Studentenheim Molkereistraße, 1020-Wien, Molkereistraße 1. Foto: R.Smutny .....	17
Abbildung 3: Außenfenster mit manueller Verschattungsmöglichkeit. Fotos: R.Smutny.....	18
Abbildung 4: Zentraler Mittelgang und simulationsoptimierte Lichtschächte. Fotos: R.Smutny .....	19
Abbildung 5: Haustechnikschema und Wärmemengenzähler [Oberkleiner, in Ausarbeitung] .....	20
Abbildung 6: Ausführungsplan HLS - 2./3./5. OG. 09.12.2003. Ausschnitt Wohnungseinheit für 2 Personen. Mit freundlicher Genehmigung vom Haustechnikplaner Team GMI und Architekturbüro P.ARC GmbH .....	21
Abbildung 7: Heizkörper und Zuluft-auslass. Foto: R.Smutny .....	22
Abbildung 8: Leistungsaufnahme und Stromeffizienz der dezentralen Lüftungsgeräte (Übernommen aus [Drexel und Weiss, 2007]) .....	24
Abbildung 9: Dezentrales Lüftungsgerät für 2 Wohneinheiten mit je 2 Zimmern. Vordere Abdeckung entfernt. Drexel und Weiss Aerosilent Standard. Foto: R.Smutny.....	24
Abbildung 10: Finanzierungsverlauf Wohnheim Molkereistraße .....	35
Abbildung 11: Baukostenvergleich für fertiggestellte Mietwohnungen nach Bauherr in Wien .....	37
Abbildung 12: Vergleich Baukostenindizes/VPI 1986 .....	37
Abbildung 13: Original Passivhaus, Darmstadt, Kranichstein Feb. 2005 (Foto: PHI) .....	41
Abbildung 14: Einflüsse auf den Heizwärmebedarf. PHPP-Berechnung- Jahresbilanzverfahren für verschiedene Raumtemperaturen.....	43
Abbildung 15: Verlauf der HGT <sub>20/12</sub> für Wien in der Periode 1960 - 2007 (Messstation Hohe Warte, bezogen auf Energiewirtschaftsjahr Oktober bis September, Rohdaten von ZAMG) .....	47
Abbildung 16: Endenergieverbrauch an Fernwärme pro m <sup>2</sup> Bruttogeschossfläche .....	49
Abbildung 17: Endenergieverbrauch an elektrische Energie pro m <sup>2</sup> Bruttogeschossfläche.....	49
Abbildung 18: Fernwärme Wien. Jahresverlauf der Energieumwandlung 2006. Übernommen von [FW-Wien, 2007b].....	55
Abbildung 19: Primärenergiefaktoren von Energieträgern nach GEMIS 4.42 [UBA, 2007] und PHPP-2007 (Passivhaus-Projektierungspaket) .....	56
Abbildung 20: Treibhausgasfaktoren von Energieträgern nach GEMIS 4.42 [UBA, 2007] und PHPP-2007 (Passivhaus-Projektierungspaket) .....	57
Abbildung 21: Entwicklung der spezifischen CO <sub>2</sub> -Emissionen (ohne vorgelagerte Prozesse) in kg CO <sub>2</sub> pro MWh Endenergie (verkaufte Fernwärme) der Fernwärme Wien von 1990 bis 2005. Übernommen aus [FW-Wien, 2007a].....	58
Abbildung 22: Anteile der Energieträger am kumulierten Energieaufwand (Primärenergie) der Wiener Stromaufbringung 2005 unter Berücksichtigung von Stromimporten. Daten aus GEMIS V. 4.42 [UBA, 2007]..	59
Abbildung 23: Anteile der Energieträger am kumulierten Energieaufwand (Primärenergie) der Österreichischen Stromaufbringung 2004 unter Berücksichtigung von Stromimporten. Daten aus GEMIS V. 4.42 [UBA, 2007]..	59
Abbildung 24: Endenergieverbrauch (EEV), nicht erneuerbarer Primärenergieverbrauch (KEA <sub>ne</sub> ) und Treibhausgasemissionen (THG) der Molkereistraße. Mittelwert von Sept.2005 - Aug.2007 pro Bruttogeschossfläche. ....	60
Abbildung 25: Verlauf der Raumlufttemperatur in 21 Zimmern. Gesamte Messperiode 20.01. bis 19.05.2007. Einzelwerte pro Zimmer und statistische Auswertung .....	68
Abbildung 26: Verlauf der relativen Raumluftfeuchte in 21 Zimmern. Gesamte Messperiode 20.01. bis 19.05.2007. Einzelwerte pro Zimmer und statistische Auswertung .....	69
Abbildung 27: Verlauf der relativen Raumluftfeuchte in 21 Zimmern. Kaltperiode 23.01. bis 07.02.2007. Einzelwerte pro Zimmer und statistische Auswertung .....	70
Abbildung 28: Heizwärmeverbrauch pro Energiebezugsfläche bei Standardaußentemperaturen und 20 °C Raumlufttemperatur - Vergleich europäischer Passivhäuser (Daten der CEPHEUS-Vergleichsobjekte aus [PHI, 2001]).....	74

Abbildung 29: Temperaturbereinigter Heizwärmeverbrauch 2007 pro Bruttogeschossfläche: Einsparungen und Mehrwert der Molkereistraße im Vergleich zu konventionellen Wohnhausanlagen..... 76

Abbildung 30: Endenergieverbrauch für Raumheizung pro Wohnnutzfläche und pro Person. Studentenheime Molkereistraße, Tigergasse und Simmeringer Hauptstraße. Mittelwert aus der Periode Sept. 2005 bis Aug. 2007 ..... 79

Abbildung 31: Endenergieverbrauch für Warmwasserbereitung pro Wohnnutzfläche und pro Person. Studentenheime Molkereistraße, Tigergasse und Simmeringer Hauptstraße. Mittelwert aus der Periode Sept. 2005 bis Aug. 2007..... 81

Abbildung 32: Endenergieverbrauch an elektrischer Energie pro Wohnnutzfläche und pro Person. Studentenheime Molkereistraße, Tigergasse, Comeniusgasse und Simmeringer Hauptstraße. Mittelwert aus der Periode Sept. 2005 bis Aug. 2007 ..... 83

Abbildung 33: Gesamter Endenergieverbrauch pro Wohnnutzfläche und pro Person. Studentenheime Molkereistraße, Tigergasse, Comeniusgasse und Simmeringer Hauptstraße. Mittelwert aus der Periode Sept. 2005 bis Aug. 2007..... 84

Abbildung 34: Nicht erneuerbarer Primärenergieverbrauch ( $KEA_{ne}$ ) und Treibhausgasemissionen der Studentenheime Molkereistraße, Tigergasse, Comeniusgasse und Simmeringer Hauptstraße. Mittelwert von Sept.2005 - Aug.2007 pro Wohnnutzfläche. GEMIS-Faktoren für Wien (V 4.42) ..... 86

# 1 Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die großzügige Förderung dieser Studie durch die Wiener Wohnbauforschung und die zusätzliche Finanzierung durch die ARWAG, MIGRA und den ÖAD (Österreichischer Austauschdienst) Wohnraumverwaltung.

Besonderen Dank für das persönliche Engagement, die Initiierung dieser Forschungsaktivität und den Kontakt zu den meisten Mitwirkenden an dieser Studie ist Herrn Mag. Günther Jedliczka von der ÖAD auszusprechen. Die anregende Partnerschaft zwischen FGW und BOKU Wien, die innerhalb dieses Projekts gestartet wurde, ist wiederum Herrn Arch. DI Manfred Wasner, Frau Dr. Ursula Rischaneck und Herrn KR Dr. Wolfgang Ulrich zu verdanken.

Für die Mitwirkung im Rahmen der sorgfältigen Planung des Messkonzepts und der oftmalsigen Diskussion der Messergebnisse sei Herrn DI Wilhelm Hofbauer (TB Hofbauer), Herrn Univ.Prof. DI Dr. Herbert Braun (BOKU Wien), Herrn DI (FH) Christian Aschauer (BOKU Wien), Herrn DI Jörg Faltenbacher (team gmi Ingenieurbüro GmbH), Herrn DI Peter Engelmann (Uni Wuppertal), Herrn DI Michael Berger (team gmi Ingenieurbüro GmbH), Herrn DI Helmut Schöberl (Schöberl&Pöll), Herrn DI Eckehart Loidolt (Baumschlagger Eberle P.ARC ZT) und Herrn DI Ibrahim Memic (ARWAG) besonderer Dank ausgesprochen. Für den Einbau der Messgeräte, die Inbetriebnahme, die Datenübertragung und die Interpretation der Messergebnisse wurde essentielle Unterstützung durch fachliche Experten der Fernwärme Wien GmbH – Wien Energie (DI Alexander Wallisch, DI Aarno Rapottnig, Ing. Reinhard Scheifler und Ing. Eike Ehrenreich) sowie der Firmen Erka (Hr. Ing. Engelbert Steiner), Lohr (Hr. Wenzel), EAG (Hr. Marchl) und Hofer (Ing. Horst Maurer) geleistet. Diesen sei hier im Besondern für die angenehme und anregende Zusammenarbeit gedankt.

Der gute und freundschaftliche Kontakt zum Betreuerteam des Studentenheims (Frau Brigitte Tajnikar, Herr Peter Weidlinger) war eine besonders wertvolle Basis für die Erhebung detaillierter Betriebsinformationen und des Bewohnerfeedbacks.

Eine besonders stimulierende Komponente dieses Projekts war der Gedankenaustausch mit der bergischen Universität Wuppertal - Abteilung Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung (DI Peter Engelmann, Prof. Dr.- Ing. Karsten Voss). Durch die parallel laufende Analyse von energieeffizienten Studentenheimen in Deutschland konnten gegenseitig wertvolle Informationen ausgetauscht werden, was letztendlich auch in eine gemeinsame Publikation mündete, die auf der internationalen Passivhaustagung 2008 in Nürnberg präsentiert wird.

Für die Durchsicht der Rohversion und die vielen wertvollen Anregungen ist Frau DI Ulla Ertl, Herrn DI Wilhelm Hofbauer, Hr. Christof Weiss (Fa. Drexel & Weiss) und Herrn Michael Berger besondere Anerkennung auszusprechen.

## 2 Zielsetzung und Fragestellungen

Das Studentenheim Molkereistraße ist das erste geförderte großvolumige Wohngebäude in Passivhausstandard in Wien. Hintergrund des Forschungsprojekts war die Fragestellung, ob Passivhäuser im geförderten großvolumigen Wohnbau in Entsprechung der Planungsintentionen funktionieren und die Komfortbedürfnisse der Bewohner erfüllen.

Ziel der wissenschaftlichen Evaluierung war es, die energetische Performance und Nutzerzufriedenheit zu erheben und gegebenenfalls zu verbessern sowie Erfahrungen für zukünftige Bauprojekte zu gewinnen. Es war beabsichtigt, den Beitrag zu einer Nachhaltigen Entwicklung und die Vor- und Nachteile des Passivhausstandards für den gemeinnützigen Wohnbau anhand von quantitativen Indikatoren wissenschaftlich zu evaluieren.

Es wurde eine Facility-Performance-Evaluation des Studentenheims Molkereistraße (seit September 2005 in Betrieb) durchgeführt, die sowohl die Nutzerzufriedenheit (Post-Occupancy-Evaluation) als auch die Energieperformance und die Errichtungskosten beinhaltet. Weiters wurde ein Vergleich mit kürzlich errichteten Studentenheimen in Niedrigenergiehausstandard und laut Bauordnung gezogen. Der Energieverbrauch wurde durch ein kontinuierliches messtechnisches Monitoring für die Bereiche Heizung, Warmwasser, Lüftung und Sonstiges separat untersucht und hinsichtlich Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen bewertet.

<b>AUF- GABEN</b>	Evaluierung der Nachhaltigkeit: Nutzerzufriedenheit, Energieperformance und Errichtungskosten	Betriebsanalyse: Funktioniert wie geplant?	Identifikation von Energie-Einsparpotenzialen und Maßnahmen zur Komfortsteigerung	Vergleich mit anderen Studentenheimen
<b>ARBEITS- SCHRITTE</b>	Datenerhebung Molkereistraße: Planung, Errichtung, Betrieb	Mess-Monitoring Molkereistraße: Energieverbrauch, Raumklima, Außenklima	Nutzerbefragung durch Betreiber (ÖAD)	Erhebung Energieverbrauch und Nutzerzufriedenheit von Referenzobjekten
<b>ERGEB- NISSE</b>	Dokumentation der Nachhaltigkeit: Nutzerzufriedenheit, Energieperformance, Klimaschutz, Errichtungskosten	SOLL-IST-Vergleich tatsächlicher Energieverbrauch versus geplanter Energiebedarf (lt. PHPP)	Identifikation von Optimierungspotenzialen für die Molkereistraße	Benchmarking: Mehrwert von Passivhäusern im Vergleich zu konventioneller Bauweise
<b>VER- WERTUNG</b>	Impuls für verstärkte Umsetzung von Passivhäusern (Wien als Passivhaus-Musterstadt)	Verringerung der Hemmschwelle für Baubeteiligte, die bislang Passivhäusern skeptisch gegenüber standen	Grundlagen für Fördermodelle für Passivhäuser. Grundlagen für Wertgutachten für Passivhäuser	Empfehlungen für zukünftige Bauvorhaben

Abbildung 1: Aufgaben, Arbeitsschritte und geplante Ergebnisse des Forschungsprojekts

### 3 Arbeitsprogramm und Methodik

Dem Forschungsprojekt lagen nachfolgende primäre Fragestellungen zugrunde, deren Beantwortung vor allem im Rahmen der Arbeitsmodule 1 bis 3 vorgenommen wurde. In Arbeitsmodul 4 wurde eine Analyse der Errichtungskosten und Finanzierungsgrundlagen durchgeführt. Arbeitsmodul 5 umfasste Maßnahmen zur Dissemination der Ergebnisse.

- ★ Wie viel Endenergie und Primärenergie wurde jährlich für Beheizung, Warmwasser, Lüftungsanlagen, Beleuchtung und Sonstiges verbraucht und wie viel Treibhausgase werden dadurch jährlich emittiert?
- ★ Wie liegt die Energieperformance und Klimaschutzperformance im Vergleich mit anderen Studentenheimen?
- ★ Entspricht der Energieverbrauch dem geplanten Energiebedarf?
- ★ Welche Differenzen liegen zwischen Verbrauch und Bedarf?
- ★ Woraus resultieren diese Differenzen?
- ★ Welche Maßnahmen bewirken eine effektive Reduktion des Verbrauchs?
- ★ Wie ist die Zufriedenheit der Bewohner mit der Gebäude-Performance?
- ★ Welche Maßnahmen bewirken eine effektive Erhöhung des Wohlbefindens?

#### MODUL 1: Messprogramm und Datenerfassung

In Zusammenarbeit mit ÖAD, TeamGMI und Fernwärme Wien.

Ziel war die Erfassung von Planungsdaten (Hochbau, Bauphysik, Haustechnik) und Monitoringdaten (Energieverbrauch) zur Beurteilung der Gebäudeperformance. Der Energieverbrauch wurde separat für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Sonstiges erhoben. Die genannten Verbrauchswerte beziehen sich auf die entsprechenden Bedarfswerte gemäß PHPP-Berechnung (Passivhaus-Projektierungspaket) und gemäß entsprechender Richtlinie und Leitfaden des OIB [OIB, 2007a], [OIB, 2007b], [OIB, 2007c]. Der gemessene Energieverbrauch wurde auf Normbedingungen umgerechnet und dem projektierten Energiebedarf lt. PHPP-Berechnung gegenübergestellt. Es wurden keine einzelnen Wohnungseinheiten bilanziert, sondern das gesamte Gebäude. Die folgenden Unterlagen bzw. Rohdaten wurden benötigt:

- Planungsunterlagen (Grundrisse, Schnitte, Haustechnikpläne, Energiekonzept, Regelungstechnisches Konzept)
- PHPP-Berechnung
- Belegungszahlen, monatlich
- Energieverbrauch (Messungen)
- Raumtemperatur und Luftfeuchte
- Klimadaten (von ZAMG)

Das Messprogramm wurde in Konsultation bzw. enger Zusammenarbeit mit folgenden Institutionen und Personen durchgeführt:

- DI Wilhelm Hofbauer, TB Hofbauer
- DI Peter Engelmann, Uni Wuppertal

- DI Michael Berger, DI Jörg Faltenbacher, TeamGMI
- Ing. Maurer, Fa. Hofer
- DI Alexander Wallisch, Ing. Eike Ehrenreich, Ing. Reinhard Scheifler, Fernwärme Wien GmbH – Wien Energie

Das Messkonzept stellt eine Mindestvariante dar, um den Soll-Ist-Vergleich durchzuführen. Dazu wurde der gesamte Energieverbrauch (Fernwärme und Strom) des Hauses auf einzelne Bedürfnisse (gemäß PHPP-Berechnung und OIB-Leitfaden) aufgeschlüsselt und folgende Parameter erhoben bzw. gemessen:

- Fernwärme für Beheizung (Radiatoren)
- Fernwärme für Warmwasser
- Fernwärme für Lüfterwärmung (Absorberzuheizung): Unterstützung des Fundament-Erdwärmetauschers bei bestimmten Außenlufttemperaturen.
- Strom für Warmwasser: Elektrische Bandbegleitheizung zwecks Reduktion der Verteilverluste
- Strom für Lüftungsgerät: Von den 63 dezentralen Komfort-Lüftungsgeräten wurden 4 Geräte (Betreffend Top 32+33, Top 40+42, Top 80+81 und Top 90+92) mit einem Elektrozähler versehen und die Messdaten auf das gesamte Haus hochgerechnet (Anmerkung: Der Energieverbrauch der beobachteten Lüftungsgeräte zeigte von Gerät zu Gerät fast keinen Unterschied).
- Gesamter monatlicher Fernwärmeverbrauch
- Gesamter monatlicher Stromverbrauch
- Temperatur und relative Luftfeuchte in den Wohneinheiten (Messung von 25 Zimmern und Hochrechnung auf das gesamte Haus)

Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

- Montage der Messgeräte. Die Messgeräte für die Aufzeichnung der Energieverbrauchswerte (5 Wärmemengenzähler und 4 Elektrozähler) wurden freundlicherweise von der Fernwärme Wien zur Verfügung gestellt. Die Datenlogger für Raumtemperatur und –feuchte wurden freundlicherweise von der bergischen Universität Wuppertal zur Verfügung gestellt.
- Messintervall: 15 Minuten (Raumklima: 1 Stunde)
- Speicherung und Auslesung der Daten:
  - o Wärmemengenzähler und Elektrozähler wurden durch ein M-Bus-System an einen lokal verfügbaren Datenkonzentrator angebunden, welcher die Daten an die Fernwärme Wien überträgt. Dort wurden die Rohdaten zwischengespeichert und auf Anfrage an die BOKU Wien übermittelt
  - o Zwecks Qualitätssicherung wurden die Daten zusätzlich manuell abgelesen.
  - o Die Raumklima-Datenlogger speicherten die Messwerte im Gerät und wurden anschließend von der Universität Wuppertal ausgelesen und an die BOKU Wien übermittelt.

## MODUL 2: Analyse der Energieperformance - Datenaufbereitung und Bewertung

### Analyse des PH-Studentenheims Molkereistraße:

In Zusammenarbeit mit ÖAD, TeamGMI und Fernwärme Wien wurden die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- Monatliche Bilanzierung der Bedarfs- und Verbrauchswerte ab Februar 2007
- Rückrechnung der Verbrauchswerte für die Periode September 2005 bis Jänner 2007. Die detaillierten Monitoringdaten und die Informationen über die Belegungsdichte des Studentenheims wurden genutzt um die Monatswerte der Übergabezähler (Fernwärme und elektrische Energie) entsprechend auf die nachgefragten Energiedienstleistungen (Heizung, Warmwasser, Lüftung, sonstiger Strom) umzurechnen.
- Umrechnung auf Standardbedingungen (Raumlufttemperatur von 20 °C) um einen Vergleich mit der Energiebedarfsrechnung gemäß PHPP (Passivhaus-Projektierungspaket) zu ziehen. Der Einfluss des Klimas (tatsächliche Heizgradtage) wurde separat ausgewiesen.
- Gegenüberstellung des Bedarfs zum normierten Verbrauch und Analyse möglicher Differenzen
- Berechnung des Primärenergiebedarfs und des Treibhausgasausstoßes mittels international üblichen und vergleichbaren Faktoren. Als Datenbasis dient die GEMIS-Datenbank V. 4.42 (GEMIS für Österreich [UBA, 2007]), welche auch die Auswirkungen vorgelagerter Prozesse wie z.B. Energieträgergewinnung, -umwandlung und -transport berücksichtigt. Diese Datenquelle (GEMIS für Deutschland) wird auch für PHPP, DIN V 4701-10 a)1:2006-12 „Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung“ und DIN V 18599-1:2005-07-Anhang A „Primärenergiefaktoren“ eingesetzt. Die Datenbank wird von renommierten Institutionen für die ökologische Bewertung von Energiesystemen und Gebäuden verwendet, wie z.B. Institut Wohnen und Umwelt in Darmstadt, Department Bauen und Umwelt der Donau-Universität in Krems, Arbeitsgruppe Energie und Umwelt am Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung (IFF, Prof. Fanning) der Universität Klagenfurt. Die Bewertung der Fernwärme Wien ist zudem ausführlich in einem Bericht des Umweltbundesamt Wien dokumentiert [Pölz, 2007]. In dieser Studie werden die Emissionen und anderen Umweltbelastungen ausschließlich der Fernwärmeerzeugung angelastet. Die Fernwärme Wien GmbH vertritt jedoch die Ansicht, dass im Zuge der Bewertung nicht ausschließlich die Energieumwandlung, sondern auch die Abfallentsorgung zu berücksichtigen ist, da auch Emissionen anfallen, wenn keine Fernwärme ausgekoppelt wird und Emissionen in weit größerem Ausmaß anfallen, wenn Abfälle nicht verbrannt sondern deponiert wird.
- Empfehlung von Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs und zur Senkung der Treibhausgasemissionen (z.B. Nutzerverhalten)
- Qualitätssicherung und Datenverifizierung unter Mitwirkung von Fachplanern (Hofer GmbH, EAG Elektroanlagenbau GmbH, Hans Lohr GmbH) und Projektpartnern (TeamGMI Ingenieurbüro GmbH, Fernwärme Wien GmbH)
- Dokumentation des Endenergieverbrauchs für Heizung, Warmwasser und Lüftungsanlagen.

### Vergleich mit anderen Studentenheimen:

In Zusammenarbeit mit ÖAD und Uni Wuppertal wurden die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- Auswahl von Studentenheimen in Wien für den Vergleich: Tigergasse, Comeniusgasse, Simmeringer Hauptstraße
- Analyse der ausgewählten Wiener Studentenheime anhand der Abrechnungen mit dem jeweiligen Energieversorger.
- Analyse des Studentenheims „Neue Burse“ in Wuppertal und der Bildungsherberge der Fernuniversität Hagen. Dieser Arbeitsschritt wurde von der Universität Wuppertal durchgeführt und die Ergebnisse wurden öffentlich verfügbar gemacht (z.B. [Engelmann et al., 2008])
- Vergleich der Energieperformance (Endenergie und Primärenergie) und Klimaschutzperformance

### **MODUL 3: Analyse der Zufriedenheit der Bewohner**

In Zusammenarbeit mit ÖAD und TeamGMI.

Erstens wurde eine allgemeine Befragung nach der Nutzerzufriedenheit in 26 Wiener Studentenheimen durchgeführt (8 bis 187 ausgewertete Fragebögen pro Gebäude) und zweitens wurde in der Molkereistraße ein zusätzlicher Fragebogen eingesetzt, um die Zufriedenheit der Bewohner mit Passivhauskomponenten zu erheben (129 ausgewertete Fragebögen). Die Auswertung beider Fragebögen erfolgte durch Alexander Schmid im Auftrag der ÖAD Wohnraumverwaltung.

Die folgenden Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

- Erarbeitung eines Passivhaus-spezifischen Fragebogens gemeinsam mit dem Betreiber des Studentenheims (ÖAD) und dem Haustechnikplaner (teamGMI)
- Durchführung der Befragung und Auswertung
- Statistische Auswertung der Daten
- Empfehlung von Maßnahmen für eine effektive Erhöhung des Wohlbefindens

### **MODUL 4: Analyse der Errichtungskosten und Finanzierung**

Dieses Arbeitsmodul wurde von der FGW koordiniert und durchgeführt.

Die vorliegende Studie wurde nach zwei thematischen Schwerpunkten strukturiert. In Kapitel 3 erfolgt eine Beschreibung der Förderungsabwicklung, beginnend mit der Behandlung und Bewertung des Projekts im Wiener Grundstücksbeirat bis zur Schlussprüfung seitens der Förderungsverwaltung Ende 2007.

In Kapitel 4 werden die Grundlagen der Projektfinanzierung durch Darstellung des für das Wohnheim Molkereistraße relevanten Förderungsmodells und von Details der Förderungsfinanzierung analysiert. Im Rahmen einer Gegenüberstellung der Förderungsmodelle gemäß den NeubauVO 2001 und 2007 werden die maßgeblichen Unterschiede in Hinblick auf Passivhausförderungen im großvolumigen Mietwohnungsneubau in Wien ermittelt. Abschließend erfolgt eine Baukostenanalyse des untersuchten Wohnprojekts.

Methodisch wurde auf Projektunterlagen von an der Projektrealisierung Beteiligten, Erkenntnisse aus Experteninterviews und Daten der Förderstelle, von technischen Prüforgane sowie der Statistik Austria zurückgegriffen.

## MODUL 5: Dissemination der Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden von BOKU Wien und FGW öffentlichkeitswirksam verbreitet mittels:

- Endbericht, Kurzfassung, Abstract in deutscher und englischer Sprache
- Presseaussendung, Pressegespräch mit Stadtrat Ludwig am 23.10.2007 (siehe Anhang)
- Kurzfassung für Bewohner und andere Interessierte: Ergebnisse leicht verständlich aufbereitet: Dies wurde durch Informationstätigkeiten des ÖAD und durch die Presseaussendung und damit verbundenen Publikationen in einschlägigen Tageszeitungen erreicht.
- Publikationen und Internetpräsenz
  - o Treberspurg, M.; Smutny, R., (2007): „Studentenheim Molkereistraße“. BM Baumagazin, Nr. 6, 24-26.
  - o derstandard.at: 24. 10. 2007 „Molkereistraße, evaluiert“
  - o Ökonews.at: [http://www.oekonews.at/index.php?mdoc\\_id=1025273](http://www.oekonews.at/index.php?mdoc_id=1025273), 24.10.2007 „Höchste Zufriedenheit der Bewohner und deutlicher Beitrag zum Klimaschutz. Wohnbaustadtrat Michael Ludwig präsentiert Passivhausstudie“
  - o [www.wien.gv.at](http://www.wien.gv.at) Rathauskorrespondenz vom 23.10.2007 „Wohnbaustadtrat präsentiert Passivhausstudie“
  - o weitere Publikationen sind geplant
- Präsentation der Ergebnisse auf internationalen Tagungen:
  - o Passivhaustagung Brunn - Pasivní Domy 2007. 10.10.-11.10.2007 [Smutny + Treberspurg, 2007]
  - o Passivhaustagung Nürnberg 11.-12.04.2008. [Engelmann et al., 2008]
  - o International Sustainable Building Conference SB08 in Melbourne. 21.-25.09.2008. Einreichung wurde akzeptiert.
  - o Weitere Präsentationen speziell für die Zielregion Wien sind geplant

## 4 Gebäudebeschreibung

### 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



Abbildung 2: Studentenheim Molkereistraße, 1020-Wien, Molkereistraße 1. Foto: R.Smutny

### 4.1 Städtebau und Architektur

Auf dem Gelände der ehemaligen Wiener Molkerei wurde in 15 Monaten Bauzeit ein Gästehaus für Studenten errichtet. Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme, im September 2005, war es das größte Passivhaus weltweit, mit 10.527 m<sup>2</sup> Bruttogeschossfläche.

Das Studentenheim Molkereistraße ist Ost-West-orientiert und wurde in einem typischen Wiener Gründerzeitviertel im Bezirk Leopoldstadt in geschlossener Bauweise errichtet. Die Geschossflächenzahl beträgt 6,7 und harmoniert damit sehr gut mit der vorhandenen sehr hohen Bebauungsdichte. Damit wurde auch ein wichtiges Ziel des nachhaltigen Bauens, nämlich die Schonung der Ressource „Siedlungsfläche“, außergewöhnlich effektiv umgesetzt. Das 7-geschossige Gebäude enthält 133 Wohneinheiten mit insgesamt 280 Einzelzimmern, die eine durchschnittliche Größe von ca. 14 m<sup>2</sup> aufweisen.



Abbildung 3: Außenfenster mit manueller Verschattungsmöglichkeit. Fotos: R.Smutny

Das architektonische Konzept des Büros Baumschlager Eberle P.ARC ZT GmbH (Projektleiter DI Eckehart Loidolt) basiert auf mehreren zentralen Planungszielen:

- Hoher Benutzungskomfort: Ausschließlich Einzelzimmer
- Hohe Baukosteneffizienz und Heizwärmeeffizienz durch hohe Kompaktheit: Trakttiefe von 18 m.
- Natürliche Belichtung der zentralen Mittelgänge durch fünf Lichtschächte
- Brandschutzkonzept: Vertikale Abschottung, Druckbelüftung
- Gestaltung der Fassade: Versetzte Fenster, Farbgestaltung, Variation des Aussehens durch verschiebbare Verschattungselementen aus Messing
- Sommertauglichkeit: Ermöglichung einer kompletten Verschattung mit außen liegenden (energie technisch günstig) und manuell zu betätigenden Verschattungselementen aus Messing.

Einen deutlich positiven Einfluss auf Heizenergiebedarf und Errichtungskosten bewirkt die sehr hohe Kompaktheit des Gebäudes ( $A/V$ -Verhältnis von  $0,2 \text{ m}^{-1}$ ). Dies wurde vor allem durch eine beachtliche Trakttiefe von 18 m erreicht, welche gesondert genehmigt werden musste. Um zentral gelegene Räume natürlich zu belichten, wurden auf Basis von optimierten Belichtungssimulationen fünf Lichtschächte entlang des zentralen Mittelganges angeordnet.



Abbildung 4: Zentraler Mittelgang und simulationsoptimierte Lichtschächte. Fotos: R.Smutny

Als Brandschutz dient eine vollständige Brandmeldeanlage, zwei vertikale Rauchabschnitte mit automatischem Schiebeschott und eine Druckbelüftung der Gänge, die auch für die Nachtkühlung im Sommer eingesetzt wurde.

Daten zu Bauteilen:

- 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

## 4.2 Haustechnik

Die Beschreibung der Haustechnikanlagen wurden dem Gebäudeklimakonzept der Haustechnikplaner [teamgmi, 2005] und der Funktionsbeschreibung der Regelungstechnik entnommen [Lohr, 2005].

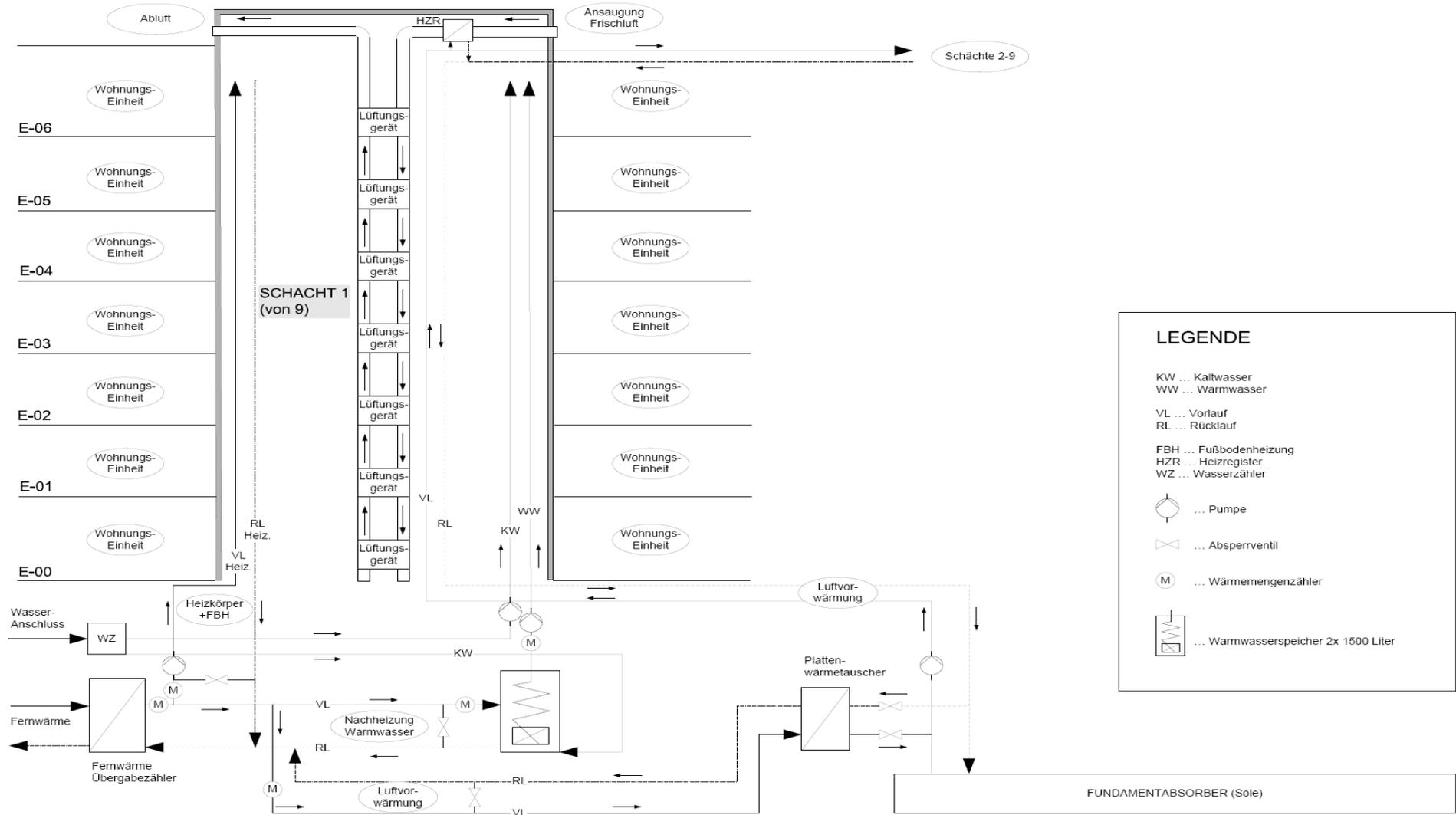


Abbildung 5: Haustechnikschema und Wärmemengenzähler [Oberkleiner, in Ausarbeitung]

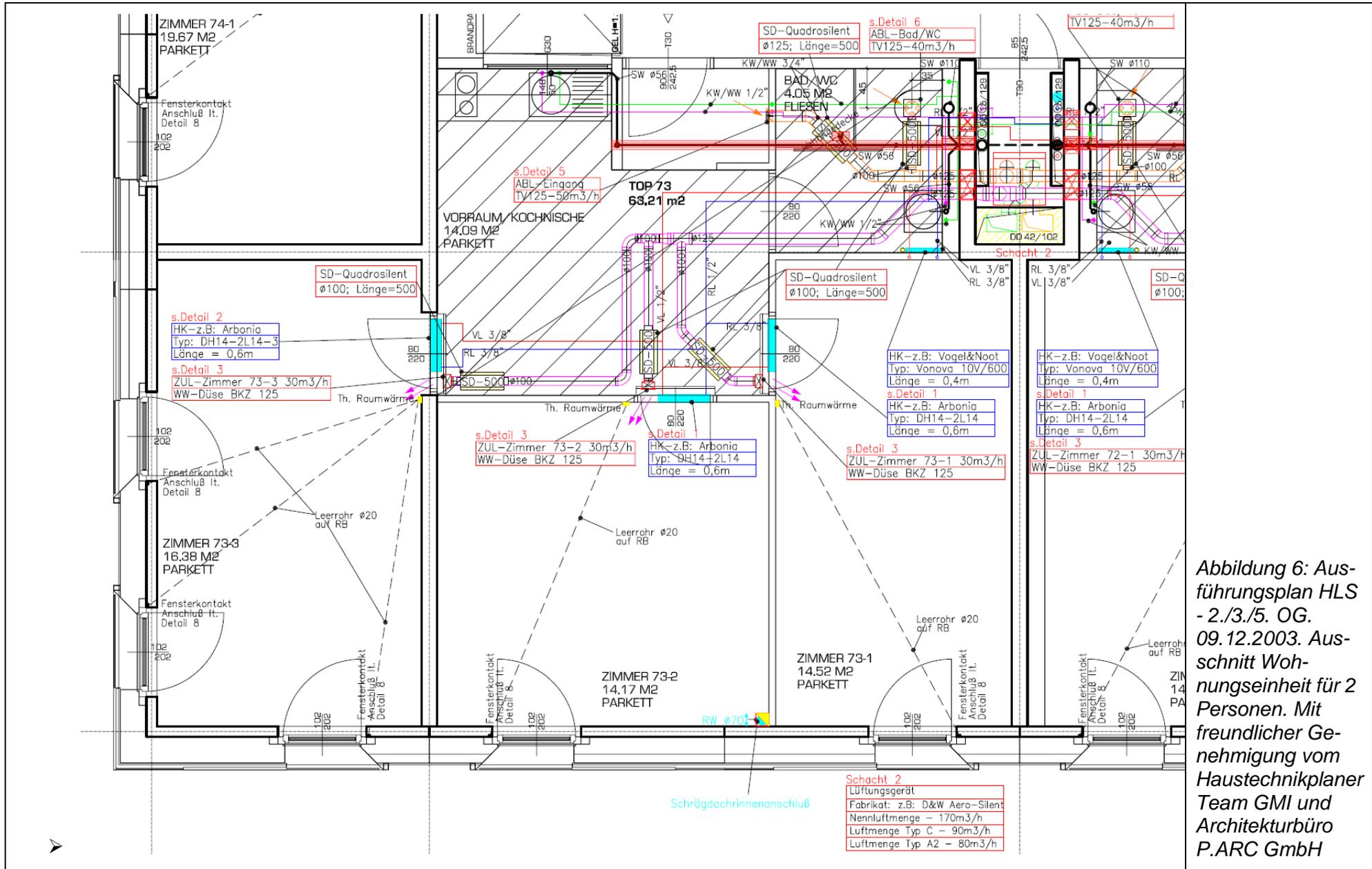


Abbildung 6: Ausführungsplan HLS - 2./3./5. OG. 09.12.2003. Ausschnitt Wohnungseinheit für 2 Personen. Mit freundlicher Genehmigung vom Haustechnikplaner Team GMI und Architekturbüro P.ARC GmbH

#### 4.2.1 Benutzerfreundliche Bedienung

„Als spezielle Komfortkomponente im Vergleich zum üblichen Passivhauskonzept ist für das Projekt eine Einzelraumtemperaturregelung mittels Nachheizelementen über den Raumeingangstüren vorgesehen. Durch einen Raumthermostat, der sich bei der Zimmereingangstüre aller Zulufräume befindet, kann (anders als bei klassischer Passivhaustechnik) eine individuelle Einzelraumtemperatur hergestellt werden und so unterschiedliche Temperaturzonen erreicht werden. Damit werden die Nutzer/innen in die Lage versetzt, ihre aus bisherigen Wohnungen bekannte Heizstrategie, unterschiedlich genutzte Räume auch unterschiedlich zu temperieren, in gewissen Grenzen anzuwenden.“ [team gmi, 2005]

#### 4.2.2 Heizung

Das Passivhaus verfügt über eine aktive wassergeführte Heizanlage. Über den Türöffnungen der Zimmer wurden Mini-Radiatoren angebracht, die durch Fernwärme versorgt werden und pro Einzelzimmer durch einen Raumthermostat geregelt werden können. Wie in der Abbildung 7 gezeigt, befindet sich der Heizkörper unmittelbar unter dem Zuluftauslass in jedem Zimmer. Die Zuluft wird erst in den Wohnräumen auf das gewünschte Temperaturniveau gebracht. Die Raumbeheizung und Frischluftversorgung sind also getrennte Systeme mit dem Vorteil der individuellen Regulierbarkeit der Raumtemperatur. Fensterkontakte schalten das Nachheizelement im betreffenden Zimmer bei Öffnungs- oder Kippstellung des Fensters auf die niedrigste Stufe (16 °C) und sorgen somit bei Öffnung eines Fensters für sanfte Regelung von Nutzerfehlerverhalten im Winter und reduzieren Energieverluste.



Abbildung 7: Heizkörper und Zuluftauslass. Foto: R.Smutny

Die Vorlauftemperatur der Heizanlage wird über die eingestellte Heizkennlinie und einen Außentemperaturfühler geregelt. Das Heizventil wird auch durch die Rücklauftemperatur geregelt (bei hoher Rücklauftemperatur drosselt das Heizventil). Regelung und Umwälzpumpe werden bedarfsabhängig ein- und ausgeschaltet um Energie zu sparen.

In einigen Bereichen des Erdgeschosses befindet sich eine Fußbodenheizung, die ebenfalls durch die Außentemperatur geregelt und in der Nacht gedrosselt wird.

#### 4.2.3 Warmwasser

Durch die Fernwärme wird Trinkwasser in zwei zentralen Warmwasserspeichern (mit je 1,5 m<sup>3</sup> und 25 cm Dämmung) erhitzt. Entgegen der ursprünglichen Empfehlung von team gmi zwei 2,2 m<sup>3</sup> große Speicher einzurichten, wurde das Speichervolumen von der ausfüh-

renden Firma (Fa. Hofer) in Absprache mit der FW-Wien auf 68 % des Planwerts reduziert. Die Warmwasserverteilung erfolgt durch ein 1-Leiter-Konzept mit wärmedämmter, elektrischer Bandbegleitheizung zur Reduktion der Verteilverluste. Damit wird eine Bereitschaftstemperatur von 45 °C im Netz erhalten. Die Vorteile des 1-Leiterkonzepts im Vergleich zum häufiger ausgeführten 2-Leiterkonzepts (Zirkulationsleitung mit Vorlauf und Rücklauf) ist die Reduktion der Verteilverluste auf etwa die Hälfte, da die Rohrlänge bei sorgfältiger Planung auf mehr als die Hälfte reduziert werden kann und der elektrische Energiebedarf für die Zirkulationspumpe entfällt [Recknagel et al., 1997]. Nachteile des 1-Leiterkonzepts ist einerseits die höhere Kostenbelastung bei der Errichtung und andererseits die Positionierung der Bandbegleitheizung bei Rohraufhängungen (Heizband wird oftmals über die Schelle geführt) [Recknagel et al., 1997].

