

# Energiemonitoring der bestehenden Passiv-Wohnhausanlagen in Wien

Univ. Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg, DI Roman Smutny, DI Roman Grüner,  
 Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau,  
 Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen  
 Peter-Jordan Straße 82, A-1190 Wien, Tel: +43-1-47654-5260  
 E-Mail: martin.treberspurg@boku.ac.at, roman.smutny@boku.ac.at

## 1 Motivation und Fragestellung

Bislang wurden mehr als 5000 Gebäude in Österreich in Passivhausstandard errichtet. Zukünftig soll ein deutlicher Anteil der Neubauten in Passivhausstandard realisiert werden. Für alle geförderten Wohngebäude wird der Passivhausstandard als Zielwert bis zum Jahr 2015 angestrebt. Ziel der Studie [Treberspurg et al., 2009] war es, von der 1. Generation Wiener Passiv-Wohnhausanlagen zu lernen. Die zentralen Fragestellungen waren: Erreichen die bestehenden Passivhäuser die hochgesteckten Planungsziele, wie hoch ist die tatsächliche Energieeinsparung im Vergleich zu konventionellen Wohnhausanlagen und wo liegen die effektivsten Ansatzpunkte, um den Gesamtenergieverbrauch zu senken?

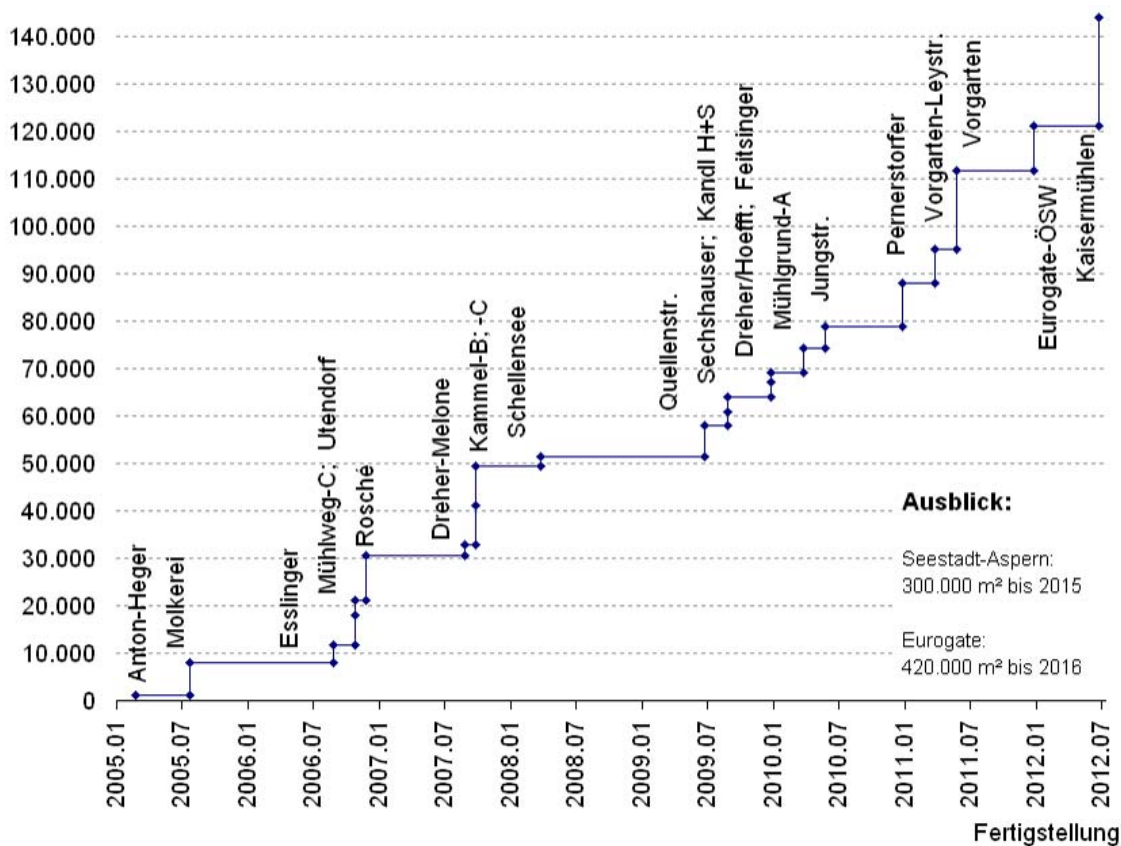


Abbildung 1: Wiener Wohnhausanlagen in Passivhausstandard. Kumulierte Wohnnutzfläche realisierter und geplanter Objekte

