

# Warum sind sie denn so verschieden?

Energiebedarf und tatsächlicher Verbrauch – Abgleich zwischen Theorie und Praxis

Gemessene Energieverbrauchswerte von Gebäuden weichen immer wieder von den berechneten Bedarfswerten ab. Dies führt in der Fachwelt zu Diskussionen über die Sinnhaftigkeit energetischer Standards und der verwendeten Berechnungsverfahren. Die Folge ist, dass die Energieeinsparkonzepte generell in Zweifel gezogen werden. Der Endverbraucher wird durch solche Aussagen stark verunsichert.

Im Folgenden sollen die einzelnen Einflussfaktoren auf Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch dargestellt und an einem Beispiel analysiert werden.

Autor:

Marc Großklos,  
Institut Wohnen und Umwelt GmbH,  
Darmstadt

- Bei Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch steht meist das Nutzerverhalten im Vordergrund. Dies sind vor allem die von den Bewohnern eingestellten Raumtemperaturen, das Lüften über die Fenster (Kippstellung, Dauerlüftung), das Weglüften von solaren Gewinnen im Winter (z. B. bei träger Heizungsregelung) oder ein deutlich erhöhter Warmwasserverbrauch.
- Einstellung und Betrieb der Anlagentechnik besitzen ebenfalls einen hohen Einfluss auf den tatsächlichen Energieverbrauch eines Gebäudes. Dies betrifft z. B. einen fehlenden hydraulischen Abgleich oder falsche Einstellung der Regelung. Weiterhin wurde Verteil- und Speicherverlusten bisher wenig Beachtung geschenkt. Bei der Warmwasserbereitung können durch einen ungünstigen Betrieb die Verluste höher ausfallen als der zugehörige Nutzwärmebedarf.
- Abweichungen gegenüber der Planung stellen sich teilweise durch Änderungen bei Materialien, Dicken und der Verarbeitung ein, oder im Bauablauf wurden Entscheidungen zur Kostenreduktion getroffen, die zu höheren Energieverbräuchen führen. Werte für Wärmebrücken und die Luftdichtheit können in der Planungsphase teilweise nur abgeschätzt werden. Schließlich spielen auch Belegungsdichte und innere Wärmequellen besonders bei energieeffizienten Gebäuden eine nicht vernachlässigbare Rolle.

## Einflussfaktoren auf die Energiebilanz

Energiebedarfsberechnungen werden mit standardisierten Randbedingungen erstellt, um so eine Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen unterschiedlicher Gebäude herzustellen. Sie beschreiben somit eine bestimmte Nutzung und werden z. B. für den gesetzlichen Nachweis in der Energieeinsparverordnung (EnEV) verwendet. Auch andere Bilanzverfahren, wie das Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP), verwenden einheitliche Randbedingungen, um den Nachweis eines energetischen Standards durchzuführen. In diesen Randbedingungen werden z.B. eine Raumtemperatur von 20 °C, ein bestimmter Außenluftwechsel, konstante innere Wärmequellen, ein gleichbleibender Energiebedarf für die Warmwasserbereitung und teilweise ein einheitliches Klima für ganz Deutschland unterstellt.

Die Einflussgrößen auf den realen Energieverbrauch sind aber vielschichtig und lassen sich in mehrere Gruppen unterteilen:



Diese Parameter lassen sich jedoch nur schwer vorher-sagen oder ändern sich im Laufe der Zeit.

- Schließlich können sich auch bei der Verbrauchserfassung und -korrektur Fehler oder Ungenauigkeiten ergeben (Anteil Warmwasserbereitung nur abgeschätzt, abgerechnete Einheiten nicht klar dokumentiert, unterschiedliche Bezugszeiträume, Gradtagkorrektur, etc.).

Alle diese Einflussgrößen können dazu führen, dass berechneter Bedarf und gemessener Verbrauch voneinander abweichen.

## Detailanalyse eines Modernisierungsprojektes

Im Folgenden soll anhand von 7 Mehrfamilienhäusern (Abbildung 1) mit insgesamt 61 Wohneinheiten, die in den Jahren 2008 – 2011 auf Passivhaus-Standard modernisiert und anschließend bei der realen Nutzung intensiv messtechnisch erfasst wurden, eine genaue Analyse der Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch vorgenommen werden [Großklos 2013].