#### 4.2.4 Frischluftversorgung

Die Außenluft-Ansaugung erfolgt auf dem Dach, wo die Außenluft bei Frostgefahr (bei Außenlufttemperatur unter - 2 °C) durch ein Heizregister entsprechend vorgewärmt wird. Die Energie für die Außenluftvorwärmung bei Außentemperaturen von unter - 5 °C stammt von einem solegeführten horizontalen Erdwärmetauscher unterhalb der Fundamentplatte. Steigt die Außenlufttemperatur dann wieder über - 4 °C wird diese Vorwärmung durch die Fernwärme versorgt. Im Sommer wird bei einer Außenlufttemperatur von über 30 °C der Erdwärmetauscher zur Kühlung der Außenluft eingesetzt. Fällt die Außenlufttemperatur dann wieder unter 28 °C schaltet sich die Pumpe für den Erdwärmetauscher ab.

Die Außenluft für die Wohnungseinheiten wird von 63 dezentralen kompakten Komfortlüftungsgeräte angesaugt und mittels Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauscher (mit Wärmerückgewinnungsgrad WRG 85-93 % bzw. 85 % nach VDI 2071) durch die Abluft auf 16 °C<sup>1</sup> bis 20 °C vorgewärmt. Es befinden sich jeweils 7 Geräte in 9 Haustechnikschächten. Die Komfortlüftungsgeräte der Fa. Drexel und Weiss (Typ Aerosilent Standard) verfügen über einen Kondensatanschluss und liefern eine Nennluftmenge von 160 m<sup>3</sup>/h und eine maximale Luftmenge (bei 100 Pa Druckverlust) von 230 m<sup>3</sup>/h bei einer maximalen Leistungsaufnahme der Ventilatoren von 100 W [Drexel und Weiss, 2007]. Bei 230 m<sup>3</sup>/h Luftmenge und 100 Pa Druckverlust beträgt die Stromaufnahme 78 W (siehe *Abbildung 8*). 100 W werden bei höherem Druck aufgenommen. Die am Dach eingesetzten Filter (9 Grob- und Feinfilter für 9 Haustechnikschächte) verursachen bei einer Nennluftmenge der Lüftungsgeräte einen Druckverlust von 17-43 Pa (je nach Verschmutzung). Weitere Druckverluste verursachen die Filter im dezentralen Lüftungsgerät (ca. 10 Pa) sowie die Rohrleitungen selbst (0,8 Pa pro Meter Rohrleitung plus 2-7 Pa pro Formstück) und die Schalldämpfer (ca. 10-20 Pa) laut einer groben Abschätzung von Team gmi.

Die Zuluft wird in abgehängten Decken im Badezimmer und Vorraum zu den Zimmern geführt, wobei die verwendete Luftauslasstechnologie eine verbausichere Komfort-Lufteinbringung mit optimaler Raumdurchströmung über den Zimmereingangstüren bewirkt. Die Ablufführung erfolgt nach den Überströmöffnungen (Schleiftürenspalt) aus den Berei-

---

<sup>1</sup> Rein rechnerisch 16,5 °C - Das entspricht der einzuhaltenden Minimaltemperatur nach PHI.

chen Küche und Bad. Es befinden sich keine zusätzlichen Filter an den Abluftöffnungen. Zusammengefasste Außenluft-Fortluft-Kanäle (je 160 mm Durchmesser mit 2 cm Dämmung für Fortluft und 5 cm Dämmung für Außenluft) führen durch 9 Haustechnikschächte über Dach.

Bei Außentemperaturen unter 0 °C wird die Lüfterstufe zentral gesteuert um ein Drittel - von ca. 30 m<sup>3</sup>/(h·Pers.) auf ca. 20 m<sup>3</sup>/(h·Pers.) - herabgesetzt, um unkomfortabel niedrige Raumluftfeuchtigkeit zu vermeiden. Die Bedienung der Lüftungsanlage kann ebenso dezentral durch das Hauspersonal über das Bedienelement im Haustechnikschacht erfolgen (beispielsweise bei Leerstand).

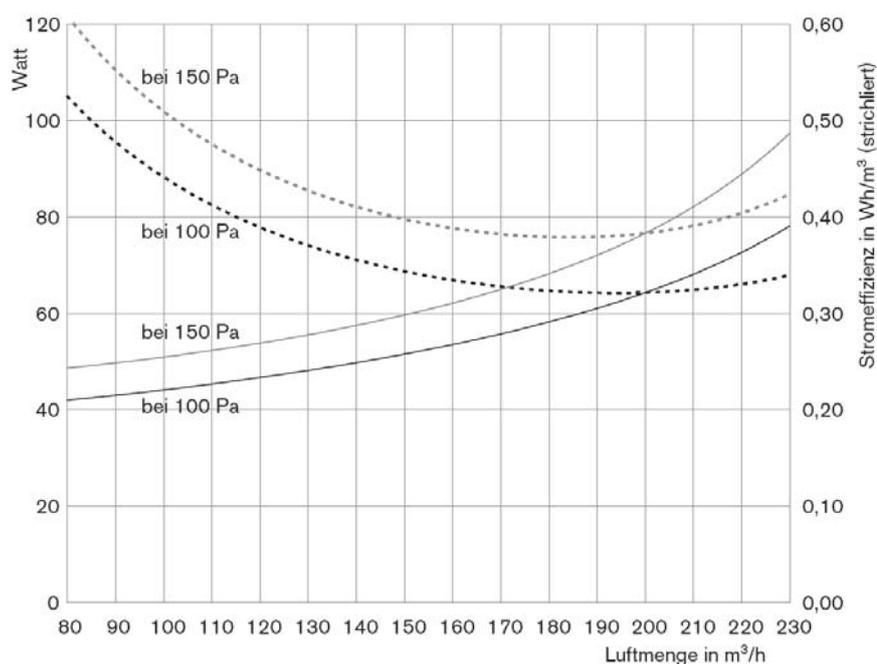


Abbildung 8: Leistungsaufnahme und Stromeffizienz der dezentralen Lüftungsgeräte (Übernommen aus [Drexel und Weiss, 2007])



Abbildung 9: Dezentrales Lüftungsgerät für 2 Wohneinheiten mit je 2 Zimmern. Vordere Abdeckung entfernt. Drexel und Weiss Aerosilent Standard. Foto: R.Smutny

Zusätzlich zu den dezentralen Lüftungsgeräten der Wohnungseinheiten wurden vier zentrale Lüftungsgeräte im Untergeschoss eingebaut. Zwei davon dienen der Belüftung des Kellergeschosses mit je 50 % Wärmerückgewinnung und mit einem geplanten Nennluftvolumenstrom von 2600 m<sup>3</sup>/h für den unbeheizten Bereich und 2000 m<sup>3</sup>/h für den beheizten Bereich. Die weiteren zwei Geräte dienen der Belüftung der Gänge für den hygienischen Komfort, für die Sommerkühlung und für die Branddruckbelüftung. Die Steuerung der Lüftung für die zentralen Mittelgänge erfolgt über einen CO<sub>2</sub>-Fühler (Regelung der Drehzahl) und einen Temperaturfühler bei Sommerlüftung. Die hygienische Luftmenge beträgt 2 x 350 m<sup>3</sup>/h, die Luftmenge der sommerlichen Nachtlüftung beträgt 2 x 3.000 m<sup>3</sup>/h und die Luftmenge der Brauchraumlüftung beträgt 2 x 14.700 m<sup>3</sup>/h.

## 5 Analyse der Errichtungskosten und Förderungsfinanzierung

### 5.1 Fragestellungen zur ökonomischen Performance von Wohngebäuden in Passivhausqualität

Die zunehmende Bedeutung der ökologischen Optimierung von Neu- als auch Altbeständen in der wohnungspolitischen und wissenschaftlichen Diskussion auf Bundes- und Länderebene ist nicht nur als eine schlichte Konsequenz der erforderlichen Erfüllung von gemeinschaftsrechtlichen Vorgaben im Sinne des Kyoto-Protokolls oder noch weitergehend von globalen Klimaschutzzielen zu betrachten. Sie ist mittlerweile auch vom Bewusstsein geprägt, dass Wohnbau nach Kriterien der Energieeffizienz, Bauökologie und Ressourcenschonung Vorteile mit sich bringt, die in ihrer sozial-, wirtschafts- und energiepolitischen Dimension nicht mehr zu übersehen sind. Die Stärkung der Kaufkraft durch Energieeinsparung im Verbrauch, gesundheitliche Aspekte, reduzierte Abhängigkeit von Energieimporten oder auch Technologie- bzw. Innovationsimpulse sind hier nur einige Beispiele für positive Effekte des ökologisch optimierten Bauens und Wohnens.

Seit etwa Mitte der Neunziger Jahre ist eine Forcierung ökologischer Baumaßnahmen, vor allem im Rahmen der österreichischen Systeme der Wohnbauförderung durch Schaffung von Anreizen (Förderzuschlagsmodelle) bzw. zwingenden Vorgaben (z.B. Niedrigenergiehäuser als Mindeststandard, Ausschluss ökologisch bedenklicher Baustoffe) erkennbar.

In Wien wurde Mitte der Neunziger Jahre die Vergabe von Förderungsmitteln im großvolumigen Wohnungsneubau neu organisiert. Seit Ende 1995 werden sämtliche Förderungsvorhaben im Neubaubereich, ausgenommen Kleinstprojekte, vom (parallel zu den Bauträgerwettbewerben eingerichteten) Grundstücksbeirat überprüft. Die Beurteilung der einzelnen Projekte im Grundstücksbeirat erfolgt nach einem speziellen Punkte- bzw. Bewertungssystem durch einen Expertenbeirat.

Vorrangig bezweckt wurde eine Reduzierung der Bau- und Nutzerkosten unter gleichzeitiger Anhebung der planerischen und vor allem auch ökologischen Qualität im großvolumigen Neubau. In den Wettbewerbsverfahren wurde durchschnittlich ein höherer Wohnbaustandard erreicht, als in den Sitzungen des Grundstückbeirats. Die Wettbewerbe nehmen allerdings mittlerweile eine „Standardbildungsfunktion“ für den Wohnungsneubau in Wien ein, wobei die Umweltqualitätsstandards im Verlauf des letzten Jahres allgemein erheblich gestiegen sind. Nach den bisherigen Erfahrungen passt sich die Qualität der über den Beirat eingereichten Projekte mit zeitlicher Verzögerung dem Wettbewerbsstandard an. Mit diesem Effekt erklärt sich die rasche Verankerung des Niedrigenergiehaus-Mindeststandards im großvolumigen Neubau in Wien vor mittlerweile bereits 12 Jahren. Inwieweit sich eine ähnliche Entwicklung für den Wohnbau in Passivhausqualität erwarten lässt, ist derzeit hingegen noch schwierig abzuschätzen.

Die Anzahl von Wohnobjekten mit Passivhauseigenschaften, welche sich bereits für eine objektive und zuverlässige Analyse der Effizienz unter Nachhaltigkeitsaspekten (in sozialer,

ökologischer und ökonomischer Dimension) eignen würden<sup>2</sup> war bisher noch zu gering, um einzelne relevante Forschungsfragen umfassen beantworten zu können. Vor allem Fragen der ökonomischen Performance im Lebenszyklus durch Einbindung der anfallenden Bewirtschaftungskosten (z.B. Energieverbrauch allgemeiner Gebäudeteile, Wartungskosten, Reinigungskosten etc.) konnten mangels brauchbarer Datengrundlagen wissenschaftlich nicht untersucht werden. Ein zusätzlicher, damit unmittelbar verbundener Forschungsbedarf resultiert aus Fragestellungen hinsichtlich der Immobilienbewertung von nach Nachhaltigkeitskriterien konzipierten Gebäuden.

Bezüglich der ökologischen Wirksamkeit von Wohngebäuden in Niedrigenergiehausqualität liegen dem gegenüber bereits diverse Forschungsergebnisse vor.

In einer seitens der FGW, u.a. in Kooperation mit der Energieagentur Österreich durchgeführten Forschungsstudie<sup>3</sup> konnte das grundsätzlich gute Funktionieren der Orientierung (z.B. hinsichtlich der Förderungs bemessung) an einer Energiekennzahl (überwiegend Heizwärmebedarf HWB) nachgewiesen werden. Bei zwei Drittel von rund 80 ausgewerteten großvolumigen Gebäuden unterschritt der gemessene bzw. ermittelte Heizwärmeverbrauch den vor Baubeginn errechneten bzw. prognostizierten Heizwärmebedarf. Entsprechend positive Resultate wurden auch im Zuge des vorliegenden Forschungsprojekts seitens der Universität für Bodenkultur Wien für das Passivhaus-Studentenheim Molkereistraße erbracht. Die Ergebnisse sind umso erfreulicher, als für die Evaluierung der energetischen Performance und Nutzerzufriedenheit ein Objekt gewählt wurde, welches vor allem hinsichtlich der Art der Nutzung (Studentenwohnheim), Objektgröße und Art der Bewohner (Austauschstudenten aus zahlreichen Kulturkreisen mit unterschiedlichem Wohnverhalten) als eher atypisches bzw. durchaus „schwieriges“ Wohnobjekt zu bezeichnen ist.

Im Rahmen der seitens der FGW zur Ausarbeitung übernommenen Teilstudie werden ökonomische Rahmenbedingungen (Förderungsfinanzierung, Errichtungskosten) sowie die Grundlagen der Förderungsabwicklung untersucht und analysiert.

Im Zuge dieser Studie nicht erfasst ist eine Analyse von laufenden Kosten, vor allem Bewirtschaftungskosten. Die Berücksichtigung dieser Kostenkomponenten muss vorerst Folgestudien vorbehalten bleiben.

## 5.2 Förderungsabwicklung

### 5.2.1 Begutachtung im Wr. Grundstücksbeirat

Der Wiener Grundstücksbeirat wurde auf Grundlage des §28 Abs. 1 WWFSG 1989 eingerichtet, wonach vor Erledigung von Förderungsansuchen, ausgenommen Ansuchen betreffend die Errichtung von Kleinstprojekten (Eigenheimen, Kleingartenwohnhäusern und Dachgeschosswohnungen für den Eigenbedarf), die einzelnen Bauvorhaben hinsichtlich ihrer pla-

---

<sup>2</sup> Sinnvollerweise eignen sich Objekte erst nach Ablauf von zumindest bereits zwei Heizperioden.

<sup>3</sup> Benchmarking Nachhaltigkeit in der Wohnbauförderung der Bundesländer. Wien: FGW, 2005

nerischen, ökonomischen und ökologischen Qualität seitens eines Expertenbeirats zu bewerten sind.

Als Geschäftsstelle dieses Beirats fungiert der Wohnfonds Wien (ehem. „Wiener Bodenbereitstellungs- und Stadterneuerungsfonds“, WBSF), welchem als Einreich- und Informationsstelle für die Neueinreichungen und Wiedervorlagen der einzelnen Projekte sämtliche administrative und organisatorische Angelegenheiten obliegen.

Die Bewertung der eingereichten Projekte erfolgte bis etwa März 2004<sup>4</sup> in den drei Themenbereichen Planung, Ökonomie und Ökologie, welche jeweils in vier Unterkategorien aufgliedert waren (vgl. Tabelle 1 S 8).

Für jede Unterkategorie konnten von jedem stimmberechtigten Mitglied nach gemeinsamer Beratung und Abwägung der Projekte individuell bis zu 100 Punkte in 20er Schritten (0,20,40,60,80,100) vergeben werden (bei gleichrangiger Gewichtung der vier Kategorien). Aus der Summe der vergebenen Punkte pro Themenbereich wurde das arithmetische Mittel gebildet, wobei in jedem einzelnen Themenbereich ein Wert von mindestens 50 Punkten erreicht werden musste. Anschließend wurde aus der Summe dieser drei Werte wiederum das arithmetische Mittel gebildet, wobei für eine positive Beiratsempfehlung ein Gesamtwert von zumindest 60 Punkten zu erzielen war. Vor jeder Beiratssitzung werden (nach wie vor) Gespräche mit verschiedenen Dienststellen der Stadt Wien abgehalten, um möglichst umfassend zusätzliche projektbezogene Informationen zu ermitteln. Dazu zählen z.B. die Angemessenheit der Grundstückskosten, eine technisch-wirtschaftliche Einschätzung sowie die positive Beurteilung der Infrastrukturkommission hinsichtlich der technischen und sozialen Infrastruktur.

Tabelle 1: Wiener Grundstücksbeirat Kriterienkatalog bis März 2004

	Kriterien	Erläuterungen
Planung	Erschließung	Interne Erschließung (Wohneinheiten), externe Erschließung (Stiegenhäuser, Gänge), Ausgewogenheit von Nutzfläche und Erschließungsfläche
	Grundrissqualität	Benutzbarkeit der Räume (z.B. Lage von Türen und Fenstern), Besonnung, Durchlüftung, funktionale Zusammenhänge
	Wohnqualität	Wohnungsbezogene Freiräume, Schwellenbereiche Wohnung / Haus, Haus / Freiraum, Nutzung und Gestaltung der Frei- und Grünräume
	Architektur und Städtebau	Entsprechend dem Stand von Wissenschaft, Technik und Diskussion bezüglich formaler und technischer Aspekte, Bebauungskonzept
Ökonomie	Herstellungskosten	Gesamtbaukosten, reine Baukosten, Baunebenkosten, Grundstückskosten, Grundstücksnebenkosten (jeweils Vertragsabschluss bis Bezug), Finanzierungskosten, Obergrenze bei geförderten Objekten zum Zeitpunkt des Bezugs

<sup>4</sup> das Projekt Molkereistraße wurde in der Sitzung am 8. Juli 2003 behandelt. Seit März 2004 erfolgt die Bewertung für jedes eingereichte Projekt in den drei Themenbereichen Architektur, Ökonomie und Ökologie mit veränderten Unterkategorien auf Basis eines neuen Bewertungsschemas.

	Kosten für die Nutzer	Getrennt nach geförderten und nicht geförderten Flächen: Mieterbelastung, Eigenmittelbelastung, Kapitaldienst, Entwicklung der Kosten, Höhe und Fälligkeit des Grundkosten- und des Baukostenanteils, Garagenentgelt
	Kostenrelevanz der Bauausstattung	Bewirtschaftungs- und Instandhaltungskosten der Bauausstattung, Schall- und Wärmeschutz, Ausstattungsqualität, Instandhaltungs- und Betriebskosten, Hausbesorger
	Nutzerbedingungen	Bauträgerart, Vertragsbedingungen der Überlassung, Nutzerverträge, Sonderbedingungen, Mitbestimmung
Ökologie	Bautechnik / Haustechnik	(Umwelt-)Technik: Energieverbrauch, Energieversorgung, Wasser, Einzelwasserzähler, sonstige bau- und haus-technische Infrastruktur
	Bauökologie / Ressourcenschonendes Bauen	Umweltgerechtes Bauen (externe Wirkungen/ Kosten): Baustoffe und Baumaterialien, Konstruktion, bau-physikalisch-klimatische Qualität der Konstruktionselemente und Bauteile
	Wohnökologie / Baubiologie	Wohnökologie (Wirkungen auf den/die Bewohner): Materialien und Ausführungsqualität im Innenausbau, schalltechnische Qualitäten, Besonnung und Belichtung, Netzfreeschalter, Strahlungsheizung, private und wohnungsbezogene Frei- und Grünräume
	Stadtökologie / Freiraum / Grünraum	"Raumökologie" (Stellung Bauwerk - Umwelt): Flächenverbrauch, Versiegelungsgrad, Versickerung, Dach- und Fassadenbegrünung, ökologische Qualität der Grünflächen, Nutzbarkeit, Gemeinschaftseinrichtungen, städtebauliche Konfiguration, Entsorgung

Quelle: Wohnfonds Wien

In der Einzelbewertung durch den Grundstücksbeirat in Rahmen der Beiratssitzung am 8. Juli 2003 erreichte das Wohnprojekt Molkereistraße eine überwiegend überdurchschnittliche Punktzahl in den einzelnen Unterkategorien. Vor allem positiv bewertet wurden die kalkulierten Werte im Bereich Ökonomie in den Kategorien Herstellungskosten (80 Punkte) sowie Nutzerbedingungen (100 Punkte), zurückzuführen einerseits auf die in Anbetracht der Passivhausqualität des Projekts gering veranschlagten Gesamtbaukosten (reine Baukosten samt Nebenkosten exkl. USt.) in Höhe von rund € 1.330,- je m<sup>2</sup> förderbarer Nutzfläche sowie andererseits auf die großzügig dimensionierten Nutzungsräumlichkeiten, Gemeinschaftseinrichtungen sowie generell Gebäudekonzipierung unter besonderer Berücksichtigung der besonderen Nutzeranforderungen. Ebenso hoch bewertet wurde im Bereich Ökologie die Unterkategorie Bautechnik/Haustechnik mit 90 Punkten infolge der projektierten technischen Besonderheiten.

Trotz der stark gestiegenen Umweltqualitäten der Projekte und der deutlich verbesserten Planungs- und Architekturqualität seit Begründung der Bauträger-Wettbewerbe und des Grundstücksbeirats Mitte der 90er Jahre gelang es gleichzeitig, die Herstellungskosten im geförderten Wohnbau innerhalb weniger Jahre im Durchschnitt um etwa 10 bis 15 Prozent zu senken (vgl. Abbildung 11). Die von den Bauträgern angegebenen Zusatzkosten für ökologische Sondermaßnahmen lagen seitdem je nach Ausstattung und Ausführung bei Euro

110,- bis 220,- je m<sup>2</sup> förderbarer Wohnnutzfläche, bei durchschnittlichen reinen Baukosten von im Mittel etwa Euro 1.150,- bis 1.300,- je m<sup>2</sup> förderbarer Fläche.

Von den im Grundstücksbeirat, dem 'Qualitätsnachläufer' der Wettbewerbe, eingereichten Projekten, werden mittlerweile in den Bereichen Wärmeschutz (Niedrigenergiestandard), Wassereinsparung (z.B. Niederschlagswasserversickerung, Brauchwassergewinnung für Gartenbewässerung) und Minimierung der Versiegelung dieselben Standards wie in den Wettbewerbsverfahren erreicht. Die anderen Ausstattungsmerkmale und Umweltqualitätsstandards werden von den eingereichten Projekten zwar nicht in derselben Breite erreicht, im einzelnen sind sie jedoch genauso vertreten, wobei nicht die Qualität aller einzelnen Projekte niedriger, sondern vor allem die Bandbreite unterschiedlicher Projektqualitäten größer ist.

### **5.2.2 Eckdaten des Förderungsobjekts**

Für eine Evaluierung der Effizienz von Förderungsaktivitäten in Hinblick auf die Erreichung von speziellen Lenkungseffekten eignen sich unterschiedliche Methoden. Im Rahmen einer Ermittlung der im Rahmen dieser Untersuchung im Vordergrund stehenden ökonomischen Performance sind primär einzelne Aspekte der Objektsfinanzierung (Analyse der Gesamtbaukosten und Finanzierungsgrundlagen) heranzuziehen (vgl. nachfolgendes Kapitel). Wie bereits in Kapitel 2 ausgeführt ist eine Einbeziehung von Bewirtschaftungskosten vorerst noch Folgestudien vorbehalten. Grundsätzlich zu beachten ist, dass je nach Resultat der Evaluierung Rückschlüsse auf die Funktionsweise des Förderungssystems und der Art der Förderungsabwicklung durch Förderungsstelle und technische Prüforgane zu ziehen sind. Als eine notwendige Bedingung für die Erreichung einer hohen Effizienz erweist sich dabei regelmäßig die Schaffung von rechtlichen, wirtschaftlichen und finanziellen Rahmenbedingungen im Zusammenspiel von Trägern der Wohnungs- und Bauwirtschaft, Wohnbaufinanzierung und Förderungsverwaltung.

Zwecks Verschaffung eines Überblicks über die allgemeinen Förderungsgrundlagen des Forschungsobjekts sind in nachfolgender Tabelle 2 verschiedene Eckdaten zusammengestellt:

Tabelle 2: Eckdaten des Projekts Studentenwohnheim Molkereistraße

Genehmigung durch den Grundstücksbeirat	Sitzung am 8. Juli 2003
Förderungseinreichung	Oktober 2003
Vorprüfbericht	17. November 2003
Förderbare Nutzfläche gem. Vorprüfbericht	7.588,97 m <sup>2</sup> inkl. 20% Heimzuschlag <sup>5</sup>
Förderbare Gesamtbaukosten gem. Vorprüfbericht	€ 10,109.800,-
Heimwohneinheiten/Heimplätze	133/278
Förderungszusicherung	16.12.2003
Baubeginn	Mai 2004
Fertigstellung und Übergabe	August/September 2005
Bauzeit	16 Monate
Schlussprüfbericht	29.11.2007
Förderbare Nutzfläche gem. Schlussprüfbericht	7.606,27 m <sup>2</sup>
Fb. Gesamtbaukosten gem. Schlussprüfbericht	€ 9,887.525

## 5.3 Projektfinanzierung

### 5.3.1 Beschreibung des Förderungsmodells und von Rahmenbedingungen der Finanzierung

Die Mietwohnungsförderung in Wien ist mittlerweile grundsätzlich marktwirtschaftlich orientiert. Nach Bewältigung des Wiener Baubooms in den Neunziger Jahren hat sich eine nach Bedarfsprognosen und Schätzungen der Förderungsverwaltung adäquate Neubauleistung im mehrgeschossigen Wohnbau von in den letzten Jahren etwa 5500 geförderten Wohnungen pro Jahr ergeben<sup>6</sup>. Seit Umstellung des Förderungssystems von einmaligen verlorenen Zuschüssen auf Direktdarlehen (2001) trägt Wien als Förderungsgeberin nunmehr weitaus

<sup>5</sup> § 1 Abs 5 NeubauVO 2001

<sup>6</sup> Infolge demografischer Entwicklungen wurde die geförderte Neubauleistung auf aktuell rund 7.000 Wohneinheiten pro Jahr erhöht.

niedrigere Fördergesamtkosten in Relation zu den jeweiligen Gesamtbaukosten. Dennoch gelang es, durch gezielte Kombination verschiedener Förderungselemente ein vor allem in sozialer und ökonomischer Hinsicht nachhaltiges System zu schaffen, welches durch Abhaltung von Bauträgerwettbewerben sowie Schaffung des Wiener Grundstücksbeirats auch in ökologischer Hinsicht zunehmend Effizienz bewirkte.

#### 5.3.1.1 Förderungsgrundlagen Wohnheim Molkereistraße

Die Förderung der Errichtung des Wohnheims Molkereistraße erfolgt gemäß den Bestimmungen der NeubauVO 2001<sup>7</sup> durch Gewährung eines Landesdarlehen in Höhe von Euro 510,- je m<sup>2</sup> Nutzfläche infolge Überschreitung der per Verordnung vorgesehenen Mindestnutzfläche von 4.500 m<sup>2</sup><sup>8</sup>. Eine für die Bemessung des Förderungsdarlehens bedeutende Konsequenz besteht in einem pauschalen Nutzflächenzuschlag von 20% zu der für Wohnzwecke der Heimbewohner dienenden Gesamtfläche (Heimzuschlag für z.B. Arbeits-, Aufenthalts- bzw. Gemeinschaftsräume).

Die Verzinsung des Darlehens beträgt 1% p.a. dekursiv. Die Tilgung setzt nach Rückzahlung der zur Ausfinanzierung aufgenommenen Kapitalmarktdarlehen in Höhe des höchsten bis dahin geleisteten Abstattungsbetrags ein. Die seitens des Bauträgers auf den Mieter in Form eines Baukostenbeitrags überwälzbaren Eigenmittel sind mit 12,5% der angemessenen Gesamtbaukosten begrenzt. Ein Einsatz von Eigenkapital ist damit allerdings nicht zwingend vorgesehen. Begrenzt ist damit der vom Mieter aufzubringende Finanzierungsbeitrag. Abgesehen davon wurden für die Ausfinanzierung des gegenständlichen Wohnheims infolge einer gewährten Bundesförderung keine Bauträgereigenmittel eingesetzt.

Hinsichtlich der Gesamtbaukosten wurde durch Verordnung eine betragliche Obergrenze (angemessene Gesamtbaukosten) in Höhe von € 1.120,- je m<sup>2</sup> Nutzfläche als Basisbetrag festgelegt. Eine Überschreitung des Basisbetrags um maximal € 400,- je m<sup>2</sup> Nutzfläche wurde ermöglicht, sofern die nachfolgenden Umstände bzw. Maßnahmen nachweisbar zu Mehrkosten führten:

1. unvermeidbare erschwerende Umstände (z.B. bei der Fundierung);
2. Kosten besonderer Einrichtungen zur Verringerung des Energieeinsatzes, zur Nutzung umweltschonender Energieformen sowie zur Verringerung des Trinkwasserbedarfs;
3. Marketingkosten.

Ein weiterer Zuschlag, speziell bei Errichtung von Wohnheimen wurde bis zu € 90,- je m<sup>2</sup> Nutzfläche gewährt, sofern heimspezifische Maßnahmen nachweisbar zu Mehrkosten führten. Zusätzlich bewirken verschiedene spezielle Förderungsbedingungen kostensenkende Effekte.

---

<sup>7</sup> Die NeubauVO 2001 wurde mittlerweile durch die NeubauVO 2007 ersetzt.

<sup>8</sup> Für Objekte bis zu gesamt 4.500 m<sup>2</sup> betrug das Landesdarlehen € 585,- je m<sup>2</sup> förderbarer Nutzfläche.

### 5.3.1.2 Spezielle Förderungsbedingungen

#### *Mietzinslimit*

Das für die Abstattung der eingesetzten Finanzierungsdarlehen (und seitens des Bauträgers eingesetzten Eigenmittel) berechenbare Nutzungsentgelt sowie ein Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrag sind betragsmäßig (wertgesichert VPI 1986) limitiert. Im Jahr 2007 betragen die Obergrenzen Euro 3,97 bzw. 0,59 je m<sup>2</sup> und Monat.

#### *Konditionen bei Fremdfinanzierung*

Bei Inanspruchnahme von Kapitalmarktdarlehen (ausgenommen Bausparkassendarlehen) muss u.a. gewährleistet sein, dass die Darlehenslaufzeit zumindest 15 Jahre beträgt und der Darlehenszinssatz maximal 0,5% über dem Durchschnitt der Sekundärmarktrendite der letzten beiden Quartale für inländische Emittenten liegt. Die Obergrenze beträgt 1%, wenn eine Änderung des Zinssatzes zumindest fünf Jahre nicht vorgenommen wird.

#### *Refinanzierung*

Die Laufzeit des Landesdarlehens beginnt nach Darlehenszuzählung mit dem Bezug der Wohnungen und spätestens mit Vorliegen der Fertigstellungsanzeige. Wie weiter oben bereits ausgeführt setzt die Tilgung des Landesdarlehens erst nach Abstattung des Kapitalmarktdarlehen in Höhe des höchsten bis dahin geleisteten Rückzahlungsbetrages ein. Zusätzlich ist allerdings zwingend vorgesehen, dass die Laufzeit des Landesdarlehens längstens nach 35 Jahren endet.

Eine Besonderheit des Fördermodells ist darin zu erblicken, dass zur Erfüllung der seitens des Landes Wien entwickelten Vorgaben die Bauträger herausgefordert sind, ihre jeweiligen finanziellen bzw. wirtschaftlichen Möglichkeiten auszuschöpfen und vor allem marktwirtschaftlich optimal zu agieren. Die Begrenzung der Mietzinse auf Förderungsdauer in Verbindung mit in hohem Ausmaß flexibel gestaltbaren Objektfinanzierungen eröffnet je nach Unternehmens- und Marktsituation unterschiedliche Optionen. So wird es den Bauträgern ermöglicht, das Förderungsdarlehen erst nach Abstattung des Kapitalmarktdarlehen zu tilgen, wobei allerdings je nach Zinsniveau die jeweiligen Darlehenslaufzeiten variabel ausgestaltet sind. Unter Umständen könnte somit ein Objekt bereits nach 25 Jahren ausfinanziert sein. Ein spezieller Vorteil von Obergrenzen liegt in der Schaffung eines gewissen Spielraumes für Banken sowie Wohnbauträger. Ein ähnlicher Effekt wird erzielt, indem hinsichtlich der Laufzeit des Kapitalmarktdarlehen nur eine Mindestfrist zwingend vorgesehen ist.

### 5.3.1.3 Finanzierungsplan- und verlauf

Unter Zugrundelegung des oben dargestellten Förderungsmodells erbrachte die seitens der Förderungsverwaltung vorgenommene Schlussprüfung gegenüber der vor Förderungszusage durchgeführten Vorprüfung des Wohnheims Molkereistraße folgendes Endergebnis:

- Die Gesamtbaukosten wurden infolge wirtschaftlicher Bauführung von € 10,109.800,- um € 222.275,- auf € 9,887.525,- und somit 2,2 % reduziert. Hinsichtlich der Baukostenangemessenheit wurde der Basisbetrag von € 1.120,- je m<sup>2</sup> um einen Erschwerniszuschlag von rund € 180,- erhöht. Ein grundsätzlich vorgesehener

Heimzuschlag (in Höhe von € 90,- je m<sup>2</sup>) musste nicht in Anspruch genommen werden;

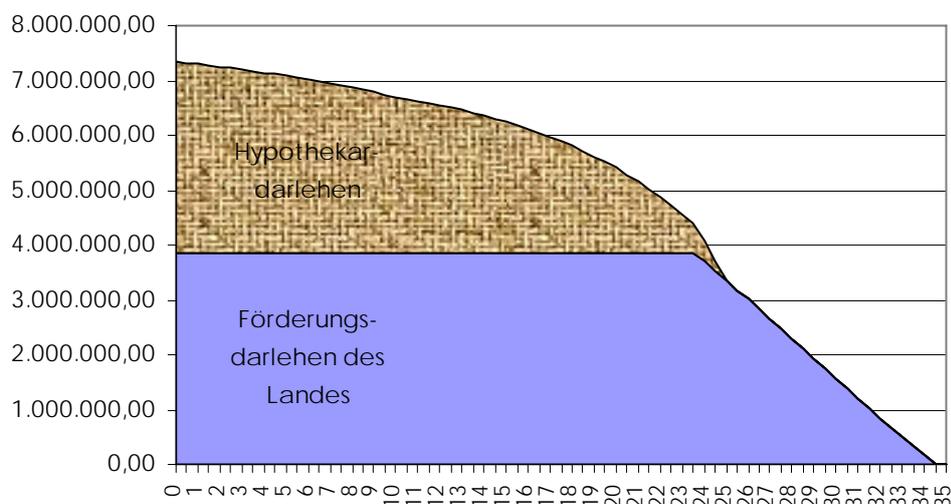
- Infolge geringfügiger Änderungen in der Raumeinteilung erhöhte sich dem gegenüber die förderbare Nutzfläche von 7.588,97 m<sup>2</sup> auf 7.606,27 m<sup>2</sup>, jeweils inklusive dem pauschalen Nutzflächenzuschlag von 20% der für Wohnzwecke dienenden Fläche. Die Baukosten je m<sup>2</sup> Nutzfläche liegen daher mit € 1.299,92 um über € 30,- unterhalb der kalkulierten Kosten.
- Die Reduzierung des Förderzuschusses des Bundes, u.a. infolge des gesunkenen (fiktiven) Baukostenbeitrags der Heimmutzer, erfordert eine entsprechende Erhöhung des(r) Kapitalmarktdarlehen.

Im Einzelnen stellt sich der Finanzierungsplan gegenüber der Förderungszusicherung nunmehr wie folgt dar:

	Zusicherung	Schlussprüfung
Kapitalmarktdarlehen	€ 3,181.425,-	€ 3,468.780,-
Förderungsdarlehen des Landes	€ 3,870.375,-	€ 3,870.375,-
Zuschuss der Republik Österreich	€ 3,058.000,-	€ 2,548.370,-
Angemessene Gesamtbaukosten	€ 10,109.800,-	€ 9,887.525,-

Zwecks Veranschaulichung der Projektfinanzierung ist in Abbildung 10 der Finanzierungsverlauf des Projekts dargestellt (abzüglich des Bundeszuschusses). Im Rahmen der Durchrechnung der Tilgungspläne wurde für die eingesetzten Kapitalmarktdarlehen (Hypothekendarlehen) eine Veränderung des Zinsniveaus bei Annahme einer Gesamtlaufzeit von 25 Jahren kalkuliert (1. bis 10. Jahr: 4,25%, 11. bis 20. Jahr: 6,25%, 21. bis 25. Jahr: 4,25%, jeweils pro Jahr). Infolge des Beginns der Tilgung des Landesdarlehens erst nach Ausfinanzierung der Kapitalmarktdarlehen wirken sich die Veränderungen in einer Gesamtbetrachtung allerdings nur geringfügig aus.

Abbildung 10: Finanzierungsverlauf Wohnheim Molkereistraße



Quelle: eigene Berechnungen

#### 5.3.1.4 Exkurs: Förderungsmodell gemäß der NeubauVO 2007

Die im Rahmen der NeubauVO 2007 vorgenommenen Veränderungen des Wiener Förderungssystems sind zum Einen auf die Entwicklung einzelner bauwirtschaftlicher Rahmenbedingungen in den letzten Jahren (va. Baukostensteigerungen, vgl. Abbildung 11), zum Anderen auf eine klare Bekenntnis zum ökologischen Wohnbau zurückzuführen.

Die nun folgende Kurzdarstellung von einzelnen Grundlagen des neuen Fördermodells ist vor dem Hintergrund des im Zuge dieser Studie nach den Bestimmungen der NeubauVO 2001 untersuchten Wohnheims Molkereistraße zu betrachten. Dargestellt werden daher nur jene Änderungen mit Bezug auf die Wohnheim- sowie Passivhauseigenschaft eines Förderungsobjekts. Auf diese Weise soll ein Vergleich der beiden Förderungsmodelle durchgeführt werden.

- Erhöhung der angemessenen Gesamtbaukosten: der Basisbetrag der angemessenen Gesamtbaukosten beträgt nunmehr € 1.180,- je m<sup>2</sup>; ein Baustellenzuschlag ist bis zu einer Gesamtnutzfläche von maximal 10.000 m<sup>2</sup> (NeubauVO 2001: 6.000 m<sup>2</sup>) vorgesehen; bei einer Gesamtnutzfläche zwischen 5.000 und 10.000 m<sup>2</sup> sind Zwischenwerte durch lineare Interpolation zu berechnen, wobei beim Zwischenwert von 5.000 m<sup>2</sup> der Zuschlag rechnerisch mit € 120,- und bei 10.000 m<sup>2</sup> mit € 20,- anzusetzen ist; bei Objekten, bei welchen besondere bautechnische Anforderungen (ausdrücklich erwähnt sind Passivhäuser) nachweislich zu Mehrkosten führen, erhöht sich die Baukostenobergrenze um maximal € 550,- je m<sup>2</sup> Nutzfläche; bei der Errichtung von Wohnheimen erhöht sich die Obergrenze um maximal € 90,- je m<sup>2</sup>, sofern heim-spezifische Maßnahmen nachweisbar zu Mehrkosten führen;
- Erhöhung des pauschalen Nutzflächenzuschlags bei sonstigen Heimen (Studentenheimen) von 20% auf 25%;

- Schaffung energetischer und bauökologischer Mindestanforderungen;
- Förderungs Ausschluss bestimmter Heizenergieträger (Kohle, Koks, Briketts, Öl) sowie von Stromwiderstandsheizungen (ausgenommen Stromzusatzheizungen in Passivhäusern); im Falle von Gasheizungen erfolgt eine Förderung nur bei Einsatz von Gasbrennwerttechnologie;
- Förderungs Ausschluss von bestimmten ökologisch bedenklichen Baustoffen.

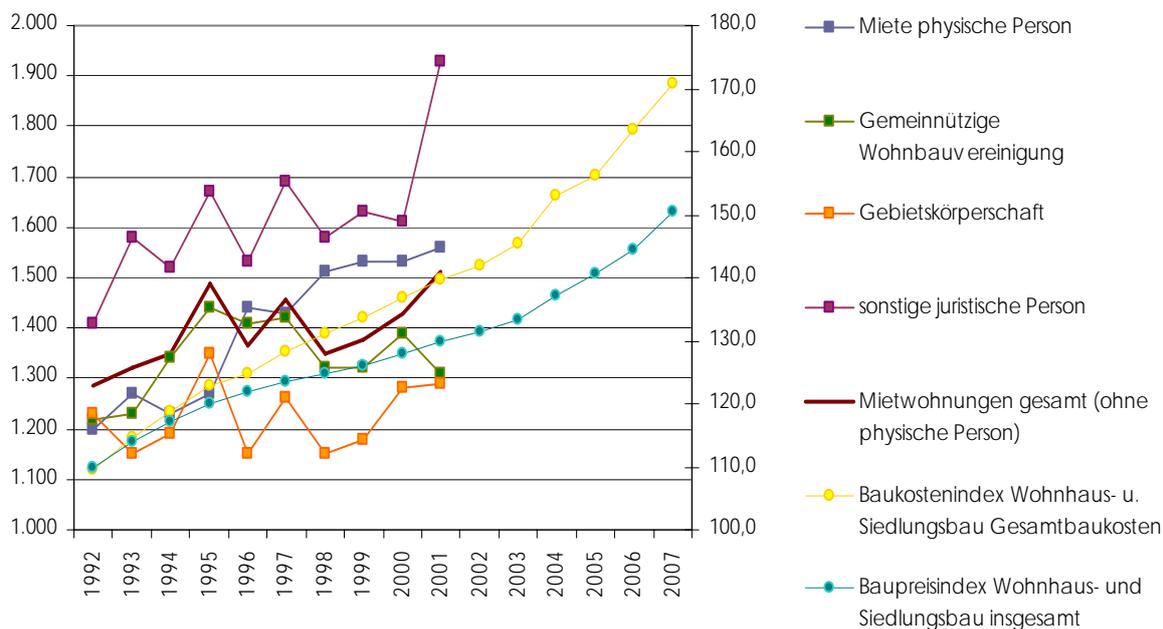
Das Förderungsausmaß von € 510,- je m<sup>2</sup> förderbarer Nutzfläche für die Errichtung von Heimen wurde zwar nicht erhöht, jedoch jenes für die Errichtung von Mietwohnungen auf bis zu € 700,-. Vor allem die deutliche Erhöhung der zulässigen Baukosten lässt in Anbetracht der aktuellen Baukostenentwicklungen eine spürbare Erhöhung des Passivhausstandards im Wiener Wohnungsneubau erwarten.

