

# Ein Jahr in der „Gartenhofsiedlung Lummerlund“ - Messergebnisse aus 22 Passivhäusern in Wiesbaden -

Tobias Loga, Marc Großklos  
Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt - Fon: 06151 / 2904-0 / Fax: -97

Dr. Wolfgang Feist  
Passivhaus Institut, Darmstadt - Fon: 06151 / 82699-0 / Fax: -11

**Beitrag zur 4. Passivhaustagung in Kassel**

## Zusammenfassung

1997 wurde in Wiesbaden eine Reihenhaussiedlung mit insgesamt 22 Passivhäusern errichtet. Seit Oktober 1998 werden die Verbrauchsdaten im Rahmen eines Messprogramms kontinuierlich aufgezeichnet. Die Ergebnisse des ersten Messjahres liegen jetzt vor: Der für die Passivhäuser projektierte Wert für den Heizwärmebedarf von weniger als 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) ist im Mittel erreicht worden - eine Reduktion von über 80 % gegenüber dem gesetzlichen Standard der Wärmeschutzverordnung!



**Bild 1: Südfassade der Passivhäuser kurz nach Fertigstellung**  
(Foto: IWU)

## Die „Gartenhofsiedlung Lummerlund“

1997 wurde vom Darmstädter Bauträger Rasch & Partner auf einem ehemaligen Kasernengelände in Wiesbaden die „Gartenhofsiedlung Lummerlund“ errichtet. Sie besteht aus 6 Reihenhauszweilen mit je 7 oder 8 zweigeschossigen Wohnungen. 24 Gebäude weisen Niedrigenergiehaus-Standard, 22 Gebäude Passivhaus-Standard auf.

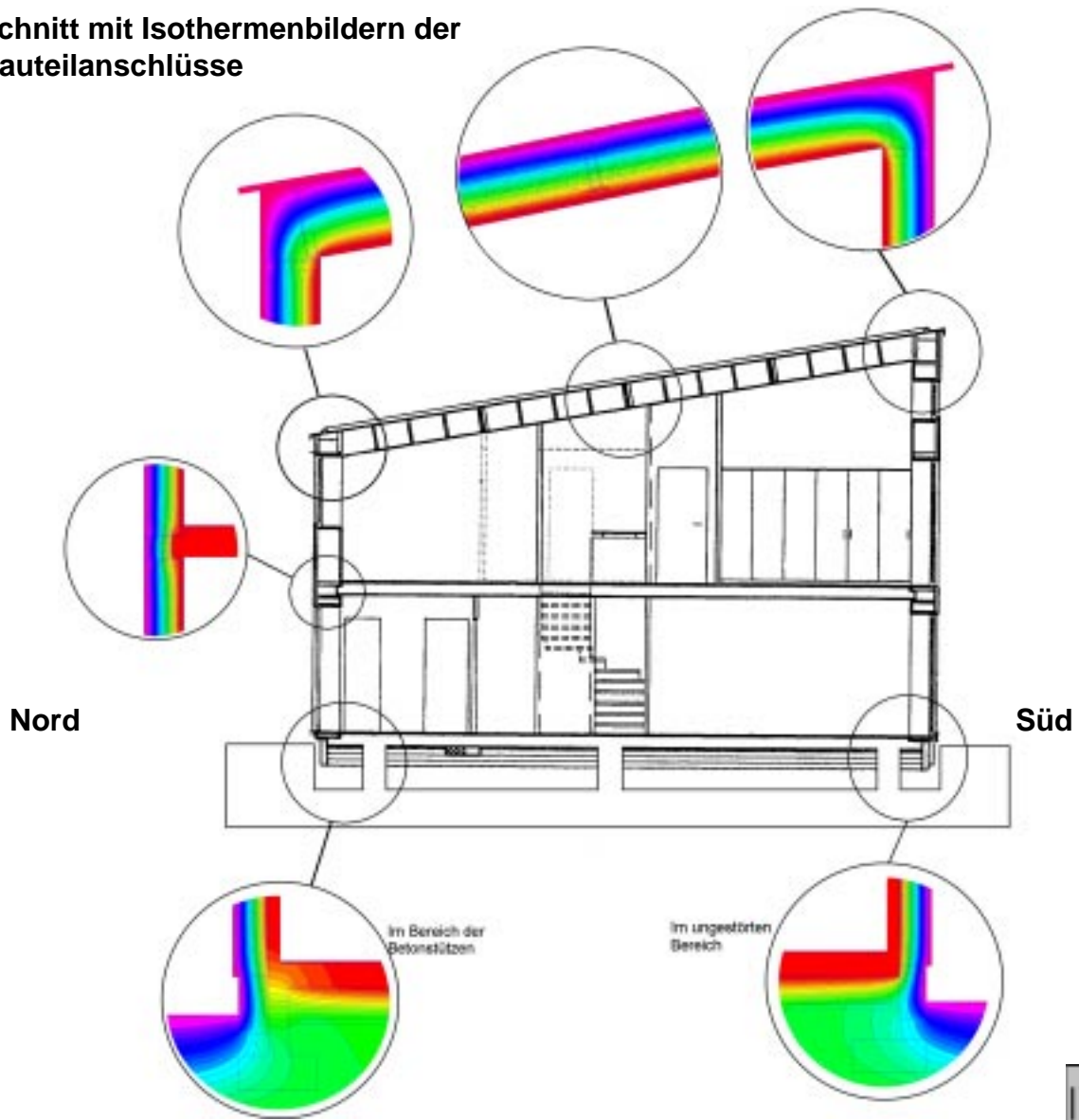
Aus Rationalisierungsgründen wurden in der Siedlung nur drei Grundrisstypen mit weitgehend einheitlicher Gebäudegeometrie und Konstruktionselementen realisiert. Die statisch tragende Funktion übernehmen Wandschotten und Geschossdecken in Form von Beton-Fertigteilen. Die Fassaden und Dächer bestehen aus vorgefertigten Holztafel-elementen mit Dämmstärken von 30 bzw. 40 cm. Durch einen äußerst geringen Holzanteil wurden konstruktionsbedingte Wärmebrückeneffekte minimiert: Der mittlere U-Wert liegt für die Außenwand-Elemente bei  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , für die Dach-Elemente bei  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (vgl. Bild 2). Die massiven Giebelwände aus Beton-Fertigteilen wurden mit einem 35 cm starken Wärmedämmverbundsystem versehen ( $0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ). Der Boden ist gegen Erdreich mit 35 cm gedämmt ( $0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ). Bei den Fenstern kamen Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen aus eisenfreiem Glas in hochwärmegeprägten Rahmen zum Einsatz (U-Wert einschließlich Rahmen, Randverbund und Einbausituation  $0,89 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ).