## 2 Methodik

Analysiert wurden alle Wiener Wohnhausanlagen in Passivhausstandard (PH), die seit mehr als einem Jahr bewohnt werden. Die reale Energieperformance dieser Gebäude wurde mit ausgewählten Wohnhausanlagen derselben Bauperiode 2005-2007 verglichen. Die Referenzgebäude erfüllen bereits den Niedrigenergiehausstandard (NEH), da die Stadt Wien dieses Energieniveau seit etwa einem Jahrzehnt als Mindestkriterium für Wohnbauvorhaben festgelegt hat und seit Einführung der Bauträgerwettbewerbe 1994 eine hohe thermische Qualität im Wohnbau erzielt wurde. Das Energiemonitoring umfasst insgesamt 1367 Wohnungen, wobei 492 Wohnungen in Passivhausstandard ausgeführt wurden. Anstatt einer messtechnisch sehr aufwändigen Analyse einzelner Wohnungen wurde eine Grobanalyse mittel der Verbrauchsdaten der Energieversorger durchgeführt. Für einige Gebäude waren zusätzlich detaillierte Messwerte der AEE INTEC (W. Wagner) und TU-Wien (T. Bednar) verfügbar.

Die Dokumentation der Zufriedenheitsanalyse der Wiener Passiv-Wohnhausanlagen erfolgt im Beitrag von A. Keul in diesem Tagungsband.

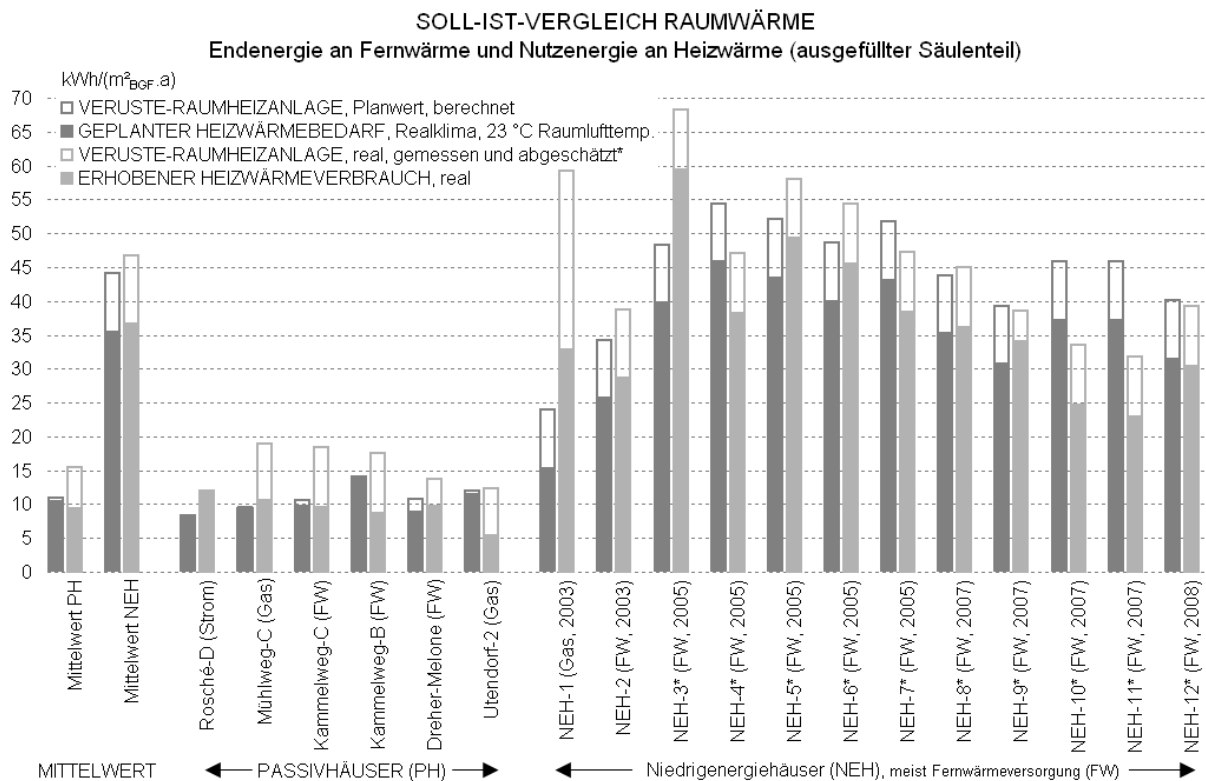
## 3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