### **5.3.2 Baukostenanalyse**

Die Baukosten im mehrgeschossigen Wohnbau stagnierten von Mitte der Neunziger Jahre bis zu Beginn des laufenden Jahrzehnts. Es ist davon auszugehen, dass diese Effekte wesentlich auf die Wohnbauförderung zurückzuführen sind. Waren früher Modelle gebräuchlich, welche die Förderungsleistung als Prozentsatz der Baukosten bemaßen, wurde nach der Verländerung der Wohnbauförderung ab ca. 1990 sukzessive auf Modelle umgestellt, bei denen die Förderung pro Quadratmeter ebenso fixiert wurde wie die zulässigen Nutzerkosten. Die verbleibende Variable für Bauträger waren somit die Baukosten, die sie mit sichtlichem Erfolg zu dämpfen verstanden. Das Wiener Modell der Bauträgerwettbewerbe und des Grundstücksbeirats hatte eine ähnliche Auswirkung.

Seit etwa 2003 sind Veränderungen in der Entwicklung der Baukosten deutlich erkennbar, wie nachfolgende Abbildung 2 belegt (vgl. vor allem die Entwicklung des Baukostenindex Wohnhaus- und Siedlungsbau Gesamtbaukosten). Die Baukostenstatistik der Statistik Austria ist nur bis 2001 verfügbar; allerdings lässt sich unter Zugrundelegung des Baukostenindex Gesamtbaukosten für den Errichtungszeitraum des Wohnheims Molkereistraße (Mai 2004 bis August 2005) ein durchschnittliches Baukostenniveau von zw. € 1.350,- und € 1.400,- je m<sup>2</sup> abschätzen. Die erreichten Baukosten von rund € 1.300,- entsprechen dem gegenüber dem durchschnittlichen Baukostenniveau zu Beginn des laufenden Jahrzehnts.

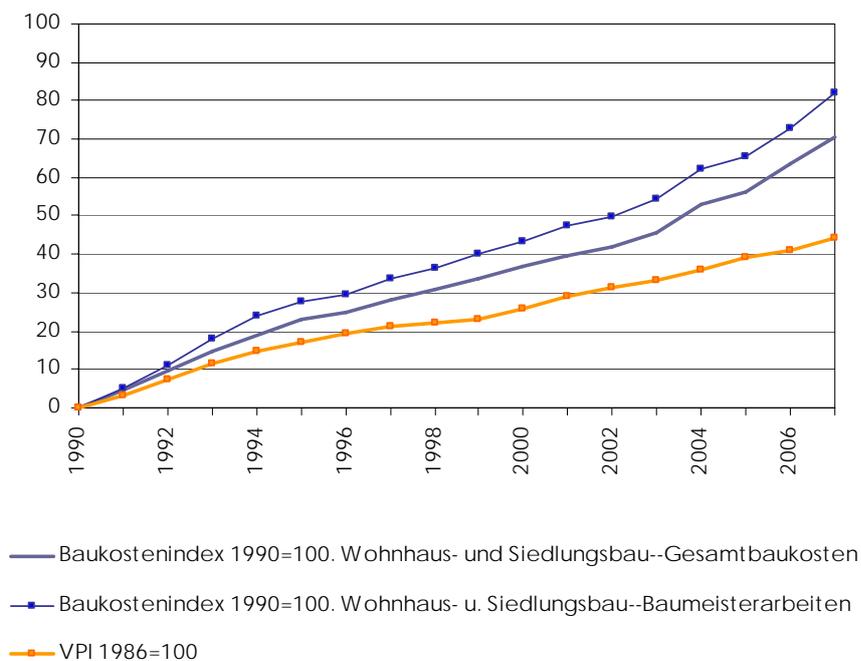
Abbildung 11: Baukostenvergleich für fertig gestellte Mietwohnungen nach Bauherr in Wien



Quelle: Statistik Austria, eigene Berechnungen

Abbildung 3 belegt die etwa seit 2003 eingesetzte dynamische Steigerung der Baukosten gegenüber der allgemeinen Inflation noch deutlicher.

Abbildung 12: Vergleich Baukostenindizes/VPI 1986



Quelle: Statistik Austria

Im Ergebnis sind die im Zuge der Errichtung des Wohnheims angefallenen Baukosten von € 1.300,- je m<sup>2</sup> Nutzfläche als unterdurchschnittlich zu bezeichnen, dies vor allem in Anbetracht des erreichten Passivhausstandards sowie dem im Entstehungszeitraum bereits deutlich gestiegenen Baukostenniveau. Die erreichten positiven Kennwerte sollten allerdings für künftige Passivhausprojekte vor allem aus folgenden Gründen nicht unbedingt als Vergleichsmaßstab herangezogen werden:

- Das Gebäude- und Nutzungskonzept des Studentenwohnheims für Austauschstudenten unterscheidet sich deutlich von jenem herkömmlicher Wohnobjekte;
- Die gewährte Bundesförderung führt zu erheblich reduzierten Finanzierungskosten;
- Die seit etwa 2003 jährlich dynamisch gestiegenen Baukosten erschweren die Realisierung von Passivhausprojekten; eine klare Erleichterung schaffen die mit der NeubauVO 2007 eingeführten höheren Baukostenobergrenzen und Fördersätze; seit etwa 2005 steigen die Finanzierungskosten für eingesetzte Kapitalmarktdarlehen tendenziell (Anstieg der SMR für inländische Emittenten von rund 3% auf aktuell 4,25%).

## 6 Energieperformance Molkereistraße

Dieser Abschnitt enthält die Beschreibung der geplanten Energiebedarfswerte, die Dokumentation der gemessenen Verbrauchswerte und eine Gegenüberstellung. Weiters werden die Randbedingungen Außenklima, Innenraumklima und Luftwechsel erläutert sowie Vergleiche der gemessenen Verbrauchswerte der Molkereistraße mit anderen Studentenheimen dargestellt. Abschließend erfolgt eine Gegenüberstellung der Treibhausgasemissionen verschiedener Studentenheime.

### 6.1 Energiekennzahlen und funktionale Einheiten

Zum Verständnis der in diesem Bericht präsentierten Energiekennzahlen werden in aller Kürze die wesentlichen Parameter beschrieben.

#### 6.1.1 Energiekennzahlen

Unterschied zwischen **Bedarf und Verbrauch**:

- Der **Energiebedarf** ist die im Zuge der Planung nach Normbedingungen (z.B. 20 °C Raumlufttemperatur) berechnete Energiemenge
- Der **Energieverbrauch** ist die gemessene Energiemenge im Betriebszustand des Gebäudes
- Der „normierte“ bzw. „standardisierte“ **Energieverbrauch** ist die auf Normbedingungen bzw. Standardbedingungen (z.B. 20 °C Raumlufttemperatur, mittlere Heizgradtage HGT<sub>20/12</sub>) umgerechnete Energieverbrauchsmenge zum Zwecke des Vergleichs mit der Energiebedarfsmenge.

Unterschied zwischen **Nutzenergie, Endenergie und Primärenergie** (siehe auch Kapitel 10):

- Die **Nutzenergie** ist der Input an Energie in den Aufenthaltsraum, welcher für die jeweilige Energiedienstleistung benötigt wird.
- Die **Endenergie** ist der Input an Energie in das Gebäude und kann als Summe von Nutzenergie, Verlusten (für Umwandlung, Speicherung und Verteilung) und Hilfstech-nikenergie (z.B. elektrische Energie für Pumpen) berechnet werden.
- Die **Primärenergie** ist die Summe aus Endenergie und den benötigten Energiemengen für alle vorgelagerten Prozesse der Endenergieträger (Gewinnung, Umwandlung, Transport, etc.). Der Primärenergiefaktor zeigt die Relation zwischen Primärenergie und Endenergie. Nähere Informationen zur vorgelagerten Prozesskette liefert die softwareunterstützte Datenbank GEMIS [UBA, 2007].
- Die **Treibhausgasemissionen** beziehen sich auf die Endenergiemenge und berücksichtigen Emissionen aus der Energieumwandlung im Gebäude sowie vorgelagerte Prozesse (Gewinnung, Umwandlung, Transport, etc.) der Endenergieträger. Nähere Informationen zur vorgelagerten Prozesskette liefert die Software-unterstützt Daten-bank GEMIS [UBA, 2007].

### 6.1.2 Flächenbezüge

Die Energiemengen werden meist auf spezifische Flächen bezogen (→ spezifischer Energiebedarf) um Gebäudequalitäten vergleichen zu können. Übertragen auf die Methodik der Lebenszyklusanalyse (LCA Life-Cycle-Assessment gemäß ÖN EN ISO 14040 - 14044) stellt die Bezugsfläche die funktionale Einheit dar. Übertragen auf den Effizienzbegriff (Ökoeffizienz oder Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden) stellt die Fläche den „Nutzen“ dar und die Energiemenge die „Kosten“ bzw. den „Aufwand“. Weitere Informationen zur funktionalen Einheit für den Vergleich von Gebäuden befinden sich in Kapitel 8.

Je nach regionalen rechtlichen Rahmenbedingungen (Bauordnung, Wohnbauförderungsrichtlinien, Normen) und je nach verwendeter Bedarfsberechnungsmethodik werden unterschiedliche Flächen herangezogen. Die folgende Auflistung enthält die entsprechenden absoluten Werte des Studentenheims Molkereistraße sowie den relativen Bezug auf die Bruttogeschossfläche (weitere Erläuterung siehe Kapitel 10):

- **Bruttogrundfläche** (BGF): 10.527 m<sup>2</sup> (100 %). Außen-Rohbaumaße jedes Geschosses gemäß ÖN B 1800. Diese Bezugsfläche wird in Österreich im Allgemeinen für den Vergleich von Energiekennzahlen herangezogen.
- **Nettogrundfläche** (NGF): 8.842 m<sup>2</sup> (84 %). BGF abzüglich Konstruktionsfläche gemäß ÖN B 1800. Diese Bezugsfläche wird in Deutschland im Allgemeinen für den Vergleich von Energiekennzahlen herangezogen.
- **Energiebezugsfläche** (EBF) nach Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) [PHI, 2007]: 7.715 m<sup>2</sup> (73 %). Die EBF beinhaltet grob gesagt die Wohnnutzfläche (inkl. Gemeinschaftsräume) und 60 % aller sonstigen Bodenflächen in der konditionierten Gebäudehülle, exkl. Stiegen und Treppenabsätze. Diese Bezugsfläche wird für die Berechnung von Energiekennzahlen von Passivhäusern gemäß PHPP herangezogen. In vorliegender Studie wurde diese Bezugsgröße für den Vergleich verschiedener Passivhäuser und für den Soll-Ist-Vergleich der Heizwärme eingesetzt.
- **Energiebezugsfläche-CEPHEUS** (Treated Floor Area, TFA): Die TFA beinhaltet grob gesagt die Wohnnutzfläche (inkl. Gemeinschaftsräume) und 50 % aller sonstigen Bodenflächen in der konditionierten Gebäudehülle, exkl. Stiegen und Treppenabsätze. Diese Bezugsfläche wurde für die Berechnung von Energiekennzahlen von Passivhäusern im EU-Thermie-Projekt CEPHEUS eingesetzt.
- Vermietbare **Wohnnutzfläche** WNFL: 6.338 m<sup>2</sup> (60 %). NGF der Wohneinheiten. Diese Bezugsfläche wird von Hausverwaltungen und Energieversorgern herangezogen. In vorliegender Studie wird diese Bezugsgröße für den Vergleich verschiedener Wiener Studentenheime eingesetzt. Die Berechnung der WNFL ist in Österreich durch die baurechtlichen Bestimmungen in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich geregelt.
- Vermietbare Wohnnutzfläche (WNFL) plus Gemeinschaftsräume: 6.687 m<sup>2</sup> (64 %)
- Mit dezentralen Lüftungsgeräten konditionierte Wohnnutzfläche: 6.416 m<sup>2</sup> (61 %)
- Förderbare Wohnnutzfläche (WNFL): 7.606 m<sup>2</sup> (72 %). WNFL plus Pauschalzuschlag von 20 % für Gemeinschaftsräume

Aufgrund der Vielzahl an vorhandenen Bezugsflächen wurde in vorliegendem Projekt darauf verzichtet einen neue Flächenkategorie zu entwerfen.

Um im Rahmen der Qualitätssicherung und behördlichen Überprüfung eine Nachvollziehbarkeit des Flächenbezugs zu ermöglichen wird die Bruttogeschossfläche als Bezugsfläche empfohlen, da diese den geringsten Zeitaufwand für eine nachträgliche Ermittlung erfordert.

Ein weitere wichtige Bezugsgröße (insb. für Warmwasserbedarf, Strombedarf) ist die Anzahl der Bewohner. Im Studentenheim Molkereistraße können 280 Personen untergebracht werden. Ursprünglich waren 278 geplant, jedoch wurden zwei Einzelapartments mit einem zusätzlichen Bett ausgestattet. Das mittlere Flächenangebot pro Person beträgt 22,6 m<sup>2</sup> WNFL, 23,9 m<sup>2</sup> WNFL inkl. Gemeinschaftsräume, 32 m<sup>2</sup> NGF und 37,6 m<sup>2</sup> BGF.

## 6.2 Geplanter Energiebedarf

Das Passivhauskonzept ist keine Bauweise sondern ein Gesamtkonzept für höchste Energieeffizienz und Behaglichkeit. Der Begriff bezeichnet einen Baustandard, der mit verschiedenen Bauweisen, Bauteilen und Baustoffen zu erreichen ist und eine Weiterentwicklung des Niedrigenergiehaus-Standards darstellt. Das Konzept wurde von Dr. Wolfgang Feist und Prof. Bo Adamson entwickelt und 1991 erstmalig in Darmstadt-Kranichstein realisiert (siehe folgende Abbildung).



Abbildung 13: Original Passivhaus, Darmstadt, Kranichstein Feb. 2005 (Foto: PHI)

Die präzise Definition laut Passivhaus Institut Darmstadt (PHI) lautet [PHI, 2005]:

*"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“*

Gemäß PHI gelten die folgenden Grenzwerte für Passivhäuser [Feist, 2001]:

- Heizlast  $\leq 10 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$
- Heizwärmebedarf  $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$
- Gesamter Primärenergiebedarf  $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$  (Heizung, Warmwasser, Strom)

Eine weitere wichtige Kennzahl wurde im Rahmen des CEPHEUS Projekts erwähnt [Feist et al., 2001]:

- Gesamter Endenergiebedarf  $\leq 42 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  (Heizung, Warmwasser, Strom)

Der geplante Energiebedarf der Molkereistraße wurde aus der PHPP-Berechnung (Passivhaus-Projektierungs-Paket) entnommen. Die ursprüngliche Berechnung von team gmi vom 30.05.2005 wurde in Rücksprache mit team gmi am 16.07.2007 adaptiert. Als Bezugsfläche wurde die in PHPP definierte Energiebezugsfläche (EBF) angesetzt.

### **6.2.1 Heizwärmebedarf**

Der geplante Energiebedarf für die Beheizung beträgt  $9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$ . Die Relation Energiegewinne (solare und interne Gewinne) an den Energieverlusten (Transmissions- und Lüftungsverluste) beträgt 60 % wobei die solaren Gewinne eher einen kleinen Betrag (vor allem aufgrund der dichten Verbauung) von  $3,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$  ausmachen, was etwa 15 % der Verluste entspricht.

Abbildung 14 zeigt die Resultate der PHPP-Berechnung nach Jahresbilanz-Verfahren für den Heizwärmebedarf (HWB). Bei einer höheren Raumtemperatur steigen die Transmissions- und Lüftungsverluste um ca.  $1,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$  pro °C höhere Raumlufttemperatur an.

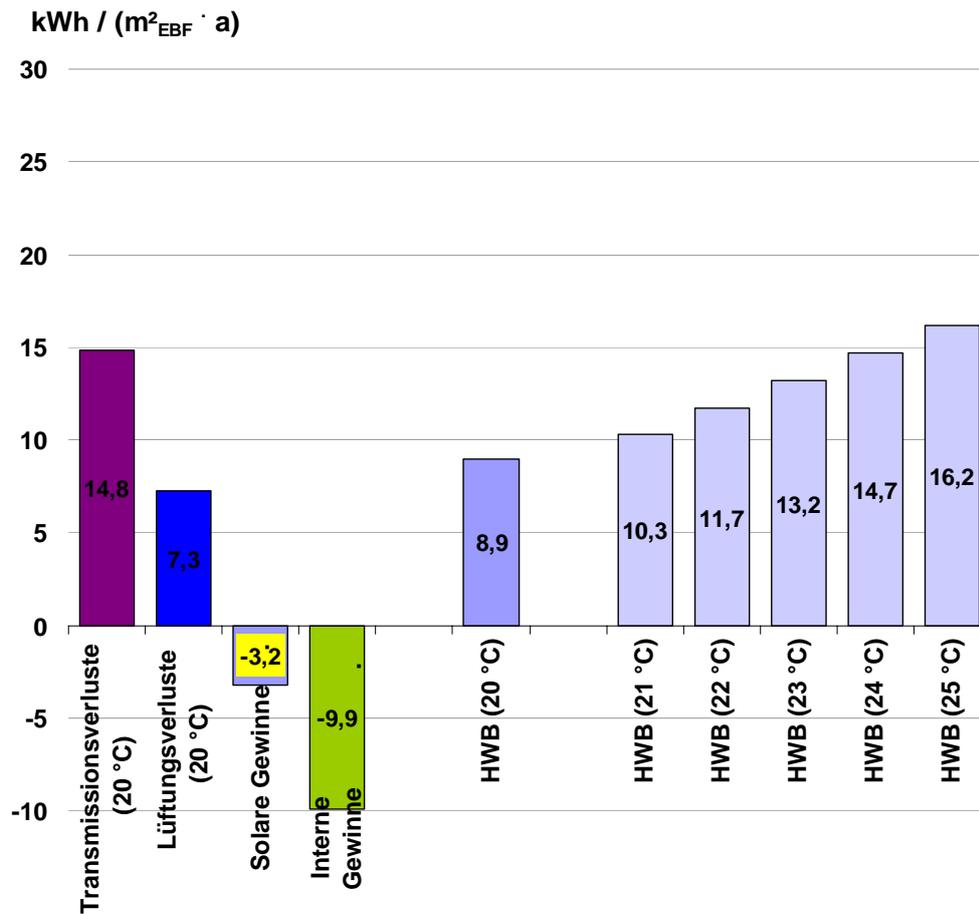


Abbildung 14: Einflüsse auf den Heizwärmebedarf. PHPP-Berechnung- Jahresbilanzverfahren für verschiedene Raumtemperaturen.

Anmerkung: Das Jahresbilanzverfahren führt zu geringfügig unterschiedlichen Werten (z.B. HWB = 8,94 kWh/(m<sup>2</sup> a) als das Monatsbilanzverfahren (z.B. HWB = 8,55 kWh/(m<sup>2</sup> a))

### 6.2.2 Warmwasserenergiebedarf

Der geplante Warmwasserenergiebedarf wurde mit 25 Litern pro Person und Tag mit einer Warmwassertemperatur von 60 °C angenommen. Dies entspricht den Erwartungen für ein durchschnittliches Wohngebäude und wird im PHPP-Berechnungsprogramm als Eingabewert für Wohnnutzung empfohlen. Pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche beträgt der mittels PHPP berechnete Nutzenergiebedarf für Warmwasser 19 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> a). Für die Berechnung der Verteilverluste von Heizung und Warmwasser wurde eine Dämmstärke von 5 cm angenommen. Der Endenergiebedarf für Warmwasser wurde mit 23 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> a) berechnet (Nutzungsgrad Wärmeverteilung und Wärmespeicherung von 80 %).

In der Praxis kann der Energieverbrauch für Warmwasser stark schwanken und ist vor allem vom Nutzerverhalten (hier spielt auch der Altersdurchschnitt und der soziale und kulturelle Background eine große Rolle) aber auch von den eingebauten Sanitäreinrichtungen abhängig. Beispielsweise hat die Größe und Nutzungshäufigkeit von Badewannen einen bedeutenden Einfluss auf den Energieverbrauch. Aber auch die Armaturen können den Energieverbrauch stark beeinflussen und hier liegt ein großes Optimierungspotenzial, das durch den Planer und Bauherrn genutzt werden kann.

In folgender Tabelle werden unterschiedliche Faustformeln für die Abschätzung des Warmwasserenergiebedarfs angegeben. Die Nutzeransprüche an die Wassermenge können sehr unterschiedlich sein (bis zu Faktor 5) und haben damit einen dominierenden Einfluss auf den Endenergiebedarf. Einen ebenfalls sehr bedeutenden Einfluss auf die Energieeffizienz hat das Verteilungskonzept für Warmwasser.

Tabelle 3: Planungswerte für den Energiebedarf der Warmwasserbereitung für 280 Bewohner in der Molkereistraße (Nutzenergie und Endenergie)

### NUTZENERGIE

Faustformel	WWWB Warmwasser- wärmebedarf kWh/(m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ·a)	Bemerkung, Quelle
25 L/(Pers·d) à 60 °C	14	PHPP-Berechnung team gmi 30.05.2005
25 L/(Pers·d) à 60 °C	14	Niedriger Wert für Heime, Pensionen [Recknagel et al., 1997]
50 L/(Pers·d) à 60 °C	28	Hoher Wert für Heime, Pensionen [Recknagel et al., 1997]
50 L/(Pers·d) à 60 °C	28	Niedriger Wert, Hotelzimmer + Dusche [Recknagel et al., 1997]
100 L/(P·d) à 60 °C	56	Hoher Wert, Hotelzimmer mit Dusche [Recknagel et al., 1997]
12,5 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ·a)	12,5	Klima:aktiv-Haus Kriterium
10 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)	12,5	Total-Quality (V.2) Zielwert
30 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ·a)	37,5	Total-Quality (V.2) für üblichen Bestand
35 Wh/(m <sup>2</sup> <sub>BF</sub> ·d) BF = 0,8·BGF	10,2	ÖN B 8110-5 (1.08.2007)
1 kWh/(Pers·d)	10	Niedriger Wasserbedarf für Wohnungen, Heime bei ganzjähriger Nutzung [Frey et al., 1994, DB.8]
3 kWh/(Pers·d)	29	Hoher Wasserbedarf für Wohnungen, Heime bei ganzjähriger Nutzung [Frey et al., 1994, DB.8]
12(33+0,83·WNFL) [kWh/a]	6,4	Abschätzung des Warmwasserbedarfs von Wohnhausanlagen [Oberhuber et al., 1994, S. 213]

### ENDENERGIE

Hier wurden lediglich die Verteilverluste berücksichtigt, da diese bei Fernwärmeversorgung den größten Einfluss auf die Gesamtverluste aufweisen.

Faustformel	Warmwasser- energiebedarf Molkereistraße kWh/(m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ·a)	Bemerkung, Quelle
20% d. Nutzenergie sind Verteilverluste	12	Sehr gutes Verteilkonzept [Frey et al., 1994, DB.8+10]
40% d. Nutzenergie sind Verteilverluste	14	Heime, Wohnungen (<17 WE), niedriger Wasserbedarf Gutes Verteilkonzept [Frey et al., 1994, DB.8+10]
60% d. Nutzenergie sind Verteilverluste	16	Mittleres Verteilkonzept [Frey et al., 1994, DB.8+10]
130% d. Nutzenergie sind Verteilverluste	22	Schlechtes Verteilkonzept [Frey et al., 1994, DB.8+10]
10% d. Nutzenergie sind Verteilverluste	32	Sehr gutes Verteilkonzept [Frey et al., 1994, DB.8+10]
20% d. Nutzenergie sind Verteilverluste	35	Heime, Wohnungen (<17 WE), hoher Wasserbedarf Gutes Verteilkonzept [Frey et al., 1994, DB.8+10]
30% d. Nutzenergie sind Verteilverluste	38	Mittleres Verteilkonzept [Frey et al., 1994, DB.8+10]
50% d. Nutzenergie sind Verteilverluste	44	Schlechtes Verteilkonzept [Frey et al., 1994, DB.8+10]
30 m <sup>3</sup> (mit 80 kWh/m <sup>3</sup> ) pro WE oder 38 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNFL</sub> )	30	Faustformel der FW-Wien. Davon etwa 1/3 Verteilverluste. [FW-Wien, 2007b] Annahme: WNFL = 80%·BGF
50 % Nutzungsgrad Warmwasserverteilung und -speicherung	13	24(33+0,83·WNFL) [kWh/a] Abschätzungswert f. WHA [Oberhuber et al., 1994, S. 213]

Anmerkung: WE Wohnungseinheit

### 6.2.3 Lüftungsenergiebedarf

Der geplante Bedarf an elektrischer Energie für die dezentralen Lüftungsgeräte liegt bei 23.547 kWh/a bzw. 3,1 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>·a) und wurde mittels folgenden Annahmen berechnet:

- Leistungsaufnahme von 0,32 W/(m<sup>3</sup>/h).
- Energiebezugsfläche mit 2,5 m Raumhöhe.
- Luftwechselzahl von 0,43 h<sup>-1</sup>.
- Ganzjähriger Betrieb mit 30 m<sup>3</sup>/(h·Pers) bzw. 160 m<sup>3</sup>/(h·Gerät). Sommerbetrieb für die Raumluftkühlung<sup>9</sup>

Bezogen auf die Bruttogeschossfläche beträgt der Strombedarf 2,24 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a). Bezogen auf die tatsächlich belüftete Fläche von 6416 m<sup>2</sup> (Erdgeschoss bis Dachgeschoss. Wohnnutzfläche inkl. Gemeinschaftsräume exkl. Putzräume) beträgt der Strombedarf 3,67 kWh/(m<sup>2</sup><sub>bel.Fl.</sub>·a). Diese Berechnung berücksichtigt nicht die Reduktion des Volumensstroms auf 2/3 des Standardwerts - entspricht 20 m<sup>3</sup>/(h·Pers) bzw. 110 m<sup>3</sup>/(h·Gerät) - bei Außentemperaturen von unter 0 °C.

## 6.3 Außenklima

Für die Berücksichtigung der lokalen Klimaverhältnisse wird unter anderem die Kennzahl Heizgradtage (HGT<sub>20/12</sub>) eingesetzt. Der HGT<sub>20/12</sub>-Wert gibt den Unterschied zwischen Außenlufttemperatur und Raumlufttemperatur (20 °C) in der Heizsaison an, wobei angenommen wird, dass ab einer Außenlufttemperatur von 12 °C (Durchschnitt über 48 Stunden) die Heizung betrieben wird.

Annahme in der Planung (PHPP) für den HGT<sub>20/12</sub>:

- 85 kKh (entspricht 3542 K.d) für das Monatsverfahren und
- 77,3 kKh (entspricht 3220,9 K.d) für das Jahresverfahren

Das Energieberater-Handbuch (EB-H, 1994) enthält für Wien-Leopoldstadt einen Wert von 3319 K.d. Dieser Wert entspricht dem Wert aus dem bisherigen OIB-Leitfaden [OIB, 1999, Anhang] für die Berechnung von Heizwärme-Energiekennzahlen.

Laut Mitteilungen der Fernwärme Wien (basierend auf Messdaten der ZAMG – Messstation Hohe Warte) liegt der 30-jährige Mittelwert der Heizgradtage (HGT<sub>20/12</sub> 1976/77-2005/06 jeweils von Okt. bis Sept.) für Wien bei 3.134 K.d (um ca. 11,5 % niedriger als der Planungs-

---

<sup>9</sup> Der Hersteller [Drexel, 2008] empfiehlt, den Betrieb der Lüftungsgeräte außerhalb der Heizsaison auf minimaler Stufe zu führen, da dieser aus energetischen Gründen nicht notwendig ist und wenig zusätzlichen Komfort verspricht. Hinsichtlich einer komplette Abschaltung wird aus hygienischen Gründen abgeraten.

wert für das PHPP-Monatsverfahren. Das Minimum liegt bei 2.802 K.d und das Maximum liegt bei 3.675 K.d.

Die Heizgradtage für das Energiemonitoring der Molkereistraße lauten wie folgt. Der Wert in Klammern zeigt den relativen Unterschied zum Planungswert-Monatsverfahren von 3542 K.d.

- 3268 K.d (- 7,74 %) für die Heizperiode Okt.2005 - Sept.2006
- 2952 K.d (- 16,7 %) für das Kalenderjahr 2006
- 2336 K.d (- 34,0 %) für die Heizperiode Okt.2006 - Sept.2007. Damit um 17 % unter dem Minimalwert von 1976/77-2005/06.
- 2751 K.d (- 22,3 %) für das Kalenderjahr 2007
- 2851 K.d (-19,5 %) für die Periode 2006 bis 2007
- 2802 K.d (- 21 %) für die letzten zwei Heizperioden (2005/06-2006/07)

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Heizgradtage in den letzten 46 Jahren für Wien. Anhand der linearen Trendlinie ist ein leicht fallender Trend von ca. 0,35 % (entspricht 9,7 K.d) erkennbar. Jedoch weichen die jährlichen Werte deutlich von der Trendlinie ab.

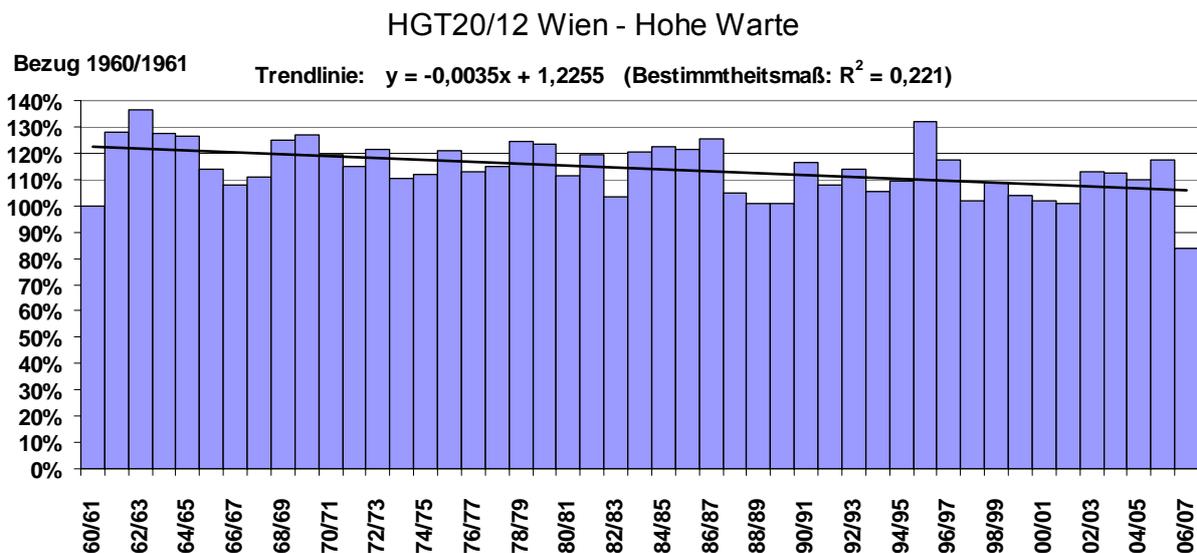


Abbildung 15: Verlauf der  $HGT_{20/12}$  für Wien in der Periode 1960 - 2007 (Messstation Hohe Warte, bezogen auf Energiewirtschaftsjahr Oktober bis September, Rohdaten von ZAMG)

Die tatsächlichen Strahlungswerte (direkte und diffuse Strahlung) wurden nicht berechnet, da die solaren Gewinne des Studentenheims laut PHPP-Berechnung sehr gering sind (siehe Kapitel 6.2).

## 6.4 Gemessene Leistung

Der Fernwärmepreis für die Molkereistraße ist leistungsgebunden. Die Umrechnung auf einen Endenergie bezogenen Preis (€/MWh) erfolgt mittels den tatsächlichen Volllaststunden. Bei Passivhäusern kann der Wert der Volllaststunden niedriger liegen als bei vergleichbaren Niedrigenergiehäusern. Dadurch kann sich für Passivhäuser ein entsprechend schlechterer Tarif ergeben. Für die Molkereistraße lag der Endenergie bezogene Preis in der Periode 01.09.2005 bis 31.08.2006 bei 67,4 €/MWh (inkl. USt.) in der Periode 01.09.2005 bis 31.08.2006 bei 71,4 €/MWh (inkl. USt.).

Von der ausführenden Haustechnikfirma (Fa. Hofer) wurde in der Planung eine Leistung von 316 kW ermittelt. Daraus abgeleitet wurde der für die Fernwärmeverrechnung maßgebliche Anschlusswert von 276 kW, welcher die maximale Kapazität widerspiegelt.

Das Energiemonitoring in der Periode vom 24.02.2007 bis 31.01.2008 wurde hinsichtlich der maximalen Fernwärmeleistung pro Viertelstunde am Übergabezähler ausgewertet. Der maximale Wert von 214,2 kW wurde am 17.01.2008 um 14:00 gemessen, nach einem 3-stündigen Total-Ausfall der Fernwärmeversorgung. Für die statistische Auswertung wurde dieser Wert nicht berücksichtigt. Der 2.-höchste Wert lag bei 193 kW. Weitere Ergebnisse befinden sich in folgender Tabelle.

*Tabelle 4: Statistische Auswertung der gemessenen Leistungszahlen (pro Viertelstunde) am Fernwärmeübergabezähler*

Statistische Kennzahlen	Leistung FWÜZ [kW]	Bemerkung
Leistung - Maximum	193	Ausfall am 17.01.08 nicht berücksichtigt
Leistung - Mittel	65	Arithmetischer Mittelwert
Leistung - Median	62	Zentralwert
90%-Quantil	122	10 % der Messwerte liegen darüber
95%-Quantil	137	5 % der Messwerte liegen darüber
99%-Quantil	161	1 % der Messwerte liegen darüber
99,9%-Quantil	178	0,1 % der Messwerte liegen darüber
99,99%-Quantil	188	0,01 % der Messwerte liegen darüber
<b>Anzahl der Messwerte, die den jeweiligen Kennwert überschreiten</b>		<b>Kennwert</b>
3 Messwerte		190 kW
26 Messwerte		180 kW
114 Messwerte		170 kW
388 Messwerte		160 kW
861 Messwerte		150 kW
64991 Messwerte		0 W

Nach Rücksprache mit dem Haustechnikplaner (team gmi) sind Leistungsspitzen vor allem in den Morgenstunden (ca. 8:00 - 10:00) während Kaltperioden zu erwarten. Die Messungen bestätigten diese These und zeigten weiters, dass Leistungsspitzen auch in den frühen Nachmittagsstunden (14:30 - 15:00) und in den Abendstunden (ca. 20:00) auftraten. Da eher das Warmwasser als die Raumheizung zu Leistungsspitzen führt, können laut Haustechnikplaner Halbstundenintervalle oder auch Stundenintervalle für die Berechnung der Leistung aus der Messreihe ausreichen um den Anschlusswert für die Kostenverrechnung zu adaptie-

ren. Die maximalen Leistungszahlen der Halbstundenintervalle und besonders der Stundenintervalle liegen tiefer als die in obiger Tabelle dargestellten Zahlen.

### 6.5 Gemessener Energieverbrauch

Die folgenden Abbildungen zeigen den gemessenen Energieverbrauch pro m<sup>2</sup> Bruttogeschossfläche. Die Messperiode startete kurz vor Februar 2007. Die Daten vor Beginn der Messungen wurden mittels monatlichen Abrechnungsdaten und den Informationen aus der Messperiode (mittlerer Endenergieverbrauch für Warmwasser bei Vollbelegung von ca. 40 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> a)) rückgerechnet.

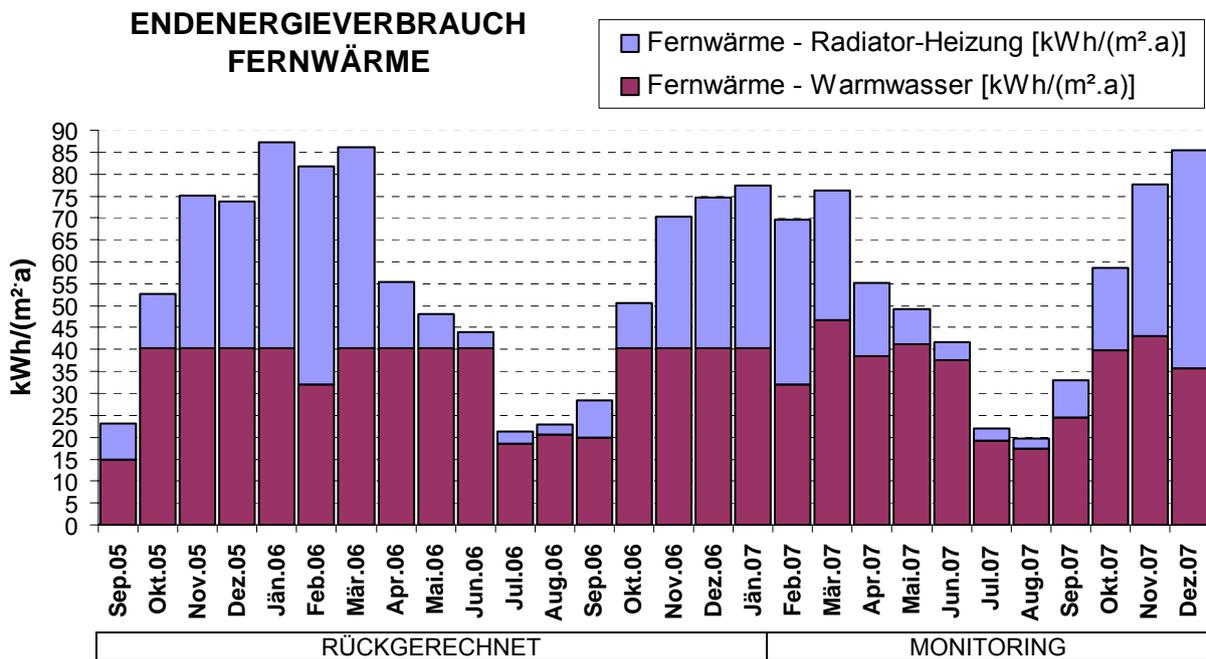


Abbildung 16: Endenergieverbrauch an Fernwärme pro m<sup>2</sup> Bruttogeschossfläche

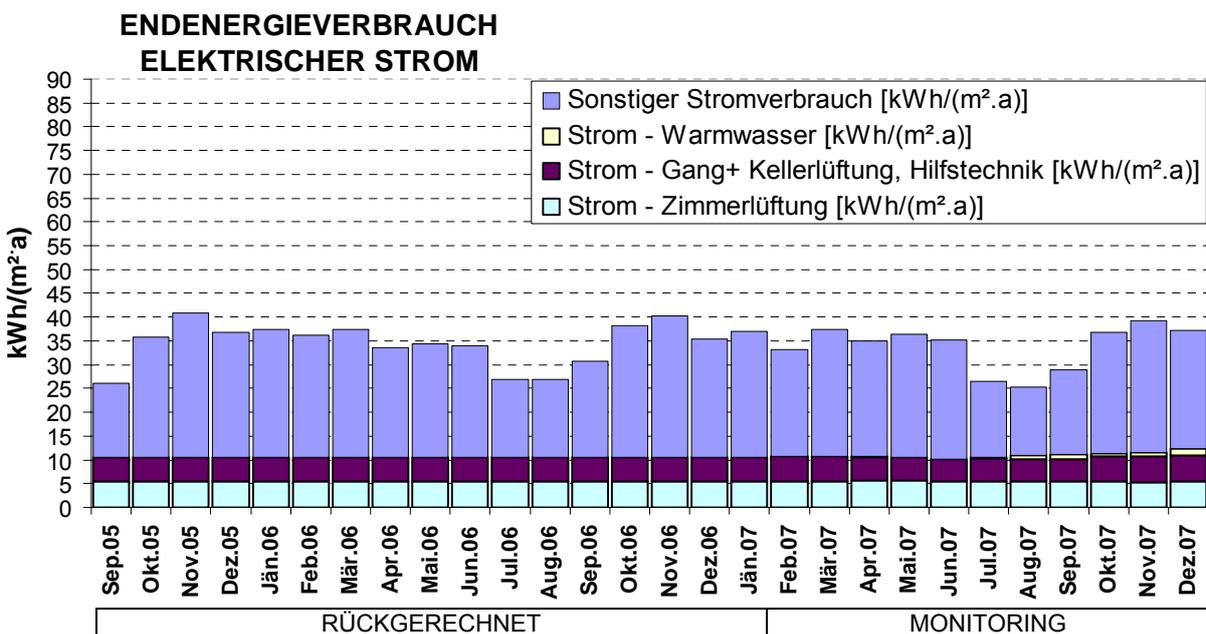


Abbildung 17: Endenergieverbrauch an elektrische Energie pro m<sup>2</sup> Bruttogeschossfläche

Aus den vorhergehenden Abbildungen wurden die folgenden Ergebnisse abgelesen:

- In den Monaten Juli, August und September war die niedrigere Belegung (bzw. Abwesenheit durch Urlaub) anhand des niedrigeren Strom- und Warmwasserverbrauchs deutlich erkennbar. In den Monaten Dezember und Februar war dieses Phänomen ebenfalls erkennbar, wenn auch in geringerer Ausprägung. Eine niedrigere Belegungszahl in den Wintermonaten bewirkte eine Reduktion der internen Wärmegewinne was wiederum zu einem höheren Heizenergieverbrauch führte.
- In den Sommermonaten verursachte die Heizung ebenfalls einen geringfügigen Energieverbrauch. Dieses Phänomen hat nichts mit dem Passivhauskonzept zu tun, sondern ist eine reine Frage der Regelungseinstellungen der Heizanlage.
- Der Heizenergieverbrauch (Endenergie) in der Periode 09.2005-08.2006 lag deutlich höher ( $22 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \text{ a})$ ) als in der Periode 09.2006-08.2007 ( $18 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \text{ a})$ ; Reduktion um 16 %). Der höherer Verbrauch 2006/07 kann mehrere Ursachen haben:
  - Erstmalige Aufwärmung zu Beginn der Nutzung
  - Restliche Baufeuchte aus Stahlbetonbauteilen und Estrich
  - Milder Winter im Jahr 2006/07. Die Heizgradtage ( $\text{HGT}_{20/12}$ ) für Wien - Hohe Warte lagen in der Periode 09.2006-08.2007 um 28,5 % niedriger als in der Periode 09.2005-08.2006. Der relative Unterschied der Heizgradtage ist nicht direkt proportional zum Heizenergiebedarf, da die Heizgradtage keinen Einfluss auf solare und interne Gewinne aufweisen. Diese Gewinne haben insbesondere bei Passivhäusern und Solarhäusern einen deutlichen Einfluss auf den Heizwärmebedarf (und Heizwärmeverbrauch).
- Der Endenergieverbrauch für Warmwasser liegt deutlich über dem Heizenergieverbrauch. Dafür existieren folgende Erklärungen:
  - Das Passivhauskonzept für die Molkereistraße enthielt keinen Zielwert für den Warmwasserenergiebedarf. Dies kann eine Erklärung dafür sein, dass diese Energiebedürfnisse in derselben Höhe wie bei konventionellen Gebäuden lagen. Aufgrund der erfolgreichen Einsparung an Heizenergie in der Molkereistraße lag der Endenergieverbrauch für Warmwasser höher als der Wert für Raumheizung. Der diesbezügliche Vergleich mit anderen Studentenheimen zeigte, dass die Werte der Molkereistraße in einem eher günstigen Bereich lagen, was z.B. auf das energieeffiziente Verteilsystem zurückzuführen sein kann.
  - Studentenheime haben eine höhere Belegungsdichte als der durchschnittliche Wohnbau (aber einen ähnlichen Wert wie großvolumige Mehrfamilienhäuser), was zu einem flächenbezogenen höheren Warmwasserenergieverbrauch führt. Die Molkereistraße bietet  $24 \text{ m}^2$  Nutzfläche pro Person. Der Durchschnitt für Wohngebäude in Österreich liegt bei  $38 \text{ m}^2$  im Jahr 2001 [Lexner, 2004], also um knapp 60 % höher (Der Mittelwert für Österreich entspricht laut Statistik

Austria relativ genau dem Mittelwert für Wien). Die Nutzflächenzahl von anderen Wiener Studentenheimen liegt etwas tiefer oder in der Nähe des Wertes der Molkereistraße: Comeniusgasse (Baujahr 1996): 18 m<sup>2</sup>/Pers.; Tigergasse (Baujahr 2000): 20 m<sup>2</sup>/Pers.; Simmeringer Hauptstraße (Baujahr 2005): 26 m<sup>2</sup>/Pers..