Die Lüftungsanlage mit balancierter Zu- und Abluft ist mit einem hochwirksamen Gegenstrom-Wärmetauscher mit einem Wärmebereitstellungsgrad von ca. 81 % ausgerüstet, die Ventilatoren weisen einen besonders geringen Stromverbrauch auf. Bei den Reihenhäusern wird die Frischluft darüberhinaus durch einen vorgeschalteten Erdreichwärmetauscher vorerwärmt. Der Wärmebereitstellungsgrad für diese Systemkombination wird auf etwa 87% geschätzt. Der etwas höhere Transmissionswärmeverlust der Reihenhäuser kann damit teilweise kompensiert werden.

Voraussetzung für die Minimierung der Lüftungswärmeverluste ist eine hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle. Alle Bauteilanschlüsse wurden daher auch bezüglich der Dichtheit sorgfältig geplant und auf der Baustelle überwacht. Die Luftdichtheit in der Fläche übernehmen PE-Folien, die im Rahmen der Vorfertigung in den Holztafelelementen verlegt wurden. Nach Montage wurden die herausragenden Stöße überlappend verklebt. Alle Betonelementfugen und Rohrdurchführungen wurden ausbetoniert, die mit Hüllrohren versehenen Versorgungs- und Elektroleitungen wurden ebenfalls einbetoniert und innerhalb der Hüllrohre mit Silikon abgedichtet. Bei den in jeder Wohneinheit durchgeführten Drucktests wurden schließlich nur noch kleine Fehler festgestellt, die zum Teil noch behoben werden konnten. In allen Häusern wurden Blower-Door-Messungen durchgeführt, der gemessene Luftwechsel ( $n_{50}$ -Wert) lag zwischen  $0,30$  und  $0,52 \text{ h}^{-1}$ . Der Mittelwert lag für die Passivhäuser bei  $0,44 \text{ h}^{-1}$  [PHI 1998]. Durch diese sehr guten Ergebnisse für die Luftdichtheit, die auch bei der Passivhaus-siedlung in Hannover reproduziert wurden, konnte belegt werden, dass auch mit Außenbauteilen aus Holz-Tafelbau-Elementen zuverlässig die notwendige Dichtheit erreicht werden kann.

Durch das hohe Maß an Vorfertigung bei den konstruktiven Elementen und technischen Anlagen wurde ein von der Witterung nahezu unabhängiger Baubetrieb ermöglicht. Die damit minimierte Baufeuchte gewährleistete eine schnelle Fertigstellung des Innenausbaus. Durch Optimierung der Baustellenlogistik und Bildung von Bauteams konnte - trotz der hohen energetischen Anforderungen - eine Bauzeit von nur 10 Wochen erzielt werden. Die bereits Monate vor Baubeginn zu einem Preis von ca. 270 bis 300 Tausend DM (ohne Grundstück) verkauften Gebäude wurden im Juli 1997 bezogen.

### Schnitt mit Isothermenbildern der Bauteilanschlüsse



Bauteil	Konstruktionsart	Dämmstärke	U-Wert	Wärmeverlust bei -10°C Außentemperatur (Reihenendhaus)
Nord- und Südfassade	Holztafelemente	30 cm	0,14 W/(m <sup>2</sup> K) (inkl. Holzanteil)	220 W
Ost-/Westfassade (Giebel)	Beton-Fertigteile mit Wärmedämmverbundsystem	35 cm	0,11 W/(m <sup>2</sup> K)	270 W
Dach	Holztafelemente	40 cm	0,10 W/(m <sup>2</sup> K) (inkl. Holzanteil)	190 W
Boden	2 Lagen Polystyrol-Hartschaumplatten auf Bodenplatte	35 cm	0,11 W/(m <sup>2</sup> K)	90 W
Fenster	3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung aus eisenfreiem Glas im hochwärmegeprägten Rahmen		0,89 W/(m <sup>2</sup> K) (gesamtes Fenster)	540 W

**Bild 2: Wärmeschutzkonzept der Passivhäuser in Wiesbaden: Hochwärmegeprägte Bauteile mit minimierten Wärmebrücken**

Nähere Angaben zu Gebäudekonzept und Kosten finden sich in [Rasch 1997], [Rasch 1998], zur Wärmeversorgung in [Stärz 1998], zur Energiebilanz der Gebäude und der Heizungsanlage in [Loga 1997].

Seit Oktober 1998 läuft ein Messprogramm, in dem die Verbrauchsdaten und Raumtemperaturen der Gebäude kontinuierlich erfasst werden. Die Durchführung und Auswertung der Messungen erfolgt im Auftrag des Hessischen Umweltministeriums durch das Institut Wohnen und Umwelt (IWU) in Kooperation mit dem Passivhaus Institut (PHI). Das Projekt wird durch die Stadtwerke Wiesbaden (ESWE) unterstützt, die die Finanzierung und Beschaffung der Wärmemengenzähler übernommen haben.

