

Die Kosten für die jeweils angelieferte Energieform (Endenergie) fallen am Hausanschluß an. Es wird angenommen, dass zur Erzeugung einer behaglichen Raumtemperierung im Falle der Infrarotheizung eine deutlich kleinere Menge an Energie, gemessen in kWh, benötigt wird als bei der Gasheizung. Dies könnte dazu führen, dass die Infrarotheizung bei der momentanen Preisentwicklung gleich teuer oder sogar billiger in den Betriebskosten ist als eine Gasheizung. Gleichzeitig könnte die Infrarotheizung trotz Einbeziehung der Kraftwerksverluste im Verbundnetz in der CO₂-Bilanz gleich gut oder besser abschneiden.

Diese Annahmen wurden mit dem vorliegenden Projekt exemplarisch überprüft.

Das Projektziel dabei war, mit möglichst geringem Versuchsaufwand möglichst viele generelle Fragen (siehe Motivation) zu beantworten unter bewusstem Verzicht auf Beantwortung von Detailfragen wie nach dem Einfluss von verschiedenen Bauformen der Infrarotstrahler etc..

Nach der abstrakten Systemfestlegung wurde ein konkretes Meßobjekt gesucht, bei dem nach Möglichkeit beide Systeme am gleichen Standort mit gleichen Bewohnern und gleicher Bausubstanz verglichen werden konnten. Mit diesen Forderungen konnten von vorneherein viele Unwägbarkeiten und Einflußfaktoren wie Wetterabhängigkeit, unterschiedliches Nutzerverhalten und unterschiedliche Einflüsse der Bausubstanz (Dämmung, Speicherverhalten etc.) in ihren unterschiedlichen Auswirkungen auf das Untersuchungsergebnis minimiert werden.

3.4 Das Meßobjekt

Bei dem Meßobjekt handelt es sich um ein Zweifamilienhaus, zwei-einhalb-geschossig, typischer ungedämmter Altbau, Baujahr 1930, Sandstein-Mauerwerk, Anbau 1955 und Aufstockung 1967 mit gleicher Wandstärke und Baustoffen, ungedämmte Kellerdecke und ungedämmte Bodenplatte.

Eine Teilrenovierung wurde zu Beginn der 1990er Jahre durchgeführt mit Holzverschalter Dachdämmung (12 cm Mineralwolle, alukaschiert) im ausgebauten Dachgeschoss (ein Raum, Drempehhöhe ca. 40 cm) und Einbau von Isolierglasfenstern im ganzen Haus. Die Wohnungen sind durch ein abgeschlossenes Treppenhaus verbunden.

Seit 1993 ist das Gebäude mit einer Niedertemperatur-Gasheizung mit entsprechenden Heizkörpern, isolierten Heizrohren und getrennten Heizkreisen für jede Wohnung ausgestattet. Die Wärmebedarfsberechnung ergab gleiche Werte pro Quadratmeter für beide Wohnungen. Die bisherigen Verbräuche wurden mit Wärmehählern gemessen.

Die Erdgeschosswohnung umfasst 102,6 m², die Obergeschosswohnung inklusive ausgebautem und über eine Treppe in der Wohndiele direkt zugänglichem Dachgeschoss 160,7 m² beheizte Wohnfläche. Erd- und Obergeschoss haben den gleichen Grundriss und gleiche Anzahl und Größe der Fenster (siehe unten).

Beide Wohnungen wurden von der gleichen Familie benutzt. Im Projektzeitraum waren regelmäßig drei Personen anwesend.

3.5 Versuchsaufbau: Installationen und Meßgeräte

In der Erdgeschosswohnung wurde eine komplette Infrarotheizung aus folgenden Komponenten installiert:

Diverse Infrarot-Flächenheizungen (Fa. Knebel, www.infrarot-flachheizung.de), Plan siehe unten. Dabei handelt es sich durchgehend um elektrisch betriebene Dunkelstrahler mit Oberflächentemperaturen zwischen 70°C und 110°C.

Pro Raum:

Funk-Thermostat FS20 STR2 (Fa. ELV, www.elv.com) und Schaltsteckdose FS20 ST2 (Fa. ELV, www.elv.com).