- Das elektrische Begleitheizungsband für die Reduktion der Verluste aus der Warmwasserverteilung war durch eine regelungstechnische Falscheinstellung bis Juli 2007 fast nie in Betrieb. Dies kann eine Ursache für den deutlich höheren Verbrauch an Warmwasser sein - ca. 90 L/(Pers.·Tag) - der deutlich über dem Planungswert liegt (25 L/(Pers. ·Tag). Mitte Juli 2007 wurde die Regelung nachjustiert (Sollwert auf ca. 50 °C eingestellt) was einen mittleren elektrischen Energieverbrauch von ca. 0,9 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a) (hochgerechnet auf ein Jahr) verursachte, wobei der Fernwärme-Energieverbrauch für Warmwasser fast exakt auf demselben Niveau blieb. Die Fernwärme Wien schätzt die Energieverluste der Warmwasserverteilung z.B. bei Zirkulationsleitungen auf ca. 1/3 des Warmwasser-Endenergieverbrauchs. Energietechnikplaner geben für Warmwasserverteilung mittels Zirkulation Verluste von etwa 25 % bis 60 % an. Der Haustechnikplaner der Molkereistraße gab einen Verlustanteil von 20 % für die 1-Leiter-Verteilung in der Molkereistraße an, wobei angemerkt wurde, dass diese Abschätzung eher auf der optimistischen Seite liegt. Unter der Annahme, dass die Verteilverluste bei 20 % des Endenergieverbrauchs liegen, müsste der Energieverbrauch für die elektrische Bandbegleitheizung bei etwa 7 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a) liegen um die gesamten Verluste abzudecken, was etwa dem Achtfachen des derzeitigen Werts entspricht. Damit würde der Verbrauch an elektrischer Energie auf ca. 41 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a) ansteigen und die Bandbegleitheizung hätte einen Anteil von ca. 17 %.

Die folgenden Tabellen zeigen den tatsächlichen mittleren Endenergieverbrauch pro Kalenderjahr ohne Klimabereinigung des Heizenergieverbrauchs. Die ersten zwei Betriebsjahre - 2006 und 2007 - wurden ausgewertet. Die Aufteilung der Fernwärme auf Heizung und Warmwasser für das Jahr 2006 wurde grob abgeschätzt, basierend auf den Ergebnissen der Warmwassermessung 2007.

Tabelle 5: Endenergieverbrauch Molkereistraße für das Jahr 2006

Jän. 2006 - Dez. 2006	Endenergie Absolutwert	pro WNFL inkl. Gemein- schaftsräume	pro EBF (lt. PHPP)	pro BGF	pro Person
	MWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> -a)	kWh/(m <sup>2</sup> -a)	kWh/(m <sup>2</sup> -a)	MWh/(cap a)
Fernwärme - Raumheizung (nicht klimabereinigt)	223	33	29	21	0,80
Fernwärme - Warmwasser	364	54	47	35	1,30
Strom - Warm- wasser - Band- begleitheizung	0,39	0,058	0,051	0,037	0,0014
Strom - Lüftung Wohnraum	58	8,6	7,5	5,5	0,21
Strom - Sonstige Lüftung und Hilfs- technikenergie	53	7,9	6,9	5,0	0,19
Strom - Sonstiger Haushaltsstrom	250	37	32	24	0,89
<b>GESAMT</b>	<b>948</b>	<b>142</b>	<b>123</b>	<b>90</b>	<b>3,4</b>

Anmerkung: WNFL Wohnnutzfläche, EBF Energiebezugsfläche nach PHPP, BGF Bruttogeschossfläche. Eine Erläuterung der Flächen befindet sich in Kapitel 6.1.2. Die Werte für wurden mittels monatlichen Abrechnungsdaten und den Informationen aus der Messperiode (mittlerer Endenergieverbrauch für Warmwasser bei Vollbelegung von ca. 40 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> a)) rückgerechnet.

Tabelle 6: Endenergieverbrauch Molkereistraße für das Jahr 2007

Jän. 2007 - Dez. 2007	Endenergie Absolutwert	pro WNFL inkl. Gemein- schaftsräume	pro EBF (lt. PHPP)	pro BGF	pro Person
	MWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	MWh/(cap·a)
Fernwärme - Raumheizung (nicht klimabereinigt)	219	33	28	21	0,78
Fernwärme - Warmwasser	365	55	47	35	1,31
Strom - Warm- wasser - Band- begleitheizung	4,4	0,67	0,58	0,42	0,016
Strom - Lüftung Wohnraum	58	8,6	7,5	5,5	0,21
Strom - Sonstige Lüftung und Hilfs- technikenergie	53	7,9	6,9	5,0	0,19
Strom - Sonstiger Haushaltsstrom	243	36	32	23	0,87
<b>GESAMT</b>	<b>943</b>	<b>141</b>	<b>122</b>	<b>90</b>	<b>3,4</b>

Anmerkung: WNFL Wohnnutzfläche, EBF Energiebezugsfläche nach PHPP, BGF Bruttogeschossfläche. Eine Erläuterung der Flächen befindet sich in Kapitel 6.1.2. Die Werte für Jänner 2007 (vor Beginn der Messperiode. 01.02.2007) wurden mittels monatlichen Abrechnungsdaten und den Informationen aus der Messperiode (mittlerer Endenergieverbrauch für Warmwasser bei Vollbelegung von ca. 40 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a)) rückgerechnet.

Der gesamte Endenergieverbrauch (nicht standardisiert) liegt mit ca. 122 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>·a) deutlich über dem Richtwert für Passivhäuser von 42 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>·a). Allein der Endenergieverbrauch für Warmwasser liegt in beiden Betriebsjahren über diesem Wert.

Der Stromverbrauch liegt mit durchschnittlich 34 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a) oder 1,3 MWh/(cap·a) auf eher hohem Niveau. Dies liegt vor allem an der gehobenen Ausstattungsqualität (jedes Zimmer verfügt über ein TV-Gerät und über einen Internetanschluss) und an dem hohen Anteil an Lüftungsstrom. Nach Besichtigung der wichtigsten Stromverbraucher wurde folgendes festgestellt:

- Der Stromverbrauch für die **dezentralen Lüftungsgeräte** beträgt 5,5 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a) und hat einen Anteil von ca. 16 % des gesamten Stromverbrauchs. Bezogen auf die tatsächlich belüftete Fläche beträgt der Stromverbrauch 9,0 kWh/(m<sup>2</sup><sub>Bel.Fl.</sub>·a). Damit liegt dieser Stromverbrauch in einem für ein Passivhaus hohem Niveau. Eine wahrscheinliche Ursache hierfür sind belegte Filter die zu höheren Druckverlusten führen (siehe Kapitel 6.6).

- Der Stromverbrauch für die elektrische Bandbegleitheizung beträgt ca. 3 % (in der Periode von Juli bis Dezember 2007) und dient der Reduktion der Warmwasserverluste.
- Der Stromverbrauch für die **zentralen Lüftungsgeräte** konnte aus messtechnischen Gründen nur gemeinsam mit dem **Hilfstechnikenergieverbrauch** (Stromverbrauch für Pumpen, Schaltschrank und Regelungstechnik) gemessen werden und beträgt insgesamt ca. 15 %. Die Filter der zentralen Lüftungsgeräte werden von der Wartungs- bzw. Servicefirma getauscht. Seit Ende 2007 liegen Informationen (Wartungs- bzw. Serviceprotokolle) betreffend Filtertausch vor, aus denen jedoch die Häufigkeit des Filtertausches noch nicht bestimmt werden kann.
- Im zentralen Waschraum im Keller sind fünf **Waschmaschinen** (Miele Professional PW 5065) und fünf **Wäschetrockner** (Miele Professional PT 5135 C) vorhanden die häufig genutzt werden (ca. 38 Waschgänge pro Tag). Der Energieverbrauch der Waschmaschinen und Trockner liegt grob abgeschätzt bei etwa 10-20 % des gesamten Stromverbrauchs, wobei davon etwa  $\frac{3}{4}$  von den Wäschetrocknern verursacht wurden.
- Jedes Zimmer ist mit einem **TV-Gerät** ausgestattet (60 W Röhrenbildschirm) und verfügt über einen **Internetanschluss**. Der Stromverbrauch für TV-Gerät und PC bzw. Notebook liegt grob abgeschätzt bei etwa 5-30 % des gesamten Stromverbrauchs,
- Der sonstige Verbrauch an elektrischer Energie beträgt ca. 16 - 52 %. Aufgrund von Hinweisen von Energieplanern kann davon ausgegangen werden, dass dieser Wert einen hohen Anteil für die Beleuchtung enthält.

Im EU-Projekt CEPHEUS wurden Stromsparkonzepte für Passivhäuser behandelt (siehe unter anderem [Feist et al., 2001]). Energieeffiziente Haushaltsgeräte sind unter folgenden Adressen zu finden:

<http://www.topprodukte.at>

<http://www.topten.ch/>

<http://www.spargeraete.de/>, <http://www.spargeraete.de/eanrw>

<http://www.energiesparende-geraete.de/>

## 6.6 Primärenergieverbrauch (nicht erneuerbar) und Treibhausgasemissionen

Der Endenergieverbrauch weist starke monatliche Schwankungen auf. Der Primärenergie-träger-Mix von elektrischer Energie und Fernwärme unterliegt ebenfalls starken monatlichen Schwankungen (siehe Abbildung 18). Um realistische Bewertungsergebnisse hinsichtlich Primärenergie und Treibhausgasemissionen zu liefern, ist daher ein Monatsverfahren zur Berechnung von Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen einzusetzen. Es liegen jedoch derzeit noch keine Literaturwerte für Primärenergieaufwand und Treibhausgasemissionen auf Monatsbasis vor. Die hier präsentierten Ergebnisse wurden jeweils mit durchschnittlichen Werten für ein Jahr berechnet und sind daher nur eingeschränkt aussagekräftig.

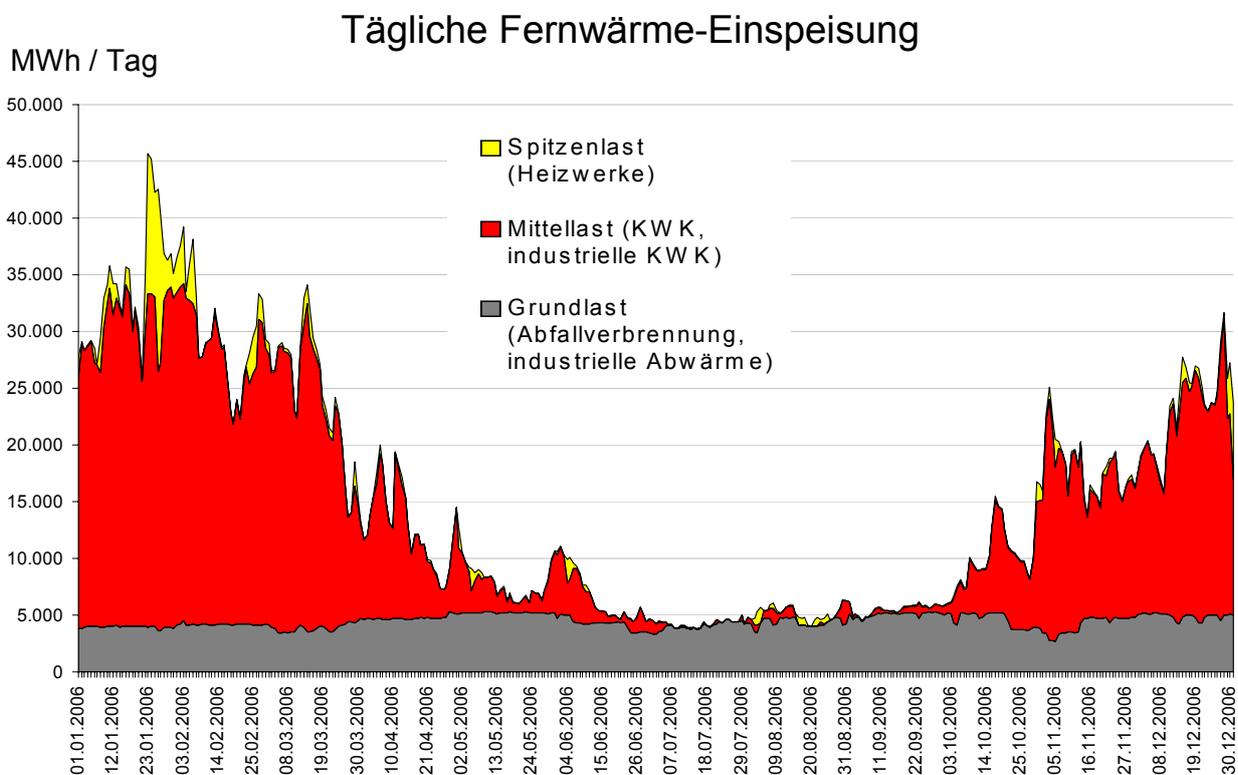


Abbildung 18: Fernwärme Wien. Jahresverlauf der Energieumwandlung 2006. Übernommen von [FW-Wien, 2007b]

Als Datenbasis für die Bewertung des Endenergieverbrauchs hinsichtlich Schonung von Energieressourcen und Klimaschutz dient die Datenbank GEMIS V.4.42 mit Prozessdaten für Österreich [UBA, 2007]. In dieser Datenbank werden auch vorgelagerte Prozesse wie beispielsweise Gewinnung, Aufbereitung, Umwandlung und Transport von Energieträgern berücksichtigt.

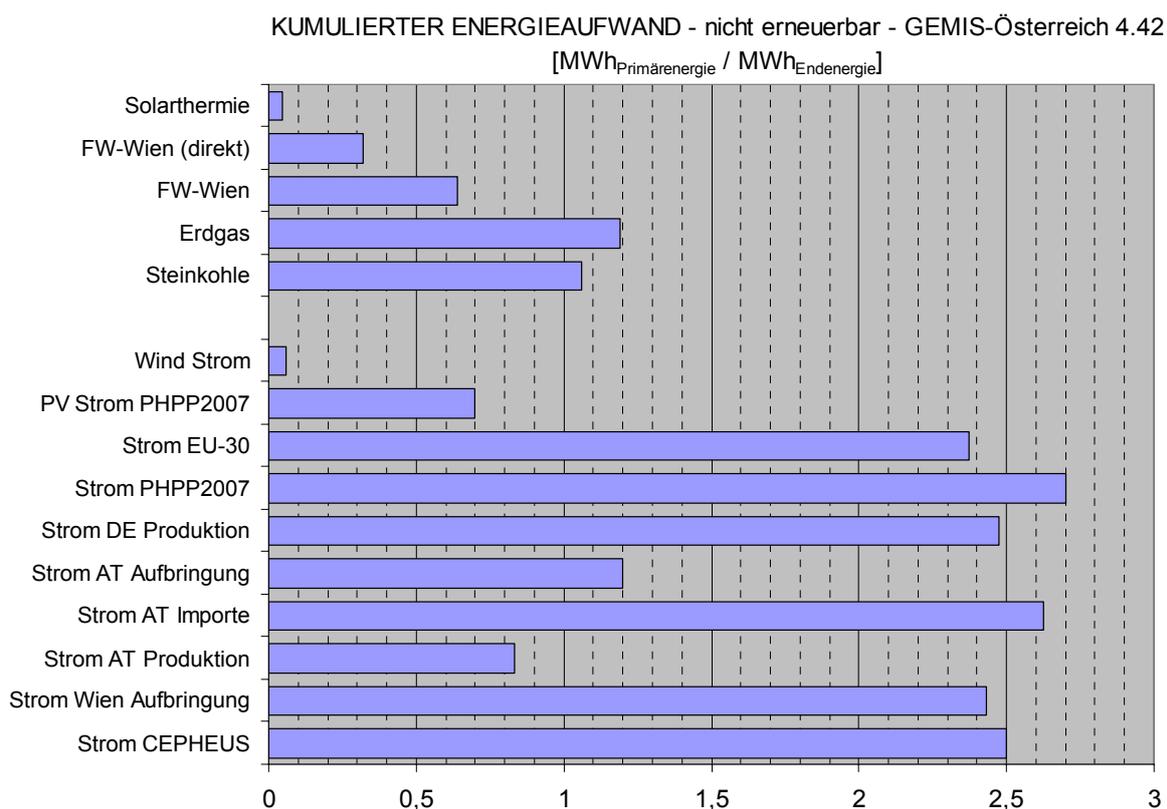


Abbildung 19: Primärenergiefaktoren von Energieträgern nach GEMIS 4.42 [UBA, 2007] und PHPP-2007 (Passivhaus-Projektierungspaket)

Anmerkungen: Der Primärenergie „FW-Wien (direkt)“ stammt aus dem Nachhaltigkeitsbericht der FW-Wien [FW-Wien, 2007a] und lässt die indirekten Emissionen der vorgelagerten Prozesse unberücksichtigt. Daher ist dieser Wert mit den Faktoren der anderen Energieträger nicht vergleichbar.

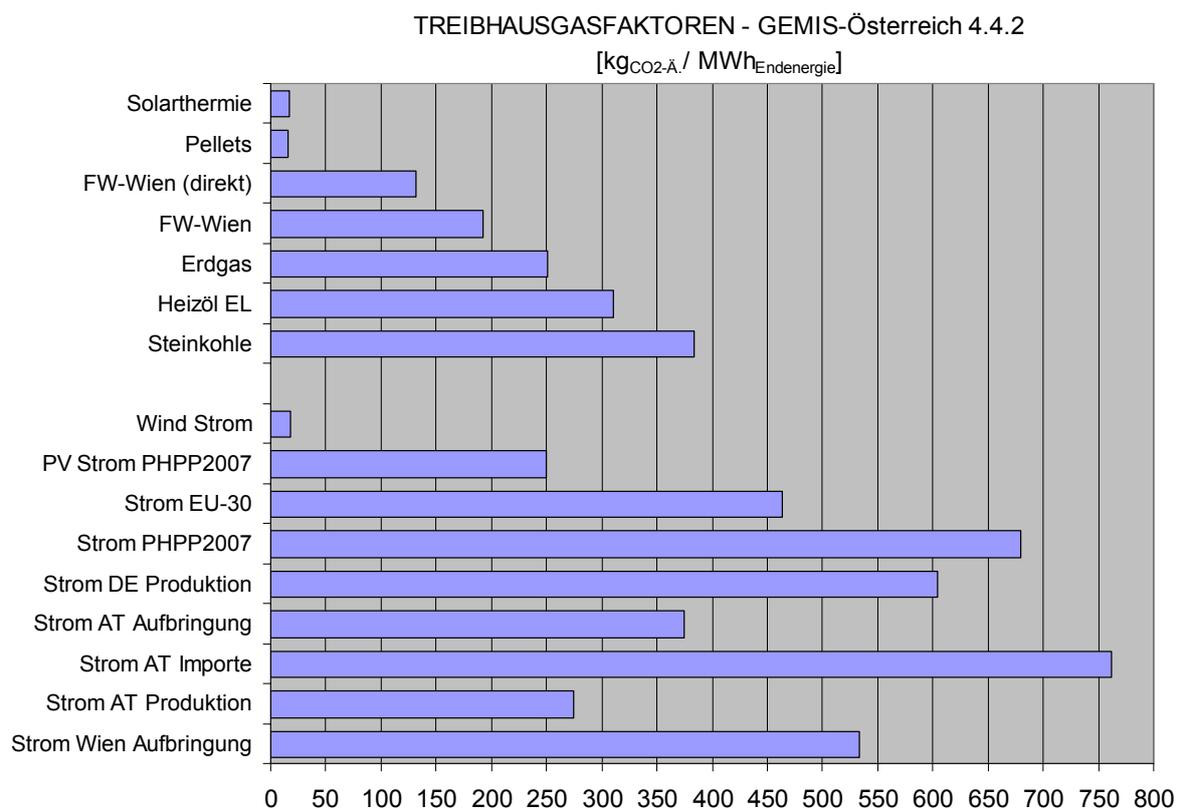


Abbildung 20: Treibhausgasfaktoren von Energieträgern nach GEMIS 4.42 [UBA, 2007] und PHPP-2007 (Passivhaus-Projektierungspaket)

Anmerkungen: Der Treibhausgasfaktor „FW-Wien (direkt)“ stammt aus dem Nachhaltigkeitsbericht der FW-Wien [FW-Wien, 2007a] und lässt die indirekten Emissionen der vorgelagerten Prozesse unberücksichtigt. Daher ist dieser Wert mit den Faktoren der anderen Energieträger nicht vergleichbar.

Der THG-Faktor (Treibhausgasfaktor) der Fernwärme-Wien wurde in den letzten Jahren drastisch reduziert und wird laut Prognose der FW-Wien auch in den kommenden Jahren weiter sinken. Folgende Abbildung zeigt den Verlauf des THG-Faktors für direkte THG-Emissionen (ohne Berücksichtigung vorgelagerter Prozesse).

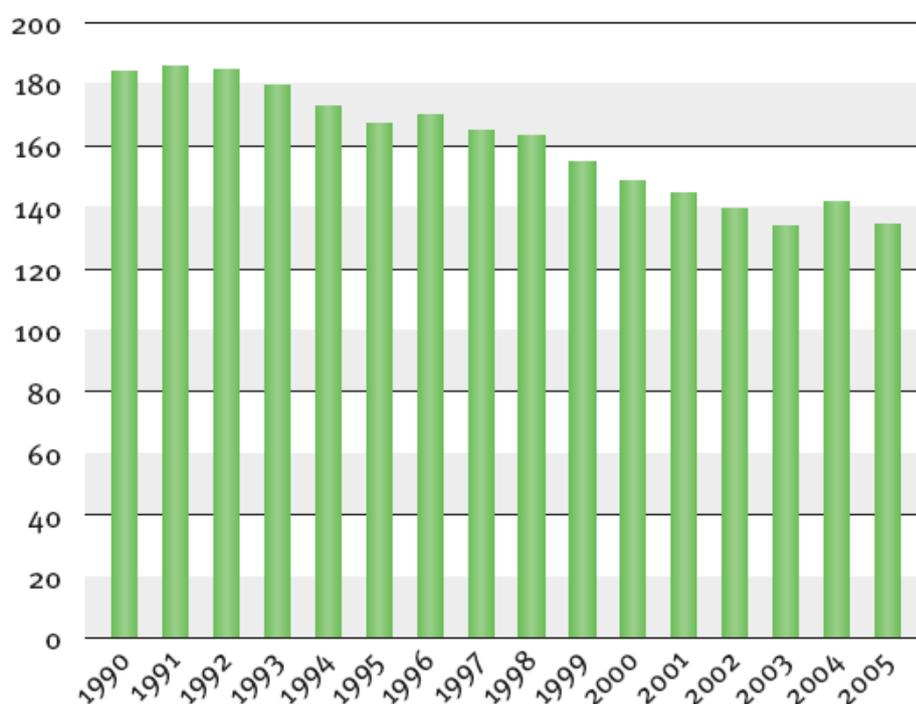


Abbildung 21: Entwicklung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (ohne vorgelagerte Prozesse) in kg CO<sub>2</sub> pro MWh Endenergie (verkaufte Fernwärme) der Fernwärme Wien von 1990 bis 2005. Übernommen aus [FW-Wien, 2007a]

Aufgrund der Veränderung der Treibhausgasfaktoren für die Fernwärme (selbiges gilt für elektrische Energie) sind Gebäudebewertungen hinsichtlich Klimaschutz periodisch auf aktuellen Stand zu bringen. Dies betrifft ebenso Bewertungen hinsichtlich Primärenergieeffizienz.

In der Literatur wird der Primärenergieverbrauch (bzw. kumulierter Energieaufwand) in der Regel für den nicht erneuerbaren Anteil ausgewiesen. Dies gilt ebenso für die derzeitige Praxis der Bewertung der grauen Energie der Gebäudehülle im Rahmen der Wohnbauförderung einiger österreichischer Bundesländer (Der OI3-Index enthält den nicht erneuerbaren Primärenergieanteil). Die folgende Abbildung zeigt den kumulierten Energieaufwand der Wiener Stromaufbringung, wobei sowohl die Stromerzeugung in Wien als auch Stromimporte nach Wien berücksichtigt wurden. Für die Bewertung der Primärenergie in vorliegender Studie wurde ausschließlich der nicht erneuerbare Anteil (Atomkraft und fossile Energieträger) ausgewiesen.

Kumulierter Energieaufwand der Wiener Stromaufbringung 2005  
(KEA-gesamt = 2,59 kWh/kWh)

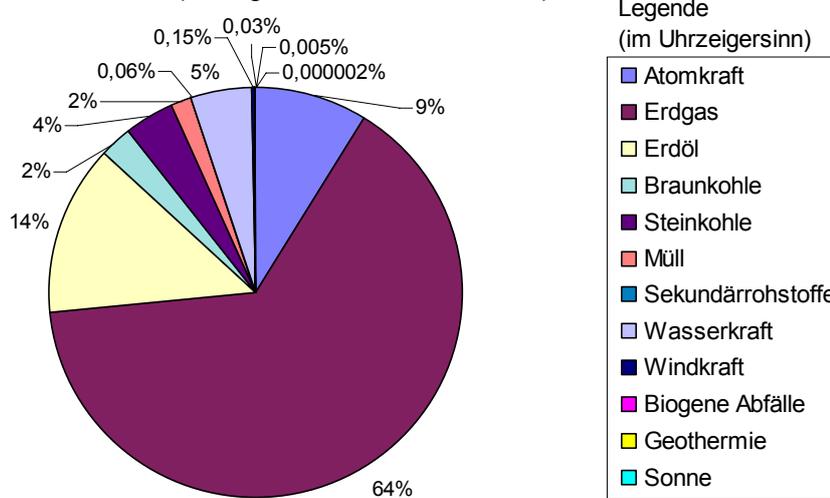


Abbildung 22: Anteile der Energieträger am kumulierten Energieaufwand (Primärenergie) der Wiener Stromaufbringung 2005 unter Berücksichtigung von Stromimporten. Daten aus GEMIS V. 4.42 [UBA, 2007]

Kumulierter Energieaufwand  
der Österreichischen Stromaufbringung 2004  
(KEA-gesamt = 1,75 kWh/kWh)

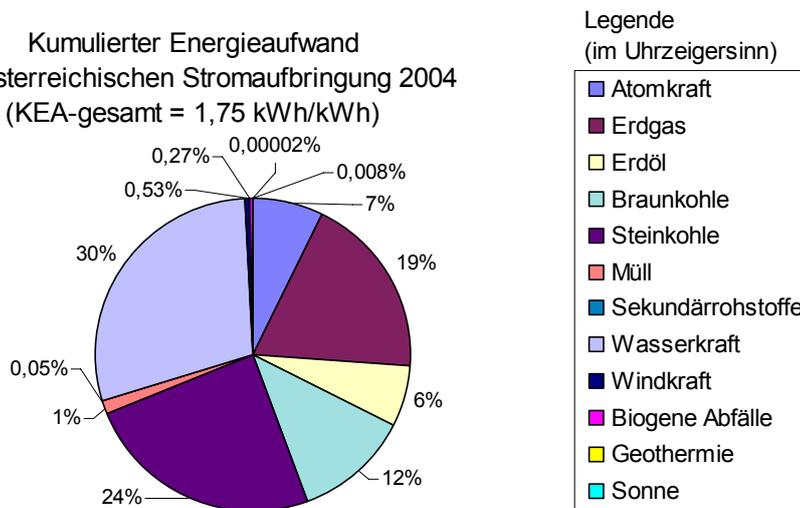


Abbildung 23: Anteile der Energieträger am kumulierten Energieaufwand (Primärenergie) der Österreichischen Stromaufbringung 2004 unter Berücksichtigung von Stromimporten. Daten aus GEMIS V. 4.42 [UBA, 2007]

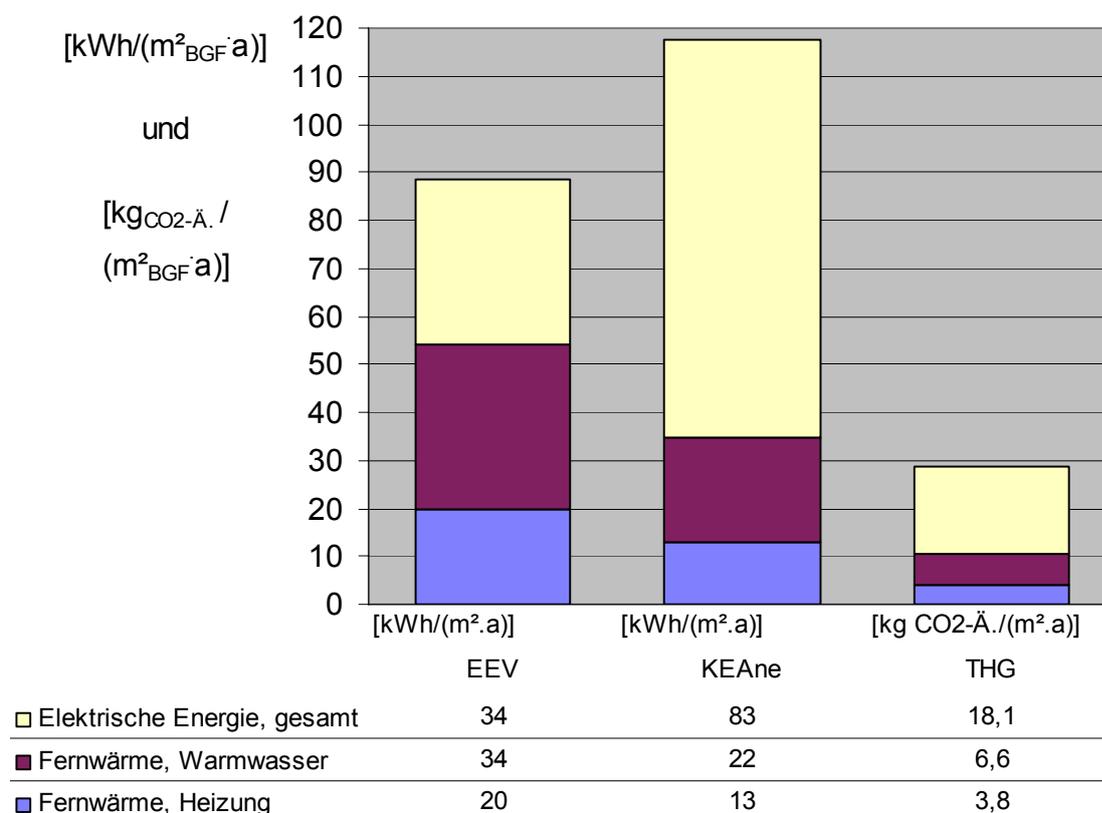


Abbildung 24: Endenergieverbrauch (EEV), nicht erneuerbarer Primärenergieverbrauch (KEA<sub>ne</sub>) und Treibhausgasemissionen (THG) der Molkereistraße. Mittelwert von Sept.2005 - Aug.2007 pro Bruttogeschossfläche.

Die Abbildung 24 zeigt den Einfluss von Heizung, Warmwasser und gesamten Stromverbrauch auf den Primärenergieverbrauch und den Treibhausgasausstoß. Der Zielwert für den Primärenergiebedarf von Passivhäusern liegt unter 120 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> a). Das Studentenheim Molkereistraße hatte in den ersten zwei Betriebsjahren einen Primärenergieverbrauch von 160 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> a) und liegt damit um etwa ein Drittel über dem Zielwert. Allerdings ist es gut denkbar, dass mit den identifizierten Einsparungen der Primärenergie-Zielwert in Zukunft erreicht wird. Bei einem Vergleich von Gebäuden innerhalb Österreichs können GEMIS-Faktoren für den österreichischen Strom-Mix zugrunde gelegt werden. Mit diesen Werten ergibt sich ein Primärenergieverbrauch (nicht erneuerbar) von 76 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> a) bzw. 103 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> a) welcher unterhalb des Richtwerts für Passivhäuser liegt.

Aufgrund der effektiven Reduktion des Energieverbrauchs für die Beheizung haben Warmwasser und insbesondere der Stromverbrauch eine dominierende Stellung. Elektrische Energie ist hinsichtlich der Schonung von Energieressourcen deutlich wichtiger als Fernwärme. Der kumulierte Energieaufwand für nicht erneuerbare Energieträger (KEA<sub>ne</sub>) beträgt für die Fernwärme Wien 0,64 kWh/kWh und für die Wiener Stromaufbringung (inkl. Importe) 2,43 kWh/kWh, also annähernd das Vierfache. Der kumulierte Aufwand von Atomkraft an der Wiener Stromaufbringung 2005 beträgt 0,235 kWh Atomkraft pro kWh elektrische Energie und liegt damit auf einem deutlich höheren Niveau als der kumulierte Aufwand von erneuerbaren Energieträgern, welcher 0,131 kWh/kWh beträgt.

Der durch den Stromverbrauch für die dezentralen Lüftungsgeräte in den ersten Betriebsjahren verursacht Primärenergieverbrauch liegt etwa auf demselben Niveau wie der Primärenergieverbrauch für die gesamte Raumbeheizung (exkl. Hilfsenergie wie z.B. Pumpenstrom). Die Treibhausgasemissionen durch den Betrieb der dezentralen Lüftungsgeräte liegen bei etwa drei Viertel des Werts der Raumbeheizung. Bei einem Vergleich mit konventionellen Gebäuden oder Niedrigenergiehäusern ist jedoch zu beachten, dass in den meisten Wohngebäuden ebenfalls eine Lüftungsanlage für Bad, WC und Küche eingebaut ist und dass diese Lüftungsanlage meistens eine geringere Energieeffizienz aufweist als die optimierten Lüftungsanlagen für Passivhäuser. Messungen des Niedrigenergie-Baukörpers des Studentenheims Burse in Wuppertal zeigten, dass der Stromverbrauch für die bedarfsabhängige Lüftung der Sanitärräume  $2,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a})$  bzw.  $1,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$  beträgt [Engelmann et al., 2008].

Elektrische Energie ist ebenfalls hinsichtlich des Klimaschutzes deutlich einflussreicher als Fernwärme. Der Treibhausgasfaktor beträgt für die Fernwärme Wien  $192 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/\text{MWh}$  und für die Wiener Stromaufbringung (inkl. Importe)  $533 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/\text{MWh}$ , also annähernd das Dreifache.

## 6.7 Vergleich gemessener Energieverbrauch mit geplantem Energiebedarf

Der tatsächliche Energieverbrauch wurde mit dem berechneten Energieverbrauch für Heizung, Warmwasser und Lüftung verglichen. Informationen betreffend die verschiedenen Flächen (BGF, EBF, WNFL) auf welche die spezifischen Energiemengen bezogen wurden, befinden sich in Kapitel 6.1.2.

### 6.7.1 Heizwärme - Berechnung des standardisierten Nutzenergieverbrauchs aus dem gemessenen Endenergieverbrauch

Der Nutzenergieverbrauch für die Raumbeheizung wurde nicht direkt gemessen, da der messtechnische Aufwand hierfür enorm wäre. Es müsste in einer sehr großen Anzahl von Wohnungen jeweils ein Wärmemengenzähler angebracht werden um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Um den in der Planung berechneten Heizwärmebedarf (HWB) mit dem gemessenen Verbrauch gegenüberzustellen wurde der Endenergieverbrauch für die Raumbeheizung umgerechnet auf Nutzenergieverbrauch unter Standardbedingungen:  $20^\circ\text{C}$  RLT (Raumlufttemperatur); 3542 K.d HGT<sub>20/12</sub> (Heizgradtage). In Absprache mit dem Haustechnikplaner wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Die Verteilverluste der Heizanlage betragen 20-60 % des Endenergieverbrauchs. Dies entspricht einem Nutzungsgrad der Heizwärmeverteilung von 40-80 %. Da bei Passivhäusern der Nutzenergieverbrauch für die Beheizung auf einem sehr niedrigen Niveau liegt, kann der relative Anteil der Verteilverluste höher liegen, als bei Niedrigenergiehäusern. Es kann angenommen werden, dass beim selben Verteilkonzept (gleiche Lei-

tungsführung und Dämmstärke) der Nutzungsgrad der Heizwärmeverteilung bei Niedrigenergiehäusern deutlich höher liegt als bei Passivhäusern.

- Die reale Raumtemperatur beträgt im Mittel (Median) etwa 23,2 °C (siehe Ergebnisse in Kapitel 7.1). Bei einer Raumtemperatur von 23,2 °C liegen die Energieverluste aus Transmission und Lüftung um den Faktor 1,22 höher als bei 20 °C (siehe Kapitel 6.2, Heizwärmebedarf). Mit diesem Faktor wurden die aus der Energieverbrauchsmessung abgeleiteten Transmissions- und Lüftungsverluste abgemindert.
- Die Heizgradtage  $HGT_{20/12}$  für 2007 (Messstation Hohe Warte) liegen bei 2751 K.d und damit um 22,3 % unter dem Wert der für die Planung angesetzt wurde (siehe Kapitel 6.3).
- Die tatsächlichen solaren Gewinne entsprechen den in der Planung angenommenen Werten. Die solaren Gewinne liegen vor allem aufgrund der dichten Verbauung auf einem eher niedrigen Niveau von 3,2 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>·a) (etwa 15 % der Verluste lt. PHPP-Berechnung) und haben daher keinen großen Einfluss. Es wurde angenommen, dass die tatsächlichen solaren Gewinne in der Untersuchungsperiode keinen bedeutenden Unterschied zum Planungswert aufweisen.
- Die tatsächlichen internen Gewinne entsprechen den in der Planung angenommenen Werten. Die tatsächlichen internen Gewinne können mittels Stromverbrauchsmessungen und Belegungszahlen (tatsächlich anwesende Bewohner) berechnet werden. Allerdings müssen dazu die Stromverbrauchswerte aufgeteilt werden in Stromverbrauch in den Wohnungseinheiten (entspricht den internen Gewinnen in den Wohnungseinheiten) und sonstigem Stromverbrauch (interne Gewinne im Kellergeschoss und in Haustechnikschächten). Weiters ist zu beachten, dass der Stromverbrauch für Waschmaschinen und Wäschetrockner interne Gewinne im Waschraum im Kellergeschoss erzeugt, die jedoch zu einem Großteil durch das Abwasser verloren gehen und daher nicht als interne Gewinne für die Heizwärmebilanzierung verbucht werden können. Der hohe Aufwand für die Messung dieser separaten Stromverbräuche um die tatsächlichen internen Gewinne zu berechnen war im Rahmen des Projekts nicht möglich.

### **6.7.2 Exkurs: Gegenüberstellung berechneter Heizwärmebedarf zu gemessenem Heizwärmeverbrauch laut EU-Projekt CEPHEUS**

Im EU-Forschungsprojekt CEPHEUS (Cost Effizient Passive Houses as European Standards; Thermie-Programm der EU [Feist et al., 2001]) wurde der gemessene Energieverbrauch dem geplanten Bedarf gegenübergestellt. Da die Messreihen weniger als ein Jahr liefen, wurde mit Hilfe des Monatsverfahrens (nach EN 832) auf ein volles Jahr hochgerechnet und auf eine Raumtemperatur von 20 °C normiert. Das Außenklima wurde ebenfalls im Monitoring erfasst (Temperatur und horizontale Einstrahlung) und die Heizgradtagzahl wurde für die Evaluierung berücksichtigt.

Diese Vorgehensweise wurde auch für vorliegendes Projekt berücksichtigt. Allerdings bestehen beim Monitoring der Molkereistraße Unterschiede in den methodischen Grundlagen des Monitoring:

- Aufgrund des Ziels, die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes zu bewerten wurde der Endenergieverbrauch und nicht der Nutzenergieverbrauch gemessen.
- Die Messreihen der Molkereistraße sind länger und müssen daher nicht auf ein Jahr hochgerechnet werden.
- Die Klimadaten (Heizgradtage  $HGT_{20/12}$ ) der Messstation Wien - Hohe Warte wurden zur Berücksichtigung des Außenklimas herangezogen.

### 6.7.3 Vergleich gemessener Heizwärmeverbrauch mit geplantem Heizwärmebedarf

In folgender Tabelle wurde der Einfluss von unterschiedlichen Nutzungsgraden der Heizwärmeverteilung dargestellt.