## **Gemessener Heizwärmeverbrauch**

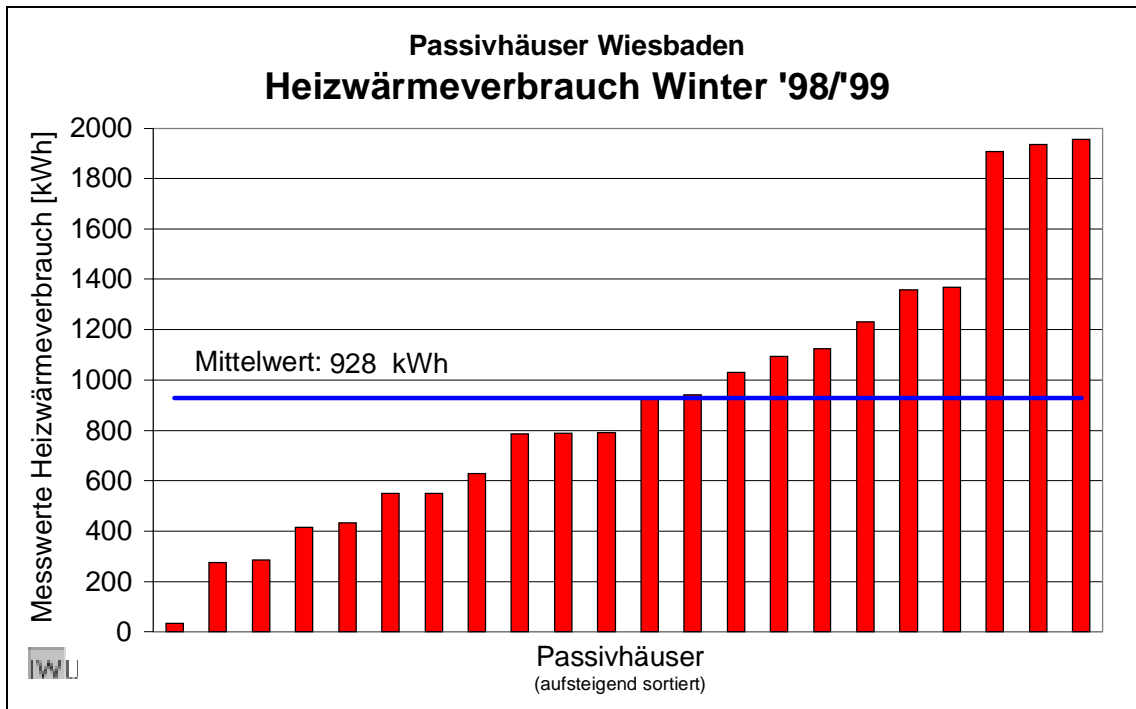
Den in den einzelnen Häusern im Winter 98/99 mit Wärmemengenzählern erfassten Verbrauch an Heizwärme gibt Bild 3 wieder. Er schwankt zwischen fast 0 und 2000 kWh. Der Mittelwert liegt bei ca. 930 kWh. Bei einer beheizten Wohnfläche von im Mittel 103 m<sup>2</sup> ergibt sich ein spezifischer Heizwärmeverbrauch von 9,0 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Bei der Interpretation dieser Werte ist zu beachten, dass die innerhalb der thermischen Hülle verlegten zentralen Wärmeverteiler-Leitungen (trotz guter Dämmung) einen Heiz-Beitrag von durchschnittlich 4,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) liefern, der nicht mit den Wärmemengenzählern erfasst wird (dies betrifft alle Häuser außer einem Endhaus). Der gesamte Heizenergieverbrauch incl. der Wärmeabgabe der Rohrleitungen ist in Bild 5 ebenfalls als aufsteigende Folge der Heizenergiekennwerte wiedergegeben. Mit einem Mittelwert von 13,4 kWh/(m<sup>2</sup>a) liegt der gemessene Verbrauch genau beim Rechenwert gemäß Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP) - die exakte Übereinstimmung ist allerdings bei Beachtung der naturgegebenen Unsicherheiten von Messung und Berechnung reiner Zufall.

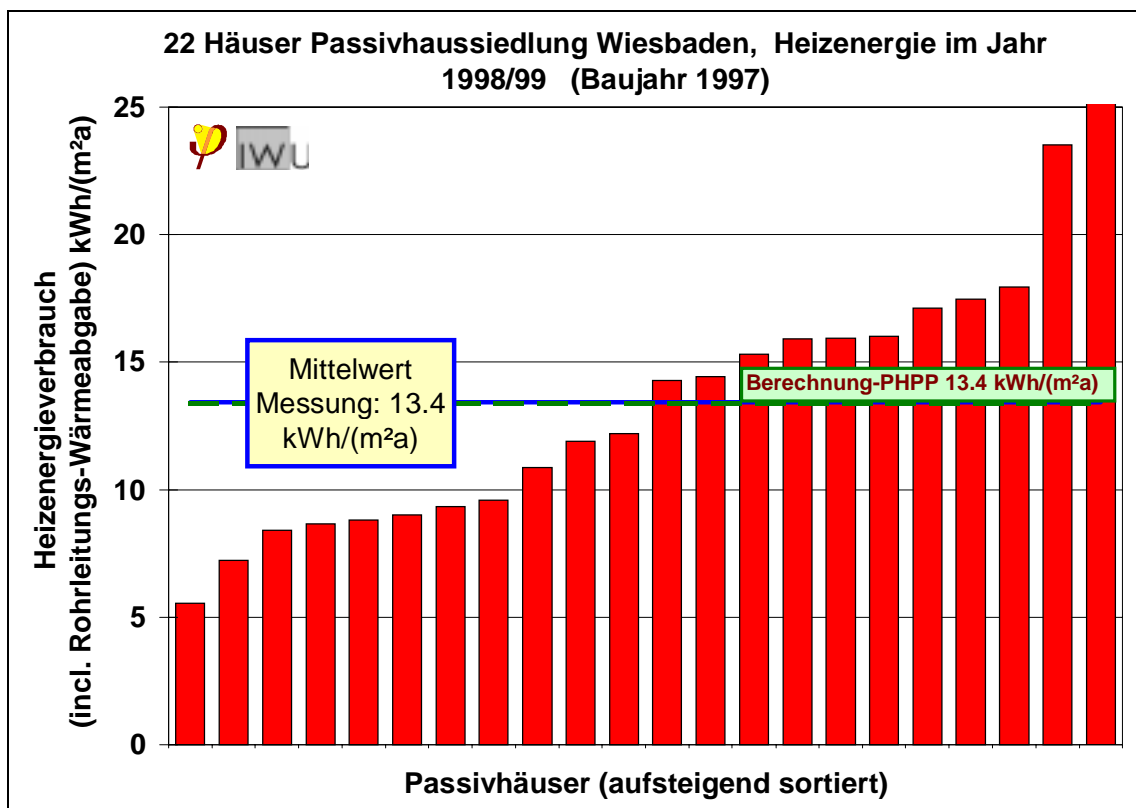
## **Mittlere Heizleistungen**

Bild 5 zeigt die Tagesmittel der Heizleistung für den Winter '98/'99, jeweils als Mittelwert aller Häuser. Deutlich zu erkennen ist, dass die Heizleistung stark mit der Außenlufttemperatur korreliert. Erst bei Werten von unter 5°C wurde überhaupt geheizt. Die Heizperiode beginnt somit erst Anfang November. Der Spitzenwert der mittleren Leistung liegt bei ca. 750 W (!).