*Welche Unterschiede bestehen zwischen dem gemessenen Energieverbrauch und dem geplanten Energiebedarf?*

Die Soll-Werte laut Energieausweis wurden auf 23 °C und reale Außenklimaverhältnisse umgerechnet und den Ist-Werten des tatsächlichen Verbrauchs an gelieferter Endenergie gegenübergestellt. Zusätzlich zum Heizwärmebedarf werden die Anlagenverluste der Raumheizung dargestellt (nicht ausgefüllter Säulenteil). Diese Verluste sind Messwerte und mittlere Erfahrungswerte, die je nach Anlage und Dämmstärke der Rohrleitungen auf sehr unterschiedlichem Niveau liegen können. Die Wohnanlagen „Mühlweg“, „Utendorfsgasse“ und „NEH-1“ werden mit Erdgas versorgt. Aufgrund der zusätzlichen Erzeugungsverluste bei Erdgasversorgung, können die Anlagenverluste dieser Gebäude höher liegen als bei fernwärmeversorgten Gebäuden.

Die gemessenen Heizwärmeverbrauchswerte stimmen im Durchschnitt sehr gut überein mit den berechneten Planungswerten. Jedoch wurden die Anlagenverluste der Raumheizung bei der Planung von Passivhäusern meist zu optimistisch angesetzt. Die mittleren Verluste der Passivhäuser liegen bei rund 7 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Fernwärmeversorgung und 8 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Gasversorgung. Analysen fernwärmeversorgter Wohnhausanlagen in Oberösterreich [Treberspurg et al., 2010] ergaben Verteilverluste im Bereich von 5-15 kWh/(m<sup>2</sup>a), je nach Dämmstärke der Verteilleitungen und je nach ausgeführtem Verteilkonzept. Diese Energieverluste liegen damit auf einem relativ hohen Niveau und bieten ein weiteres Energieeinsparungspotenzial, das mit äußerst geringen Mehrkosten verbunden ist. Dieses Einsparpotential erscheint insbesondere bei Mitberücksichtigung der Warmwasserverteilverluste attraktiv. Lediglich rund 40 % des Endenergieaufwands von etwa

22 kWh/(m<sup>2</sup>a) an Fernwärme gelangt als Warmwasser zum Nutzer. Anlagenverluste fernwärmeversorgter Wohnhausanlagen werden anhand des Wärmeflussdiagramms (Abbildung 3) detaillierter betrachtet.



**Abbildung 2: Vergleich der Planwerte (dunkelgrau) mit den gemessenen Verbrauchswerten (hellgrau). Gelieferte Endenergie (gesamte Säule) und Nutzenergie an Heizwärme (ausgefüllter Säulenteil) pro Bruttogrundfläche.**