*Tabelle 7: Umrechnung des gemessenen Endenergieverbrauchs für Raumheizung auf Nutzenergieverbrauch bei standardisierten Temperaturbedingungen und Vergleich mit geplantem Heizwärmebedarf.*

HEIZWÄRME	2006		2007	
	pro BGF [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	pro EBF [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	pro BGF [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	pro EBF [kWh/(m <sup>2</sup> a)]
Endenergieverbrauch, gemessen	21	29	21	28

#### ANNAHME NIEDRIGE VERTEILVERLUSTE: 80 % Nutzungsgrad Wärmeverteilung

Nutzenergieverbrauch, reale Temperaturen	17	23	17	23
Nutzenergieverbrauch, Standard-Temperaturen	14	19	15	20

#### ANNAHME HOHE VERTEILVERLUSTE: 40 % Nutzungsgrad Wärmeverteilung

Nutzenergieverbrauch, reale Temperaturen	8	12	8	11
Nutzenergieverbrauch, Standard-Temperaturen	6	9	7	10

#### GEGÜBERSTELLUNG - BERECHNUNG lt. PHPP

Berechneter Nutzenergiebedarf lt. PHPP	6	9	6	9
--	---	---	---	---

Anmerkung: Reale Temperaturbedingungen waren 23,2 °C RLT (Raumlufttemperatur), 2952 K·d  $HGT_{20/12}$  (Heizgradtage) im Jahr 2006, 2751 K·d  $HGT_{20/12}$  im Jahr 2007 gemessen in Wien, Hohe Warte. Standard Temperaturbedingungen waren: 20 °C RLT,  $HGT_{20/12}$ : 3220,9 K·d laut PHPP-Jahresverfahren.

Bei Annahme von hohen Verteilverlusten (40 % Nutzungsgrad Wärmeverteilung) stimmt der temperaturbereinigte Verbrauchswert mit 10 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>·a) sehr gut mit der Bedarfsberechnung überein (9 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>·a)).

Bei Annahme von mittleren Verteilverlusten (60 % Nutzungsgrad Wärmeverteilung) liegt der temperaturbereinigte Verbrauchswert mit  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a})$  auf dem Niveau des Passivhaus-Grenzwerts.

Bei Annahme eines sehr energieeffizienten Verteilkonzepts (80 % Nutzungsgrad Wärmeverteilung) liegt der temperaturbereinigte Heizwärmeverbrauch mit  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a})$  um  $11 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a})$  höher als der geplante Heizwärmebedarf. Unterschiede in dieser Größenordnung sind bei Wohngebäuden durchaus üblich. Da Passivhäuser einen sehr niedrigen Heizwärmebedarf aufweisen erscheint der Unterschied hier höher, als bei einem Gebäude nach Bauordnung mit einem Heizwärmebedarf von beispielsweise  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . Aufgrund von Expertenmeinungen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Nutzungsgrad der Wärmeverteilung in Passivhäusern unter 80 % liegt und damit der Unterschied zwischen gemessenem temperaturbereinigtem Heizwärmeverbrauch und geplantem Heizwärmebedarf deutlich geringer ausfällt

Der Mehrverbrauch an Nutzenergie bei 80 % Nutzungsgrad Wärmeverteilung (optimistische Annahme) kann mehrere Ursachen haben:

- Die Lüftungsenergieverluste sind aufgrund von oftmaliger Fensterlüftung (z.B. längeres Kippen der Fenster) deutlich höher als angenommen. Dadurch können auch benachbarte Wohneinheiten höhere Transmissionswärmeverluste aufweisen als geplant. Laut Erfahrungen der Planer und Passivhausexperten ist davon auszugehen, dass dieser Umstand einen großen wenn nicht den dominierenden Einfluss auf einen höheren Verbrauch darstellt. Durch die Nutzerbefragung und Begehungen wurde festgestellt, dass Fenster tatsächlich über längere Zeiträume gekippt wurden. Dieser Umstand wurde vom Betreiber zum Anlass genommen, in Zukunft die Einschulung der Bewohner hinsichtlich der Funktionsweise des Passivhauses zu intensivieren.
- In Urlaubszeiten (Weihnachtsferien, Semesterferien) sind interne Gewinne kleiner als angenommen und erhöhen dadurch den Heizwärmeverbrauch.
- Die Heizenergie für Allgemeinbereiche wurde in der Planung untergeschätzt. Diese Bereiche betragen etwa 10 % der Nettogrundfläche und die Gebäudehülle ist in diesen Bereichen (z.B. Aula, Dachkuppeln) im Vergleich zur restlichen Gebäudehülle in einer thermisch schlechteren Qualität ausgeführt.
- Die Verteilverluste wurden etwas zu optimistisch mit 20 % abgeschätzt. Für andere Gebäude rechnen Haustechnikplaner zum Teil mit weit höheren Werten (20-60 %). Insbesondere bei Passivhäusern können die Verteilverluste einen hohen relativen Beitrag ausmachen, obwohl deren absoluter Betrag in derselben Größenordnung liegt wie bei Niedrigenergiehäusern.
- Die restliche Baufeuchte aus Stahlbetonbauteilen und Estrich kann laut Erfahrung von Passivhausexperten in den ersten Betriebsjahren einen höheren Energieverbrauch für die Raumheizung verursachen.

Die Messung des Heizenergieverbrauchs bei Mehrfamilienhäusern mit einer hohen Anzahl an Wohnungseinheiten ist mit einem hohen messtechnischen und damit finanziellen Aufwand verbunden. Eine Hochrechnung der Messergebnisse von einer geringen Anzahl an Wohnungen auf das gesamte Gebäude ist meist mit einer sehr hohen Unsicherheit verbunden und liefert daher keine belastbaren Ergebnisse. Da es das übergeordnete Ziel war, die Gesamtenergieeffizienz und den Klimaschutzbeitrag des Gebäudes zu bestimmen, war die messtechnische Bestimmung der Nutzenergie für die Beheizung kein Schwerpunkt.

#### 6.7.4 Endenergie Warmwasser und Lüftung – Gemessener Verbrauch versus geplanter Bedarf

Table 8: Vergleich des gemessenen Endenergieverbrauchs für Warmwasser und Frischluftversorgung der Wohnungseinheiten mit den Planungswerten aus der PHPP-Berechnung

Endenergie	Planungswerte lt. PHPP-Berechnung		Messwerte 2006	Messwerte 2007
	pro EBF [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	pro BGF [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	pro BGF [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	pro BGF [kWh/(m <sup>2</sup> a)]
Warmwasser	23	17	35	35
Frischluftversorgung der Wohnungseinheiten	3,1	2,2	5,5	5,5

Der Endenergieverbrauch für **Warmwasser** liegt deutlich über dem geplanten Wert, jedoch in ähnlicher Höhe wie in anderen Studentenheimen. Die Annahmen in der Planung - 25 L/(Pers.d) á 60 °C mit sehr hohem Nutzungsgrad (80 %) für Verteilung und Speicherung sind deutlich optimistischer als in anderen Literaturstellen dokumentiert (siehe *Table 3*). Ein realistischer Planungsrichtwert für den Nutzenergieverbrauch der Warmwasseraufbereitung in Studentenheimen entspricht in etwa jenem Wert für einen niedrigen bis mittlerem Verbrauch von einem Hotel (Zimmer mit Dusche).

Die **Komfortlüftungsgeräte** verursachen einen deutlich höheren Energieverbrauch (plus 3,3 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a)) als geplant, was unter anderem durch belegte Filter erklärt werden kann. Die Filter in den Geräten wurden seit etwa einem Jahr alle 3 Monate vom Mieter (ÖAD) selbstständig getauscht. Vor dieser Zeit wurde der Filtertausch von der Wartungs- bzw. Servicefirma erledigt, allerdings liegen keine Informationen (bzw. Protokolle) vor, aus denen die Häufigkeit des Filtertausches bestimmt werden kann. Dem Mieter ist nicht bekannt, wann die Filter getauscht wurden. Die Filter bei der Außenluftansaugung für die dezentralen Lüftungsgeräte waren bei der Besichtigung stark belegt, was zu einem erhöhten Stromverbrauch führte. Diese Filter werden von der Wartungs- bzw. Servicefirma getauscht. Es liegen keine Informationen (bzw. Protokolle) vor, aus denen die Häufigkeit des Filtertausches bestimmt werden kann. Dem Mieter ist nicht bekannt wann und ob alle Filter getauscht wurden. Im Zuge des letzten Filtertausches wurde die Wartungs- bzw. Servicefirma aufgefordert, die

ausgetauschten Filter in einem Abstellraum im Keller zu lagern. In diesem Lagerraum wurden Feinfilter (F7) aber keine Grobfilter (G4) vorgefunden. Aufgrund der fehlenden Wartungs-Protokolle und der festgestellten starken Verschmutzung der Grobfilter kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese noch nie gewechselt bzw. gereinigt wurden.

## 7 Analyse des thermischen und hygrischen Komforts sowie der allgemeinen Nutzerzufriedenheit

Die Nutzerbefragung betrifft die Zufriedenheit mit Passivhauskomponenten wie beispielsweise Lüftung, Heizung und Fenster und schließt auch die damit verbundenen Bedürfnisse (z.B. Fensterlüftung) der Bewohner mit ein. Die Befragung wurde durch ein Monitoring des Innenraumklimas begleitet, dessen Ergebnisse in weiterer Folge vorgestellt werden.

### 7.1 Innenraumklima - Temperatur und Luftfeuchte

Im Zeitraum von 20.01.2007 bis 19.05.2007 wurde in 21 Zimmern die Raumlufttemperatur und die Raumluftfeuchtigkeit gemessen und ausgewertet. Der Mittelwert (Median) der gemessenen Raumlufttemperatur in den Monaten Februar und März beträgt jeweils 23,2 °C.

Für die Raumluftfeuchte sind in der Literatur die folgenden Empfehlungen zu finden:

Laut SIA V 382/3 kann die Raumluftfeuchte ohne Komforteinbußen im Bereich von 30-65 % relative Feuchte variieren, auch eine gelegentliche Unterschreitung an wenigen Tagen pro Jahr bis 20 % r.F. sind noch vertretbar. Laut DIN 1946-2 „Raumlufttechnik“ wird für gesundheitstechnische Anforderungen eine untere Grenze von 30 % r.F. angegeben. Für die Klimatechnik [Recknagel, 1997] wird ein Behaglichkeitsfeld von 30-65 % r.F. angegeben. Aus medizinischer Perspektive ist eine hohe Luftfeuchtigkeit bedenklich. Je höher die Feuchte, desto mehr Krankheitserreger sind vorhanden. Bei weniger als 40 % r.F. sterben Hausstaubmilben ab. Eine optimale Feuchte liegt aus hygienischer Sicht bei etwa 35 %.

Die Auswertung der Messdaten der Molkereistraße zeigte, dass der Wert von 23 % r.F. nie unterschritten wurde. Eine Unterschreitung von 30 % r.F. fand jedoch häufig statt. Im Februar lag der Mittelwert aller gemessenen Zimmer an fast allen Tagen unter 30 % r.F. und bis Ende April lag dieser Mittelwert immer noch auf einem sehr niedrigen Niveau von ca. 30 % r.F. (23 - 35 % r.F.). Der Mittelwert (Median) der gemessenen relativen Raumluftfeuchte lag in der Periode 20.-31.01.2007 bei 27 %, in der Periode 01.-28.02.2007 bei 27 % und in der Periode 01.-31.03.2007 bei 29 %.

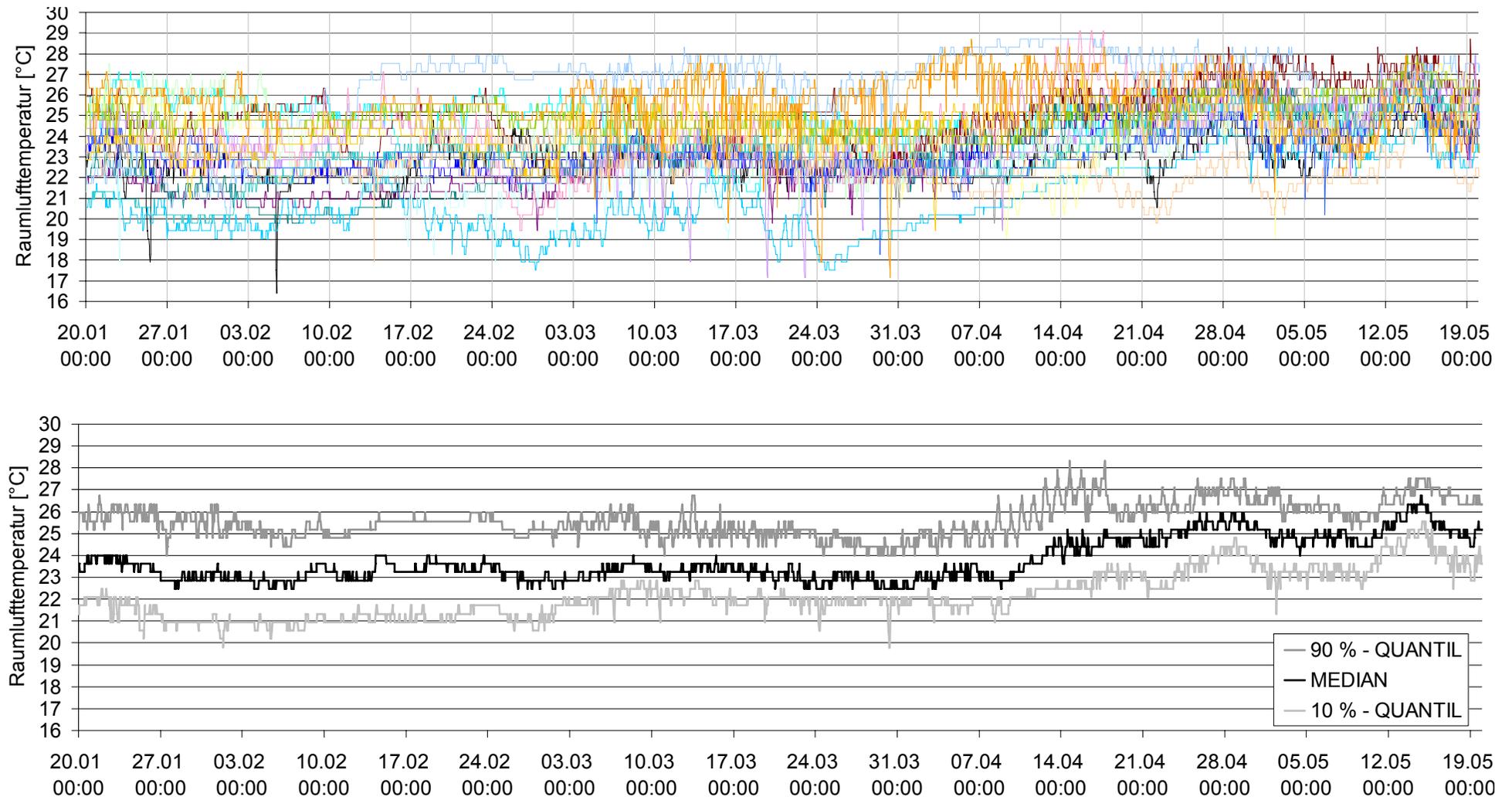


Abbildung 25: Verlauf der Raumlufttemperatur in 21 Zimmern. Gesamte Messperiode 20.01. bis 19.05.2007. Einzelwerte pro Zimmer und statistische Auswertung

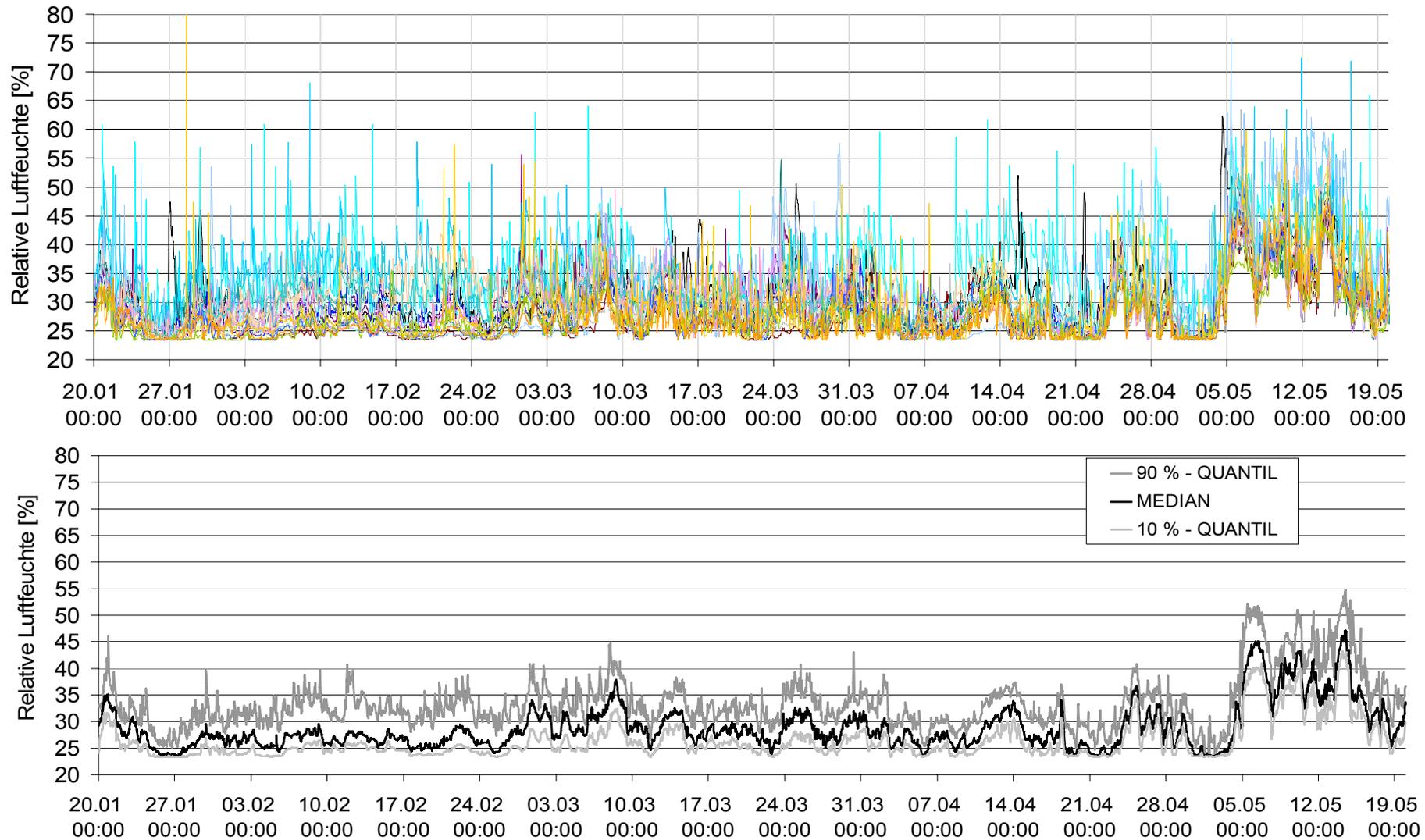


Abbildung 26: Verlauf der relativen Raumlufffeuchte in 21 Zimmern. Gesamte Messperiode 20.01. bis 19.05.2007. Einzelwerte pro Zimmer und statistische Auswertung

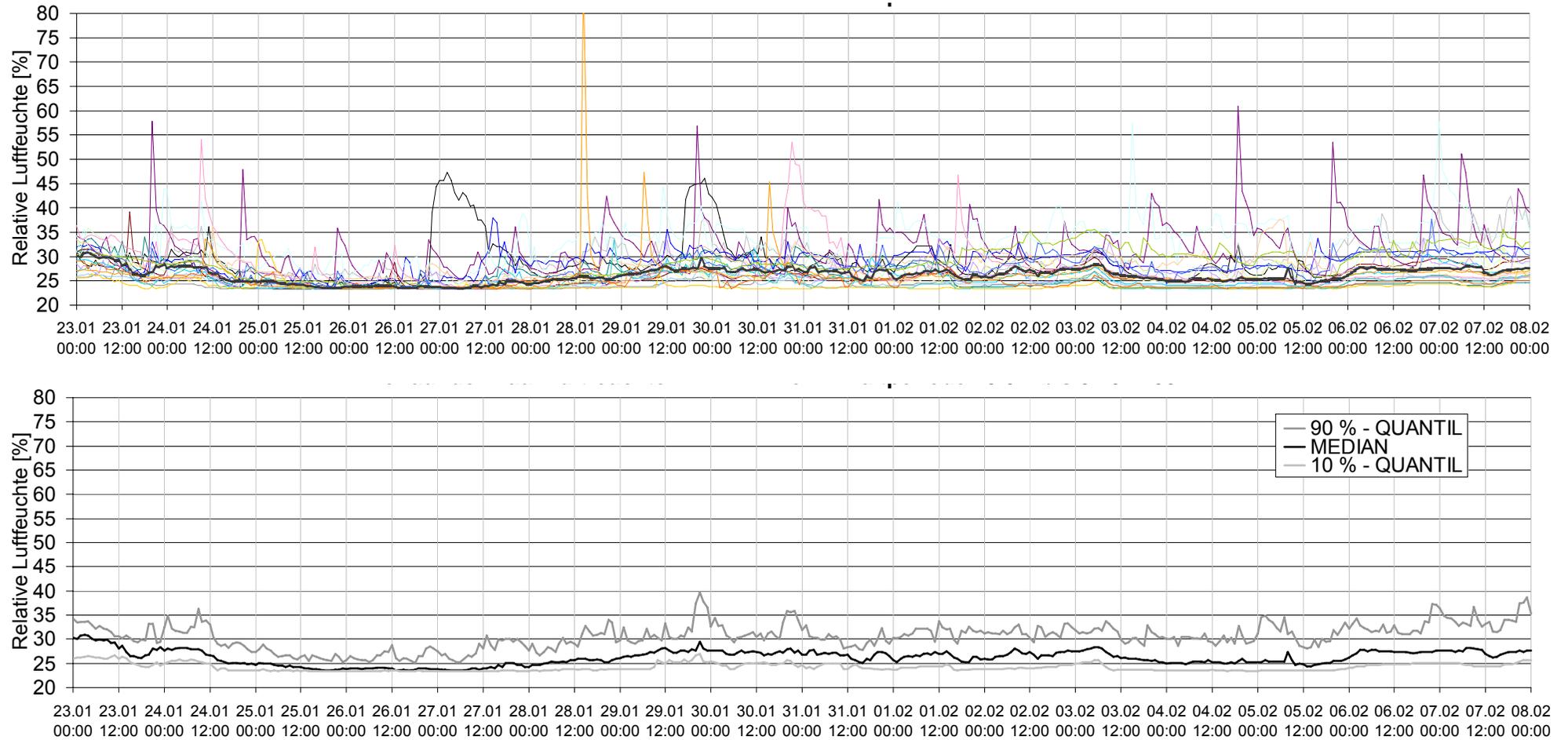


Abbildung 27: Verlauf der relativen Raumlufffeuchte in 21 Zimmern. Kaltperiode 23.01. bis 07.02.2007. Einzelwerte pro Zimmer und statistische Auswertung

## 7.2 Auswertung Nutzerbefragung

Von 33 analysierten Wiener Studentenheimen erhielt das Gebäude in der Molkereistraße im Sommersemester 2007 die zweitbeste Bewertung hinsichtlich der generellen Zufriedenheit mit der Unterbringung. Geringfügig besser bewertet wurde das neu renovierte „Albert-Schweitzer-Haus“. Hier waren allerdings nur 15 % ausgefüllte Fragebögen bezogen auf die Anzahl an Heimplätzen für die Analyse verfügbar und damit ist die Signifikanz dieses Ergebnisses eher gering. Die Befragung im Studentenheim Molkereistraße ergab 186 ausgefüllte Fragebögen und damit eine deutlich höhere Rücklaufquote (66 % bezogen auf die Anzahl an Heimplätzen) und ein robusteres Ergebnis.

Studentenheime mit weniger als 8 bewerteten Fragebögen oder mit weniger als 5 % bewerteter Fragebögen bezogen auf die Anzahl an Heimplätzen wurden in dieser Auswertung nicht berücksichtigt. Die folgende Tabelle zeigt die Bewertung der vom ÖAD verwalteten Studentenheime, deren Energieperformance der Molkereistraße gegenübergestellt wurde.

*Tabelle 9: Bewohnerzufriedenheit in Wiener Studentenheimen. Fragestellung: „Generelle Zufriedenheit mit der Unterbringung“. Bewertung: Sehr gut = 1, Gut = 2, Genügend = 4, Nicht genügend = 5.*

	WNFL [m <sup>2</sup> ]	Plätze	m <sup>2</sup> /Pers	Note	Auswertungen absolut	Auswertungen relativ
<b>Molkereistraße</b>	6.687	280	24	<b>1,4</b>	186	66%
<b>Simmeringer Hstr.</b>	2.827	110	26	<b>1,5</b>	90	82%
<b>Tigergasse</b>	2.014	100	20	<b>1,6</b>	86	86%
<b>Comeniusgasse</b>	1.684	94	18	<b>2,5</b>	107	114%

Für die Befragung in der Molkereistraße wurden zwei weitere Fragebögen eingesetzt. Ein kurzer Fragebogen, welcher vom ÖAD entwickelt wurde und ein detaillierter Fragebogen (2 A4-Seiten) der von Team gmi und BOKU Wien entworfen wurde. Der detaillierte Fragebogen wurde im Jänner 2007 und der kurze Fragebogen wurde von Februar bis Juni 2007 eingesetzt.

84 % der Befragten fühlen sich im Passivhaus sehr wohl oder zumindest teilweise wohl. Speziell der positive Beitrag des Passivhauses für die Umwelt wurde vom überwiegenden Teil der Befragten sehr begrüßt und als positiv bewertet.

Das automatische Abschalten der Heizung, sobald die Fenster geöffnet werden, finden 83 % der Befragten eine gute Lösung. Die Mehrheit der Befragten ist mit der Regulierbarkeit der Raumtemperatur (17 - 25 °C) zufrieden und bewertet das Raumklima als angenehm.

Der Großteil der Befragten empfindet, dass ohne mehrmaliges tägliches Durchlüften nicht genügend Frischluft in den Zimmern vorhanden ist. Da Frischluft in den Zimmern laut Befragungsergebnissen den Bewohnern sehr wichtig ist, wird in den Wohnungen/Zimmern mehrmals am Tag und meist länger als zehn Minuten gelüftet.

Aus der Befragung geht weiters hervor, dass das Temperaturempfinden individuell sehr verschieden ist, und dass die Regulierbarkeit der Heizung teilweise nicht bekannt ist. Dies wurde vom Betreiber zum Anlass genommen, die Informationstätigkeit weiter zu verbessern. Die Regulierbarkeit der Raumtemperatur erscheint ausreichend, obwohl von einigen Bewohnern eine Raumlufttemperatur von 30 °C gewünscht wird.

Der Mai und Juni 2007 waren durch extreme Hitze in Wien gekennzeichnet, was zu hohen Raumlufttemperaturen führte. Die Ergebnisse der Befragung spiegeln dies wider, indem bei Abfrage der negativen Eigenschaften eines Passivhauses eine überwältigende Mehrzahl die Eigenschaft „zu heiß“ angab. Interne Vergleiche zeigten, dass es in der Molkereistrasse nicht heißer war als in anderen ÖAD-Häusern, allerdings macht ein Teil der Studierenden von der Verschattungsmöglichkeit (manuelle Schiebeläden) keinen Gebrauch, was zu höheren Temperaturen im jeweiligen Zimmer (falls z.B. südseitig) führt. Auch dies wird der ÖAD zum Anlass nehmen, um die Studierenden in Zukunft noch umfassender zu informieren. Zu diesem Thema wurden auch die meisten Vorschläge der Bewohner eingebracht, wie beispielsweise:

- Stärkere Luftströmung bei Hitze mit dem erhofften Erfolg einer besseren Kühlung.
- Lichtdurchlässigen Sonnenschutz an den Fenstern anbringen.
- Bei Hitze Ventilatoren in den Zimmern bereitstellen.
- Klimaanlage einbauen.

Beim Kochen entstehen Gerüche und Wärme, die sich auf Grund einer fehlenden Abzugshaube im Kochbereich und fehlender Fenster sehr lange in der Wohnung halten, was von vielen Befragten als sehr unangenehm empfunden wird. Als Lösungsansätze wurden Dunstabzugshaube, Fenster und stärkere Belüftung im Kochbereich angegeben.

Nahezu jeder Raucher öffnet beim Rauchen ein Fenster, was speziell im Winter bei häufigem Zigarettenkonsum zu einer Abkühlung der Raumtemperatur führt.

Immer wieder wurde von einzelnen Personen bemängelt, dass die Informationsbroschüre „User Manual“ nur in deutscher Sprache aufliegt. Auch dies war ein sehr interessanter bzw. eigenartiger Hinweis, da die Folder selbstverständlich auch in Englisch zur Verfügung stehen und die Studierenden hier ein Wahlrecht haben.

Mit 183 ausgewerteten Fragebögen (davon 54 detaillierte Fragebögen), konnte ein erster Eindruck über das individuelle Empfinden in einem Passivhaus erlangt werden. Diese erste Evaluierung wird der ÖAD zum Anlass nehmen, die Informationstätigkeit noch weiter zu verbessern. Neben der weiteren technischen Evaluierung des Hauses wird auch die Befragung fortgesetzt und zwar ausschließlich mit dem detaillierten Fragebogen. Weiters wird sich der ÖAD auch bemühen die Rücklaufquote signifikant zu steigern, mit dem Ziel pro Studienjahr zirka 300 ausgefüllte Fragebögen zu erhalten.

## 8 Vergleich mit anderen Gebäuden

Die Energiekennzahlen des Studentenheims Molkereistraße wurden mit verfügbaren Informationen von bestehenden Gebäuden verglichen. Die Vergleiche beziehen sich auf den Heizwärmeverbrauch (Nutzenergie), den Endenergiebedarf, den Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie und den Ausstoß an Treibhausgasen in Abhängigkeit der verfügbaren Datenbasis. Informationen betreffend die verschiedenen Flächen (BGF, EBF, WNFL) auf welche die spezifischen Energiemengen bezogen wurden, befinden sich in Kapitel 6.1.2.

Dieser Abschnitt beginnt mit einem Vergleich verschiedener internationaler Passivhäuser (CEPHEUS-Gebäude) um die Position des Studentenheims Molkereistraße innerhalb der bereits realisierten Passivhäuser aufzuzeigen. Darauf folgend wurde ein grober Vergleich mit mehrgeschossigen geförderten Wohngebäuden ausgeführt um den Mehrwert des Passivhauskonzepts darzustellen. Die weiteren Vergleiche betreffen Studentenheime in Deutschland und Wien, wobei hier der Energieverbrauch für Warmwasser und Lüftung thematisiert wurde und die Gesamtenergieeffizienz hinsichtlich Schonung von Energieressourcen und Klimaschutz mittels der Datenbank GEMIS V.4.42 [UBA, 2007] bewertet wurde.

### 8.1 Vergleich mit CEPHEUS-Passivhäusern hinsichtlich Heizwärmeverbrauch (Nutzenergie)

Der Heizwärmeverbrauch des Studentenheims Molkereistraße (siehe Kapitel 6.6) wurde mit den Werten anderer europäischer Passivhäuser verglichen. Weitere Information zu den Referenz-Gebäuden befindet sich in der ausführlichen Dokumentation des EU-Thermie-Projekts CEPHEUS (siehe z.B. [Feist et al., 2001], [Schnieders, 2003]). Die Bezugsgröße war Heizwärme pro Energiebezugsfläche (siehe Kapitel 6.1.2).

## Nutzenergie Heizwärme bei Standardtemperaturen

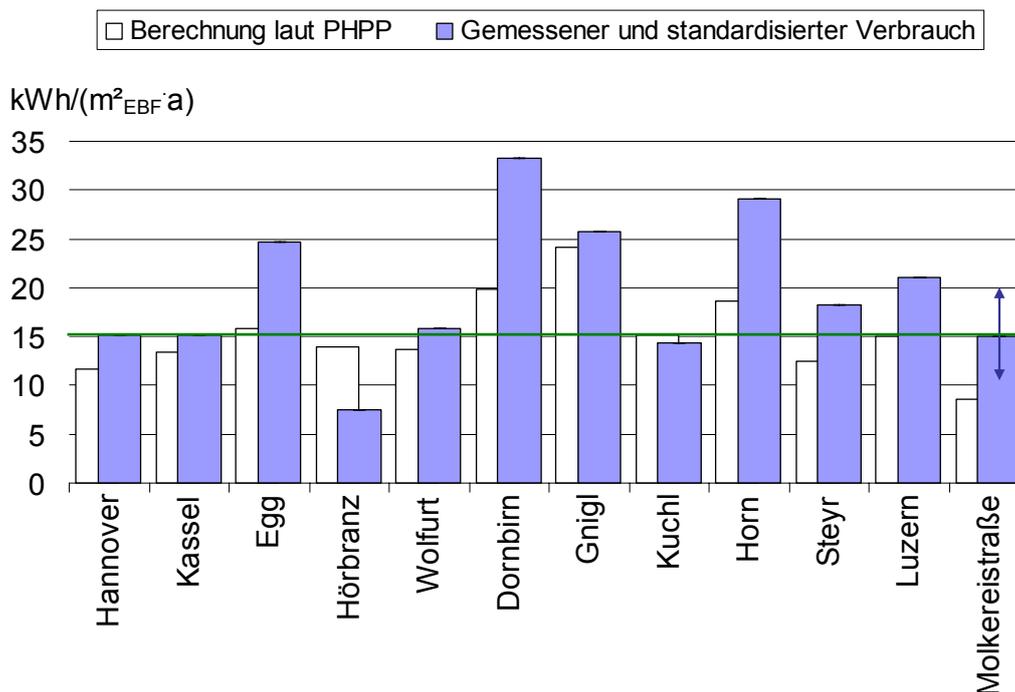


Abbildung 28: Heizwärmeverbrauch pro Energiebezugsfläche bei Standardaußentemperaturen und 20 °C Raumlufttemperatur - Vergleich europäischer Passivhäuser (Daten der CEPHEUS-Vergleichsobjekte aus [PHI, 2001]).

Anmerkung: Der Verbrauchswert der Molkereistraße bezieht sich auf das Jahr 2007 und liegt im Bereich von 10-20 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> a) in Abhängigkeit des Nutzungsgrades der Heizwärmeverteilung.

Die Abbildung 28 zeigt sowohl den projektierten Heizwärmebedarf (weiße Säulen) als auch den gemessenen und auf Standardbedingungen umgerechneten Heizwärmeverbrauch (blaue Säulen). Für die Ergebnisse der Molkereistraße wird eine Bandbreite angegeben, da der Nutzenergieverbrauch aufgrund von Annahmen berechnet wurde. Die Ergebnisse der Referenzgebäude wurden ebenfalls mittels Annahmen berechnet, allerdings liegen hier keine Angaben betreffend die Bandbreite der Ergebnisse vor.

Aufgrund der unterschiedlichen Nutzungscharakteristik der verglichenen Gebäude - Wohnen im Einfamilienhaus, Wohnen im Mehrfamilienhaus und Wohnen im Studentenheim - sind die Ergebnisse nur eingeschränkt aussagekräftig.

Der Heizwärmeverbrauch des Studentenheims Molkereistraße liegt auf demselben Niveau wie die verglichenen CEPHEUS-Passivhäuser. Wird der mittlere Heizwärmeverbrauch der Molkereistraße von 15 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> a) als Vergleichswert herangezogen (60 % Nutzungsgrad der Wärmeverteilung), zeigt sich, dass das Gebäude eine der effizientesten Heizwärmeversorgungen der europäischen Passivhäuser aufweist (Nur zwei der 11 Vergleichsgebäude hatten einen niedrigeren Heizwärmeverbrauch als die Molkereistraße).

## 8.2 Vergleich mit konventionellen Wohnhausanlagen hinsichtlich Heizwärmeverbrauch (Nutzenergie)

Für die Ermittlung des Heizwärmeverbrauchs von konventionellen Wohnhausanlagen wurden zwei Literaturquellen herangezogen, die jeweils den klimabereinigten Heizwärmeverbrauch von Wohnhausanlagen analysierten. Einerseits wurden Ergebnisse aus einer Umfrage entnommen, die im Zuge der Analyse von Fördermodellen in österreichischen Bundesländern durchgeführt wurde [Oberhuber et al., 2005]. Die Ergebnisse aus dieser Literaturquelle betreffen 79 Wohnhausanlagen aus Österreich (primär aus Tirol und Salzburg) und dokumentieren einen mittleren Heizwärmeverbrauch pro Bruttogeschossfläche von etwa 70 kWh/(m<sup>2</sup>.a) mit einer relativ hohen Bandbreite von 40-100 kWh/(m<sup>2</sup>.a). Die zweite Literaturquelle [Hofbauer, 1998] dokumentiert fernwärmeversorgte Wohnhausanlagen mit mehr als 10 Wohnungseinheiten in Wien und weist eine deutlich bessere Datenbasis auf. Die folgenden Ergebnisse dieser Studie wurden für vorliegenden Vergleich herangezogen:

- Bei Wohnhausanlagen mit Baujahr 1980 betrug der mittlere standardisierte Heizwärmeverbrauch etwa 80 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a) mit einer Bandbreite von 60-100 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a).
- Bei Wohnhausanlagen aus der Bauperiode 1985-1995 lag der mittlere standardisierte Heizwärmeverbrauch relativ konstant bei etwa 50-60 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a) mit einer Bandbreite von etwa 40-70 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a).
- Für neuere Wohnhausanlagen wurde ein mittlerer Heizwärmeverbrauch von etwa 40-50 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a) angenommen.
- Für die Gegenüberstellung mit der Molkereistraße wurde ein Wert von 50 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a) herangezogen.

In Abbildung 29 wurde der Heizwärmeverbrauch des Studentenheims im Jahr 2007 mit jenem von konventionellen Wohnhausanlagen verglichen. Die Werte sind auf die Bruttogeschossfläche bezogen, da dies der übliche Bezugswert für konventionelle Gebäude und Niedrigenergiehäuser ist.

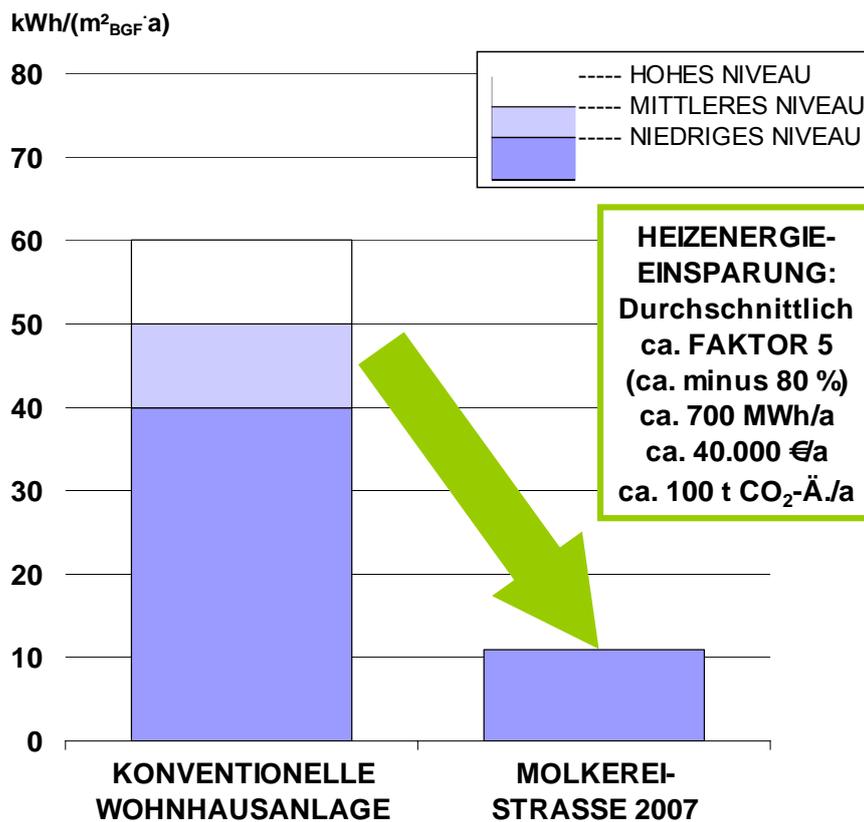


Abbildung 29: Temperaturbereinigter Heizwärmeverbrauch 2007 pro Bruttogeschossfläche: Einsparungen und Mehrwert der Molkereistraße im Vergleich zu konventionellen Wohnhausanlagen

Anmerkung: Der Heizwärmeverbrauch von konventionellen Wohnhausanlagen liegt aufgrund des deutlich günstigeren Hüllflächenfaktors (A-V-Verhältnis) drastisch unterhalb dem Niveau von konventionellen Einfamilienhäusern (etwa 70-100 kWh/(m<sup>2</sup>·a)).

Für die Abschätzung des wirtschaftlichen und ökologischen Mehrwerts der Molkereistraße wurde eine neuere fernwärmeversorgte Wohnhausanlage mit gleicher Größe (BGF) gegenübergestellt. Für die Abschätzung des Klimaschutzbeitrags wurden GEMIS-Faktoren (V. 4.42) eingesetzt und für die Abschätzung der Betriebskosten wurde ein Fernwärmepreis von 65 €/MWh inkl. Ust. angenommen.

*Table 10: Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße im Vergleich zu einer konventionellen Wohnhausanlage mit gleicher Bruttogeschossfläche. Energieversorgung mit Fernwärme oder Erdgas.*

<b>Jährliche Einsparungen an</b>	bei Fernwärmeversorgung	bei Erdgasversorgung
Fernwärme	680 MWh / a	780 MWh / a
Treibhausgasemissionen	130 t <sub>CO<sub>2</sub>-Ä.</sub> / a	210 t <sub>CO<sub>2</sub>-Ä.</sub> / a
Betriebskosten (inkl. Ust.)	44.000 € / a	47.000 € / a

Anmerkung: Annahmen für Referenzgebäude: Baujahr 2000, 50 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a) Heizwärmeverbrauch, 60 % Nutzungsgrad der Wärmeverteilung. Annahmen für Erdgasversorgung: 90 % Jahresnutzungsgrad des Heizkessels, 61 €/MWh Energiekosten.

### 8.3 Vergleich mit anderen Wiener Studentenheimen

Der direkte Vergleich mehrerer Gebäude hinsichtlich Energieverbrauch und Klimaschutzbeitrag ist aufgrund von komplexen methodischen Rahmenbedingung nur eingeschränkt möglich bzw. sind die Ergebnisse eines solchen Vergleichs nur eingeschränkt aussagekräftig, wie im Folgenden erläutert wird.