## Raum- und Außentemperatur mit großem Einfluss

Der mit Wärmehählern gemessene Heizwärmeverbrauch

Abb. 1: Ansicht der auf Passivhaus-Standard modernisierten Gebäude Rotlintstraße 116-128 in Frankfurt am Main. Die 7 Mehrfamilienhäuser haben insgesamt 61 Wohneinheiten.

der Wohnungen lag 2012 bei 26,7 kWh/(m<sup>2</sup>a) und überschreitet damit den in der Planungsphase ermittelten Bedarfswert nach PHPP von 15,2 kWh/(m<sup>2</sup>a). Das Ergebnis kann zunächst erschrecken (+ 75 %), wie aber die folgenden Ausführungen zeigen, sind die Unterschiede erklärbar. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass bei sehr geringem Verbrauch schon kleine Mehrverbräuche zu großen prozentualen Abweichungen führen.

Beim Vergleich zwischen Bedarfs- und Verbrauchswerten muss einerseits das reale Außenklima in den Messjahren, andererseits die tatsächliche Raumtemperatur berücksichtigt werden. In dem Beispielgebäude lag die Raumtemperatur im Mittel bei 22,4° C und damit um 3,4° C höher als bei der Annahme der EnEV (19 °C bei der Berechnung nach DIN V 4108-6: 2003) bzw. um 2,4°C höher als bei der Annahme des PHPP oder der DIN V 18599-10: 2011 (20°C). Abbildung 2 zeigt die Abhängigkeit des Heizwärmeverbrauchs von der tatsächlichen Raumtemperatur und dem realen Außenklima.

## INFOKASTEN

Bei der Energiebilanz unterscheidet man zwischen Bedarf und Verbrauch.

Der **Bedarf** ist ein berechneter Wert unter vordefinierten Randbedingungen. Er dient der Vergleichbarkeit von Gebäuden. Auf Grund der „standardisierten“ Randbedingungen weicht er i.d.R. vom Verbrauch ab.

Der **Verbrauch** ist die Energie, die tatsächlich von den Bewohnern verbraucht wird.

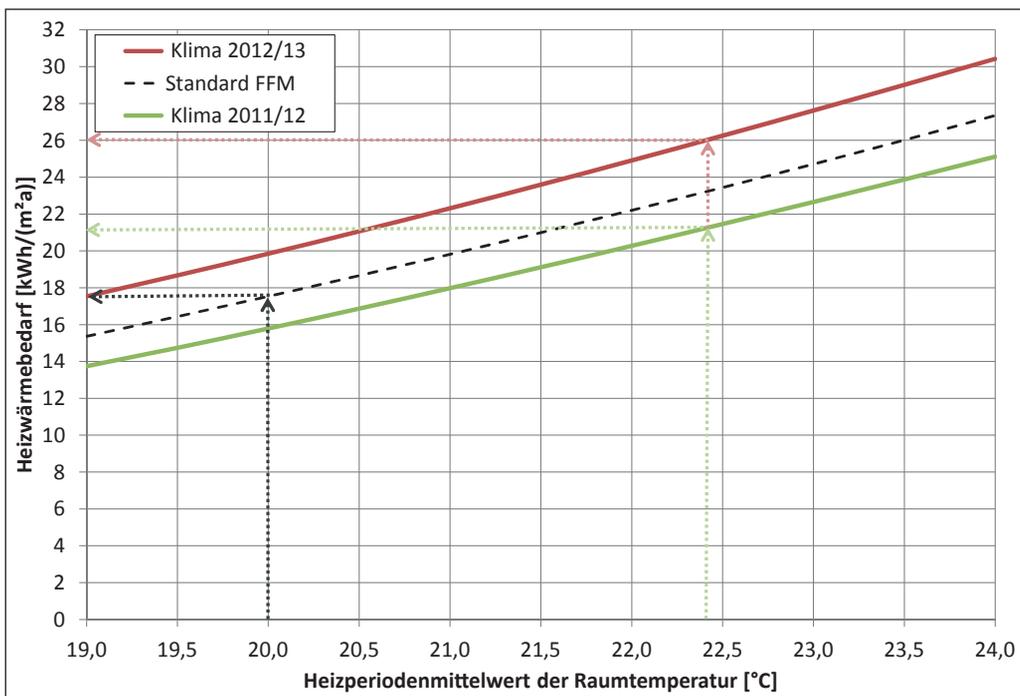
Je nachdem, wo man die Bilanzgrenze zieht, spricht man auch von **Heizwärmebedarf/-verbrauch** und **Endenergiebedarf/-verbrauch**.