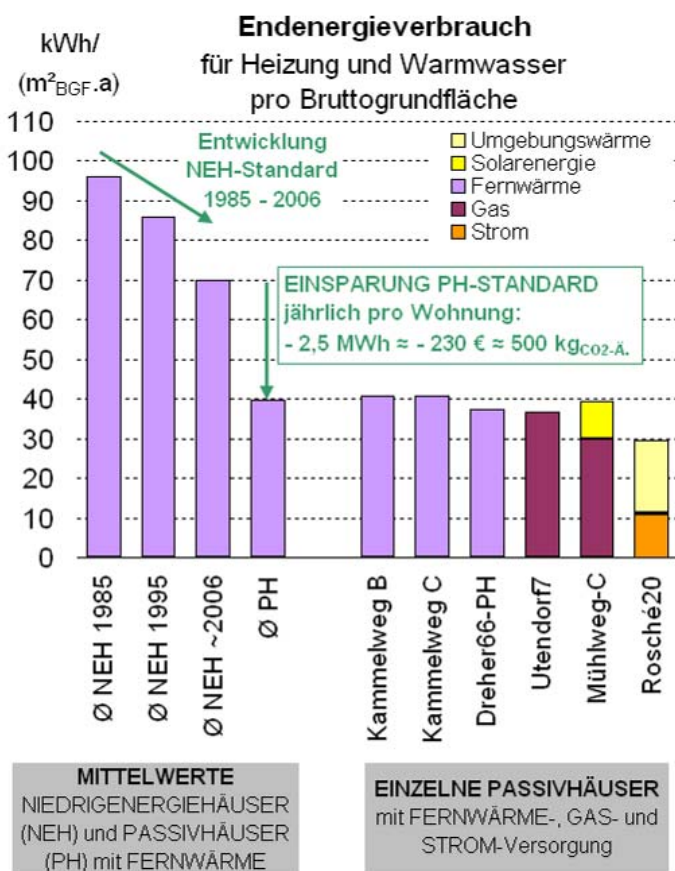
Die Anlagenverluste von gasversorgten Wohnhausanlagen (Mühlweg, Utendorfgasse, NEH-1) liegen im Allgemeinen höher als bei Fernwärmeversorgung, da hier zusätzlich die Erzeugungsverluste der Gaskessel enthalten sind. Die höchsten Anlagenverluste von knapp über 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) wurden bei einem gasversorgten Niedrigenergiehaus festgestellt. Es sind weitere Untersuchungsobjekte nötig, um festzustellen, ob dieser Wert repräsentativ für ältere Wohnhausanlagen mit zentralem Gaskessel ist.

Bei stromversorgten Gebäuden (Roschégasse mit Kleinstwärmepumpen) werden Verteilungsverluste gänzlich vermieden. Jedoch ist zu beachten, dass der Primärenergie- und Treibhausgasfaktor von elektrischer Energie deutlich höher liegt als der von Fernwärme und Erdgas.

Die Roschégasse und Utendorfgasse erwiesen sich als die effizientesten Wohnhausanlagen hinsichtlich Raumheizung. Der Endenergieverbrauch lag bei etwa 12 kWh/(m<sup>2</sup>a). Bei den Wohnhausanlagen Kammelweg-C (Bauteil E) und Kammelweg-B (Robert-Virchow-Str. 12) läuft seit 2008 ein Energiemonitoring der TU-Wien unter der Leitung von Thomas Bednar. Die Feinjustierung der Anlagen bewirkten in der Saison 08/09 Einsparungen an Heizwärme von im Mittel etwa 8 kWh/(m<sup>2</sup>a) im Vergleich zum Vorjahr.

Die Referenzgruppe der Niedrigenergiehäuser enthält zwei „Vorläufer-Passivhäuser“ (NEH-1, NEH-2), die schon zwei Jahre vor der ersten Wiener PH-WHA fertig gestellt wurden und im Vergleich zur damals üblichen Bauweise sehr engagierte energetische Zielsetzungen verfolgten, wenngleich diese nur teilweise umgesetzt werden konnten. Ohne diese zwei Objekte wäre der Niedrigenergiehaus-Mittelwert für den Heizwärmebedarf um etwa 3 kWh/(m<sup>2</sup>a) höher und für den Heizwärmeverbrauch um etwa 1 kWh/(m<sup>2</sup>a) höher. Anhand der chronologischen Reihung der Referenzgebäude ist ersichtlich, dass neuere Wohnhausanlagen einen geringeren Heizwärmeverbrauch aufweisen. In folgender Abbildung wird die Entwicklung von 1985 bis 2006 kurz erläutert.