Wenn unterschiedliche Systeme oder Produkte hinsichtlich ihrer ökologischen Bedeutung verglichen werden, ist es wichtig, dieselbe Bezugsgröße (funktionale Einheit) zu verwenden, da ansonsten der Vergleich falsche Verhältnisse (eine so genannte „schiefe Optik“) liefert. Methodische Grundlagen hierfür sind beispielsweise in den Normen zur Ökobilanzierung (ÖN EN ISO 14040 - 14043) und in Richtlinien für die Stoffflussanalyse festgehalten.

Für Gebäude ist die Bezugsgröße der Nutzen und Komfort für die Bewohner. Die Bezugsgröße sollte also die Qualität der Ausstattung der Wohneinheiten und Gemeinschaftsräume und den Nutzungskomfort (inkl. thermischen Komfort und Luftqualität) widerspiegeln. Aus Gründen der Durchführbarkeit werden Gebäudevergleiche jedoch meist nur auf die Wohnnutzfläche bezogen oder es wird die Bruttogeschossfläche herangezogen.

Für Studentenheime mit unterschiedlichem Baujahr und daher unterschiedlicher Ausstattungsqualität ist es schwierig einen Vergleich zu ziehen. Zusätzlich ist zu beachten, dass das Passivhauskonzept explizit darauf abzielt einen höheren Nutzungskomfort (thermischer Komfort und Luftqualität) zu realisieren.

Als Bezugsgrößen für den vorliegenden Vergleich der Studentenheime wurden aus Gründen der Durchführbarkeit die Wohnnutzfläche und die Bewohneranzahl gewählt. Um die Ergebnisse nicht falsch zu interpretieren, wurden zusätzlich zu jedem Vergleich qualitative Angaben betreffend der Ausstattungsqualität und des Nutzungskomforts hinzugefügt.

Für einen Vergleich des Energieverbrauchs mehrerer Gebäude am selben Standort in derselben Zeitperiode hat das tatsächliche Klima keinen großen Einfluss, wenn alle Gebäude denselben Umgebungsbedingungen (Verschattung, Windverhältnisse) ausgesetzt sind. Im Falle des Vergleichs der Studentenheime in Wien trifft dies zu, da alle Gebäude innerhalb von relativ dicht verbauten Wohngebieten liegen. Daher blieben die tatsächlichen Klimadaten für den Vergleich unberücksichtigt<sup>10</sup> und es wurden die realen, nicht-standardisierten Verbrauchswerte innerhalb der letzten zwei Betriebsjahre (01.09.2005 - 31.08.2007) herangezogen.

Die Aufteilung des Fernwärmeverbrauchs für Heizung und Warmwasser erfolgte aufgrund von Informationen aus der Kostenabrechnung (und in Rücksprache mit der Fernwärme Wien).

---

<sup>10</sup> Bei Berücksichtigung der Klimawerte ist neben dem monatlichen  $HGT_{20/12}$  auch die gesamte Einstrahlung pro Monat zu berücksichtigen und die Ergebnisse der Energiebilanz (Transmissionsverluste, Lüftungsverluste, solare Gewinne und interne Gewinne) aus der Energieausweisberechnung zu erheben. Bei einem hohen Anteil der solaren Gewinne sind diese mit detaillierten Verschattungsfaktoren zu berechnen. Bei einem hohen Anteil der internen Gewinne sind diese mit Belegungszahlen und dem Stromverbrauch der Haushalte nachzuprüfen.

### 8.3.1 Vergleich des Endenergieverbrauchs für die Raumbeheizung

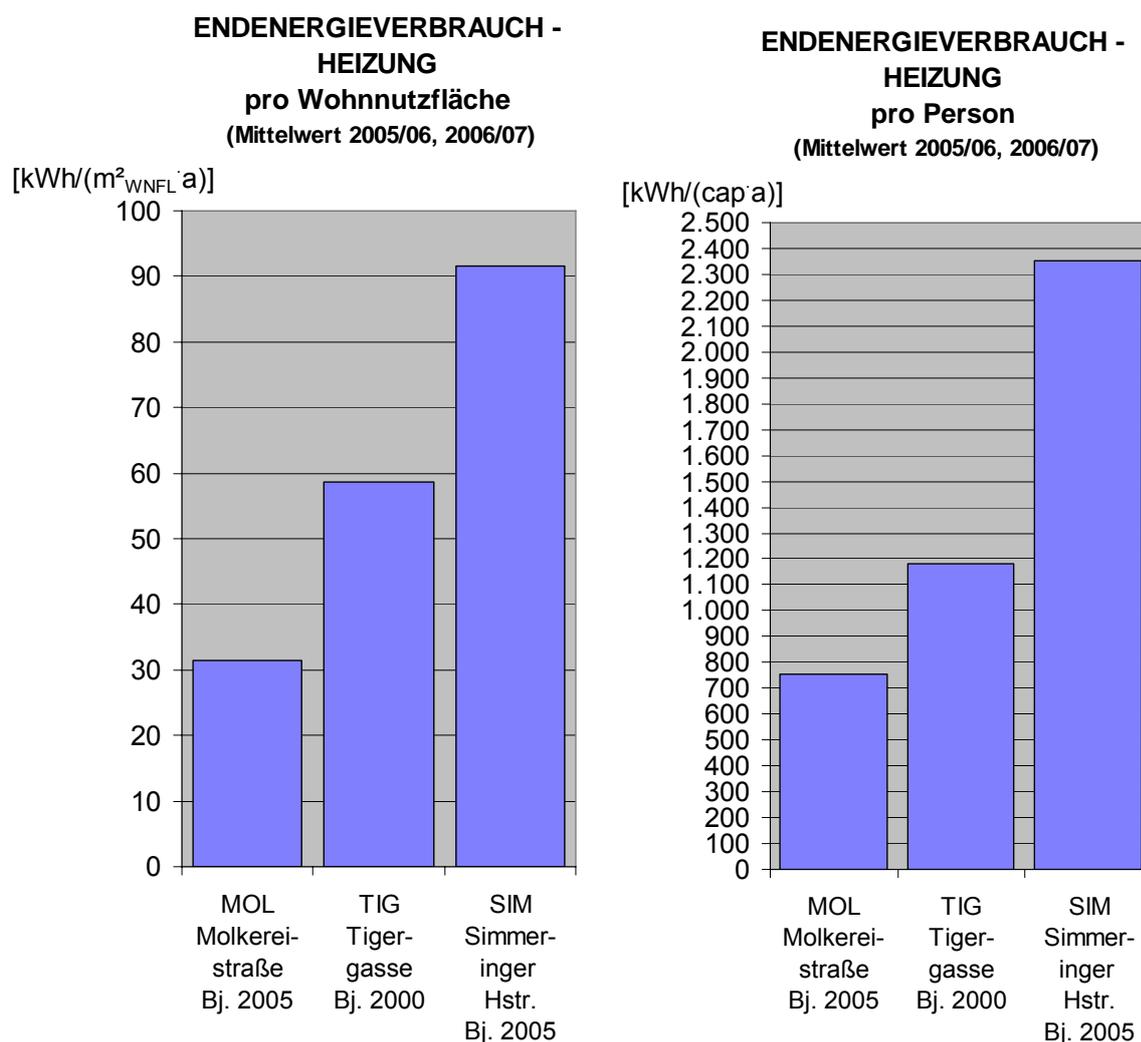


Abbildung 30: Endenergieverbrauch für Raumheizung pro Wohnnutzfläche und pro Person. Studentenheime Molkereistraße, Tigergasse und Simmeringer Hauptstraße. Mittelwert aus der Periode Sept. 2005 bis Aug. 2007

Anmerkung: Eingeschränkte Vergleichsbasis aufgrund von Unterschieden in Ausstattungsqualität und Nutzungskomfort. Höherer Komfort der Molkereistraße betreffend Raumluftqualität, thermischem Komfort und Wohnnutzfläche. Das Studentenheim Comeniusgasse wurde hier nicht dargestellt, da der Energieverbrauch nicht auf Heizung und Warmwasser getrennt ausgewiesen wurde.

Der Vergleich der drei Gebäude ist beschränkt aussagekräftig, da der höhere thermische Komfort der Molkereistraße in der Gegenüberstellung unberücksichtigt bleibt. Die niedrigeren U-Werte der Passivhaus-Gebäudehülle bewirken eine höhere Bauteiltemperatur von Fenster, Dach und Außenwand auf der Rauminnenseite und erhöhen dadurch den thermischen Komfort der Wohnfläche (z.B. kein Kältegefühl bei Aufenthalt in Fensternähe). Die Molkereistraße bietet weiters im Vergleich zur Tigergasse einen höheren Komfort hinsichtlich Wohnnutzfläche pro Person, da hier ausschließlich Einzelzimmer realisiert wurden. In der Molkereistraße stehen jedem Bewohner 24 m<sup>2</sup> zur Verfügung, während in der Tigergasse nur 20 m<sup>2</sup> vorhanden sind.

Bei Annahme derselben Größe (6686 m<sup>2</sup> WNFL inkl. Gemeinschaftsräume) der Studentenheime kann der Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße im Vergleich zu den anderen zwei Studentenheimen wie folgt zusammengefasst werden.

*Tabelle 11: Effekte der energieoptimierten Raumbeheizung. Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße verglichen mit anderen Wiener Studentenheimen bei Annahme einer gleich großen Wohnnutzfläche (6686 m<sup>2</sup>).*

<b>Jährliche Einsparungen an</b>	verglichen mit Studentenheim <b>Tigergasse</b>	verglichen mit Studentenheim <b>Simmeringer Hauptstraße</b>
Fernwärme	180 MWh / a	400 MWh / a
Treibhausgasemissionen	35 t <sub>CO<sub>2</sub>-Ä.</sub> / a	77 t <sub>CO<sub>2</sub>-Ä.</sub> / a
Betriebskosten (inkl. Ust.)	12.000 € / a	26.000 € / a

Weitere Erläuterungen befinden sich bei der Gegenüberstellung des gesamten Endenergieverbrauchs (Abbildung 33).

### 8.3.2 Vergleich des Endenergieverbrauchs für die Warmwasserbereitung

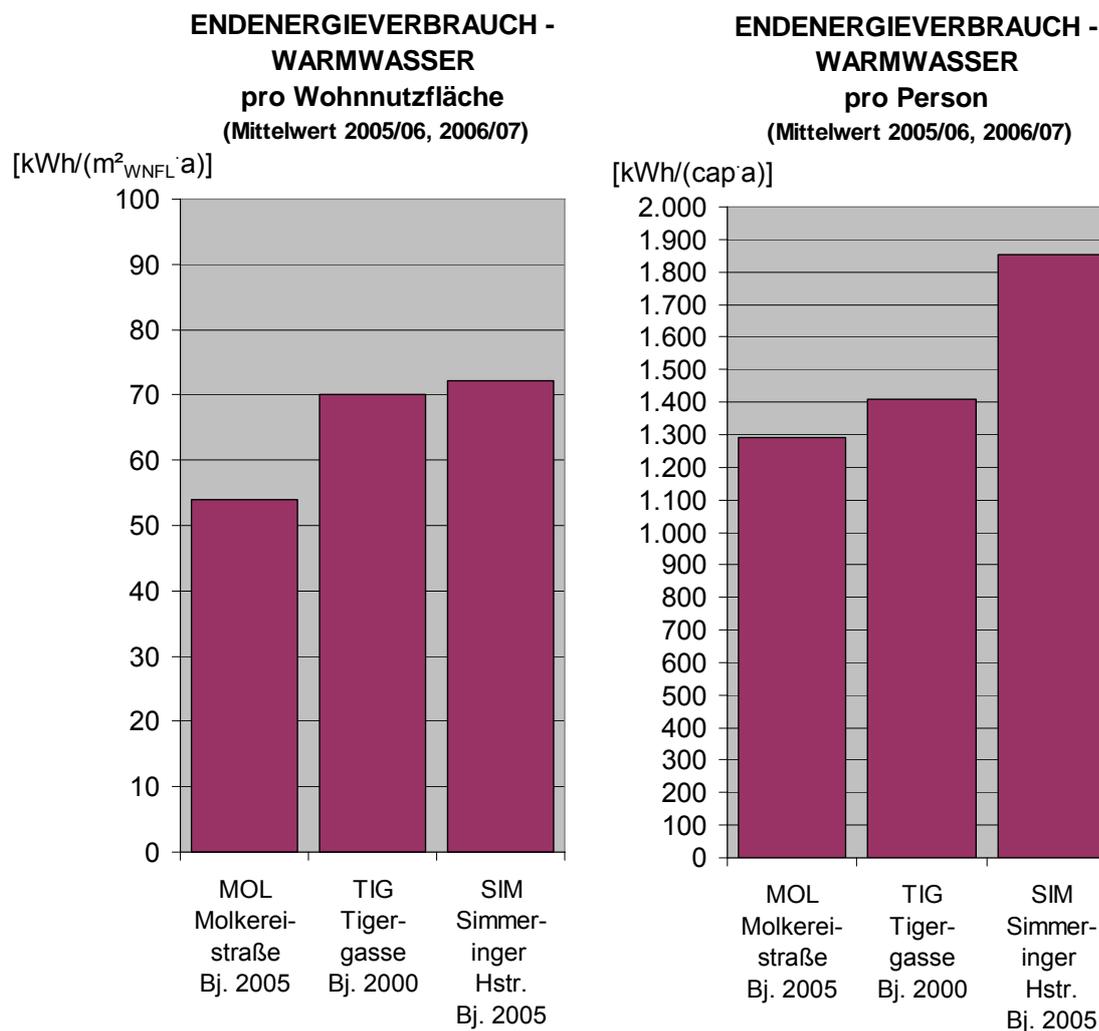


Abbildung 31: Endenergieverbrauch für Warmwasserbereitung pro Wohnnutzfläche und pro Person. Studentenheime Molkereistraße, Tigergasse und Simmeringer Hauptstraße. Mittelwert aus der Periode Sept. 2005 bis Aug. 2007

Anmerkung: Eingeschränkte Vergleichsbasis aufgrund von Unterschieden in Ausstattungsqualität und Nutzungskomfort. Höherer Komfort der Molkereistraße betreffend Wohnnutzfläche. Das Studentenheim Comeniusgasse wurde hier nicht dargestellt, da der Energieverbrauch nicht auf Heizung und Warmwasser getrennt ausgewiesen wurde.

Der Endenergieverbrauch für die Warmwasserbereitung pro Bewohner liegt in der Molkereistraße um 9 % tiefer als in der Tigergasse und um 30 % tiefer als in der Simmeringer Hauptstraße. Bei Annahme derselben Größe (6686 m<sup>2</sup> WNFL inkl. Gemeinschaftsräume) der Studentenheime kann der Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße im Vergleich zu den anderen zwei Studentenheimen wie folgt zusammengefasst werden.

*Tabelle 12: Effekte der energieoptimierten Warmwasserverteilung. Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße verglichen mit anderen Wiener Studentenheimen bei Annahme einer gleich großen Wohnnutzfläche (6686 m<sup>2</sup>).*

<b>Jährliche Einsparungen an</b>	verglichen mit Studentenheim <b>Tigergasse</b>	verglichen mit Studentenheim <b>Simmeringer Hauptstraße</b>
Fernwärme	110 MWh / a	120 MWh / a
Treibhausgasemissionen	20 t <sub>CO<sub>2</sub>-Ä.</sub> / a	23 t <sub>CO<sub>2</sub>-Ä.</sub> / a
Betriebskosten (inkl. Ust.)	7.000 € / a	8.000 € / a

Weitere Erläuterungen befinden sich bei der Gegenüberstellung des gesamten Endenergieverbrauchs (Abbildung 33).

### 8.3.3 Vergleich des Endenergieverbrauchs an elektrischer Energie

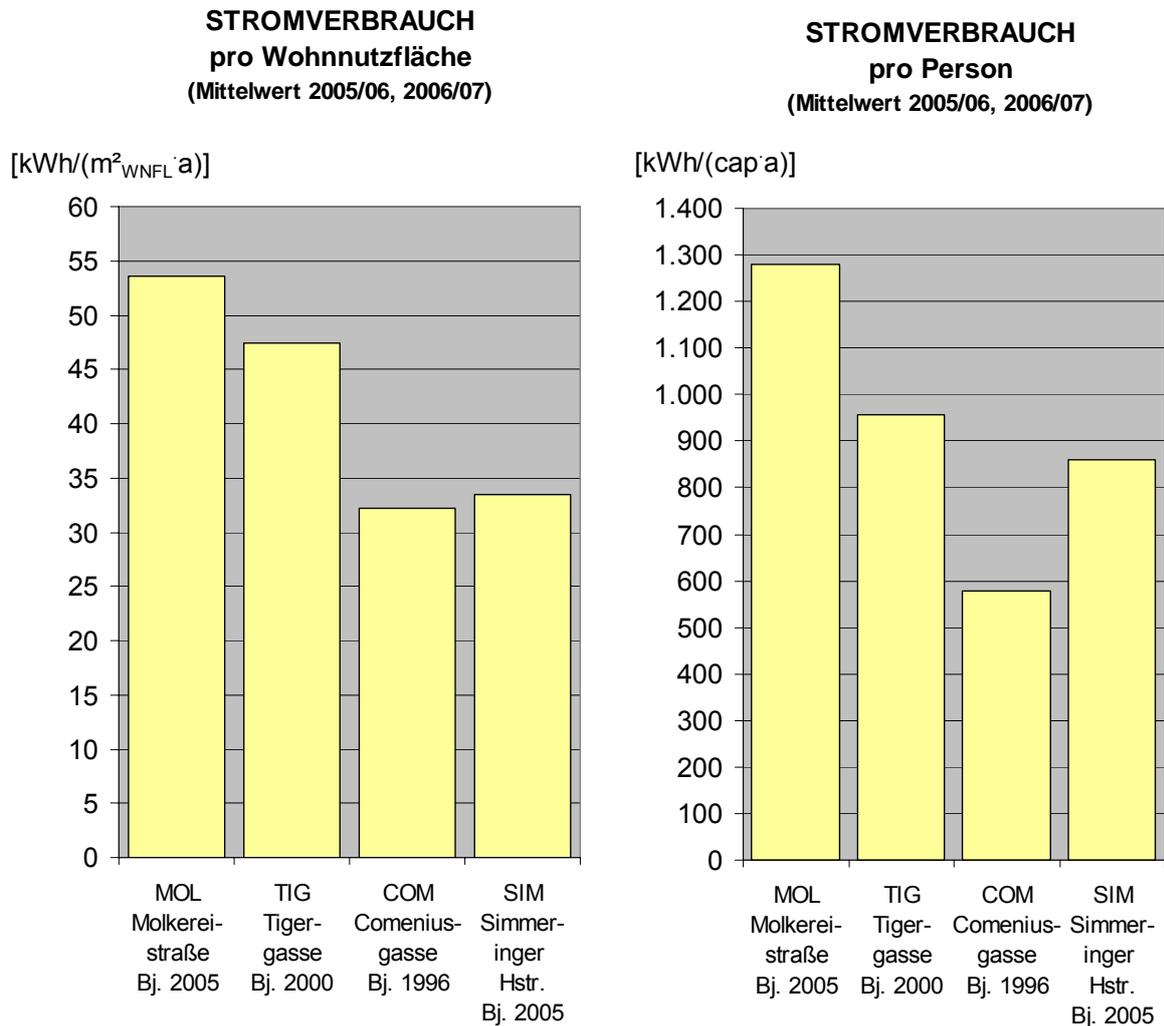


Abbildung 32: Endenergieverbrauch an elektrischer Energie pro Wohnnutzfläche und pro Person. Studentenheime Molkereistraße, Tigergasse, Comeniusgasse und Simmeringer Hauptstraße. Mittelwert aus der Periode Sept. 2005 bis Aug. 2007

Anmerkung: Eingeschränkte Vergleichsbasis aufgrund von Unterschieden in Ausstattungsqualität und Nutzungskomfort. Höherer Komfort der Molkereistraße: Raumluftqualität, Sommertauglichkeit, vorhandene TV-Geräte, Internetanschluss, sonstige Ausstattungsqualität und Wohnnutzfläche.

Der spezifische Stromverbrauch im Studentenheim Molkereistraße lag in der Untersuchungsperiode deutlich über dem Stromverbrauch der anderen Studentenheime. Eine Analyse des Stromverbrauchs in der Molkereistraße befindet sich in Kapitel 6.5 und weitere Bemerkungen zur Gegenüberstellung der Studentenheime befinden sich in folgendem Abschnitt.

### 8.3.4 Vergleich des gesamten Endenergieverbrauchs

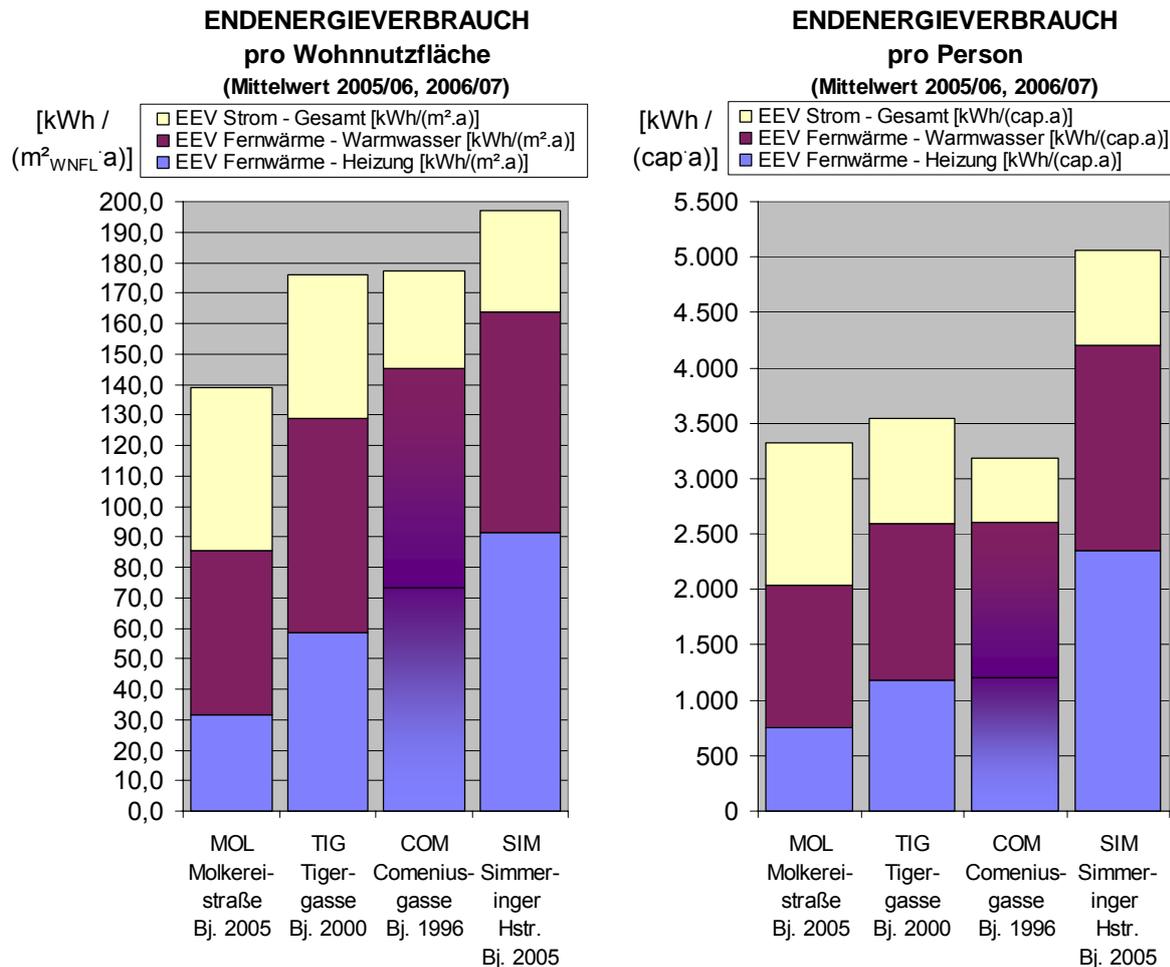


Abbildung 33: Gesamter Endenergieverbrauch pro Wohnnutzfläche und pro Person. Studentenheime Molkereistraße, Tigergasse, Comeniusgasse und Simmeringer Hauptstraße. Mittelwert aus der Periode Sept. 2005 bis Aug. 2007

Anmerkung: Eingeschränkte Vergleichsbasis aufgrund von Unterschieden in Ausstattungsqualität und Nutzungskomfort. Höherer Komfort der Molkereistraße: Thermische Qualität, Raumluftqualität, Tageslichtqualität, Sommertauglichkeit, vorhandene TV-Geräte, Internetanschluss, sonstige Ausstattungsqualität und Wohnnutzfläche.

Der Vergleich der vier Gebäude ist beschränkt aussagekräftig, da die höhere Ausstattungsqualität und Innenraumklimaqualität der Molkereistraße in der Gegenüberstellung unberücksichtigt bleibt. In jedem Zimmer in der Molkereistraße sind ein TV-Gerät und ein Internetanschluss vorhanden, was in den anderen Heimen nicht der Fall ist. Für das älteste Heim (Comeniusgasse, Baujahr 2006) wurde der deutlich niedrigste Stromverbrauch von ca. 578 kWh/(cap.a) festgestellt, was aufgrund der niedrigeren Ausstattungsqualität plausibel ist. Der Vergleichswert für die Tigergasse und Simmeringer Hauptstraße lag um ca. 50 % höher und für die Molkereistraße um etwa 100 % höher.

Die Comeniusgasse lag bei der Nutzerbefragung hinsichtlich Zufriedenheit mit der Unterbringung an vorletzter Stelle von 25 Wiener Studentenheimen. Dies ist auch auf die niedrigere Ausstattungsqualität zurückzuführen, welche sich in obiger Abbildung in einem niedrigeren Energieverbrauch widerspiegelt.

Die Molkereistraße bietet im Vergleich zur Tigergasse einen höheren Komfort hinsichtlich Wohnnutzfläche pro Person, da hier ausschließlich Einzelzimmer realisiert wurden. In der Molkereistraße stehen jedem Bewohner 24 m<sup>2</sup> zur Verfügung, während in der Tigergasse nur 20 m<sup>2</sup> und in der Comeniusgasse nur 18 m<sup>2</sup> vorhanden sind (Simmeringer Hauptstraße hat 26 m<sup>2</sup> pro Person). Um dies zu berücksichtigen ist als Vergleichsbasis die Wohnnutzfläche (linke Grafik) heranzuziehen.

Etwa 15 % des Stromverbrauchs der Molkereistraße betreffen die dezentralen Komfortlüftungsgeräte und sind damit direkt der höheren Nutzungsqualität zuzuordnen. Die zentralen Lüftungsgeräte für den Gangbereich unterstützen den sommerlichen Komfort indem bei niedrigen Außentemperaturen die Nachtlüftung betrieben wird. Auch in Niedrigenergiehäusern besteht Stromverbrauch aufgrund bedarfsabhängiger Lüftung in Sanitärräumen, welcher im Fall eines Studentenheims in Wuppertal bei etwa 2,0 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>·a) lag [Engelmann et al., 2008]. Dies entspricht einem Wert von ca. 2,2 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNFL</sub>·a) bzw. 55 kWh/(cap·a).

Bei Missachtung der unterschiedlichen Qualität des Innenraumklimas und der Ausstattung zeigt der rein flächenbezogene Vergleich, dass die Molkereistraße etwa 40 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNFL</sub>·a) weniger Endenergie verbrauchte als die Comeniusgasse und Tigergasse. Der Mehrwert gegenüber der **Simmeringer Hauptstraße**, welche **im selben Jahr eröffnet** wurde und somit die ähnlichste Ausstattungsqualität aufweist, betrug etwa 60 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNFL</sub>·a). Die Simmeringer Hauptstraße verbrauchte somit etwa um **42 % mehr Endenergie pro Wohnnutzfläche** bzw. um **52 % mehr Endenergie pro Person**.

Die drei Studentenheime in Niedrigenergiehausstandard verursachten einen sehr unterschiedlich hohen Fernwärmeverbrauch in den Sommermonaten verglichen mit den Wintermonaten. Dies ist an der Relation Warmwasser-Fernwärmeverbrauch zu Gesamt-Fernwärmeverbrauch abzulesen:

- Molkereistraße 1:1,59 (WW-FW : Gesamt-FW)
- Tigergasse: 1:1,84 (WW-FW : Gesamt-FW)
- Simmeringer Hauptstraße: 1:2,27 (WW-FW : Gesamt-FW)

Das Passivhausstudentenheim verursachte den konstantesten Fernwärmeverbrauch über ein Jahr, was eine effizientere Auslastung der Fernwärme bedeutet.

### 8.3.5 Vergleich des nicht erneuerbaren Anteils am Primärenergieverbrauch (Kumulierter Energieaufwand $KEA_{ne}$ ) und der Treibhausgasemissionen

Informationen und Anmerkungen betreffend den Primärenergiefaktoren und Treibhausgasfaktoren befinden sich in Kapitel 3 und 6.6.

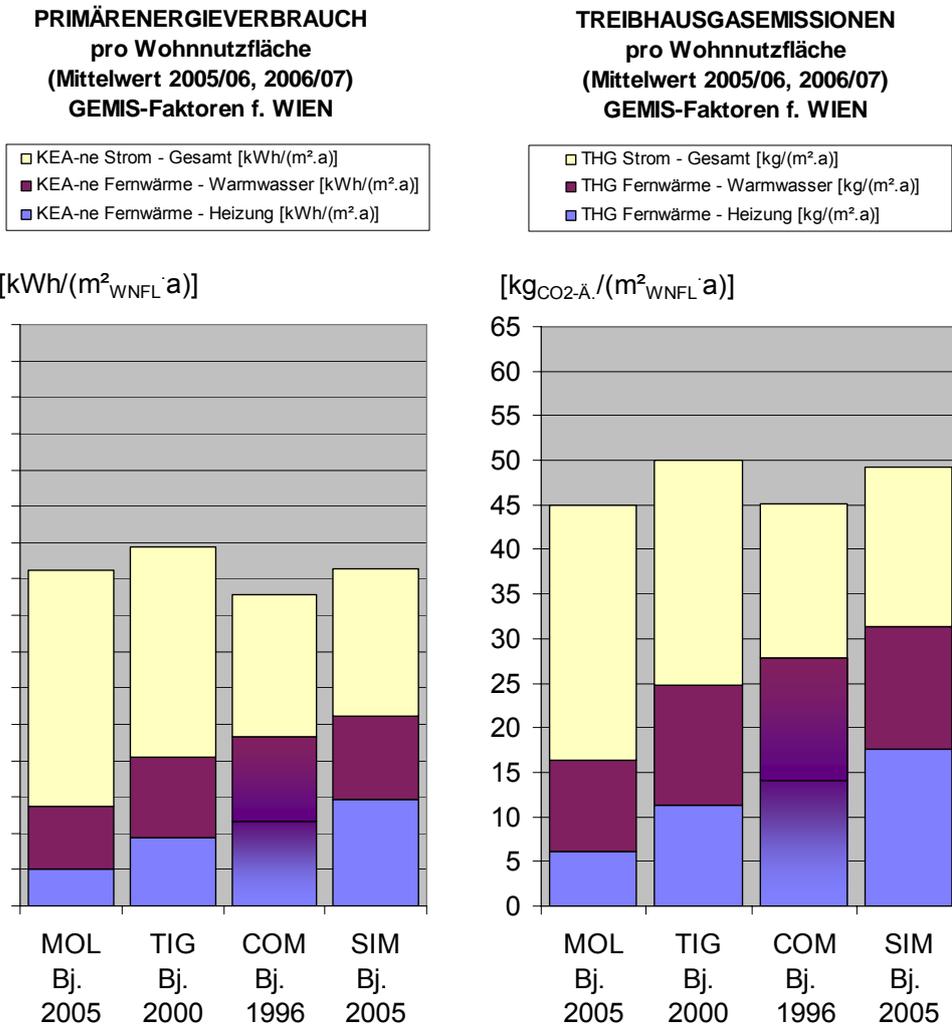


Abbildung 34: Nicht erneuerbarer Primärenergieverbrauch ( $KEA_{ne}$ ) und Treibhausgasemissionen der Studentenheime Molkereistraße, Tigergasse, Comeniusgasse und Simmeringer Hauptstraße. Mittelwert von Sept.2005 - Aug.2007 pro Wohnnutzfläche. GEMIS-Faktoren für Wien (V 4.42)

Anmerkung: Eingeschränkte Vergleichsbasis aufgrund von Unterschieden in Ausstattungsqualität und Nutzungskomfort. Höherer Komfort der Molkereistraße: Thermische Qualität, Raumluftqualität, Tageslichtqualität, Sommertauglichkeit, vorhandene TV-Geräte, Internetanschluss, sonstige Ausstattungsqualität und Wohnnutzfläche.

Der Vergleich der drei Gebäude ist beschränkt aussagekräftig, da die höhere Ausstattungsqualität und Innenraumklimaqualität der Molkereistraße in der Gegenüberstellung unberücksichtigt bleibt (siehe Bemerkungen zur vorhergehenden Abbildung).

Die elektrische Energie hat im Vergleich zur Fernwärme einen deutlich höheren Einfluss auf den Primärenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen. Der Primärenergiefaktor für elektrische Energie beträgt das 3,8-fache des Werts für Fernwärme. Der Treibhausgasfaktor für elektrische Energie beträgt das 2,8-fache des Werts für Fernwärme. Daher fließen Unterschiede in der Ausstattungsqualität (TV, Internetanschluss, etc.) bei einem Vergleich hinsichtlich Primärenergie und Treibhausgasemissionen unverhältnismäßig höher in die Ergebnisse ein. Andererseits schlägt sich auch der Effekt von Strom-Sparkonzepten mit dieser Bewertung deutlicher zu Buche.

Bei Missachtung der unterschiedlichen Qualität des Innenraumklimas und der Ausstattung zeigte der rein flächenbezogene Vergleich des Primärenergieverbrauchs, dass die Comeniusgasse mit  $171 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \text{ a})$  den niedrigsten Wert aufweist (aufgrund der geringsten Ausstattungsqualität). An zweiter Stelle steht die Molkereistraße ( $185 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \text{ a})$ ) gefolgt von Simmeringer Hauptstraße ( $186 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \text{ a})$ ) und Tigergasse ( $198 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \text{ a})$ ). Die Tigergasse verursacht den höchsten Primärenergieverbrauch, da der Stromverbrauch nahezu auf demselben Niveau wie in der Molkereistraße liegt.

Der flächenbezogenen Vergleich der Treibhausgasemissionen zeigte, dass die Molkereistraße trotz des höchsten Stromverbrauchs die niedrigsten Emissionen ( $45,0 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \text{ a})$ ) verursachte. Die Treibhausgasemissionen der Comeniusgasse lagen auf demselben Niveau ( $45,1 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \text{ a})$ ). Die anderen zwei Studentenheime verursachten einen um etwa 10 % höheren Treibhausgasausstoß (Simmeringer Hauptstraße  $49 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \text{ a})$ ; Tigergasse  $50 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \text{ a})$ ).

Um die Aussagekraft des Vergleichs der Studentenheime zu erhöhen und die Unterschiede in der Geräteausstattung auszuklammern wurden Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen aus Beheizung und Warmwasserbereitung gesondert betrachtet. Bei Annahme derselben Größe ( $6686 \text{ m}^2 \text{ WNFL}$  inkl. Gemeinschaftsräume) der Studentenheime kann der Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße im Vergleich zu den anderen drei Studentenheimen wie folgt zusammengefasst werden.

*Tabelle 13: Effekte der energieoptimierten Raumbeheizung und Warmwasserverteilung. Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße verglichen mit anderen Wiener Studentenheimen bei Annahme einer gleich großen Wohnnutzfläche ( $6686 \text{ m}^2$ ).*

<b>Jährliche Einsparungen an</b>	verglichen mit Studentenheim <b>Tigergasse</b>	verglichen mit Studentenheim <b>Comeniusgasse</b>	verglichen mit Studentenheim <b>Simmeringer Hstr.</b>
Fernwärme	290 MWh / a	400 MWh / a	520 MWh / a
Primärenergie, nicht erneuerbar	700 MWh / a	970 MWh / a	1.300 MWh / a
Treibhausgasemissionen	$55 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}} / \text{a}$	$76 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}} / \text{a}$	$100 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}} / \text{a}$
Betriebskosten (inkl. Ust.)	19.000 € / a	26.000 € / a	34.000 € / a

Im Zuge der Auswertung wurden zwei Szenarien untersucht:

Szenario 1 „Österreichischer Strom-Mix“: Für die Bewertung der elektrischen Energie wurden die Faktoren für den Österreichischen Strom-Mix anstatt für den Wiener Strom-Mix eingesetzt. Dieses Szenario zeigte die Veränderung der Primärenergieeffizienz und der Treibhausgasemissionen unter der Annahme, dass die Gebäude mit einem mittleren Österreichischen Strom-Mix versorgt werden. Diese Bezugsgröße ist auch für einen Vergleich von Gebäuden in verschiedenen Bundesländern geeignet, falls keine Angaben für den Strom-Mix der einzelnen Bundesländer vorhanden sind. Der Primärenergieverbrauch der Studentenheime lag in diesem Szenario um etwa 25-35 % unter den Werten für Wien (minus 36 % für die Molkereistraße). In diesem Szenario lag die Molkereistraße auch unterhalb des Primärenergie-Grenzwerts für Passivhäuser. Die Treibhausgasemissionen der Studentenheime lagen um etwa 10-20 % unter den Werten für Wien (minus 19 % für die Molkereistraße).

Szenario 2: „Erdgas Versorgung“: Es wurden die Faktoren für den Österreichischen Erdgas-Mix anstatt für die Wiener Fernwärme eingesetzt. Dieses Szenario zeigte die Veränderung der Primärenergieeffizienz und der Treibhausgasemissionen unter der Annahme, dass die Gebäude durch Erdgas versorgt wurden. Der Primärenergieverbrauch der Studentenheime lag in diesem Szenario um etwa 40-65 % über den Werten für Versorgung mit Fernwärme (plus 39 % für die Molkereistraße). Die Treibhausgasemissionen der Studentenheime lagen um etwa 25-35 % über den Werten für Versorgung mit Fernwärme (plus 24 % für die Molkereistraße).

## 8.4 Vergleich mit Studentenheimen in Deutschland

Die folgende Kurzfassung ist aus einer Publikation entnommen, die auf der Passivhaustagung 2008 in Nürnberg präsentiert wird [Engelmann et al., 2008].

In Deutschland wurden bislang drei Wohnheime mit insgesamt 400 Wohneinheiten in Passivhausstandard errichtet, bzw. mit Passivhauskomponenten saniert. Es sind dies die Bildungsherberge der Fernuniversität Hagen [Wortmann, 2003] und das sanierte Studentenwohnheim „Neue Burse“ des Hochschul-Sozialwerks Wuppertal (HSW), wobei ein Baukörper in Niedrigenergiestandard und ein Baukörper in Passivhausstandard ausgeführt wurde [Müller+Schlüter, 2002], [Engelmann+Kramp, 2006].

### 8.4.1 Gebäudekenndaten der verglichenen Studentenheime

Tabelle 14: Vergleich der Gebäudekenndaten und Versorgungskonzepte der untersuchten Wohnheime [Engelmann et al., 2008].

KENNDATEN	Burse NEH Wuppertal	Burse PH Wuppertal	Bildungsherberge Hagen	Molkereistraße Wien
Fertigstellung <sup>1)</sup>	2001	2003	2002	2005
Bruttogrundfläche (BGF) [m <sup>2</sup> ]	9.890	10.025	597 <sup>2)</sup>	10.527
Nettogrundfläche (NGF) [m <sup>2</sup> ]	8.420	8.597	417	8.842
Wohnplätze	303	323	16	278
Nettogrundfläche pro Person	28	27	26	32
Spezif. Transmissionsverlust $H'_T$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	0,59	0,29	0,28	0,35
Heizwärmebedarf lt. PHPP $Q_H$ [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> ·a)]	68,1	25,7	13,4	8,6
Wärmeversorgung	Fernwärme	Fernwärme	Erdgas/Strom	Fernwärme
Wärmeübergabe	Heizkörper in Zimmer und Bad	Zentrale Luftheizung, Heizkörper im Bad	Zentrale Luftheizung, elektr. Heizkörper Zimmer	Dezentrale Mini- Heizkörper

1) Burse: Jahr des Abschluss der Sanierung, Baujahr des Gebäudes: 1977; Hagen und Wien: Neubauten. Monitoring: Burse seit Ende 2004, Hagen: seit Anfang 2007, Wien: seit Anfang 2007

2) Berechnet: Umbauter Raum: 1911 m<sup>3</sup>; Annahme für durchschnittliche Geschosshöhe: 3,2 m

Die verglichenen Studentenheime werden in der Realität recht unterschiedlich genutzt, was sich durch die durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Studenten ausdrückt:

- Molkereistraße: ca. 3-6 Monate
- Burse: 2,5 Jahre
- Bildungsherberge Hagen: weniger als 3 Tage.

Die Bildungsherberge Hagen dient als Unterkunft zur Fernuniversität, d.h. die Nutzer kommen i.d.R. nur zu Prüfungen oder organisatorischen Aufgaben (wie in der Planung vorgese-

hen). Das Gebäude wird im Gegensatz zur Burse und Molkereistraße nur zu etwa 60% des Jahres genutzt [Hagen, 2003] und hat damit eher Hotelcharakter.

Tabelle 15: Vergleich der Verbrauchsdaten der Lüftungsanlagen [Engelmann et al., 2008].

	Burse NEH Wuppertal	Burse PH Wuppertal	Bildungs- herberge Hagen	Molkerei- straße Wien
Lüftungskonzept	Fensterlüftung, bedarfsgeführte Abluftanlage	Zentrale Zu- und Abluft- anlage	Zentrale Zu- und Abluftanlage, solegeführter EWT	Dezentrale zu- und Abluftanla- gen, sole- geführter EWT
Spez. Leistungsaufnahme Lüftung [W/(m <sup>3</sup> /h)]	0,37	0,44	0,39	0,78
Wärmebereitstellungsgrad Anlage [ - ] <sup>1)</sup>	-	0,67	0,89	0,87 (lt. PHPP)

1) Basierend auf Temperaturmessungen am Lüftungsgerät. Incl. Abwärme der Ventilatoren. Wien und Bildungsherberge: incl. Sole- Vorheizregister.