Stromverbrauchs-Meßgeräte:

ENERGY CONTROL 3000 USB (Fa. VOLT CRAFT, www.conrad.de),
ENERGY SENSOR ES-1 (Fa. VOLT CRAFT, www.conrad.de).

Es wurden Flächen-Infrarotstrahler auf der Basis von Widerstandsfolien ohne Speichermasse dezentral ähnlich wie an den Wänden aufgehängte Bilder in den Räumen angebracht und an die normalen Steckdosen der häuslichen Elektroinstallation angeschlossen. Dabei wurde auf die Belastbarkeit der einzelnen Stromkreise geachtet und bei Bedarf neue Leitungen (Aufputz) installiert.

Zwischen Infrarotstrahler und Steckdose wurden funkgesteuerte Schalter (FS20 ST2) eingeschleift, die über Funkthermostaten (FS20 STR2) angesteuert werden. Die abgegebene Infrarotstrahlung ist im langwelligen Infrarot-C-Bereich (siehe oben) ohne sichtbaren Anteil. Die thermische Speicherkapazität der Flächen-Infrarotstrahler ist so gering, dass bei kurzzeitiger Berührung keine Verbrennungsgefahr besteht. Um Probleme durch Hitzestau zu vermeiden, durften sie jedoch nicht abgedeckt oder hinter Vorhängen angebracht werden.

Die Standorte der Flächen-Infrarotstrahler mit Angabe der zugehörigen Anschlussleistung sind in **Bild 3.5** skizziert. Die Standorte wurden so gewählt, dass möglichst gleichzeitig

- ein gleichmäßiges „Ausleuchten“ des Raumes,
 - Vermeidung von Strahlungsasymmetrien,
 - eine Kompensation der relativ geringen Strahlungstemperatur der Fensterflächen und
 - der Vermeidung der direkten Anstrahlung der Fensterflächen (höchster Wärmeverlust)
- gegeben ist.

Fensterglas ist transparent für sichtbares Licht und kurzwelliges Infrarot. Für langwelliges Infrarot (den Bereich der Wärmestrahlung bei den verwendeten Infrarotstrahlern) ist es fast undurchlässig (ähnlich einer schwarzen Glasscheibe im sichtbaren Bereich). Diese Wellenlängenabhängigkeit der Transparenz ist z.B. entscheidend für den sogenannten Glashauseffekt (dass das Fensterglas auch für UV-Licht fast undurchlässig ist, spielt in diesem Zusammenhang keine Rolle).

Die Infrarotstrahlung kann also zwar den Raum durch die Fenster nicht verlassen, wird aber je nach Einstrahlwinkel zu einem großen Teil von den Fensterscheiben absorbiert (genau wie von den Wänden) und heizt diese auf. Der Rest der nichtabsorbierten Infrarotstrahlung wird in den Raum reflektiert. Der Wärmeverlust tritt dann wie bei den Wänden durch Transmissionsverluste und Strahlungsverluste ab der Außenseite der Innenscheibe (bei der hier verwendeten Isolierverglasung) auf, die wegen der schlechteren Dämmwerte gegenüber den Außenwänden flächenbezogen höher ist. Da die Absorption mit steigendem Einfallswinkel zunimmt (senkrecht am größten), sollte ein direktes Anstrahlen der Fensterflächen vermieden werden.