*Wie hat sich der Energieverbrauch von Wohnhausanlagen bis heute entwickelt und welchen Mehrwert liefert das Passivhaus?*



**Abbildung 3: Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser exklusive Strom für Zirkulationspumpen und Ventilatoren. Einfluss des Baujahrs auf den Fernwärmeverbrauch konventioneller Wohnhausanlagen. Vergleich der Mittelwerte von fernwärmeversorgten PH und NEH mit unterschiedlichem Baujahr. Verbrauch einzelner PH mit unterschiedlicher Energieversorgung**

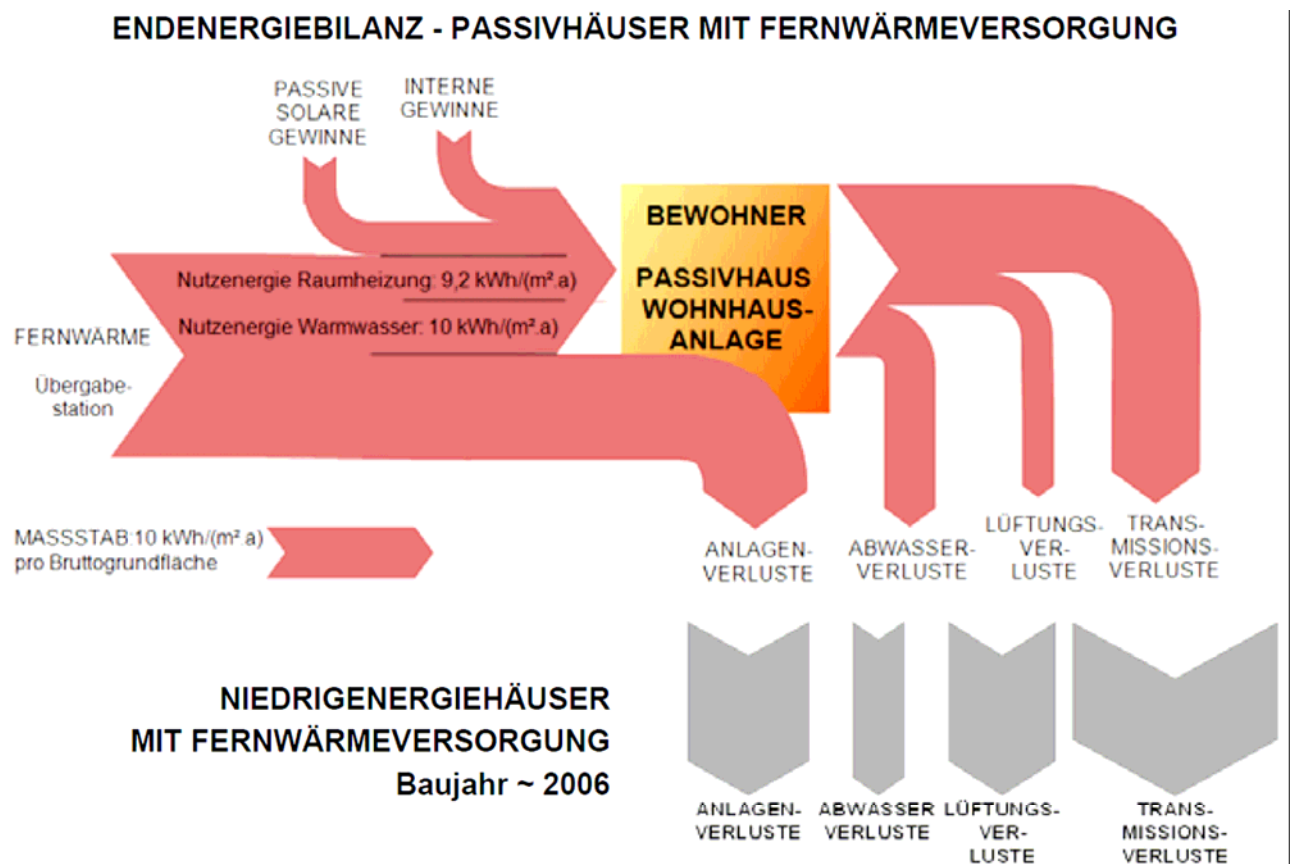
Durch die engagierten Qualitätsanforderungen der Wiener Stadtverwaltung verbesserte sich die mittlere Energieeffizienz bei neu errichteten Wohnhausanlagen in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich. Je jünger eine Anlage ist, desto weniger Heizenergie wird verbraucht – die Reduktion beträgt etwa 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) an Fernwärme von 1985 bis 2005.