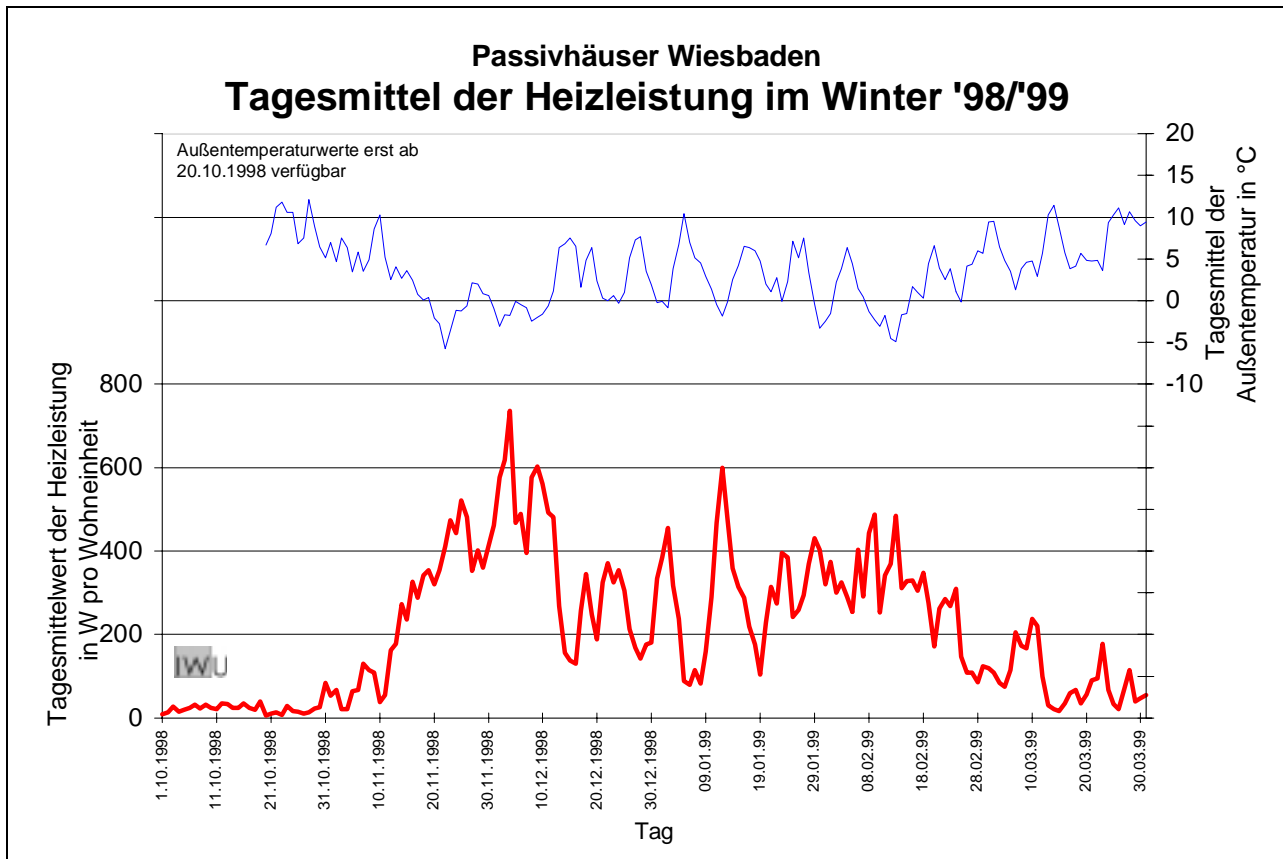
Die Heizperiode endet im März. In den Monaten April bis Oktober 1999 wurde keine Heizwärmeabnahme gemessen



**Bild 3:** Wärmeverbrauch für Raumheizung der Einzelhäuser in der Heizperiode '98/'99, aufsteigend sortiert (Messwert Wärmemengenzähler abzüglich Wärmeverbrauch Warmwasser)



**Bild 4:** Heizenergiekennwerte inklusive der nutzbaren Wärmeabgabe von Rohrleitungen (die exakte Übereinstimmung von Messung und Berechnung ist reiner Zufall - Messunsicherheit ca.  $\pm 3$  kWh/(m²a))



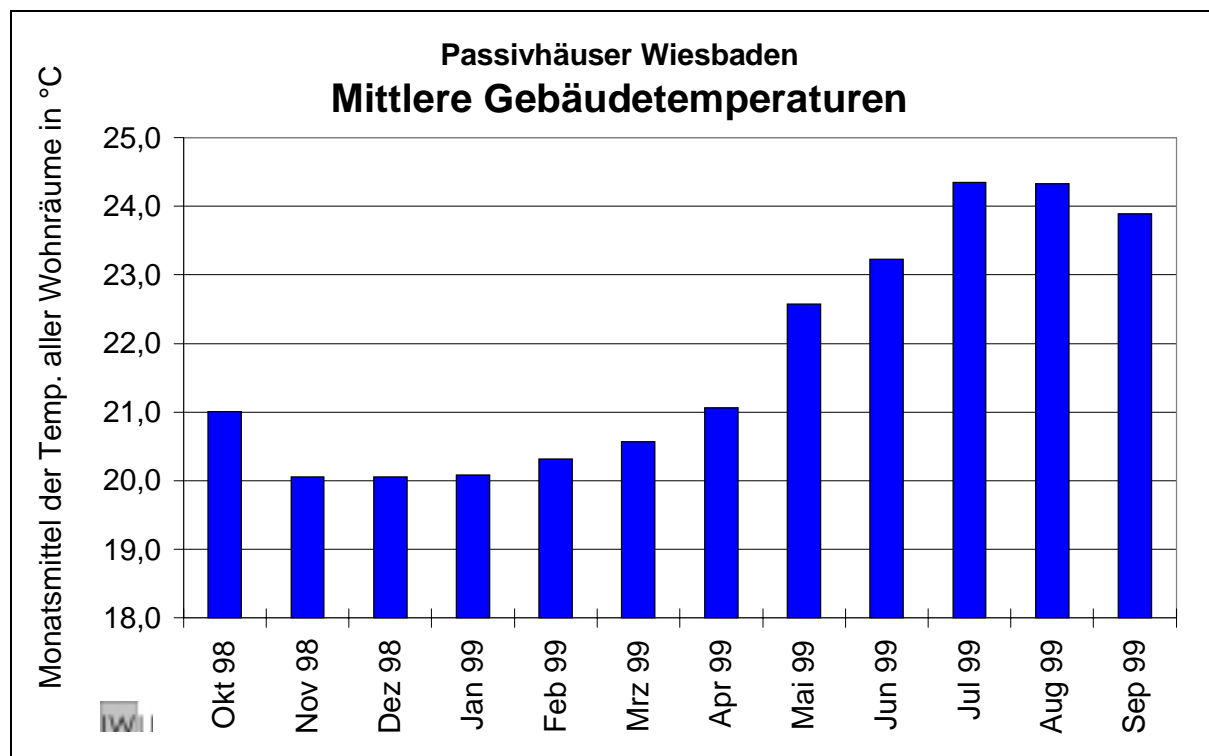
**Bild 5:** Tagesmittel der Heizleistung vom 1.10.98 bis 31.03.99, Mittelwertbildung je Tag über 22 Passivhäuser

## Gemessene Raumluft-Temperaturen

In jeder Wohnung wurden 3 Raumluft-Temperatur-Sensoren eingebaut:

- 1 Sensor im zentralen Bereich des Erdgeschosses,
- 1 Sensor auf der Südseite des Obergeschosses,
- 1 Sensor auf der Nordseite des Obergeschosses.