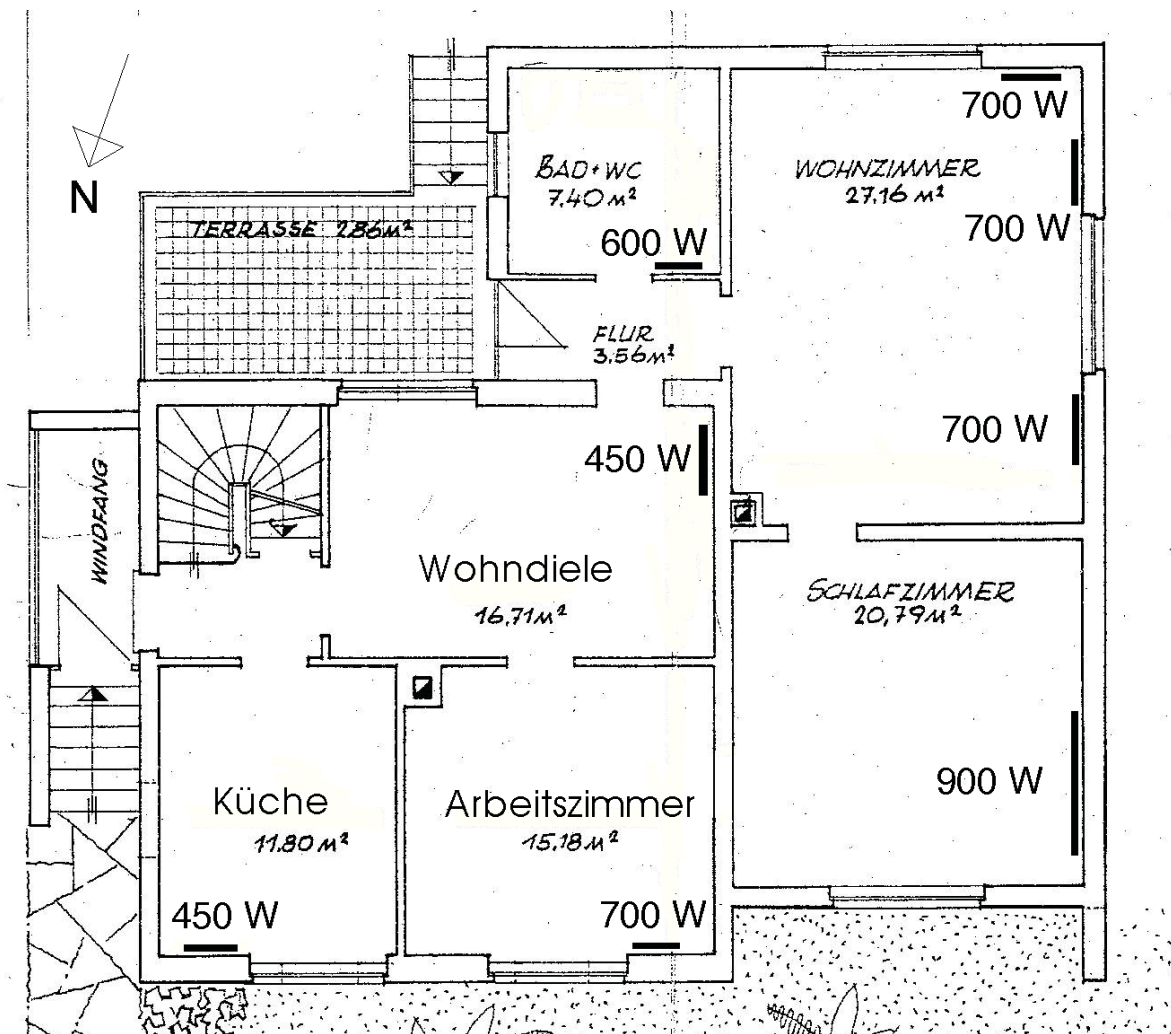


Bild 3.5: Grundriss Erdgeschoss des Maßobjekts

Die zugehörigen Fotos sind im Anhang aufgeführt.

Die Funk-Thermostaten sind so angeordnet, dass sie direkt von den Infrarotstrahlern angestrahlt werden („Sichtkontakt“) und so tendenziell wie ein sogenanntes Globethermometer funktionieren, mit denen die operative Temperatur gemessen wird.

Die Stromverbrauchs-Meßgeräte wurden doppelt installiert, um Redundanz gegen Datenverlust zu erhalten.

Zur Messung wurden die installierten Infrarotstrahler zu vier Raum-Gruppen zusammengefasst:

Gruppe 1: Bad,

Gruppe 2: Küche / Wohndiele,

Gruppe 3: Büro / Schlafzimmer,

Gruppe 4: Wohnzimmer.

In dieser Gruppierung sind die Meßwerte in der untenstehenden Auswertung aufgeführt.