Passivhaus-Wohnhausanlagen verbrauchen für die Raumheizung insgesamt etwa 17 kWh/(m<sup>2</sup>a) gelieferte Fernwärme pro Bruttogrundfläche und damit um rund 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) oder etwa zwei Drittel weniger als vergleichbare Wohngebäude derselben Errichtungsperiode. Das bedeutet eine durchschnittliche jährliche Einsparung pro Haushalt von etwa 2,5 MWh, 500 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente und 230 € Energiekosten (Kostenbasis Sept. 2009). Die Einsparungen werden kontinuierlich zunehmen und auch einen relevanten Beitrag für die Pension der BewohnerInnen liefern. In spätestens 20 Jahren wird eine Einsparung erreicht, die der nicht-rückzahlbaren Passivhaus-Förderung von 60 €/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> entspricht.

Beim Vergleich verschiedener Konzepte für energieeffiziente Gebäude ist zu beachten, dass diese Effizienz definiert wird, als Verhältnis von eingesetzter Energie zu Qualität des geschaffenen Raumklimas. Der Mehrwert von Passivhäusern hinsichtlich Energieeffizienz beruht also auch auf einem höheren Wohlbefinden, einem höheren thermischen Komfort und einer besseren Ausnutzung der Wohnfläche durch Fenster-Komfortzone und keine Heizkörper.

Die Komfortlüftungsanlage in Passivhäusern bewirkt ebenfalls eine höhere Qualität z.B. hinsichtlich Schimmelvermeidung, Feinststaubbelastung und Erholungsfaktor von Schlafphasen durch geringere CO<sub>2</sub>-Konzentration. Der Stromverbrauch für die Komfortlüftung liegt bei den am sorgfältigsten geplanten Anlagen auf einem vergleichbaren Niveau wie für konventionelle Sanitärlüftungen in Niedrigenergiehäusern. Üblicherweise werden etwa 3-6 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a) an elektrischer Energie für die Komfortlüftung benötigt. Die Wohnhausanlage Kammelweg hatte anfangs einen deutlich höheren Verbrauchswert, welcher dank dem Monitoring der TU-Wien wieder auf ein übliches Niveau gesenkt werden konnte. Dies unterstreicht die Forderung nach einer sehr sorgfältigen Planung der Lüftungsanlagen mit abschließender Qualitätssicherung durch ein Energiemonitoring.

*Welche Maßnahmen bewirken eine deutliche Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz?*