Die Bilanzgrenze bei der Heizwärme ist die Wärme, die dem Raum zur Beheizung zur Verfügung gestellt wird, um die Wärmeverluste der Gebäudehülle und durch die Lüftung auszugleichen. Sie wird reduziert durch die Wärmegewinne über Fenster, elektrische Geräte und Personen (sogenannte interne Wärmegewinne). Die Heizwärme liefert eine Aussage über die Qualität des Gebäudes.

Bei der Bilanzgrenze **Endenergie** wird zusätzlich zur Heizwärme die Anlagentechnik berücksichtigt. Dazu zählen die Verluste der Heizleitung und der Heizung aber auch Energiegewinne einer Solaranlage. Hinzu kommt noch die Energie für die Warmwasserbereitung. Vereinfacht ist die Endenergie das, was der Bewohner bezahlen muss.

Abb. 2:  
Einfluss von Raumtemperatur und realem Außenklima auf den Heizwärmebedarf der Mehrfamilienhäuser in Frankfurt, dargestellt für das Standardklima des PHPP für Frankfurt sowie das reale Klima 2011/12 und 2012/13 mit realer Personenbelegung. Wird der Bedarf mit der gemessenen Durchschnittstemperatur

im Raum (22,4°C) und den geringeren internen Wärmegewinnen durch Personen neu berechnet, ergibt sich für die Heizperiode 2011/12 ein höherer Bedarf (ca. 4 kWh/m<sup>2</sup>a) als bei den Standardrechenbedingungen (17,5 kWh/m<sup>2</sup>a bei dem Gebäude mit dem höchsten Bedarf). In der Heizperiode 2012/13 wären es nochmals ca. 4 kWh/m<sup>2</sup>a mehr.



Berücksichtigt man außerdem die geringeren inneren Wärmegewinne durch eine reduzierte Personenbelegung (tatsächlich 40,5 m<sup>2</sup>/Pers. statt 35 m<sup>2</sup>/Pers.) und durch mehrere Maßnahmen [Großklos 2013] erreichte niedrige Haushaltsstromverbräuche (ca. 20 % niedriger im Vergleich mit anderen Passivhäusern), so ergibt sich z.B. für das ungünstigste der drei Gebäude ein Heizwärmebedarf von 24,6 kWh/(m<sup>2</sup>a) – der gemessene Verbrauch lag 2012 bei 27,8 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der Unterschied zwischen Bedarf und Verbrauch kann somit im Wesentlichen auf das reale Klima, die höheren Komfortansprüche der Mieter und die geringere Personenbelegung zurückgeführt werden.

### Zwischenfazit:

In Abbildung 3 wird nochmals die Gesamtbilanz für die Heizwärme dargelegt. Vergleicht man die angepasste Bedarfsberechnung mit den Messwerten für zwei Messjahre zeigt sich: Raumtemperaturen, Klima, Personenbelegung und verspätete Umschaltung der Lüftungsanlagen auf Winterbetrieb erklären den größten Teil der Abweichung. Lediglich 1,3 bzw. 1,6 kWh/(m<sup>2</sup>a) (ca. 5 %) bleiben als nicht erklärbare Differenz, die

durch die verbleibenden Unsicherheiten (siehe unten) erklärt werden. Es kann folglich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Heizwärmebedarf und -verbrauch erreicht werden.

### Nicht alle Unterschiede quantifizierbar

Bei der Analyse vor Ort konnte neben den genannten (quantifizierbaren) Faktoren eine Reihe von weiteren Einflussgrößen ausgemacht werden, die sich auf den Heizwärme- und den Endenergieverbrauch der Gebäude ausgewirkt haben. Diese lassen sich aber nicht exakt quantifizieren. Dazu gehören:

- Teilweise Nutzung der Schiebeläden tagsüber im Winter als Sichtschutz, dadurch Reduktion der solaren Gewinne
- Zusätzliche Fensterlüftung im Badezimmer/Schlafzimmer einiger Wohnungen im Winter
- Auf- und Trockenheizen des Baukörpers