Ergänzend wurden regelmäßig (mindestens wöchentlich zu den Ablesetagen für den Gasverbrauch) Lufttemperatur- und Wandoberflächentemperatur-Messungen mit mobilen Meßgeräten (Lufttemperatur-/Feuchtigkeitsmeßgerät AZ 8703 und Infrarot-Thermometer Modell ST-8838, Fa. ELV) durchgeführt, um zu überprüfen, ob in den IR-beheizten Räumen die durchschnittlichen Wandoberflächentemperaturen höher sind als die Lufttemperaturen.

Die Obergeschosswohnung wurde installationstechnisch prinzipiell nicht verändert. Kurz vor Projektbeginn wurde lediglich eine neue Zirkulationspumpe installiert und der Heizkreis hydraulisch abgeglichen. Der Heizkreis der Untergeschosswohnung wurde stillgelegt.

Die Trinkwassererwärmung wurde in beiden Wohnungen durch die Gasheizung übernommen.

3.6 Probetrieb

Die Installationen wurden wie vorgesehen im Oktober 2008 vorgenommen und der Meßbetrieb aufgenommen. Zuerst wurde in einem Probetrieb versucht, die beiden Wohnungen auf gleicher Lufttemperatur zu halten. Dies scheiterte an der subjektiv unterschiedlich empfundenen Behaglichkeit bei gleicher Lufttemperatur. Sobald die an den Thermostaten eingestellte und gemessene Lufttemperatur gleich waren, war entweder die IR-beheizte Wohnung subjektiv zu warm bei angenehm temperierter gasbeheizter Wohnung oder die gasbeheizte Wohnung zu kalt bei angenehm temperierter IR-beheizten Wohnung.

Die Ursache liegt im unterschiedlichen Heizungsprinzip. Die Behaglichkeit ist zugleich abhängig von der Lufttemperatur und von der durchschnittlichen Wand- und Fensteroberflächentemperatur (siehe oben).

Es wurden daher im Probetrieb bis Mitte November 2008 die Thermostateinstellungen so lange geändert, bis in jeweils beiden Wohnungen die gleiche Behaglichkeit empfunden wurde. Da beide Wohnungen von allen Mitgliedern der gleichen Familie benutzt wurden, gab es keine Unterschiede im Nutzerverhalten.

Bei gleicher subjektiver Behaglichkeit konnte die Lufttemperatur in den Räumen der IR-beheizten Wohnung um 1 bis 2 Grad niedriger eingestellt werden als in den entsprechenden Räumen der gasbeheizten Wohnung.

4 Ergebnisse und Auswertung

Nach dem Probetrieb wurde der Beginn des Meßzeitraums auf den 16.11.2008 festgelegt. Das Reserve-Meßsystem für die Infrarotheizung wurde am 26.11.2008 in Betrieb genommen, um alle Meßwerte sicherheitshalber doppelt zu erfassen.

Die erfassten Meßdaten für die Infrarotheizung wurden aus den Datenloggern regelmäßig per zugehöriger Software auf je eine Datenbank in zwei getrennten Laptop-PCs übertragen und Sicherungskopien angelegt.

Da die Infrarotheizung an die normalen Steckdosen-Stromkreise angeschlossen war, wurde zur Kontrolle der normale Haushaltsstromzähler wöchentlich abgelesen. Gleichzeitig wurde der Gaszähler abgelesen und zur Kontrolle dieser Werte der Wärmemengenzähler für den Heizkreis der Obergeschosswohnung. Allerdings war dieser Zähler außerhalb des Eichungszeitraums und konnte nur als grober Anhaltspunkt gegen Ablesefehler dienen.

Der Meßzeitraum endete am 30.4.2009. Danach begann die Datenaufbereitung und Auswertung.

Bei der Datenaufbereitung wurden die Verbrauchswerte der beiden Datenbestände für die Infrarotheizung auf Gleichheit überprüft und gegen die Verbrauchswerte des Haushaltsstroms auf Plausibilität kontrolliert.

Singgemäß wurde mit den Ablesewerten am Gaszähler und Wärmemengenzähler verfahren.