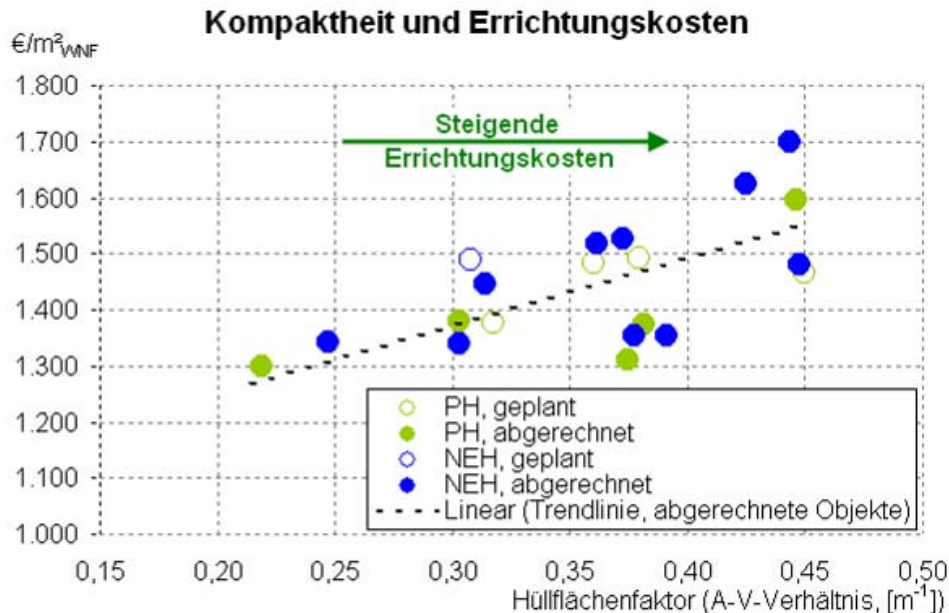


**Abbildung 4: Wärmeflussdiagramm von Passivhäusern im Vergleich zu Niedrigenergiehäusern. Durchschnittliche Wärmeflüsse der Heizenergiebilanz (Endenergie) bei Fernwärmeversorgung.**

Das Wärmeflussdiagramm zeigt, dass der mengenmäßig wichtigste Energiefluss konventioneller Wohngebäude – nämlich der Transmissionswärmeverlust – durch das Passivhauskonzept höchsteffektiv um etwa 23 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFA</sub>) reduziert werden kann. Eine weitere effektive Wärmeverbrauchssenkung von etwa 10-15 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFA</sub>) ist mit einer optimierten Heiz- und Warmwasseranlage möglich. Ausgeführte Solarthermieanlagen liefern bis zu 10 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFA</sub>) und noch höhere Erträge sind für engagierte teilsolare Raumheizungssysteme mit großflächigen Kollektoren zu erwarten. Weitere Einsparungen können realisiert werden durch ein Energiemonitoring in der Besiedelungsphase, durch die Information und Motivation der BewohnerInnen und durch eine angepasste Tarifgestaltung der Energieversorger. Alle diese zusätzlichen Maßnahmen müssen jedoch auf dem Passivhaus-Standard aufbauen, um eine optimale Gesamtenergieeffizienz zu erreichen.

*Wie hoch liegen die Errichtungskosten von Wohnhausanlagen in Passivhaus-Standard?*

Der Anteil an kostenintensiver Gebäudehülle pro geschaffene Nutzfläche hat für Niedrigenergiehäuser und Passivhäuser einen maßgeblichen Einfluss auf die Errichtungskosten. Die Analyse von 24 Wiener Wohnhausanlagen (Fertigstellung 2003-2008) zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen Kompaktheit und Errichtungskosten. Kompaktere Wohnhausanlagen sind deutlich kostengünstiger als jene mit hohem Hüllflächenfaktor (Oberflächen-Volumen-Verhältnis). Ein A-V-Verhältnis von 0,2, 0,3 bzw. 0,4 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> bewirkt Kosten von etwa 1.300, 1.400 bzw. 1.500 €/m<sup>2</sup>. PH befinden sich etwa im selben Bereich wie NEH.



**Abbildung 5: Einfluss der Kompaktheit auf die Errichtungskosten pro Wohnnutzfläche (WNF)**

Die Errichtungskosten sind im Allgemeinen sehr stark von der Größe und der Kompaktheit einer Wohnhausanlage abhängig. Wenig ausgeprägt ist der Einfluss des Baujahrs (2003 – 2008) und der Energieeffizienz – also ob Niedrigenergiehausstandard oder Passivhaus-Standard.

Die Mehrkosten der ersten Wiener Passivhaus-Wohnhausanlagen lagen bei etwa 4-12 %. Eher höhere Werte waren für Passivhäuser mit dezentralen Lüftungsgeräten zu beobachten. Die Wohnhausanlage Roschégasse mit dezentralen Kompaktgeräten für Heizung, Warmwasser und Lüftung verursachte höhere Baukosten (laut ÖN B 1801-1) von 12 % im Vergleich zur durchkalkulierten Niedrigenergiehausvariante. Etwa zwei Drittel dieser Mehrkosten waren HKLS-Installationsarbeiten. Die Investitionskosten von dezentralen Lüftungsanlagen dürften jedoch mittlerweile und in Zukunft niedriger liegen. Laut Information von Architekt Werner Hackermüller war bei der Wohnhausanlage Quellenstraße (Fertigstellung Sommer 2009) die kalkulierte Variante mit dezentralen Lüftungsgeräten nur geringfügig teurer als die ausgeführte zentrale Anlage und bei der Wohnhausanlage Hoefftgasse-Dreherstraße (Fertigstellung Anfang 2010) wurde sogar ein dezentrales Lüftungskonzept realisiert, da die Angebote für ein zentrales Konzept höher lagen. Dies weist darauf hin, dass die PH-Mehrkosten in Zukunft niedriger liegen könnten, als bislang erwartet.