Während beim PH der Burse keine Vorwärmung erfolgt (Frostschutz über Bypass der WRG), wird sowohl in Hagen als auch in Wien die Luft über solegeführte Erdregister vorgewärmt (bzw. im Sommer gekühlt)

Die Gebäude unterscheiden sich vor allem hinsichtlich Lüftungs- und Heizungskonzept:

- Molkereistraße: Dezentrale Kompaktlüftungsgeräte für jeweils zwei Wohnungen (vier Personen). Beheizung über thermostatgeregelte Mini-Heizkörper im Zimmer.
- Burse NEH: Ein Heizkörper in Zimmer und Bad. Zwei bedarfsgeführte Abluftventilatoren pro Apartment. Die Grundlüftung erfolgt über Fenster. Mangelhafte Raumluftqualität durch unzureichende Luftwechsel [Engelmann, 2006].
- Burse PH: Heizkörper nur im Bad. Die Apartments werden durch Zuluft über zentrales Heizregister ablufttemperaturgeführt beheizt.
- Bildungsherberge Hagen: Zentrale Lüftungsanlage mit vier Heizregister für vertikale Zonierung (giebelseitige / innen liegende Apartments). Heizwärmezufuhr über Thermostatventile geregelt, deren Temperaturfühler im Abluftstrang hängt.

#### 8.4.2 Energieverbrauch der verglichenen Studentenheime

Die folgende Tabelle zeigt einen Vergleich des Endenergieverbrauchs, Primärenergieverbrauchs, Wasserverbrauchs und der Treibhausgasemissionen der untersuchten Studentenheime. Für diesen Vergleich wurden Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionsfaktoren eingesetzt, die in Deutschland für einen Vergleich von Passivhäusern üblich sind (siehe Anmerkungen zu folgender Tabelle).

Tabelle 16: Verbrauchsdaten der Wohnheime. Primärenergieverbrauch als Summe aus Wärme und (elektrischer) Hilfsenergie. Der unterschiedliche Wasserverbrauch der Burse zeigt z.B. die Auswirkung unterschiedlicher Stopp-Tasten bei der Toilettenspülung, bzw. verschiedener Drosselventile in den Dusch- Armaturen (NEH 17,5 l/min, PH 12,5 l/min) [Engelmann et al., 2008]

	Burse NEH Wuppertal	Burse PH Wuppertal	Bildungs- herberge Hagen <sup>1)</sup>	Molkerei- straße Wien
Endenergieverbrauch-Heizung $Q_H$ [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ·a)] <sup>2)</sup>	37	30	22	18
Raumlufttemperatur [°C] <sup>3)</sup>	22,9	21,7	22,1	23,2
Endenergieverbrauch- Warmwasser. $Q_{TW}$ [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ·a)]	41	37	9 <sup>4)</sup>	35
Endenergieverbrauch-Lüftung $Q_{RLT}$ [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ·a)]	1,7	4,7	3,4	10,5 <sup>8)</sup>
Primärenergieverbrauch nicht erneuerbar (Wärme + Hilfsener- gie). $Q_P$ [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ·a)] <sup>6)</sup>	64	63	33	61
Treibhausgasemissionen CO <sub>2</sub> Emissionen [kg/(m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ·a)] <sup>7)</sup>	25	23	8,9	16
	815	724	350	621

1) Verbrauchsdaten bei Auslastung von 60%

2) Standardisierter Heizwärmeverbrauch (temperaturbereinigt)

3) Median aus Messperiode: Burse Winter 2005/06; Hagen: Winter 2006/07

4) Exkl. Solarertrag aus 30 m<sup>2</sup> großer thermischer Solarkollektoranlage zur Brauchwassererwärmung.

6) Energieverbrauch für Heizung, Warmwasser und Lüftung exkl. Haushaltsstrom. PE-Faktoren (nicht erneuerbar) aus GEMIS nach DIN 4701-10: Fernwärme Wuppertal (KWK): 0,7; Fernwärme Wien 0,639 [UBA, 2007]; Erdgas: 1,1; Strom-DE: 2,7, Strom-Wien: 2,43 [UBA, 2007]

7) CO<sub>2</sub> - Äquivalente [g/kWh]: Fernwärme Wuppertal: 286 [WSW2006], Fernwärme Wien: 192 [UBA, 2007]; Erdgas: 249 (GEMIS 4.3), Strom-DE: 647 (GEMIS 4.3), Strom-Wien: 533 [UBA, 2007]

8) Dieser Wert enthält aus messtechnischen Gründen neben dem Stromverbrauch der dezentralen und zentralen Lüftungsgeräte auch den Stromverbrauch für Hilfstechnik (Pumpen und Regelung)

Beim Wohnheim Burse konnten durch Maßnahmen die aus dem Monitoring abgeleitet wurden signifikante Einsparungen der Heizwärme realisiert werden [Engelmann+Kramp, 2006], [Bine, 2006]. Bei den Wohnheimen in Hagen und Wien wurden ebenfalls Einsparpotentiale identifiziert.

Deutlich erkennbar ist auch die Dominanz des Energieverbrauchs für Warmwasser bei zunehmender Optimierung der Gebäudehülle. Hier können mit einfachen Mitteln (Drosselventile in Armaturen) erhebliche Einsparungen erzielt werden. Zudem lässt sich durch die Einbindung erneuerbarer Quellen (Solarthermie) eine deutliche Reduktion des Primärenergieverbrauchs realisieren.

## 9 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts zeigten, dass der bisherige Energieverbrauch der „Molkereistraße“ in vergleichbarem Niveau mit anderen Passivhäusern in Österreich und Deutschland lag und dass sich mehr als 80 % der Studenten im Passivhaus wohl fühlten. Die dem Passivhauskonzept zugrunde liegenden Grenzwerte (Heizwärmebedarf und Primärenergiebedarf) wurden durch den Betrieb des Studentenheims eingehalten bzw. geringfügig überschritten. Der gemessene Energieverbrauch lag über dem geplanten Bedarf, was einerseits auf optimistische Annahmen in der Planung und andererseits auf unzureichende Einregelung und Wartung des Gebäudes sowie auf teilweise fehlendes Verständnis der Bewohner für die Funktionsweise des Gebäudes zurückzuführen ist.

Ein Studentenheim weist eine spezielle Gebäudenutzung auf, mit einigen Unterschieden zu einer gewöhnlichen Wohnnutzung. Für viele Studenten ist ihr Apartment im Studentenheim die erste eigene Wohnung, in der sie den Umgang mit dem Gebäude (Lüftung, Heizung, Entsorgung, Wasserverbrauch,...) erst erlernen müssen. Durch hohe Fluktuationsraten - in der Molkereistraße beträgt die durchschnittliche Mietdauer etwa 3-6 Monate - lernen die Bewohner das Gebäude nur ungenügend kennen (keine gesamte Jahresperformance) und es kommen stetig neue unerfahrene Bewohner hinzu. Ein Lerneffekt, wie bei gewöhnlichen Wohngebäuden, stellt sich daher nur begrenzt ein. Eine weitere Besonderheit ist die „Warmmiete“, welche auch die Kosten für elektrische Energie enthält. Aufgrund dieses Abrechnungsmodells haben energiesparende Verhaltensweisen oder ein hoher Energiekonsum der Bewohner keinen Einfluss auf die Kosten und es besteht kein finanzieller Anreiz für Energieeffizientes Verhalten.

Durch das Monitoring des Energieverbrauchs wurden Fehler in der Regelung und Betriebstechnik aufgezeigt und entsprechende Maßnahmen zur Steigerung der Gesamtenergieeffizienz gesetzt. Aus den Befragungsergebnissen und den Messungen des Innenraumklimas wurden effektive Maßnahmen abgeleitet um die Zufriedenheit in der Molkereistraße und in zukünftigen Passivhäusern zu steigern (z.B. Einsatz von Pflanzen).

Für einen energieeffizienten Betrieb ist eine ganzheitliche Betrachtung der Energieflüsse wichtig. Bei Passivhaus-Studentenheimen wird der Endenergieverbrauch von der Warmwasseraufbereitung dominiert. Dies gilt auch für einige der betrachteten Studentenheime in Niedrigenergiehausstandard. Durch wassersparende Armaturen und Nutzung regenerativer Energiequellen lassen sich hier im Hinblick auf Schonung von Energieressourcen und Klimaschutz weitere Optimierungspotentiale erschließen.

Aus der Analyse des Studentenheims Molkereistraße und den Vergleichen mit ähnlichen Gebäuden wurden detaillierte und konkrete Empfehlungen für die Planung von klimaschonenden Gebäuden und für die zukünftige Wohnbauförderung abgeleitet und weiterer notwendiger Forschungsbedarf identifiziert. Dies wurde in den folgenden Abschnitten dokumentiert.

Die Novellierung der Wiener Wohnbauförderung 2007 lässt eine vermehrte Realisierung von Passivhaus-Wohngebäuden erwarten. Vor allem die deutlich erhöhten Baukostenober-

grenzen und Fördersätze sollten geeignet sein, um anfallende Mehrkosten bei Planung und Ausführung abzufedern.

## 9.1 Performance und Mehrwert des Passivhaus-Studentenheims Molkereistraße

Das Monitoring der Energieperformance und Klimaschutzperformance der Molkereistraße ergab für die Untersuchungsperiode 2006-2007 die folgenden Resultate (die unterschiedlichen Flächenbezüge sind zu beachten: EBF Energiebezugsfläche lt. PHPP; BGF Bruttogeschossfläche. Beschreibungen und Erläuterungen zu den Flächen und Kennzahlen befinden sich in Kapitel 6.1):

- Der standardisierte (umgerechnet auf 20 °C Raumlufttemperatur und Heizgradtage laut PHPP) Heizwärmeverbrauch lag etwa auf selbem Niveau wie der Richtwert für Passivhäuser von 15 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>·a) bzw. 10 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a), bei Annahme eines Nutzungsgrades der Wärmeverteilung von 60 %. Im Vergleich zu anderen Passivhäusern (CEPHEUS-Objekte) lag der Heizwärmeverbrauch der Molkereistraße im Bereich der effizientesten CEPHEUS-Passivhäuser.
- Der Endenergieverbrauch an Fernwärme für die Raumheizung (nicht standardisiert) betrug 21 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a).
- Der Endenergieverbrauch an Fernwärme für die Warmwasserbereitung betrug 35 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a). Die Warmwasserbereitung war damit die dominierende Größe für den Fernwärmeverbrauch und lag auch deutlich über den Soll-Werten, was auf optimistische Annahmen in der Planung zurückzuführen ist. Wie der Vergleich mit anderen Studentenheimen zeigte, ist dieser Wert für die Nutzungsform Studentenheim durchaus üblich und lag um ca. 24 % unter dem Wert der verglichenen Wiener Studentenheime (Tigergasse, Simmeringer Hauptstraße).
- Der Endenergieverbrauch an elektrischer Energie für die dezentralen Lüftungsgeräte betrug 5,5 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a) bzw. 9,0 kWh/(m<sup>2</sup><sub>Bel.Fl.</sub>·a) bezogen auf belüftete Fläche. Dieser Energieverbrauch lag deutlich über den Soll-Werten, was auf belegte Filter und optimistische Annahmen in der Planung zurückzuführen sein kann.
- Der gesamte Endenergieverbrauch an elektrischer Energie betrug 34 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a). Dieser Wert setzt sich folgendermaßen zusammen:
  - ca. 16 % für dezentralen Lüftungsgeräten
  - ca. 15 % für zentrale Lüftungsgeräte inkl. Hilfstechneikenergiebedarf für Heizung und Warmwasser
  - ca. 3 % (in der Periode von Juli bis Dezember 2007) für die elektrische Bandbegleitheizung um die Warmwasserverteilverluste in Grenzen zu halten.
  - ca. 10 - 20 % für Waschmaschinen und Trockner (grobe Schätzung)
  - ca. 5 - 30 % für TV und Internet (grobe Schätzung)

- 16 - 52 % sonstiger Haushaltsstrom. Aufgrund von Hinweisen von Energieplanern kann davon ausgegangen werden, dass dieser Wert einen hohen Anteil für die Beleuchtung enthält.

Der Stromverbrauch für die Nutzung von TV und PC, für die Nutzung von Waschmaschinen und Trockner, für die Belüftung und für die Beleuchtung hat einen wesentlichen Einfluss auf den gesamten Stromverbrauch.

- Der gesamte Endenergieverbrauch an elektrischer Energie und Fernwärme beträgt  $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$  bzw.  $122 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a})$  und liegt damit deutlich über dem CEPHEUS-Passivhaus-Richtwert von  $42 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a})$ . Allein der Endenergieverbrauch für Warmwasser liegt mit  $47 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a})$  über diesem Richtwert.
- Der gesamte Primärenergieverbrauch (nicht erneuerbar) bei Verwendung von GEMIS-Faktoren (V.4.42) für Wiener Fernwärme und Wiener Strom-Mix beträgt  $117 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$  bzw.  $160 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a})$  und liegt damit über dem Richtwert für Passivhäuser von  $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a})$ . Allerdings ist es möglich, dass mit den identifizierten Einsparungen der Primärenergie-Zielwert in Zukunft erreicht wird. Der Primärenergieverbrauch wird vom Stromverbrauch dominiert (Anteil ca. 70 %). Bei einem Vergleich von Gebäuden innerhalb Österreichs können GEMIS-Faktoren für den österreichischen Strom-Mix zugrundegelegt werden. Mit diesen Werten ergibt sich ein Primärenergieverbrauch (nicht erneuerbar) von  $76 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$  bzw.  $103 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a})$  welcher unterhalb des Richtwerts für Passivhäuser liegt.
- Die gesamten Treibhausgasemissionen bei Verwendung von GEMIS-Faktoren (V.4.42) für Wiener Fernwärme und Wiener Strom-Mix betragen  $29 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$  bzw.  $1,1 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{Pers.} \cdot \text{a})$ . Die Treibhausgasemissionen werden vom Stromverbrauch dominiert (Anteil 62 %). Mit GEMIS-Faktoren für den österreichischen Strom-Mix liegen die Treibhausgasemissionen bei  $23 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$  bzw.  $0,9 \text{ t}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{Pers.} \cdot \text{a})$ . Es existiert kein Richtwert für Passivhäuser. Innerhalb der TQB-Bewertung (Total-Quality-Assessment of Buildings [Bruck et al., 2001] wird der Treibhausgasausstoß wie folgt bewertet: Höchstbewertung für  $< 5 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$ ; Neutrale Bewertung für 26-31  $\text{kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$ ; Niedrigste Bewertung für  $> 35 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$ . Bei Anwendung dieser Methodik ist die Klimaschutzperformance der Molkereistraße als neutral (für den Wiener Strom-Mix) bzw. als positiv (für den Österreichischen Strom-Mix) zu bewerten.

Das Monitoring des Innenraumklimas in den Monaten Februar und März 2007 ergab eine mittlere Raumlufttemperatur von  $23,2 \text{ °C}$  und eine mittlere relative Feuchte im Bereich von 23 - 35 % (Februar: 27 %; März: 29 % r.F.). Der Behaglichkeits-Richtwert von 30 % r.F. wurde häufig unterschritten, wobei die Werte zu keinem Zeitpunkt unterhalb von 23 % lagen. Aufgrund dieser Ergebnisse wird dieser Aspekt weiter untersucht, um Maßnahmen für eine höhere Behaglichkeit (Unterschreitung von 30 % r.F. nur an wenigen Tagen) zu setzen.

Die Nutzerzufriedenheit in der Molkereistraße liegt im Vergleich mit anderen Wiener Studentenheimen sehr hoch. Die Molkereistraße (66 % Rückmeldungen) liegt an 2. Stelle von 25

ausgewerteten Heimen, knapp hinter dem neu renovierten Albert-Schweitzer-Haus, wobei bei diesem Heim nur 15 % Rückmeldungen vorlagen und die Ergebnisse daher nicht so robust sind wie bei der Molkereistraße. In der Befragungsperiode Jänner bis Juni 2007 gaben 84 % der Bewohner der Molkereistraße an, dass sie sich im Passivhaus sehr wohl oder zumindest teilweise wohl fühlen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den Monaten Mai und Juni 2007 extrem hohe Außentemperaturen gemessen wurden.

Speziell positiv bewertet wurde der Beitrag des Passivhauses für die Umwelt, das automatische Abschalten der Heizung bei geöffneten Fenstern, die Regulierbarkeit der Raumtemperatur (17 - 25 °C) und das angenehme Raumklima.

Der Vergleich des Heizwärmeverbrauchs mit Referenzgebäuden zeigte einen **hohen Mehrwert der Molkereistraße**. Im Vergleich zu üblichen fernwärmeversorgten Wohnhausanlagen in Österreich [Hofbauer, 1998] ergaben sich jährliche Einsparungen von:

- 680 MWh an Fernwärme für die Raumheizung,
- 130 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente und
- 44.000 € Betriebskosten (inkl. USt.).

Der Vergleich mit drei konkreten Wiener Studentenheimen (ÖAD-Heime Tigergasse, Comeniusgasse, Simmeringer Hauptstraße) ergab einen hohen Mehrwert der Molkereistraße, der sich bei Annahme der gleichen Wohnnutzfläche in folgenden jährlichen Einsparungen quantifizieren ließ:

*Tabelle 17: Effekte der energieoptimierten Raumbeheizung und Warmwasserverteilung. Mehrwert des Studentenheims Molkereistraße verglichen mit anderen Wiener Studentenheimen bei Annahme einer gleich großen Wohnnutzfläche (6686 m<sup>2</sup>).*

<b>Jährliche Einsparungen an</b>	verglichen mit Studentenheim <b>Tigergasse</b>	verglichen mit Studentenheim <b>Comeniusgasse</b>	verglichen mit Studentenheim <b>Simmeringer Hstr.</b>
Fernwärme	290 MWh / a	400 MWh / a	520 MWh / a
Primärenergie, nicht erneuerbar	700 MWh / a	970 MWh / a	1.300 MWh / a
Treibhausgasemissionen	55 t CO <sub>2</sub> -Ä. / a	76 t CO <sub>2</sub> -Ä. / a	100 t CO <sub>2</sub> -Ä. / a
Betriebskosten (inkl. USt.)	19.000 € / a	26.000 € / a	34.000 € / a

Der Vergleich der vier Studentenheime ist beschränkt aussagekräftig, da die höhere Ausstattungsqualität und Innenraumklimaqualität der Molkereistraße in der Gegenüberstellung unberücksichtigt bleibt. Der höhere Komfort der Molkereistraße betrifft thermische Qualität, Raumluftqualität, Tageslichtqualität, Sommertauglichkeit, vorhandene TV-Geräte, vorhandener Internet-Anschluss, sonstige Ausstattungsqualität und Wohnnutzfläche pro Person.

Für das älteste Heim (Comeniusgasse, Baujahr 1996) wurde der deutlich niedrigste Stromverbrauch von ca. 578 kWh/(cap·a) festgestellt, was aufgrund der niedrigeren Ausstattungs-

qualität plausibel ist. Der Vergleichswert für die Tigergasse und Simmeringer Hauptstraße lag um ca. 50 % höher und für die Molkereistraße um etwa 100 % höher. Die Comeniusgasse lag jedoch bei der Nutzerbefragung hinsichtlich Zufriedenheit mit der Unterbringung an vorletzter Stelle von 25 Wiener Studentenheimen. Dies ist auch auf die niedrigere Ausstattungsqualität zurückzuführen, welche sich in einem niedrigeren Energieverbrauch widerspiegelt. Da der Primärenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen sehr stark vom Stromverbrauch dominiert werden, ist die Verfälschung der Ergebnisse (aufgrund der unterschiedlichen Qualität der Gebäude) bei der Gegenüberstellung der vier Studentenheime hier am größten. Allerdings wurden aus dieser Gegenüberstellung auch wichtige Schlussfolgerungen gezogen, die in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

Bei Missachtung der unterschiedlichen Qualität der Gebäude zeigt der rein flächenbezogene Vergleich, dass die Molkereistraße etwa  $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \cdot \text{a})$  weniger Gesamt-Endenergie (Fernwärme und elektrische Energie) verbrauchte als die Comeniusgasse und Tigergasse. Der Mehrwert gegenüber der Simmeringer Hauptstraße, welche im selben Jahr eröffnet wurde und somit die ähnlichste Ausstattungsqualität aufweist, betrug etwa  $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFL}} \cdot \text{a})$ . Die Simmeringer Hauptstraße verbrauchte somit etwa um 42 % mehr an gesamter Endenergie pro Wohnnutzfläche bzw. um 52 % mehr Endenergie pro Person. Die Treibhausgasemissionen lagen um 9 % höher als bei der Molkereistraße.

Die drei Studentenheime in Niedrigenergiehausstandard verursachten einen sehr unterschiedlich hohen Fernwärmeverbrauch in den Sommermonaten verglichen mit den Wintermonaten. Das Passivhausstudentenheim verursachte den konstantesten Fernwärmeverbrauch über ein Jahr, was eine effizientere Auslastung der Fernwärme bedeutet.

## 9.2 Errichtungskosten und Förderung

- Eine Analyse von Errichtungskosten und der Effizienz von Förderungsaktivitäten ist als ein erster Schritt zu einer ökonomischen Gesamtbewertung von Wohngebäuden in Passivhausqualität zu sehen. Weitere Erhebungen zu Fragen der Einsparung von Heizkosten, Kosten des Energieverbrauchs, Betriebskosten, generell Kosten der Bewirtschaftung im Lebenszyklus ökologisch optimierter Wohngebäude sollten im Rahmen von Folgestudien analysiert werden; auch hinsichtlich einer Entwicklung von Bewertungsindikatoren bzw. -grundsätzen für nach Nachhaltigkeitskriterien konzipierten Gebäuden besteht nach wie vor Forschungsbedarf.
- Im Ergebnis weist das von Mai 2004 bis August 2005 errichtete Wohnheim Molkereistraße eine positive ökonomische Performance hinsichtlich der Errichtungskosten auf. Mit Gesamtbaukosten in Höhe von rund € 1.300,- je  $\text{m}^2$  förderbarer Nutzfläche (exkl. USt.) erreichte das Projekt ein Kostenniveau wie noch zu Beginn des laufenden Jahrzehnts und damit deutlich unterdurchschnittliche Baukosten.
- Die Effizienz der Wiener Wohnbauförderung ist vor dem Hintergrund des analysierten Wohnprojekts als hoch zu bezeichnen. Die der Förderung zugrunde gelegten Kalkulationen und Prognosen wurden im Zuge der Projektrealisierung durchgehend erfüllt;

dies belegt auch die gute Wirkungsweise des Grundstücksbeirats sowie der gesamten Förderungsabwicklung.

- Die im Zuge der NeubauVO 2007 geschaffenen Veränderungen lassen grundsätzlich eine Zunahme des Passivhaus-Standards im Wr. Wohnbau erwarten. Vor allem die deutlich gestiegenen Baukostenobergrenzen und Fördersätze sollten geeignet sein, die Realisierung von Passivhausprojekten zu erleichtern sowie anfallende Mehrkosten abzufedern. Die höhere Attraktivität der Wohnbauförderung ist überdies in Hinblick auf die in den letzten Jahren dynamisch gestiegenen Gesamtbaukosten und tendenziell steigende Finanzierungskosten als eine für die Bewältigung künftiger Anforderungen (steigender Wohnungsbedarf, ökologischer Wohnbau) notwendige Bedingung zu sehen.
- Inwieweit sich allerdings der Passivhaus-Standard zu einem Mindeststandard im großvolumigen Wiener Wohnbau entwickeln wird (ähnlich der Entwicklung des Niedrigenergiehaus-Standards seit etwa 1996) ist derzeit noch schwierig abzuschätzen; die diesbezüglich entscheidenden Kriterien werden in der künftigen Entwicklung der ökonomischen (bauwirtschaftlichen und finanzwirtschaftlichen) Rahmenbedingungen sowie Akzeptanz der Wiener Wohnbevölkerung bestehen.

### 9.3 Optimierungspotenziale für das Studentenheim Molkereistraße

Durch das Monitoring wurden Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich Energieeffizienz, Klimaschutz und Nutzungskomfort abgeleitet.

#### 9.3.1 Reduktion des Energieverbrauchs für die Raumbeheizung

Primärer Ansatzpunkt für Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Heizanlage ist die Optimierung der Regelung, wie zum Beispiel:

- Reduktion der Anschlussleistung. Bewirkt eine effizientere Nutzung der Fernwärme und eine bedeutende Kostenersparnis.
- Abschaltung der Heizung in den Sommermonaten. Die Einsparung bezogen auf den gesamten Fernwärmeverbrauch liegt bei 1,4 % wenn von Juni bis August abgeschaltet wird und bei 3,9 % wenn von Mai bis September abgeschaltet wird, was den folgenden jährlichen Einsparungen entspricht:
  - 23 MWh an elektrischer Energie
  - 15 MWh an Primärenergie
  - 4,4 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente und
  - 1.500 € Betriebskosten (inkl. USt. bei einem Preis von 65 € / MWh).
- Anpassung der Heizkennlinie
- Komplette Abschaltung der Heizung bei geöffneten Fenstern

Ein weiterer bedeutender Ansatzpunkt für die Erhöhung der Energieeffizienz ist eine verstärkte und gezielte Information und Unterstützung der Bewohner hinsichtlich der Nutzung der Wohnung.

### **9.3.2 Reduktion des Energieverbrauchs für die Warmwasserbereitung**

Obwohl der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung in der Molkereistraße im Vergleich zu den anderen dokumentierten Studentenheimen relativ niedrig war, lag er im Vergleich zu den Planungswerten und Erfahrungswerten für den Wohnbau sehr hoch. Es besteht weiterer Forschungsbedarf. Mögliche Optimierungspotenziale sind:

- Wechsel der Armaturen und/oder Duschköpfe. Die Kosten-Nutzen-Relation einer solchen Maßnahme ist im Vorfeld abzuklären. Anhand der Analyse des Studentenheims „Neue Burse“ in Wuppertal [Engelmann et al., 2008] können die Effekte unterschiedlicher Armaturen und Duschköpfe abgeschätzt werden.
- Reduktion des Warmwasserdrucks. Die Auswirkungen auf den Komfort sind im Vorfeld abzuklären.
- Warmwasserwärmerückgewinnung. Durchführbarkeit und Kosten-Nutzen-Relation sind zu klären.
- Überdämmung der Verteilleitungen (insb. im Kellergeschoss): Durchführbarkeit und Kosten-Nutzen-Relation sind zu klären.

Die derzeitige Regelung der Bandbegleitheizung entspricht nicht dem geplanten Zustand (diese Anlage dient der Reduktion der Warmwasserverteilverluste). Grund hierfür könnte eine ungünstige Platzierung der Temperaturfühler für die Regelung sein. Der hygienische Zustand des Warmwassers ist zu prüfen und gegebenenfalls sind entsprechende Maßnahmen zu setzen um einen einwandfreien Zustand herbeizuführen. Beispielsweise kann die in ÖN B 5019 (1.1.2007) festgelegte hygienische Anforderung durch eine adaptierte Regelung erreicht werden, indem das Warmwasser in den Verteilleitungen periodisch und kurzzeitig auf über 60 °C erwärmt wird.

Im Fall der Molkereistraße bewirkt eine komplette Abschaltung der elektrischen Bandbegleitheizung die niedrigsten Treibhausgasemissionen. Allerdings kann dadurch die Temperatur in den Verteilleitungen unter 45 °C absinken, was zu einem bedenklichen Wachstum von Legionellen führen kann.

### **9.3.3 Reduktion des Energieverbrauchs für die kontrollierte Belüftung durch regelmäßigen Filterwechsel**

Die Lüftungsgeräte verbrauchen aufgrund höherer Druckverluste deutlich mehr elektrische Energie als geplant. Aufgrund der Erfahrung mit den Geräten kann ein Fehlverhalten der Geräte selbst ausgeschlossen werden. Die Ursache ist in den Luftleitungen und insbesondere den Außenluftfiltern zu suchen. Eine nachgewiesene Ursache für höhere Druckverluste sind belegte Filter aufgrund unregelmäßigen Filtertauschs. Es existiert keine ausreichende Dokumentation der Tätigkeiten der Service- bzw. Wartungsfirma und der Betreiber (ÖAD) erhielt keine ausreichenden mündlichen Informationen um die Tauschintervalle der einzelnen

Filter festzustellen. Wenn durch regelmäßige Reinigung oder Tausch der Filtereinheiten der Planungszustand erreicht werden kann, sind folgende jährliche Einsparungen möglich:

- 34 MWh an elektrischer Energie
- 83 MWh an Primärenergie
- 18 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente und
- 4.600 € Betriebskosten (inkl. USt. bei einem Preis von 135 € / MWh).

Der Filtertausch ist zukünftig regelmäßig vorzunehmen und direkt vom Betreiber des Studentenheims durchzuführen, da dies kein aufwändiger technischer Arbeitsschritt ist (die Beherrschung eines Schraubenziehers oder Vierkantschlüssels reicht aus). Wenn diese Tätigkeit durch den Betreiber ausgeführt wird, wächst damit gleichzeitig das Bewusstsein für die Funktionsweise des Gebäudes und regt im besten Fall zu einer selbständigen Optimierung der Energieeffizienz in diesem Bereich an. Zu überprüfen wäre auch der Einbau einer Druckdifferenzmessung an ausgewählten Filtern mit automatischer Alarmierung.

Es ist zu prüfen, ob der Energieverbrauch der Geräte durch den Einsatz anderer Filter reduziert werden kann.

Weitere bedeutende Einsparpotenziale bestehen, wenn die Lüftungsgeräte nicht das ganze Jahr durchgehend betrieben werden. Der Hersteller [Drexel, 2008] empfiehlt die Minimierung des Volumenstroms der Lüftungsgeräte außerhalb der Heizsaison, da dies aus energetischen Gründen nicht notwendig ist und wenig zusätzlichen Komfort verspricht. Aus hygienischen Gründen wird vor einer kompletten Abschaltung gewarnt. Die Anlage könnte jedoch außerhalb der Heizsaison auch nur einige Stunden pro Tag betrieben werden. Bei einer Reduktion des Betriebs von April bis September auf 2/3 des ursprünglichen Werts und Betriebszeiten von 6 Stunden pro Tag können folgende jährliche Einsparungen erzielt werden (bezogen auf den derzeitigen Verbrauch unter der Annahme einer gleich bleibenden Effizienz der Anlage):

- 24 MWh an elektrischer Energie
- 59 MWh an Primärenergie
- 13 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente und
- 3.200 € Betriebskosten (inkl. USt. bei einem Preis von 135 € / MWh).

### 9.3.4 Erhöhung des Benutzungskomforts

Da die internationalen Bewohner im Durchschnitt nur ein Semester im Studentenheim Molkereistraße verbringen, bleibt die saisonal unterschiedliche **Funktionsweise** des Gebäudes **größtenteils unbekannt**. Um den Nutzungskomfort zu steigern sind den Studenten wesentliche Komponenten und deren Funktionsweise zu erklären. Die Befragung ergab, dass Informationsdefizite primär für die folgenden Bereiche bestehen:

- Vorhandene Gebäudebeschreibung in englischer Sprache
- Nutzung der manuellen Verschattungen

- Regulierung der Raumlufttemperatur
- Lüftung

Deutliche Komfortsteigerungen können durch **Instandhaltung und Regelung der Lüftungsgeräte** erzielt werden:

- Anpassung der Regelung. Derzeit wird der Erdwärmetauscher erst ab einer Außentemperatur von 30 °C aktiviert. Bei Herabsetzung dieses Grenzwerts, z.B. auf 26 °C, wird die Zuluft geringfügig kühler eingeblasen und das Erdreich kann sich dadurch besser regenerieren.
- Anpassung der gewünschten Frischluftmengen. Ein regelmäßiger Filterwechsel kann bezüglich der Frischluftmenge und Frischluftqualität deutliche Vorteile nach ziehen.
- Aktivierung des Bypass bei Lüftungsgeräten zur Umgehung der Wärmerückgewinnung in den Sommermonaten. Der sommerliche Betrieb der Lüftungsanlage inkl. Vorkühlung durch den Betrieb des Erdwärmetauschers bringt jedoch laut Erfahrung des Anlagenherstellers nur äußerst geringfügige Komfortsteigerungen.

Eine bedeutende Komfortsteigerung betreffend die geringe Luftfeuchtigkeit (insbesondere in der Heizsaison) kann durch den gezielten Einsatz von hochfeuchtespendenden Pflanzen wie beispielsweise Zypergras (*Cyperus Alternifolius*, siehe [Schneider et al., 2006]) erzielt werden. Eine professionelle Betreuung der Pflanzen im laufenden Betrieb ist hierfür unverzichtbar.

## 9.4 Effizienzsteigerung durch das Monitoring

Nach Inbetriebnahme eines Gebäudes erfolgt häufig keine Überprüfung der energietechnischen Planungs- und Zielwerte. So werden in der Betriebsführung falsche regelungstechnische Einstellungen oder Defekte oft lange Zeit nicht bemerkt. Dem Betreiber fehlen dazu in der Regel geeignete Analyseinstrumente.

Wie auch in anderen Forschungsprojekten festgestellt wurde (z.B. laufende Monitoring-Projekte des BMVIT-Impulsprogramms Haus-der-Zukunft oder [Engelmann et al., 2008]), kann durch ein Energie-Monitoring von Gebäuden der Nutzungskomfort erhöht werden, eine beträchtliche Menge an Energie eingespart werden und auch damit verbundene Treibhausgasemissionen reduziert werden. Der primäre Ansatz für diesbezügliche Maßnahmen ist die Optimierung der Regelung.

Die Autoren vertreten die These, dass die **Kosten** für ein Monitoring durch die Einsparung der Betriebskosten **in kurzer Zeit** (wenige Monate bis Jahre) **amortisiert** werden. Der Beitrag von einzelnen Maßnahmen im Studentenheim Molkereistraße (und anderen großvolumigen Passivhäusern) soll in einem Folgeprojekt erforscht werden. Eine wichtige Schlussfolgerung aus diesen Ergebnissen ist die Forderung nach einem **flächendeckenden Monitoring für alle geförderten Gebäude**.

Ein besonders wichtiger Beitrag des Monitoring in der Molkereistraße ist die Auswertung der gesamten Fernwärmeleistung, da dieser Wert für die Kostenverrechnung maßgeblich ist. Aufgrund der Ergebnisse kann der Verrechnungsanschlusswert ohne Komforteinbußen deutlich gesenkt werden, was zu beträchtlichen Kosteneinsparungen führt.

## 9.5 Klimaschonende Energieversorgung von Gebäuden

Für die Primärenergieeffizienz und den Treibhausgasausstoß von Gebäuden hat die Energieversorgung (Art des Energieträgers und Effizienz der Energieumwandlung) einen wesentlichen Einfluss, der durch die Gebäudeplaner nur beschränkt gesteuert werden kann. Dies kann jedoch auf kommunaler bzw. regionaler Ebene positiv beeinflusst werden, wie dies beispielsweise in der Stadt Wien der Fall ist.

### 9.5.1 Klimaschutz durch schonenden Umgang mit elektrischer Energie

Der Verbrauch an elektrischer Energie hat eine höhere relative Wachstumsrate als der Gesamtenergieverbrauch. Elektrische Energie kann als „wertvolle“ oder „hochwertige“ Energie bezeichnet werden, da die Kosten und der ökologische Rucksack deutlich höher liegen als bei fossilen oder biogenen Energieträgern. Durch die hohe Wachstumsrate und den hohen Treibhausgasfaktor bewirkt der Stromverbrauch eine stetige Steigerung der Treibhausgasemissionen. Aufgrund des steigenden Stromverbrauchs werden zusätzliche Kraftwerke benötigt. Für Österreich (und Europa) existieren konkrete Pläne zur Errichtung von neuen Kohlekraftwerken.

Wie anhand des Studentenheims Molkereistraße gezeigt wurde, können im Rahmen der Bauplanung sehr effektive Maßnahmen gesetzt werden um den Energieverbrauch für Beheizung und Warmwasser zu minimieren. Es bestehen jedoch wenige Ansatzpunkte um den Verbrauch an Haushaltsstrom zu reduzieren. Für die zukünftige Gebäudeplanung sind möglichst alle Ansatzpunkte für eine effektive Verbrauchsreduzierung von elektrischer Energie auszuschöpfen (siehe Empfehlungen für die Planung). Der Einsatz von elektrischer Energie für die Beheizung und Warmwasserbereitung ist unbedingt zu vermeiden bzw. auf ein Klimaschutz-verträgliches Maß einzuschränken.

### 9.5.2 Energieversorgung durch die Fernwärme Wien

Die Primärenergie- und Treibhausgasfaktoren der Fernwärmeerzeugung in Wien sind durch Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in den letzten Jahren stark gesunken. Dieser Trend wird sich in den nächsten Jahren fortsetzen. Durch ein Re-Powering der Kraftwerksanlage in Simmering (aktiv ab 2009) wird erwartet, dass sich der THG-Faktor (für direkte Emissionen) um ca. ein Drittel vermindert und eine weitere Reduktion wird durch eine zusätzliche Müllverbrennungsanlage (50 MW, aktiv ab 2008) erwartet [FW-Wien, 2007b].

Die **Fernwärme Wien wird** nicht nur das Kyoto-Ziel erreichen, sondern die **Kyoto-Zielsetzungen** (minus 13 % Treibhausgasemissionen) **um etwa das Vierfache übertreffen**: Die direkten Treibhausgasemissionen pro gelieferte Energiemenge werden laut Prognose im Jahr 2010 um etwa 52 % unter dem Wert von 1990 liegen.

Diese engagierten Klimaschutzfolge gelten somit für alle Fernwärme-versorgten Gebäude. Die Fernwärme ist im urbanen Bereich somit ein geeigneter Energieträger für Passivhäuser. Aber auch umgekehrt sind Passivhäuser geeignete Energienutzer für die Fernwärme. Passivhäuser weisen einen deutlich konstanteren Fernwärmeverbrauch über ein Jahr aus als konventionelle Gebäude oder Niedrigenergiehäuser, da die Unterschiede des Fernwärmeverbrauchs in den Sommermonaten verglichen mit den Wintermonaten geringer ausfallen. Dies bewirkt eine effizientere Auslastung der Fernwärme.

Der Kritikpunkt, dass in Fernwärmeversorgungsgebieten der Stadt Wien keine Förderung der Solarthermie bewilligt wird, ist hinsichtlich des effizienten Einsatzes von Energieträgern und wirtschaftlichen Ressourcen derzeit nicht haltbar. Solarthermieanlagen liefern vor allem in den Sommermonaten und der Übergangszeit einen wesentlichen Beitrag an thermischer Energie. In diesen Monaten wird die Fernwärme zu nahezu 100 % durch Müllverbrennungsanlagen (MVA) und industrielle Abwärme der ÖMV gespeist und hat deshalb einen sehr niedrigen Primärenergie- und Treibhausgasemissionsfaktor (siehe Abbildung 18). Da die Energie aus MVA und ÖMV stetig verfügbar ist und nicht zur Gänze genutzt werden kann, ist es aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht derzeit nicht vertretbar, zusätzliche Solarkollektoren im Versorgungsgebiet zu errichten. Sollte jedoch der Fernwärmebedarf das Niveau der aus MVA und ÖMV erzeugten Fernwärme in den Sommermonaten überschreiten (z.B. aufgrund von Energieträgerwechsel bei einer großen Anzahl an bestehenden Gebäuden), wäre die flächendeckende Förderung der Solarthermie wieder vertretbar.

Im Gegensatz zum großvolumigen Wohnbau, ist die Abrechnung des Fernwärmeverbrauchs bei Studentenheimen nicht mit hohem messtechnischem Aufwand verbunden, da bei dieser Nutzungsart nicht der Energieverbrauch einzelner Wohnungen gemessen werden muss. Bei fernwärmeversorgten Wohnhausanlagen in Passivhausstandard betragen jedoch die Kosten für Messgeräte und deren Eichung laut Erfahrung [Willensdorfer, 2007] mehr als die Hälfte der Abrechnungskosten für die Beheizung. Daher ist zu prüfen, wie die rechtlichen Grundlagen für fernwärmeversorgte Passivhaus-Wohnhausanlagen adaptiert werden können.

### **9.5.3 Quantifizierung des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen**

#### Monatsverfahren anstatt Jahresverfahren für die Bewertung des Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Gebäuden

Der Endenergieverbrauch weist starke monatliche Schwankungen auf. Der Energieträger-Mix von elektrischer Energie und Fernwärme unterliegt ebenfalls starken saisonalen Schwankungen. Um realistische Bewertungsergebnisse hinsichtlich Primärenergieeffizienz und Klimaschutzbeitrag zu liefern, ist daher ein Monatsverfahren zur Berechnung von Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen einzusetzen. Es besteht Forschungsbedarf für die Erarbeitung von monatlichen Primärenergie- und Treibhausgasemissionsfaktoren. Diese Faktoren sind im derzeit üblichen Monatsverfahren zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden einzubinden (Das Verfahren enthält bereits monatliche Faktoren für das Klima). Die Autoren vertreten die These, dass sich die real vorhandenen Vorteile der Fernwärme gegenüber anderen Energieträgern mit dem Monatsverfahren besser quantifizieren lassen können.

Die Fernwärme Wien GmbH vertritt die Ansicht, dass im Zuge der Bewertung von Primärenergieeffizienz und Treibhausgasemissionen nicht ausschließlich die Energieumwandlung, sondern auch die Abfallentsorgung zu berücksichtigen ist, da auch Emissionen anfallen, wenn keine Fernwärme ausgekoppelt wird und Emissionen in weit größerem Ausmaß anfallen, wenn Abfall nicht verbrannt sondern deponiert wird. Für diesen Ansatz bestehen gegenwärtig keine anerkannten Bewertungsergebnisse. Jedoch kann dies nach der Methodik von regionalen Stoff- und Energieflussanalysen untersucht werden, wobei der Nutzen des Prozesses „Müllverbrennungsanlage“ (Abfallentsorgung sowie Fernwärmeeinspeisung) mit anerkannten Methoden monetär zu bewerten ist. Es wird empfohlen, die Bewertung hier ebenfalls auf Monatsbasis anstatt auf Jahresbasis durchzuführen.