Es wurde eine flächengewichtete Mittelwertbildung vorgenommen.

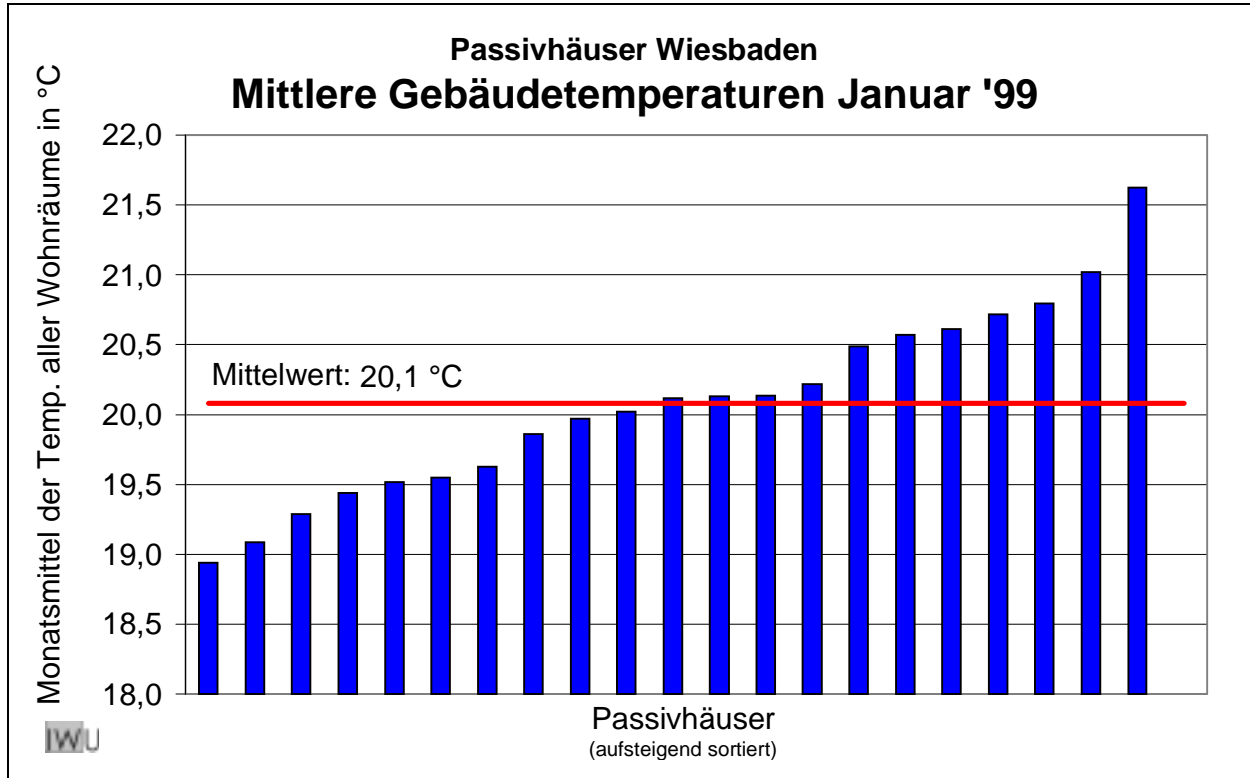


**Bild 6: Monatsmittel der Raumluft-Temperaturen aller Passivhäuser für den Zeitraum Oktober 1998 bis September 1999**

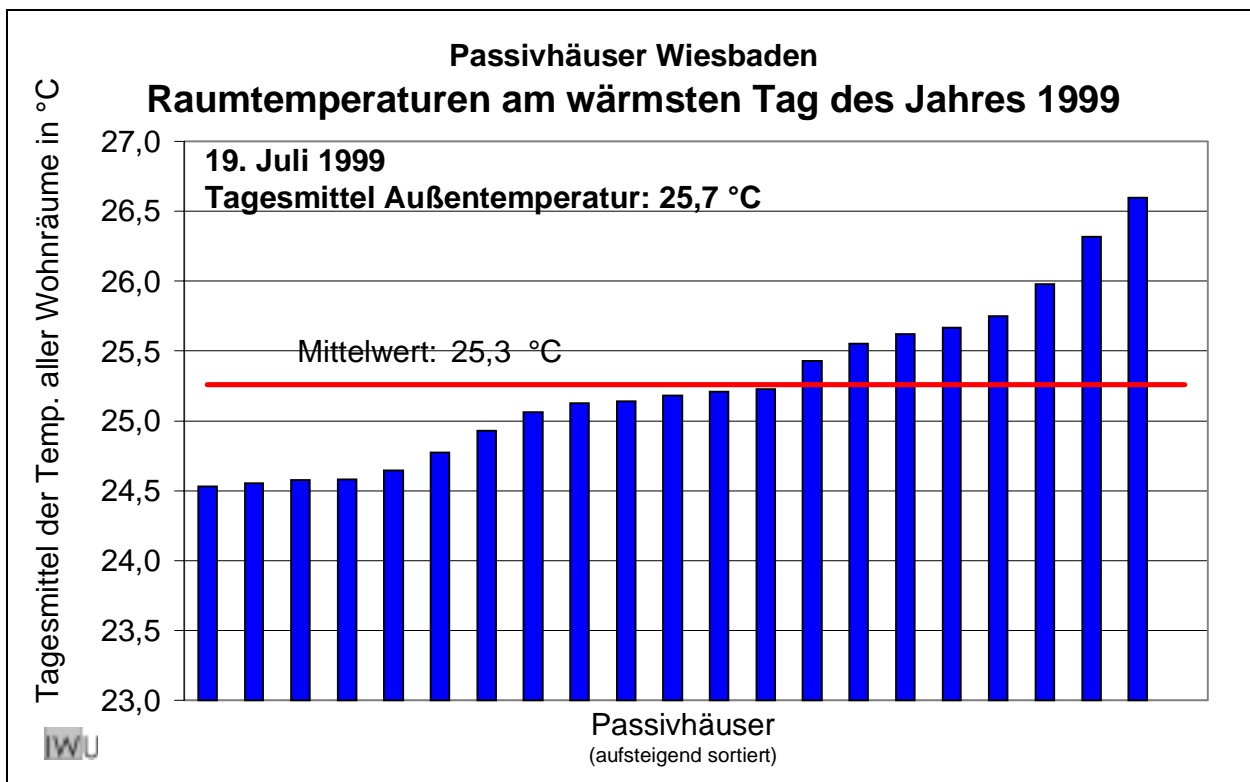
Die über alle Häuser gemittelten Raumluft-Temperaturen sinken in den Heizmonaten November bis Februar nicht unter 20°C (Bild 6). Die Wohnungen werden im Winter also auf einem vergleichsweise hohen Niveau temperiert. Im Sommer bleibt die mittlere Temperatur unter 24,5°C.