### Anlagentechnik mit weiteren Einflüssen

Die bisherige Betrachtung hat nur die Heizwärme (siehe Infokasten) berücksichtigt. Die Anlagentechnik ist darin noch nicht enthalten. Bei dieser gibt es weitere Faktoren, die einen Unterschied zwischen Endenergieverbrauch und -bedarf erzeugen können. Der Endenergieverbrauch lag bei diesen Gebäuden mit 56,8 kWh/(m<sup>2</sup>a) ca. 40 % über dem Bedarfswert. Der oben erklärte erhöhte Heizwärmeverbrauch wird teilweise durch niedrigen Energieverbrauch für die Warmwasserzapfung kompensiert. Hinzu kommen aber hier höhere Verteilverluste in der Heizzentrale und Fehlfunktionen der Solarregelung. Durch letzteres hat sich der Solarertrag um ca. 5 kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw. 45 % verringert. Auch bei der Lüftungsanlage wurde ein Fehler entdeckt. Die Lüftungsanlage wurde zu spät von Sommerbetrieb (ohne Wärmerückgewinnung) auf Winter-

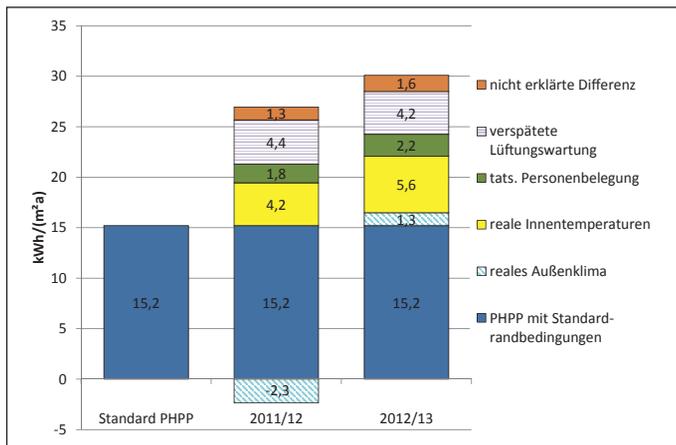


Abb. 3: Quantifizierung der Einflussgrößen auf den Heizwärmebedarf im Vergleich mit dem gemessenen Heizwärmeverbrauch.

die Ergebnisse, dass es zwar einen nicht vernachlässigbaren Einfluss der Nutzer auf den Energieverbrauch des Gebäudes gibt, die ergriffenen Maßnahmen aus Dämmung und Anlagentechnik aber dennoch zum Energiesparereffekt führen.

Auch in anderen Projekten kann dies belegt werden, wie Abbildung 4 zeigt. Trotz Abweichungen zwischen Bedarf- und Verbrauchswerten ist eindeutig zu erkennen, dass der energetische Standard Niedrigenergiehaus (NEH) oder Passivhaus (PH)/EnerPhit, die Höhe des Verbrauchs bestimmt.

### Andere Argumente nicht hilfreich

In der Literatur werden erhöhte Verbräuche häufig auch als Rebound-Effekt bezeichnet. Dieser soll den Mehrverbrauch von Energie z.B. aufgrund höherer Raumtemperaturen beschreiben, der bei energieeffizienten Gebäuden wegen geringeren Verbrauchskosten durch sparsame Technik entsteht. Der Rebound-Effekt mag zwar existieren, kann aber nicht als Argument herangezogen werden, um das gesamte energieeffiziente Gebäudekonzept in Zweifel zu ziehen. Die vorgestellten Gebäude erreicht trotz der beschriebenen Abweichungen eine erhebliche Reduktion des Endenergieverbrauchs (-70 %) und der Treibhausgase (-72 %). Dies wird auch bei anderen Gebäuden bestätigt.

Auch muss erwähnt werden, dass mancher „Bedarf-Ver-

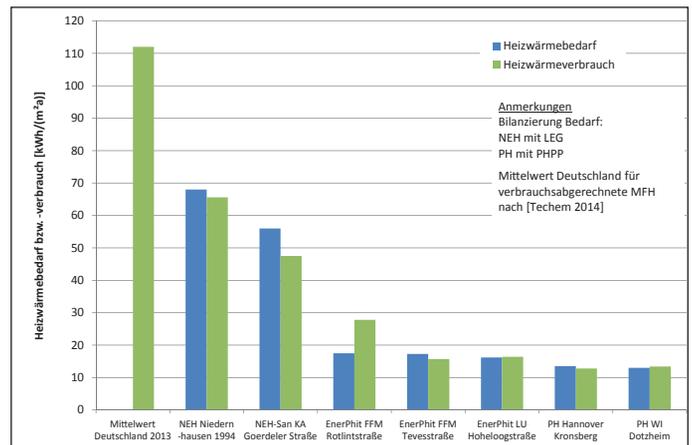


Abb. 4: Vergleich von Heizwärmebedarf und -verbrauch von modernisierten Gebäuden und von Neubauten mit unterschiedlichem energetischem Standard (bezogen auf die Energiebezugsfläche bzw. Wohnfläche) [Peper, Feist 2015], [Goerdeler 2004], [Großklos 2013]