Alle bestätigten Meßwerte wurden anschließend zur weiteren Verarbeitung in ein Tabellenkalkulationsprogramm übertragen.

4.1 Die Meß-Ergebnisse

Im folgenden sind die grafisch aufbereiteten Meß-Ergebnisse und die Verbrauchssummen über den gesamten Meßzeitraum wiedergegeben. Die detaillierten Tabellenwerte sind im Anhang beigefügt.

Energieverbrauch der Infrarotheizung

Die folgenden Grafiken veranschaulichen den Verbrauch in den einzelnen Raumgruppen.

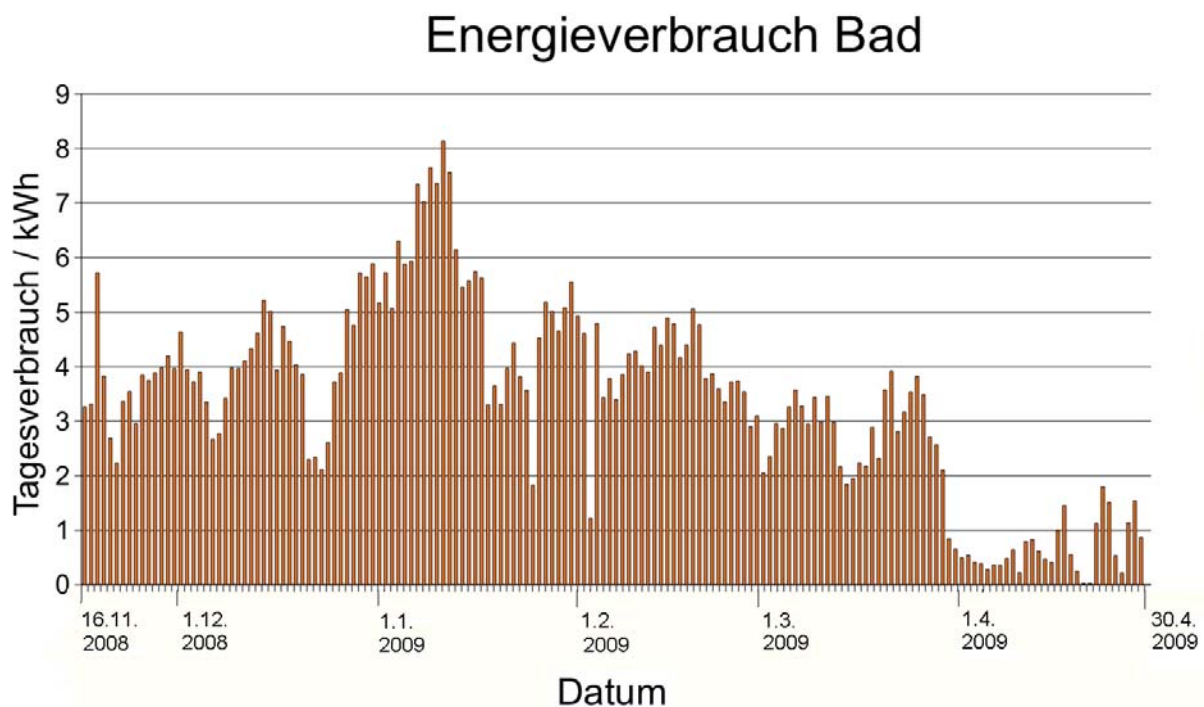


Bild 4.1: Verbrauch der Gruppe 1 (Bad)