Bei den Passivhäusern Utendorfgasse, Mühlweg und Dreherstraße war das realisierte Haustechnikkonzept mit zentralen Geräten in etwa kostenneutral im Vergleich zur Ausführungsvariante in Niedrigenergiehausstandard. Die gesamten Errichtungskosten (laut ÖN B 1801-1) lagen nur um etwa 4-6 % höher und damit auf einem Niveau von anderen Wohnhausanlagen wie dem Sophienhof in Frankfurt und dem Lodenareal in Innsbruck.

Weitere zukünftige Kosteneinsparungen sind im Bereich der Fenster zu erwarten. Derzeit verursachen 3-fach-Verglasungen Mehrkosten von etwa 30-100 € pro Quadratmeter Fensterfläche im Vergleich zu etwa 400 € für 2-fach-Verglasungen. Da der Glasmarkt sich bisher sehr dynamisch verhalten hat, sind Preisprognosen wenig aussagekräftig. Eine zukünftige Preissenkung für Passivhausfenster ist jedoch durch eine stärkere Marktdurchdringung von innovativen Komponenten sehr wahrscheinlich. Dies betrifft einerseits rahmenlose Fenster (z.B. von OPTIWIN) und andererseits Vakuumverglasungen. Beträchtliche Einsparungen sind auch durch die Planung von einheitlichen Fensterdimensionen möglich, wie dies beispielsweise bei der Molkereistraße mit äußerst attraktivem Erscheinungsbild umgesetzt wurde.

## 4 Ausblick

Die Erfüllung des Passivhausstandards ist die Ausgangsbasis für die weitere Entwicklung des Baustandards in Richtung Plus-Energie-Gebäude.

Post-Occupancy-Evaluationen (POE) sind unentbehrlich um die Qualität des Bauens zu erhöhen. Die Bewertung des Nutzungskomforts und der realen Energieperformance liefert ein wesentliches Feedback für Planer, Verwaltung, Politik und Forschung. Dennoch sind POE derzeit eher die Ausnahme als die Regel. Ein Nachhaltigkeits-Monitoring, wie in vorliegender Studie durchgeführt, liefert zudem wichtige Beiträge für die Feinjustierung und Effizienzsteigerung der Gebäude und für Technikmediation und Komfortsteigerung als Begleitmaßnahme in der Inbetriebnahme.

Die Kombination mit sozialwissenschaftlichen und wirtschaftswissenschaftlichen Untersuchungen bietet Synergieeffekte und liefert neue Erkenntnisse für Bauherrn, Planer, Energieversorger und Förderstellen. Dadurch wird die Feedbackschleife für die weitere Evolution von nachhaltigen Wohngebäuden geschlossen

## 5 Danksagung

Wir danken der Wiener Wohnbauforschung für deren finanzielle Unterstützung für das Forschungsprojekt NaMAP. Die detaillierten Ergebnisse sind von der Website [www.wohnbauforschung.at](http://www.wohnbauforschung.at) abrufbar. Weiterer Dank ergeht an alle involvierten Bauträger, Energieversorger und Forschungsinstitutionen.

## 6 Literatur

- [Treberspurg 2010] Treberspurg, M., Smutny, R., Ertl-Balga, U., Neururer, C., *Evaluation der solarCity Linz-Pichling. Endbericht.* (2010)
- [Treberspurg 2009] Treberspurg, M., Smutny, R., Ertl-Balga, U., Gruenner, R., Neururer, C., *Nachhaltigkeits-Monitoring ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien.* Wiener Wohnbauforschung, MA50 (2010)