brauch“-Vergleich auch deswegen ungünstig ausfällt, da mit festen Pauschalwerten für die Warmwasserbereitung korrigiert wird oder die Ermittlung der Verbrauchswerte mit Fehlern behaftet ist (Messfehler, unterschiedliche Abrechnungszeiträume, Verwendung korrekter Einheiten, Bestimmung des Verbrauchs lagerfähiger Brennstoffe, unterschiedliche Bezugsflächen).

### Fazit und Ausblick

Wie gezeigt, sind die Ursachen für eine mögliche Abweichung zwischen Energiebedarf eines Gebäudes und dessen tatsächlichem Energieverbrauch vielfältig. Neben dem Einfluss der Nutzer – hauptsächlich durch die eingestellten Raumtemperaturen und sein Lüftungsverhalten – spielt auch die Anlagentechnik, die Einstellung der Regelung, aber auch die Abweichungen zwischen idealer Bauausführung und Realität auf der Baustelle eine wichtige Rolle.

Um zukünftig für den Endverbraucher realistischere Einschätzungen über seine zu erwartenden Energiekosten liefern zu können und Investoren bessere Grundlagen für Wirtschaftlichkeitsberechnungen bei Bauprojekten zu ermöglichen, ist neben der energetischen Bilanzierung mit Standardrandbedingungen als gesetzlicher Nachweis auch die Prognose eines Erwartungswertes des Energieverbrauchs sinnvoll. Dieser muss mittlere Randbedingungen für die Bilanzierung (bspw. Raumtemperatur 22°C und

betrieb (mit Wärmerückgewinnung) umgestellt. Dies ergab immerhin einen Mehrverbrauch von ca. 12 %.

Außerdem ist auch im Sommer teilweise Heizwärme abgenommen worden, da die Heizkreise aufgrund von Handsteuerung der Heizungsregelung in Betrieb waren (Mehrverbrauch zwischen 1,1 und 4,5 kWh/(m²a)).

### Das Ziel nicht aus dem Auge verlieren.

In der gesamten Betrachtung sollte man aber das eigentlich gesteckte Ziel bitte nicht aus dem Auge verlieren. Insgesamt erreichen die Gebäude eine gemessene Einsparung bei der Endenergie von 70 % gegenüber dem gemessenen Verbrauchswert von 190 kWh/m²a vor Sanierung. Es zeigt sich also, dass die Bestrebung, Energie zu sparen, auf einem sehr guten Niveau erreicht wird. Angestrebt war eine Reduktion des Endenergieverbrauchs um 79 %. Die Differenz von 9 %-Punkten teilt sich etwa hälftig auf in Mehrverbrauch durch verändertes Nutzverhalten (insbesondere die höheren Raumtemperaturen) und hälftig auf nicht optimalen Betrieb der Anlagentechnik. Somit zeigen

reales Außenklima) berücksichtigen, wie sie in einer Vielzahl von Gebäuden häufig anzutreffen sind und gleichzeitig die Sensitivität bzw. Wahrscheinlichkeit dieser Ausprägung der Randbedingung beziffern. Es ergibt sich dann ein Erwartungswert des Energieverbrauchs mit einer Spanne, innerhalb der der Verbrauchswert wahrscheinlich liegen wird. Dadurch würde auch gleichzeitig ein Maßstab existieren, mit dem z. B. Verbräuche außerhalb dieser Spanne als zu hoch und nicht mehr innerhalb der üblichen Nutzungsbandbreite liegend klassifiziert werden können. ■

### Literaturverweise

[Goerdeler 2004] Autorenkollektiv: EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße – Integrale Sanierung auf Niedrigenergie-Standard unter Einschluss moderner Informations- und Regelungstechnik und Beeinflussung des Nutzerverhaltens; KEA, Karlsruhe, 2004

[Großklos 2013] Marc Großklos: Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung Rotlintstraße 116-128 in Frankfurt - Ergebnisse der messtechnischen Erfolgskontrolle, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2013.

[Peper, Feist 2015] Soren Peper, Wolfgang Feist: Die Energieeffizienz des Passivhaus-Standards: Messungen bestätigen die Erwartungen in der Praxis, Passivhaus Institut, Darmstadt 2015