In den einzelnen Häusern werden deutlich unterschiedliche Raumtemperaturen gewählt, wie Bild 7 belegt. Dargestellt ist für jedes Haus die mittlere Raumluft-Temperatur exemplarisch für den Monat Januar 1999. Sie liegt je nach Einstellung des Heizungsreglers zwischen 19 und 21,5°C.

Bild 8 zeigt die Temperaturen in den einzelnen Wohnungen am heißesten Tag des Jahres, dem 19. Juli 1999. Auch hier zeigt sich eine ähnlich starke Streuung wie im Winter. Während der Maximalwert bei 26,6°C liegt, liegen die niedrigsten Werte bei 24,5°C - also fast 1°C unter dem Tagesmittel der Außentemperatur. Durch Anbringen von (bauseits nicht vorhandenen) Sonnenschutzvorrichtungen wie Markisen und Rollos, aber auch durch eine angepasste Fensterlüftung (tagsüber zu, nachts gekippt) können die sommerlichen Temperaturen offensichtlich angenehm niedrig gehalten werden.



**Bild 7: Monatsmittel der Raumluft-Temperaturen der Einzelhäuser im Januar 1999, aufsteigend sortiert**



**Bild 8: Tagesmittel der Raumlufttemperatur der Einzelhäuser am heißesten Tag des Jahres 1999, aufsteigend sortiert**

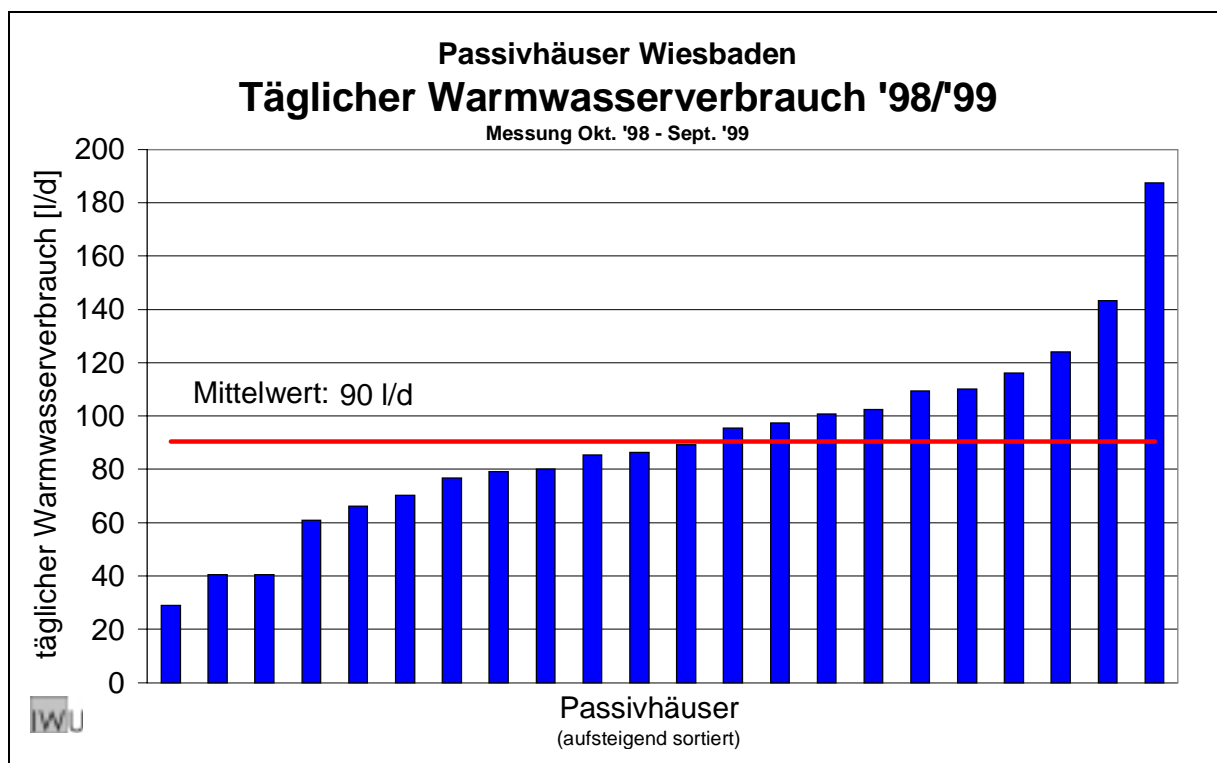


## Warmwasser

Besondere technische Energiespareinrichtungen wurden für die Warmwasserbereitung nicht eingesetzt. Bei den Passivhäusern, die sinnvollerweise mit einem Warmwasseranschluss für Waschmaschine und Geschirrspüler ausgestattet sind, ist eher sogar mit einem höheren Warmwasserverbrauch zu rechnen (der primärenergetisch durch einen geringeren Stromverbrauch mehr als kompensiert wird).

Der Mittelwert der Verbrauchswerte liegt bei ca. 90 Litern pro Tag (Bild 9). Dies ist ein gängiger Wert für einen 3-Personen-Haushalt. Die Schwankungsbreite liegt bei ca.  $\pm 70\%$ . Ein besonders sparsames Verhalten der Bewohner ist also nicht festzustellen. Allerdings muss beachtet werden, dass es sich bei der Mehrzahl der Haushalte um Familien mit kleinen Kindern handelt, die naturgemäß einen höheren Warmwasserbedarf haben als durchschnittliche Haushalte.

Da Angaben über die Zahl und das Alter der Bewohner z.Zt. nicht vorliegen, können noch keine detaillierteren Analysen durchgeführt werden.