## **9.6 Empfehlungen für die zukünftige Planung und Förderung von klimaschonenden Gebäuden (insbesondere Studentenheime)**

### **9.6.1 Strategien für einen schonenden Umgang mit elektrischer Energie**

Wie in vorigem Abschnitt erläutert sind Maßnahmen zur Reduktion des Verbrauchs an elektrischer Energie unentbehrlich um die Klimaschutzziele zu erreichen. Die wichtigsten Strategien für eine effektive Verbrauchsreduzierung von elektrischer Energie im Gebäudebereich sind:

- Vermeidung des Einsatzes von elektrischer Energie für die Beheizung und Warmwasserbereitung bzw. Reduktion auf ein klimaschutz-verträgliches Niveau.
- Konsequente Verfolgung von Stromsparkonzepten für den Haushaltsbereich (Contracting, verbindliche Nutzung von Energiespargeräten, Vermeidung von Standby-Verbrauch, etc.). Insbesondere in Studentenheimen kann eine verbindliche Nutzung von Energiespargeräten bewirkt werden und ein Wettbewerb hinsichtlich Stromeinsparung bei den Studenten angeregt werden.
- Sicherstellung der Sommertauglichkeit unter Berücksichtigung von anerkannten Klimaszenarien für das Jahr 2050 (mögliche Erhöhung der Länge von extremen Hitzeperioden auf das Vierfache) um die Verwendung von Klimaanlage zu vermeiden. Wird dies nicht berücksichtigt, kann davon ausgegangen werden, dass die Klimaschutzerfolge in der Heizsaison durch einen erhöhten Treibhausgasausstoß in der Kühlsaison mehr als kompensiert werden.
- Forschung und Entwicklung für effektive Reduktion des Stromverbrauchs in Gebäuden.
- Nutzung von Photovoltaik. Dies ist durch entsprechende Fördermodelle zu unterstützen.

### **9.6.2 Reduktion der Verluste aus der Wärmeverteilung (Warmwasser und Heizung)**

Ein wesentlicher Faktor für Energieverluste von Gebäuden - insbesondere für den großvolumigen Wohnbau - ist die Dämmstärke der Verteilleitungen von Heizung und Warmwasser. Bleibt dieser wichtige Aspekt eines umfassenden Passivhauskonzepts unberücksichtigt, so können die Verteilverluste (Warmwasser plus Heizung) ein Vielfaches des Heizwärmebe-

darfs betragen. Simulationen und Messungen der TU-Graz [Streicher et al. 2002] zeigten, dass die Verteilung mit einem 2-Leiter-Konzept die geringsten Verluste aufweist.

Die Verteilung des Warmwassers hat besonders in großvolumigen Gebäuden einen bedeutenden Einfluss auf die Energieeffizienz, da die Verluste etwa ein Drittel bis über die Hälfte des Endenergieverbrauchs für die Warmwasserbereitung betragen können. Insbesondere in der Nicht-Heizperiode sind diese Verluste möglichst niedrig zu halten, da diese ansonsten zusätzlich negativ auf die Sommertauglichkeit wirken.

Für die Planung des Warmwasserwärmebedarfs wird das Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik [Recknagel et al., 1997] und das Handbuch für Energieberater [Frey et al., 1994] empfohlen. Die in diesen Handbüchern angeführten Höchstwerte für Heime und Pensionen oder mittlere Werte für Hotelzimmer mit Dusche liefern realistische Werte für den Nutzenergiebedarf in Studentenheimen (dies gilt unter Umständen auch für den großvolumigen Wohnbau). Die Ö-Norm B 8110-5 liefert eher zu optimistische Werte und unterscheidet nicht in die Nutzungsarten Einfamilienhaus und mehrgeschossiger Wohnbau (Aufgrund der unterschiedlich hohen Belegungsdichte ist ein unterschiedlich hoher Nutzenergiebedarf zu erwarten). Für die nächste Überarbeitung der ÖN B 8110-5 wird empfohlen, die Nutzungsprofile entsprechend anzupassen und gegebenenfalls um weitere Kategorien zu ergänzen („Studentenheim“, „Großvolumiger Wohnbau“). Es ist zu prüfen, ob das Nutzungsprofil von Studentenheimen auch für den großvolumigen, sozialen Wohnbau zutrifft. Es ist zu prüfen, ob der Nutzenergiebedarf für Warmwasser pro m<sup>2</sup> Bezugsfläche für Einfamilienhäuser in einem anderen Bereich liegt als für Mehrfamilienhäuser mit mehr als ca. 10 Wohnungseinheiten.

Die Nutzenergie-Richtwerte in PHPP 2007 und die minimalen Werte im Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik sowie im Energieberater-Handbuch liegen deutlich auf der optimistischen Seite verglichen mit der realen Energieperformance der untersuchten Studentenheime

### **9.6.3 Rahmenbedingungen für die Planung und Förderung von Passivhauskonzepten**

Das Passivhauskonzept ist ein umfassendes Konzept für eine optimale Gesamtenergieeffizienz und hohe Behaglichkeit in Gebäuden. In der derzeit üblichen Planung von Passivhäusern, wird die zentrale Zielsetzung meist auf die Erreichung des Grenzwerts für den Heizwärmebedarf ( $HWB \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$ ) und nicht auf die Erreichung des Grenzwerts für den Primärenergiebedarf ( $PEB \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$ ) gelegt. Dies kann dazu führen, dass ein Niedrigenergiehaus mit Solaranlage eine bessere Primärenergieeffizienz aufweist als ein Passivhaus ohne Solaranlage. Auch eine ungünstige Wärmeverteilung (für Warmwasser und Heizung) im Passivhaus kann die Primärenergieeffizienz deutlich unter das Niveau eines Niedrigenergiehauses mit effizientem Verteilungskonzept drücken.

**Das Passivhauskonzept ist ganzheitlich umzusetzen, um die gewünschten Zielsetzungen:**

- **Schonung von Energieressourcen**
- **Reduktion der Abhängigkeit von Energieimporten**

## ➤ Klimaschutz

**möglichst effektiv zu erreichen.**

**Die Beschränkung auf die Kennzahl HWB (Nutzenergie-Heizung / pro m<sup>2</sup> Bruttogeschossfläche) ist für die Umsetzung des ganzheitlichen Passivhauskonzepts zu wenig.** Der HWB-Grenzwert als einziges Kriterium führt zur Optimierung von Teilsystemen anstatt zur Optimierung der Gesamtenergieeffizienz.

Da es das Ziel ist, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren sowie die nicht erneuerbaren und biogenen Energieressourcen zu schonen, sind neben dem HWB weitere Energiekennzahlen zu berücksichtigen.

- **Heizenergiebedarf** (HEB): Endenergiebedarf für Heizungs- und Warmwasserversorgung. Diese Kennzahl ist die Summe aus HWB, Nutzenergiebedarf für Warmwasser (WWWB) und Verluste (für Erzeugung, Verteilung und Speicherung) sowie Hilfstechne-energiebedarf für Heizungs- und Warmwasseranlagen im Gebäude.
- **Endenergiebedarf an elektrischer Energie** (EEB<sub>el,E</sub>): Menge an elektrischer Energie aus dem Stromnetz, die dem Heizsystem und allen anderen energietechnischen Systemen zugeführt werden muss, um den Heizwärmebedarf, den Warmwasserwärmebedarf, den Kühlbedarf sowie die erforderlichen Komfortanforderungen an Belüftung und Beleuchtung decken zu können. Es ist zu prüfen, ob und mit welcher Methodik weitere Strombedürfnisse im Haushalt in diese Kennzahl integriert werden können.
- **Primärenergiebedarf** (PEB; KEA Kumulierter Energieaufwand) **und Treibhausgasemissionen** (CO<sub>2</sub>; CO<sub>2</sub>-Ä.) die aus dem gesamten Endenergiebedarf (EEB) resultieren, unter Berücksichtigung aller vorgelagerter Prozesse (z.B. Gewinnung, Aufbereitung und Transport von Energieträgern). Die CO<sub>2</sub>-Kennzahl zeigt, wie gut das Klimaschutz-Ziel erreicht wurde. Es wird dringend empfohlen, bei allen geförderten Gebäuden in jedem Falle verpflichtend im außenliegenden Eingangsbereich diese Kennzahl als „Klimaschutz-Ausweis“ anzubringen und dies im Rahmen der Förderungsbedingungen verpflichtend festzulegen. Für die Berechnung dieser Kennwerte sind die zwei obigen Kennzahlen, die Anteile der Energieträger am HEB und die entsprechenden PEB- und CO<sub>2</sub>-Faktoren nötig. Nach den Erfahrungen aus gegenwärtiger Untersuchung hat der Strom-Mix die reale Stromaufbringung - also regionale Produktion sowie Importe - zu berücksichtigen. Die Faktoren können der Datenbank GEMIS entnommen werden, welche auch speziell an Österreichische Verhältnisse angepasste Prozessdaten enthält [UBA, 2007] und vom Umweltbundesamt Wien gepflegt wird. GEMIS Daten werden auch für DIN-Normen (DIN V 4701-10 a)1:2006-12, DIN V 18599-1:2005-07, Anhang A) und die Passivhausplanung (PHPP) herangezogen.

Die Berechnungsmethodik dieser Energiekennzahlen wurde im Rahmen der Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie (EPBD) größtenteils durch Ö-Normen festgelegt. Da diese Energiekennzahlen künftig flächendeckend für fast alle Neubauten und Sanierungen zu berechnen sind, besteht kein oder kaum planerischer Mehraufwand, wenn diese Kennzahlen im Rahmen der Förderung vorgeschrieben werden.

## 9.7 Bedarf an Forschung und Entwicklung im Gebäudebereich

Die Forschungsquote im Bauwesen liegt bei 0,03 % bezogen auf den Produktionswert. Der Durchschnitt der österreichischen Wirtschaft beträgt 2,3 %. Um die Zielsetzungen der Schonung von Energieressourcen, der Reduktion der Abhängigkeit von Energieimporten und des Klimaschutzes im Bauwesen erreichen zu können wäre es ein effizientes Mittel die Forschungsquote im Bauwesen auf ein deutlich höheres Niveau im Vergleich zum Mittelwert der österreichischen Wirtschaft anzuheben.

Die Wiener Wohnbauforschung bietet ein gutes Vorzeigebispiel für einen effizienten Einsatz von Forschungsgeldern. Durch den Forschungsschwerpunkt der Evaluierung von bestehenden Gebäuden nimmt die Wiener Wohnbauforschung eine bundesweite Vorreiterstellung ein. Eine Erhöhung der Forschungsquote im Bauwesen darf jedoch nicht zu Lasten der Wohnbauförderung gehen, sondern muss aus anderen Quellen gespeist werden um auch in Zukunft sozial verträgliche Mietkosten zu erreichen. Selbiges gilt für die Finanzierung einer höheren Nutzungsqualität - Stichwort Schadstoffminimierung und Komfortlüftung. Weiters sind die Forschungsaufgaben im Bauwesen nicht auf den Wohnbaubereich zu beschränken.

Österreich ist derzeit „Passivhaus-Weltmeister“ mit der größten Anzahl an realisierten Passivhäusern pro Einwohner. Diese Entwicklung wurde im Besonderen durch das BMVIT-Impulsprogramm „Haus-der-Zukunft“ vorangetrieben. Das Ziel des Impulsprogramms war es, Impulse zu setzen und Know-How zu entwickeln, was sehr erfolgreich gelungen ist. Trotzdem ist dieses spezielle Know-How derzeit schwierig zu vermarkten, da die diesbezüglichen Planungs- und Ausführungsleistungen aufwändiger sind als bei konventionellen Gebäuden. Es besteht ein Mangel an einer breiten Förderung dieser Leistungen und die Gefahr eines „Brain Drain“, wenn keine strategische und langfristige Forschungsinitiative gesetzt wird (Im Bereich Windkraft war Österreich weltweiter Technologieführer bis die Förderungen gekürzt wurden und die Technologien in DK und DE weiterentwickelt wurden).

Die im Zuge der Wiener NeubauVO 2007 geschaffenen Veränderungen lassen allerdings grundsätzlich eine Zunahme der Realisierung von Passivhäusern in Wien erwarten. Vor allem die deutlich gestiegenen Baukostenobergrenzen und Fördersätze sind geeignet, die Realisierung von Passivhausprojekten zu erleichtern sowie anfallende Mehrkosten abzufedern.

### 9.7.1 Einfluss des Außenklimas und der internen Gewinne

Für die Quantifizierung des Einflusses des Außenklimas und der internen Gewinne auf den Heizwärmebedarf und auf die Sommertauglichkeit besteht weiterer Forschungsbedarf. Die Untersuchung der Molkereistraße lieferte die folgenden Ergebnisse und Schlussfolgerungen:

- Die PHPP-Berechnung verwendet für den Standort Wien-Leopoldstadt einen um 7 % höheren Heizgradtag-Wert (HGT; Temperaturdifferenz Außentemperatur-Innentemperatur über einen gewissen Zeitraum) als im bisherigen OIB-Leitfaden mit 3319 K.d [OIB, 1999, Anhang] angegeben wurde. Das 30-jährige Mittel (Periode 1976/77-2005/06) der Messstation Wien - Hohe Warte liegt hingegen um 5,5 % unter dem HGT-Wert des OIB-Leitfadens.
- Die FW-Wien rechnet mit einem anderen Außentemperatur-Kennwert um den Heizenergieverbrauch realistischer abschätzen zu können. Anstatt des  $HGT_{20/12}$  wird der  $HGT_{19/16}$

eingesetzt, da dieser aus bisheriger Erfahrung besser zum realen Energieverbrauch passt. Diese Kenngröße passt jedoch nicht zu den tatsächlich gemessenen Raumtemperaturen (eher bei 22-23 °C als bei 19 °C). Eine Weiterentwicklung des Kennwerts ist nötig und der Fehler durch die Vernachlässigung von solaren und internen Gewinnen ist abzuschätzen.

- Die internen Gewinne nehmen durch den steigenden Stromverbrauch zu (z.B. aufgrund von Wäschetrockner, Computer, Großbildschirm etc.) und beeinflussen den Heizwärmeverbrauch und die Sommertauglichkeit. Es sind Methoden zu entwickeln um dies in der Gebäudeplanung entsprechend zu berücksichtigen.
- Es sind Methoden zu entwickeln, um die Sommertauglichkeit von urbanen Gebäuden unter Berücksichtigung von anerkannten Klimaszenarien zu bewerten und die Robustheit der Gebäude hinsichtlich wärmeren Klimas zu quantifizieren.

### **9.7.2 Warmwasseraufbereitung und -verteilung**

Es besteht Forschungs- und Entwicklungsbedarf um den realen Energieverbrauch der Warmwasseraufbereitung in der Planung abschätzen zu können, um den Einfluss von effektiven Einsparmaßnahmen quantifizieren zu können und um effektive Maßnahmen und Komponenten zu entwickeln. Für den großvolumigen Wohnbau bestehen vielfältige Ansatzpunkte um im Bereich Warmwasser Energie einzusparen, wie beispielsweise

- Wärmerückgewinnung aus Warmwasser
- Optimierung der Armaturen und Duschköpfe
- Optimierung der Regelung und Verteilung
- Dämmungen der Verteilleitungen

### **9.7.3 Erarbeitung von strategischen Grundlagen**

Derzeit bestehen gravierende Lücken um das Klimaschutzpotential im Bauwesen auszuschöpfen:

- Unzureichende statistische Rohdaten: Gebäudebestand, Bauweisen, Haustechnikanlagen, Energieverbrauch.
- Fehlende ganzheitliche Lebenszyklusanalysen und Kosten-Nutzen-Analysen im Baubereich.
- Fehlende methodische Grundlagen (z.B. hinsichtlich Sommertauglichkeit). Die Normungstätigkeit ist ehrenamtlich und wird in der Regel nur von wenigen Personen auf sich genommen, welche entweder kaum Privatleben besitzen oder eine reduzierte Berufstätigkeit ausüben (z.B. durch Pensionierung) oder durch Firmen mit wirtschaftlichem Interesse an der Normung unterstützt werden. Es ist gesamtwirtschaftlich zu überprüfen, ob das Normungswesen für gewisse strategische Bereiche (z.B. Klimaschutz) gezielt im öffentlichen Interesse gefördert werden sollte und die dadurch erarbeiteten Normen kostenfrei zur Verfügung gestellt werden sollten.

- Das Handbuch für Energieberater [Frey et al., 1994] enthält umfangreiche und wertvolle Informationen für Neubauplanung, Sanierung und Bewertung von energieeffizienten Gebäuden. Aufgrund von mangelnder Forschungsförderung wurde diese Wissensbasis seit 1994 nicht mehr aktualisiert. Durch die Umsetzung der EU-Richtlinie für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) in Österreich wird dieses Wissen derzeit und in naher Zukunft verstärkt abgefragt werden. Die bestehende Wissensbasis ist zu aktualisieren, zu erweitern (z.B. für großvolumigen Wohnbau) und zielgruppengerecht aufzubereiten.
- Förderung der Grundlagen- und Anwendungsforschung für klimaschonende, kosteneffiziente und nutzungsfreundliche Gebäude. Die Forschungsförderung im Bauwesen ist derzeit auf die Entwicklung innovativer Komponenten konzentriert. Die nutzbare Qualität der entwickelten Komponenten ist jedoch direkt abhängig von der Qualität der Gebäude- und Haustechnikplanung sowie von der Verarbeitung und Qualitätssicherung auf der Baustelle. Der derzeitige technologieorientierte Ansatz ist durch langfristige Strategien, Aufbereitung von Grundlagen und Breitenwirkung zu ergänzen.
- Es besteht Bedarf an klimaschonenden Pilotprojekten und Pilotregionen wie z.B. Klima-Plus-Regionen, die mehr Treibhausgase einsparen als sie produzieren. Gebäude der öffentlichen Hand können hier eine besondere Vorreiterrolle übernehmen.

## 10 Abkürzungsverzeichnis und Glossar

Für das leichtere Verständnis der angeführten Ergebnisse wurden hier allgemeine und energetische Abkürzungen erläutert und mit den nötigen Quellenangaben - am Ende dieses Abschnitts - versehen.

### ALLGEMEINE EINHEITEN

Abk	Erläuterung	Quelle
W, kW	Leistung	
kWh, MWh	Energie	
a	(per) annum, pro Jahr	
cap, Pers.	(per) capita, pro Kopf, pro Person	
WE	pro Wohneinheit	
WHA	pro Wohnhausanlage	
BGF	konditionierte Bruttogrundfläche (Bruttogeschossfläche). Gemäß (1) und ÖN B 1800. Siehe Kapitel 6.1.2.	(1)
NGF	Nettogrundfläche (Nettogeschossfläche). Gemäß (1) und ÖN B 1800. Die NGF beträgt etwa das 0,7- bis 0,85-fache der BGF. Siehe Kapitel 6.1.2.	(1)
EBF	Energiebezugsfläche gemäß PHPP 2007 (Die EBF-Definition ist identisch mit früheren PHPP-Versionen). Die EBF beinhaltet alle Wohnnutzflächen und 60% aller sonstigen Bodenflächen in der konditionierten Gebäudehülle, exkl. Stiegen mit mehr als 3 Treppen, Treppenabsätze, Bodenöffnungen, Türnischen, Fensternischen mit bis zu 13 cm Tiefe, Säulen (u.ä.) mit Bodenfläche über 0,1 m <sup>2</sup> . Räume mit lichter Höhe von 1 - 2 m werden zur Hälfte angerechnet. Räume mit lichter Höhe von weniger als 1 m werden nicht angerechnet. Siehe Kapitel 6.1.2.	(6)
WNFL	Wohnnutzfläche. Es wird unterschieden in vermietbare Wohnnutzfläche und Wohnnutzfläche inkl. Gemeinschaftsräume. Die Berechnung ist in Österreich durch die baurechtlichen Bestimmungen in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich geregelt. Siehe Kapitel 6.1.2.	
HGT	Heizgradtagzahl. Jährliche Heizgradtage $HGT_{20/12}$ : Die Heizgradtage sind die Summen der Differenzen zwischen der mittleren Raumlufttemperatur von 20 °C und dem Tagesmittel der Außentemperatur $t_{em}$ über alle Heiztage z der Heizzeit (vom 1.Oktober bis 30.April) bei einer Heizgrenztemperatur von 12 °C mittlerer Außentemperatur. $HGT_{20/12} = \sum_{n=1}^Z (20 - t_{em}) \cdot n$	(2)

### ENERGIETECHNISCHE EINHEITEN

Abk	Erläuterung	Quelle
HWB	Jährlicher Heizwärmebedarf (Nutzenergie). Wärmemenge, die den konditionierten Räumen zugeführt werden muss, um deren vorgegebene Solltemperatur einzuhalten. Gemäß ÖN B 8110-6	(2)
HWB <sub>BGF</sub>	Jährlicher spezifischer Heizwärmebedarf (Nutzenergie). Bezogen auf die konditionierte Bruttogrundfläche. Gemäß ÖN B 8110-6	(3)

WWWB <sub>BGF</sub>	Spezifischer Warmwasser-Wärmebedarf (Nutzenergie) gemäß Nutzungsprofil ÖN B 8110-5	(4)
KB	Kühlbedarf. Wärmemenge (Nutzenergie), die den konditionierten Räumen entzogen werden muss, um deren vorgegebene Solltemperatur einzuhalten. Gemäß ÖN B 8110-6	(2)
HEB	Heizenergiebedarf: Jener Teil des Endenergiebedarfs (EEB), der für die Heizungs- und Warmwasserversorgung aufzubringen ist.	(2)
HTEB	Heiztechnikenergiebedarf: Verluste des Heiztechniksystems. Gemäß ÖN H 5056. Energie für die Heiz und Warmwasseranlage, die nicht zur unmittelbaren Deckung des HWB bzw. der WW-Bereitung eingesetzt wird, wie z.B. elektrische Energie für Zirkulationspumpen und die Regelung.	(2), (5)
RLTEB	Spezifischer Raumluftechnikenergiebedarf, gemäß ÖN H 5057.	(4)
EEB	Endenergiebedarf: Energiemenge, die dem Heizsystem und allen anderen energietechnischen Systemen zugeführt werden muss, um den Heizwärmebedarf, den Warmwasserwärmebedarf, den Kühlbedarf sowie die erforderlichen Komfortanforderungen an Belüftung und Beleuchtung decken zu können, ermittelt an der Systemgrenze des betrachteten Gebäudes.	(2), (5)
EEB	Endenergiebedarf: Energiemenge, die dem Heizsystem und allen anderen energietechnischen Systemen zugeführt werden muss, um den Heizwärmebedarf, den Warmwasserwärmebedarf, den Kühlbedarf sowie die erforderlichen Komfortanforderungen an Belüftung und Beleuchtung decken zu können, ermittelt an der Systemgrenze des betrachteten Gebäudes.	(2), (5)

#### ABKÜRZUNGEN UND EINHEITEN FÜR DIE BEWERTUNG DER ENDENERGIE

Abk	Erläuterung	Quelle
THG	Treibhausgase	
CO <sub>2</sub>	jährliche CO <sub>2</sub> -Emissionen pro m <sup>2</sup> konditionierter Brutto-Grundfläche (spezifisch) und je Zone (zonenbezogen) in kgCO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> a bzw. kgCO <sub>2</sub> a)	(7)
CO <sub>2</sub> -Ä.	Kohlendioxid-Äquivalente zur Bewertung des anthropogenen Beitrags des Klimawandels, in kg pro kg Produkt bzw. kg pro MWh Energieträger. Berechnung mittels GWP <sub>100</sub> (Global-Warming-Potential - Faktoren) laut IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Diese Kennzahl wird im Rahmen von GEMIS eingesetzt.	
KEA	<u>K</u> umulierter <u>E</u> nergie <u>a</u> ufwand unter Berücksichtigung aller vorgelagerter Prozesse (z.B. Gewinnung, Aufbereitung und Transport von Energieträgern). Diese Kennzahl wird im Rahmen von GEMIS eingesetzt und in folgende Komponenten aufgeteilt. KEA <sub>ne</sub> : KEA-nichterneuerbar (nukleare und fossile Energieträger) KEA <sub>e</sub> : KEA-erneuerbar KEA <sub>a</sub> : KEA-andere (z.B. Sekundärrohstoffe, Abfälle, industrielle Abwärme) Umfangreiche Informationen zum KEA wurden vom Ökoinstitut Freiburg zusammengestellt: <a href="http://www.oeko.de/service/kea/">http://www.oeko.de/service/kea/</a>	
PEB	PEB jährlicher Primärenergiebedarf pro m <sup>2</sup> konditionierter Brutto-Grundfläche (spezifisch) und je Zone (zonenbezogen) in kWh/(m <sup>2</sup> a bzw. kWh a)	(7)

## GRUNDLAGEN FÜR PASSIVHAUS, KLIMASCHUTZ, ENERGIEEFFIZIENZ

Abk	Erläuterung	Quelle
PH	Passivhaus	
PHPP	Passivhaus-Projektierungspaket. Berechnungssoftware für Energiebedarfszahlen von Passivhäusern basierend auf MS-Excel.	
PHI	Passivhausinstitut Darmstadt unter der Leitung von Dr. Wolfgang Feist	
CEPHEUS	Cost Efficient Passive Houses as European Standards; Thermie-Programm der EU [Feist et al., 2001]	
GEMIS	Gesamt Emissions Modell Integrierter Systeme. Softwareunterstützte Datenbank für die Bewertung ökologischer Effekte von Produkten und Prozessen z.B. innerhalb von Ökobilanzierungen (LCA Life-Cycle-Assessment). Version 4.42. Österreich-Version November 2007, herausgegeben vom Umweltbundesamt Wien.	
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive. Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.	

(1) OIB, 2007c. *Leitfaden. Energietechnisches Verhalten von Gebäuden*. Version 2.6, April 2007, OIB-300.6-039/07. Ersetzt Ausgabe vom März 1999. Österreichisches Institut für Bautechnik. Wien

(2) OIB, 2007b. *Richtlinien. Begriffsbestimmungen*. April 2007. OIB-300-008/07. Österreichisches Institut für Bautechnik. Wien

(3) ÖN B 8110-1:2007

(4) Entwurf ÖN H 5055:2007-10-01

(5) Entwurf Vornorm ÖN H 5056:2007-04-01

(6) PHPP 2007 Passivhaus-Projektierungspaket. Passivhausinstitut Darmstadt.

(7) OIB, 2007a. *Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz*. April 2007. OIB-300.6-038/07. Österreichisches Institut für Bautechnik. Wien

Anmerkung: Kühlbedarf (KB), Kühltechnikenergiebedarf (KTEB gemäß ÖN H 5058), Befeuchtungsenergiebedarf (BefEB gemäß ÖN H 5058) und Beleuchtungsenergiebedarf (LENI gemäß ÖN H 5059) sind nicht relevant für die Berechnung von Energieausweisen für Wohngebäude (lt. Entwurf ÖN H 5055:2007-10-01).

Anmerkung zum Normungsprozess: Der Entwurf ÖN H 5055:2007-10-01 ist am 01.02.2008 durch die endgültige ÖN H 5055 ersetzt. Der Entwurf der Vornorm ÖN H 5056 wird voraussichtlich in der ersten Jahreshälfte 2008 durch die endgültige ÖN H 5056 ersetzt.

## 11 Literatur

- BINE, 2006. *Gebäude sanieren – Studentenwohnheim*, BINE-Projektinfo 04/06, Bürgerinformation Nachhaltige Entwicklung Bonn 2006
- BRUCK, Manfred; GEISSLER, Susanne; LECHNER, Robert, 2002. *Total Quality Planung und Bewertung (TQ-PB) von Gebäuden. Leitfaden*. bmvit-Impulsprogramm "Haus-der-Zukunft". Wien
- DREXEL-WEISS, 2007. *Katalog aerosilent classic und standard*. Fa. Drexel und Weiss Energieeffiziente Haustechniksysteme GmbH. Vordenker der Energiewende. Wolfurt. Abgerufen am 22.09.2007  
[http://www.drexel-weiss.at/HP/Upload/Dateien/Katalog\\_aerosilent\\_classic\\_und\\_standard.pdf](http://www.drexel-weiss.at/HP/Upload/Dateien/Katalog_aerosilent_classic_und_standard.pdf)
- DREXEL, Christof, 2008. Persönliche Mitteilungen und Empfehlungen betreffend Effizienz und Betrieb von Lüftungsgeräten. Fa. Drexel und Weiss Energieeffiziente Haustechniksysteme GmbH. Vordenker der Energiewende. Wolfurt.
- ENGELMANN, Peter, 2006. *Evaluierung eines Niedrigenergie- und Passivhauses in der Sanierung*, 3. EnSan Symposium, Stuttgart, März 2006, S.149
- ENGELMANN, Peter; Kramp, Miriam, 2006. *Energie und Ökonomie in der Sanierung – das Studentenwohnheim „Neue Burse“, Wuppertal*, 10. Passivhaustagung 2006, S. 69
- ENGELMANN, Peter, Voss, Karsten, Smutny, Roman, Treberspurg, Martin „*Studentisches Wohnen im Passivhaus. Analyse von vier realisierten Studentenwohnheimen*“ Proceedings der 12. Passivhaustagung, 11.-13.04.2008 in Nürnberg. Passivhausinstitut, Darmstadt
- FEIST, Wolfgang, 2001. *Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser*. Verlag Das Beispiel. Darmstadt
- FEIST, Wolfgang, PEPPER, Soren, GÖRG, Manfred, 2001. *CEPHEUS-Projektinformation Nr. 35. Technischer Endbericht*. Juli 2001. Hannover
- FREY, K., Haas, J., Könighofer, K., 1994. *Handbuch für Energieberater. Ringbuchversion. Ausgabe: Jänner 1994*. Joanneum Research. Institut für Energieforschung. Unter Mitwirkung von J. Eisl, G. Frankhauser, R. Hack, M. Karolyi, H. Rally, T. Stachl, H. Steppanek. Graz
- FW-WIEN, 2007a. *Nachhaltigkeitsbericht 2007*. Wien Energie Fernwärme. Projektteam Nachhaltigkeit unter der Leitung von DI Alexander Wallisch. 90/032007/2.000/WEF a)VA/1. Auflage. Wien
- FW-WIEN, 2007b. *Persönliche Mitteilung von DI Alexander Wallisch und DI Aarno Rapottnig*. Wien Energie - Fernwärme Wien
- HAGEN, 2003. *Statistik zur Nutzung der Bildungsherberge*, Bildungsherberge der Studierendenschaft der Fernuniversität Hagen GmbH, 2003
- HOFBAUER, Wilhelm, 1998 *Bewertungskriterien für die Förderung der thermischen Gebäudesanierung*. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie
- LEXER, Wolfgang, 2004. *Zerschnitten, versiegelt, verbaut? Flächenverbrauch und Zersiedelung versus nachhaltige Siedlungsentwicklung*. Fachtagung GRÜN Stadt GRAU. 21. - 22. Oktober, 2004. Umweltbundesamt Wien

- MÜLLER, Michael, 2002. Schlüter Christian: *Umbau des Studentenwohnheims Burse*, 6. Passivhaustagung 2002, S. 159
- OBERHUBER, A., AMANN, W., BAUERNFEIND, S. 2005. *Benchmarking Nachhaltigkeit in der Wohnbauförderung der Bundesländer*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 32/2005. BMVIT-Impulsprogramm Haus-der-Zukunft. Wien
- OBERKLEINER, Wolfgang, (in Ausarbeitung). *Analyse des Passivhaus-Studentenheims Molkereistraße hinsichtlich Lüftungskonzept und Nutzerzufriedenheit*.
- OIB, 1999. *Leitfaden für die Berechnung von Energiekennzahlen*. März 1999. Österreichisches Institut für Bautechnik. Wien
- OIB, 2007a. *Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz*. April 2007. OIB-300.6-038/07. Österreichisches Institut für Bautechnik. Wien
- OIB, 2007b. *Richtlinien. Begriffsbestimmungen*. April 2007. OIB-300-008/07. Österreichisches Institut für Bautechnik. Wien
- OIB, 2007c. *Leitfaden. Energietechnisches Verhalten von Gebäuden*. Version 2.6, April 2007, OIB-300.6-039/07. Ersetzt Ausgabe vom März 1999. Österreichisches Institut für Bautechnik. Wien
- PHI, 2001. *CEPHEUS – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung*. CEPHEUS-Projektinformation Nr. 22, S.175
- PHI, 2005. *Passivhauskurs. Passivhaus Definition*. Passivhaus Institut Darmstadt. Aktualisiert am 16.09.2005. Abgerufen am 13.11.2007  
[http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus\\_D/Passivhaus\\_Definition.html](http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/Passivhaus_Definition.html)
- PHI, 2007. *Passivhaus Projektierungs Paket 2007. PHPP 2007 Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser*. Fachinformation PHI-2007/1. Passivhaus Institut Darmstadt.
- PÖLZ, Werner, 2007. *Emissionen der Fernwärme Wien 2005. Ökobilanz der Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen aus dem Anlagenpark der Fernwärme Wien GmbH*. Report REP-0076. Umweltbundesamt Wien
- RECKNAGEL, H., SPRENGER, E., SCHRAMEK, E., 1997. *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik*. 68. Auflage. Oldenburg Verlag München
- SCHNEIDER, Ursula, BIRNBAUER, Gerhard, BRAKHAN, Frank, ZELGER, Thomas, HAAS, Christine, POKORNY, Klaus, BERGER, Michael, 2006. *Grünes Licht. Licht, Luft, Freiraum und Gebäudebegrünung im großvolumigen Passivhauswohnbau*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 03/2006. 31.08.2005. BMVIT-Impulsprogramm Haus-der-Zukunft. Wien
- SCHNIEDERS, Jürgen, 2003. *CEPHEUS - measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses*. ECEE 2003 Summer Study - Time to turn down energy demand.
- 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, Bruno, S. 257-268

HEIMRATH, R., HEINZ, A., MACH, T., STREICHER, W., FINK, C., RIVA, R., 2002. *Solarunterstützte Wärmenetze*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 12/2002. BMVIT-Impulsprogramm Haus-der-Zukunft. Wien

TEAM GMI, 2005 *Passivhausstudentenheim Molkereistraße – Wien, Gebäudeklimakonzept/Passivhausnachweis* teamgmi. Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort. Projektphase Ausführungsbegleitung, 18.03.2005. Wien

UBA, 2007. GEMIS-Österreich. *Gesamt Emissions Modell Integrierter Systeme für Österreich*. Version 4.42. CD-ROM. Institut für angewandte Ökologie e.V. (Öko-Institut), Freiburg, Umweltbundesamt Wien. November 2007

WILLENSDORFER, A. 2007. *Persönliche Mitteilungen betreffend die zwei Passivhäuser der GIWOG in der solarCity Linz-Pichling*.

WORTMANN, Ralph: *Bildungsherberge Hagen – Studentenhotel als Passivhaus*, 7. Passivhaustagung 2003, S. 151

WSW, 2006 Wuppertaler Stadtwerke, Daten aus 2006

## ANHANG: PRESSEINFORMATION

Wohnbaustadtrat Michael Ludwig präsentiert Passivhausstudie

Dienstag, 23. Oktober 2007, 11.00 Uhr

Wien 2, Molkereistraße 1

Wien (OTS) Das Wohnheim Molkereistraße – es wurde im September 2005 fertig gestellt – war das erste Studentenwohnheim weltweit in Passivhausbauweise. Die Stadt Wien förderte die Errichtung des Vorzeigeprojekts – es beherbergt 133 Wohneinheiten – mit insgesamt 3,87 Mio. Euro. Die Gesamtbaukosten betragen rund 10,11 Mio. Euro. Nun liegt eine Studie über die Energieperformance des großvolumigen Passivhauses und die Zufriedenheit seiner NutzerInnen vor, die von MA 50-Wohnbauforschung und MIGRA beauftragt, und die von ExpertInnen der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) und der Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen (FGW) durchgeführt wurde. Über die erfreulichen Ergebnisse dieser ersten, umfassenden Wiener Passivhausstudie informierten heute, Dienstag, Wohnbaustadtrat Dr. Michael Ludwig, Bezirksvorsteher Gerhard Kubik, MIGRA-Geschäftsführer Arch. DI Manfred Wasner und Univ.-Prof.Arch.DI Dr. Martin Treberspurg, BOKU Wien. \*\*\*\*

Hält das Passivhauskonzept was es verspricht und fühlen sich die BewohnerInnen wohl? Mit diesen Fragen setzten sich die ExpertInnen der BUKO und der FGW im Rahmen der Forschungsstudie auseinander. Die beiden Institutionen analysierten das zur Zeit seiner Fertigstellung im September 2005 weltweit größte Passivhaus, das Studentenheim „Molkereistraße“ in Wien, das mit Mitteln der Wiener Wohnbauförderung und mit Bundesförderung errichtet wurde.

Die Ergebnisse, nach den ersten beiden Heizsaisons, zeigen, dass das Gebäude von den BewohnerInnen sehr geschätzt wurde und dass es eine erfreuliche Energieperformance aufweist und damit einen deutlichen Beitrag zum Klimaschutz leistet.

Wohnbaustadtrat Michael Ludwig: „Die praktische Funktionstüchtigkeit der Passivhaus-Technologie im geförderten Wohnbau Wiens wurde dadurch erstmals umfassend nachgewiesen. Die Ergebnisse der Forschungsstudie sprechen für sich: Durch das Passivhaus Molkereistraße können gegenüber einer vergleichbaren, konventionellen Wohnhausanlage in Österreich rund 700 Megawattstunden pro Jahr an Energie und damit rund 40.000 Euro an Heizbetriebskosten eingespart werden. Die CO<sub>2</sub>-Belastung wurde dadurch jährlich um rund 100 Tonnen reduziert.“

Die Studie stelle damit einen ersten, wichtigen Schritt für die Evaluierung von Passivhäusern dar, so Ludwig. „Weitere Forschungsarbeiten sollen beispielsweise auch die Nachhaltigkeit der Passivhäuser und den technischen und finanziellen Aufwand bei einer künftigen Sanierung ganz genau unter die Lupe nehmen.“ Wien verfüge weltweit über die höchste Dichte an Passivhausbauten und über international führende Expertinnen und Experten im Bereich der

Passivhaustechnologie. „Wir sind sehr stolz darauf, dass dieses Know-how weltweit gefragt ist und sich zunehmend zu einem Exportschlager entwickelt.“

### **Bestnoten von den NutzerInnen, Top-Energieeffizienz**

Seit mittlerweile mehr als zwei Jahren ist das Studentenheim Molkereistraße im zweiten Wiener Gemeindebezirk in Betrieb. Das Gebäude wurde von der ARWAG und von den Architekten Baumschlager & Eberle (P.ARC) geplant und von der MIGRA errichtet. Es umfasst sieben Geschosse mit insgesamt 278 Einzelzimmern. Generalmieter ist die ÖAD Wohnraumverwaltungs GmbH (Österreichischer Austauschdienst), die die Wohnplätze internationalen Studierenden zur Verfügung stellt, hauptsächlich im Rahmen des „Erasmus-Programms“ des EU-weiten StudentInnen-Austausches. Im Rahmen der von der Wiener Wohnbauforschung finanzierten und von ARWAG, MIGRA, Fernwärme und ÖAD unterstützten Forschungsstudie wurden bis zum Ablauf der ersten beiden Heizperioden erstmals Fragen der Energieeffizienz, der Bewohnerzufriedenheit und der Objektfinanzierung umfassend erforscht.

Die Untersuchung erfolgte durch das „Institut für konstruktiven Ingenieurbau - ressourcenorientiertes Bauen“ der Universität für Bodenkultur Wien, Univ. Prof. Dr. DI Martin Treberspurg und DI Roman Smutny, in Kooperation mit u.a. der MA50-Wohnbauforschung, mit dem ÖAD, der MIGRA, mit der Fernwärme Wien; mit der Bergischen Universität Wuppertal sowie mit der FGW.

Die Messungen der Universität für Bodenkultur ergaben, dass durch die Realisierung der Passivhaustechnik im Vergleich zu durchschnittlichen konventionellen österreichischen Wohnbauten trotz noch vorhandener Restfeuchte in den Mauern etwa vier Fünftel der Heizenergie und damit auch der Treibhausgasemissionen eingespart werden konnten. Weitere Einsparungen wären erreichbar, wenn Fenster weniger oft gekippt würden. Ein Verhalten, das auf individuell unterschiedliches Temperaturempfinden und Informationsdefizite der Nutzer zurückzuführen ist, wie sich im Zuge von Bewohnerbefragungen herausstellte.

Mehr als 80% der StudentInnen fühlen sich im Passivhaus wohl. Das Wohnheim in der Molkereistraße erhielt hinsichtlich Zufriedenheit mit der Unterbringung die zweitbeste Bewertung von insgesamt 26 analysierten Wiener Studentenheimen.

Durch die Forschungsergebnisse konnten einzelne Fehler in der Regelungstechnik aufgezeigt und Maßnahmen zur weiteren Steigerung der Gesamtenergieeffizienz gesetzt werden. Zusätzlich können aus den Befragungen der Bewohner Empfehlungen abgeleitet werden, um die Zufriedenheit in Passivhäusern sowie die Nutzerakzeptanz weiter zu steigern.

## Funktionsweise Passivhaus – Molkereistraße

Passivhäuser bedeuten eine Weiterentwicklung des Niedrigenergiehaus-Standards. Sie schaffen sowohl im Winter als auch im Sommer ein behagliches Raumklima ohne Inanspruchnahme eines konventionellen Heizsystems. Diese Art von Häusern kann allein mit den vorhandenen Wärmequellen von Personen, Elektrogeräten oder Beleuchtung sowie der durch die Fenster eintreffenden Sonnenstrahlen und einer geringfügigen Nachwärmung der Frischluft warm gehalten werden.

Der Passivhausstandard von maximal 15 kWh pro Jahr und m<sup>2</sup>, der eine Reduktion der Heizkosten bis zu 80 % nach sich zieht, wurde wie folgt erreicht:

- hervorragender Wärmeschutz:  
ca. 30 cm Wärmedämmung verhindern, dass das Gebäude auskühlt
- eine luftdichte Gebäudehülle
- Wärmeschutzverglasung:  
Speziell konstruierte 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen
- Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung:  
Der Wärmeinhalt der verbrauchten Luft wurde zu 90% zurückgewonnen
- Wohnraumlüftung:  
In herkömmlichen Wohnhäusern werden durch geöffnete Fenster bis zu 50% der Wärme verschwendet. In einem Passivhaus sorgt eine automatische Be- und Entlüftung für ausreichend Frischluft.
- Passive Vorerwärmung bzw. Kühlung der Luft:  
Durch Erdwärme wurde die Frischluft im Winter vorerwärmt und im Sommer durch die niedrigere Temperatur der Erde gekühlt.
- Vermeidung von Wärmebrücken bei Übergängen und Materialwechseln