Energieverbrauch Küche / Wohndiele

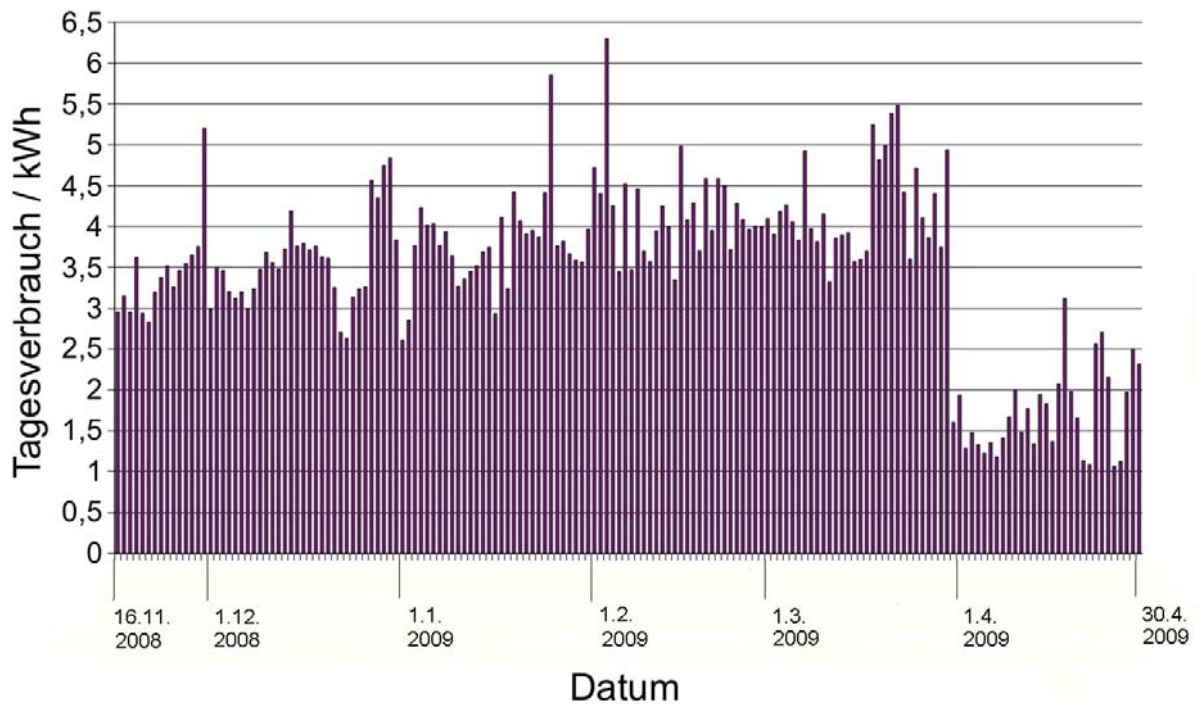


Bild 4.2: Verbrauch der Gruppe 2 (Küche / Wohndiele)