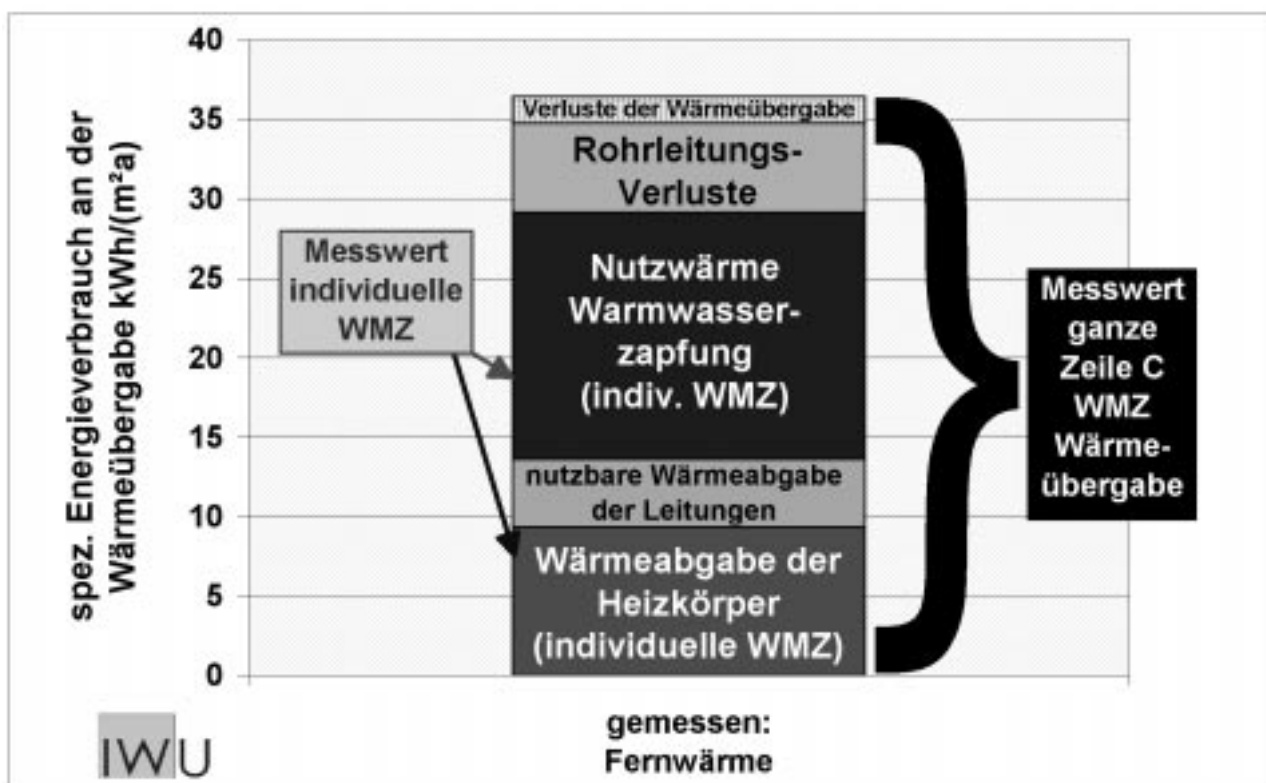


**Bild 9: Warmwasserverbrauch der Einzelhäuser, aufsteigend sortiert (Messwerte Warmwasserzähler)**

## Gesamter Wärmeverbrauch an der Fernwärmeübergabestation

Zieht man den Gesamtverbrauch an Endenergie (Fernwärme) mit heran, so ergibt sich die in Bild 6 gezeigte Aufteilung des Verbrauchs - hier exemplarisch für die komplett aus Passivhäusern bestehende Reihe C der Siedlung:

- Aus den Warmwasserzapfungen ergibt sich ein mittlerer Nutzwärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung in Reihe C von 15,5 kWh/(m<sup>2</sup>a).
- Der mittlere individuell gemessene Heizwärmeverbrauch (Heizkörper) liegt für Reihe C bei 9,4 kWh/(m<sup>2</sup>a).
- Die nutzbare Wärmeabgabe der Verteilleitungen in Reihe C beträgt 4,2 kWh/(m<sup>2</sup>a).
- Der nicht nutzbare Wärmeverlust der Rohrleitungen, des zentralen Speichers und der Fernwärmeübergabestation (außerhalb der thermischen Hülle) summiert sich auf 5,6 kWh/(m<sup>2</sup>a). Verglichen mit konventionellen Anlagen ist dieser Wert eher niedrig. Betrachtet man ihn jedoch im Verhältnis zu dem hier sehr geringen Nutzwärmebedarf, so ist das Ergebnis noch nicht befriedigend. Die etwa 15% nicht nutzbaren Wärmeverluste sollten sich bei künftigen Projekten durch bessere Dämmung der Leitungen, Armaturen und Speicher noch einmal halbieren lassen.



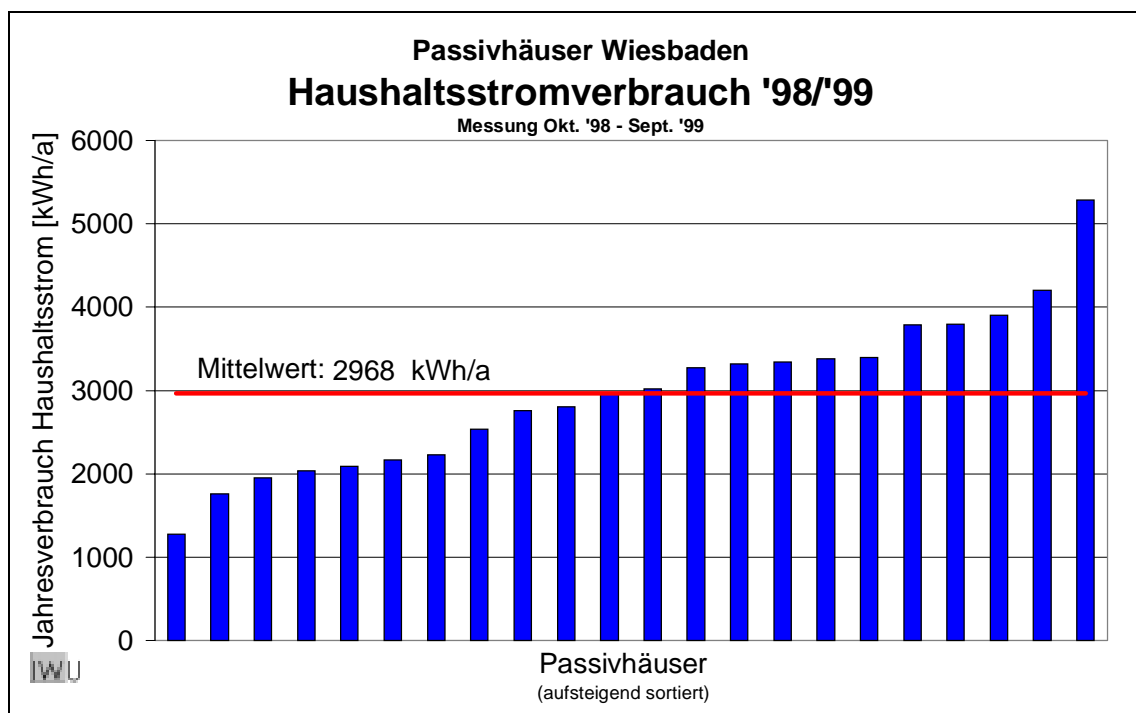
**Bild 6:** Aufteilung des mit dem Gesamtwärmezähler der Wärmeübergabestation von Reihe C gemessenen Fernwärmeverbrauchs vom 1.10.98 bis zum 30.9.99. Der Fernwärmebezug für Heizung und ganzjährige Warmwasserbereitung beträgt insgesamt 36 kWh/(m<sup>2</sup>a).

## Haushaltsstrom

Die Passivhäuser bekamen vom Bauträger einen Preisnachlass für den Einbau energiesparender Haushaltsgeräte (vgl. [AKkPH 7], der in der Regel auch in Anspruch genommen wurde.

Die im Zeitraum Oktober 1998 bis September 1999 aufgetretenen Stromverbräuche zeigt Bild 10. Der Mittelwert des Haushaltsstromverbrauchs bei den Passivhäusern liegt unter 3000 kWh/a und damit etwas niedriger als der bundesdeutsche Durchschnitt (33 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Haushaltsstrom, ohne elektrische Heizung und Warmwasserbereitung [Ebel, Feist 1997]). Dabei ist bei den Messwerten für den Stromverbrauch in den Passivhäusern zu berücksichtigen, dass nicht nur der Verbrauch für die zusätzliche Lüftungsanlage enthalten ist, sondern dass außerdem die Personenbelegung vermutlich etwas höher ist als im Durchschnitt.

Bei einer vollständigen Ausstattung mit höchsteffizienten Geräten und Energiesparlamen wären allerdings noch geringere Verbrauchswerte erreichbar gewesen, z.B. bei 4 Personen um 2000 kWh/a. Dass dieser theoretische, mit dem Passivhaus Projektierungs-Paket ermittelte Wert erreicht werden kann, zeigen drei Haushalte, deren Verbrauchswerte tatsächlich unter 2000 kWh/a liegt. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass kein elektrischer Wäschetrockner benutzt wird. Da in der Wiesbadener Wohnanlage aber eine witterungsgeschützte Trocknungsmöglichkeit außerhalb der eigenen beheizten Wohnung nicht vorhanden ist, muss von der Benutzung elektrischer Wäschetrockner ausgegangen werden (3 Ladungen pro Woche führen zu einer Erhöhung des Stromverbrauchs um ca. 500 kWh/a! vgl. [Loga/Knissel 1997]). Derzeit ist jedoch weder über die tatsächliche Ausstattung mit Elektrogeräten noch über das Nutzerprofil etwas bekannt, so dass eine weitergehende Interpretation der Messwerte verfrüht wäre.



**Bild 10: Haushaltsstromverbrauch der Einzelhäuser von Okt. '98 bis Sept. '99, aufsteigend sortiert**

## Fazit

Die in der „Gartenhofsiedlung Lummerlung“ erzielten Messergebnisse sind ein Beleg dafür, dass die geforderte hohe Qualität des Wärmeschutzes und der Anlagentechnik tatsächlich auch für in größerer Stückzahl erbaute Passivhäuser erreichbar ist. Darüberhinaus kommen offensichtlich alle 22 Haushalte mit den Anforderungen an ein „Wohnen im Passivhaus“ zurecht - obwohl die Bewohner weder speziell geschult noch ständig überwacht werden.

Auch beim Haushaltsstromverbrauchs konnte eine Senkung gegenüber dem deutschen Durchschnitt festgestellt werden. Die bei durchgängiger Verwendung marktbesten Geräte erzielbaren Verbrauchswerte wurden allerdings nur in einigen Häusern erreicht. In Folgeprojekten sollte daher verstärkt das Augenmerk auf die Ausstattung mit Haushaltsgeräten und deren Nutzungsintensität gerichtet werden.

## Literatur

- [AKkPH 7]                    **Umsetzung des effizienten Haushaltsstromeinsatzes bei den bevorstehenden Projekten.** Diskussion mit den Passivhaus-Planern; Protokollband Nr. 7 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser „Stromsparen im Passivhaus“; Passivhaus Institut, Darmstadt 1997
- [Ebel / Feist 1997]        Ebel, Witta; Feist, Wolfgang: **Ergebnisse zum Stromverbrauch beim Passivhaus Darmstadt Kranichstein**; Protokollband Nr. 7 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser „Stromsparen im Passivhaus“; Passivhaus Institut, Darmstadt 1997
- [Feist 1996]                Feist, Wolfgang: **Grundlagen der Gestaltung von Passivhäusern**; Darmstadt, 1. Auflage, 1996
- [Loga / Knissel 1997]     Loga, Tobias; Knissel, Jens: **Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch**; Protokollband Nr. 9 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser „Nutzerverhalten“; Passivhaus Institut, Darmstadt 1997
- [Loga 1997]                Loga, Tobias: **Primärenergiebilanz der Passivhäuser Wiesbaden**; Protokollband Nr. 5 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser „Energiebilanz und Temperaturverhalten“; Passivhaus Institut, Darmstadt 1997
- [PHI 1998]                Schnieders, Jürgen und Such, Martin: **Untersuchungen der Luftdichtheit in der Niedrigenergie- und Passivhaussiedlung Lummerlung in Wiesbaden-Dotzheim**; Passivhaus Institut, Fachinformation PHI-1998/9
- [Rasch 1997]                Rasch, Folkmer: **Kostengünstige Passivhäuser in Wiesbaden**; Protokollband Nr. 11 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser „Kostengünstige Passivhäuser“; Passivhaus Institut, Darmstadt 1997
- [Rasch 1998]                Rasch, Folkmer: **Kostengünstige Passivhäuser - realisierte Siedlungsprojekte**; Tagungsband der 2. Passivhaus-Tagung; Passivhaus-Institut, Darmstadt 1998
- [Stärz 1998]                Stärz, Norbert: **Passivhäuser - Versorgung mit Nah-/Fernwärme?** Tagungsband der 2. Passivhaus-Tagung; Passivhaus-Institut, Darmstadt 1998