Energieverbrauch Büro / Schlafzimmer

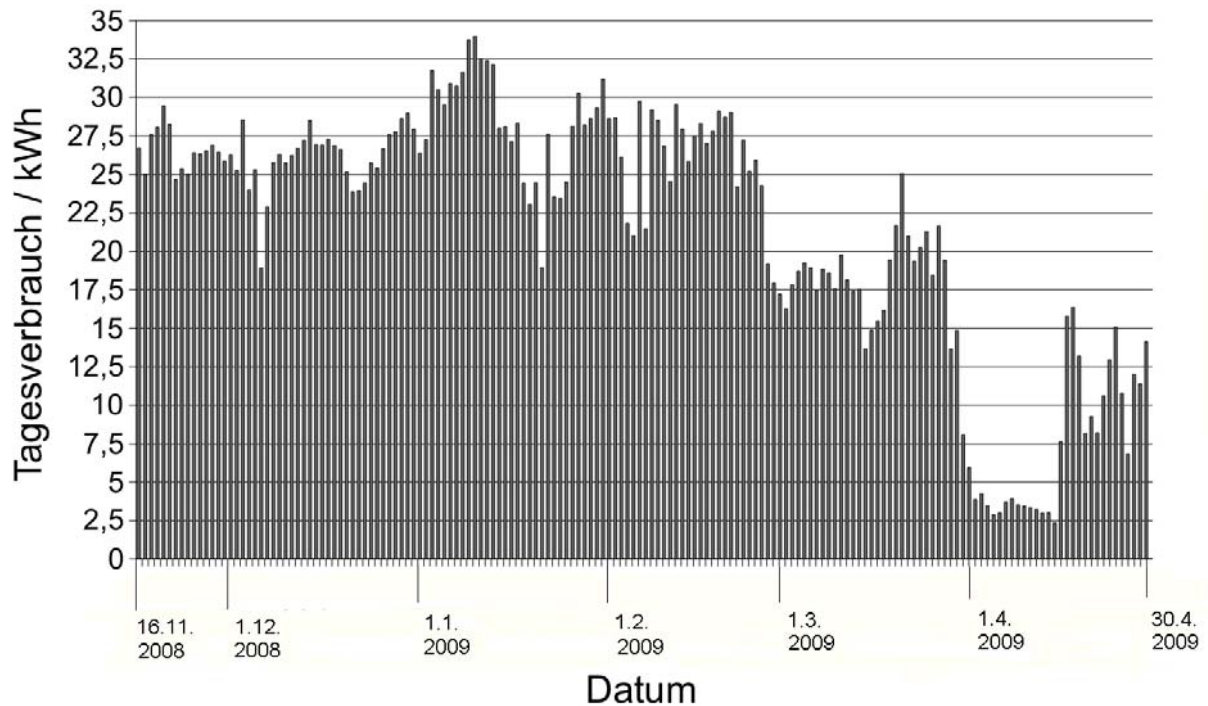


Bild 4.3: Verbrauch der Gruppe 3 (Büro / Schlafzimmer)

Energieverbrauch Wohnzimmer

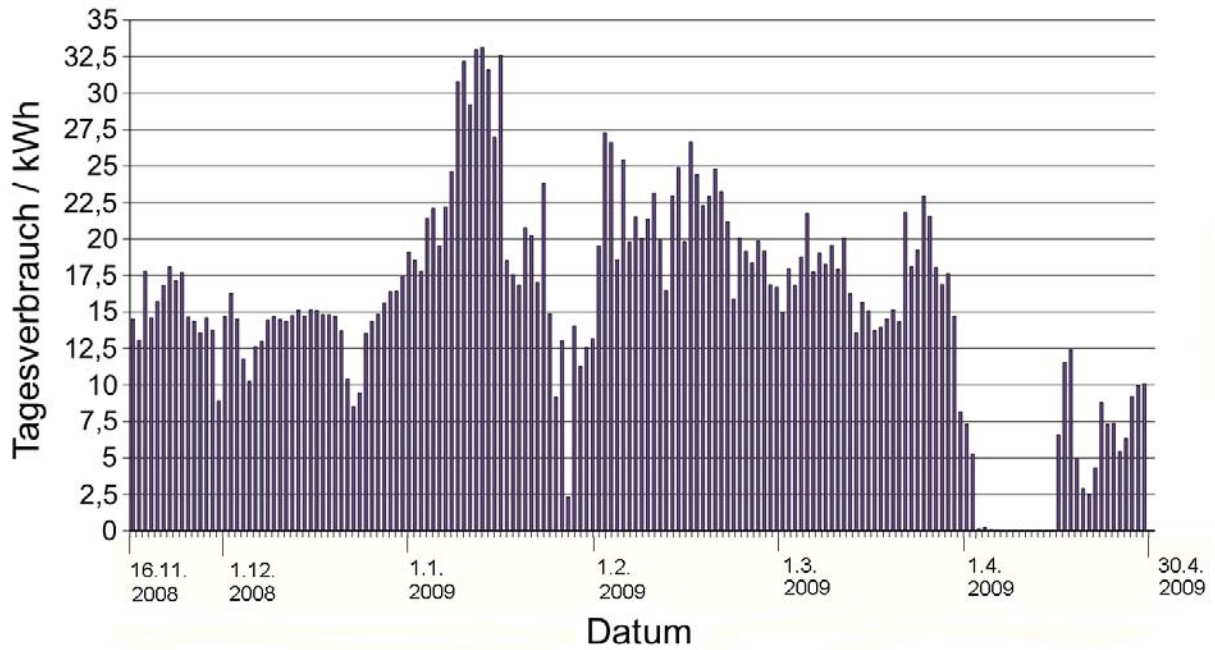


Bild 4.4: Verbrauch der Gruppe 4 (Wohnzimmer)

In Bild 4.5 sind die Verbrauchsgruppen in ihren Tagessummen dargestellt.

Energieverbrauch gesamt

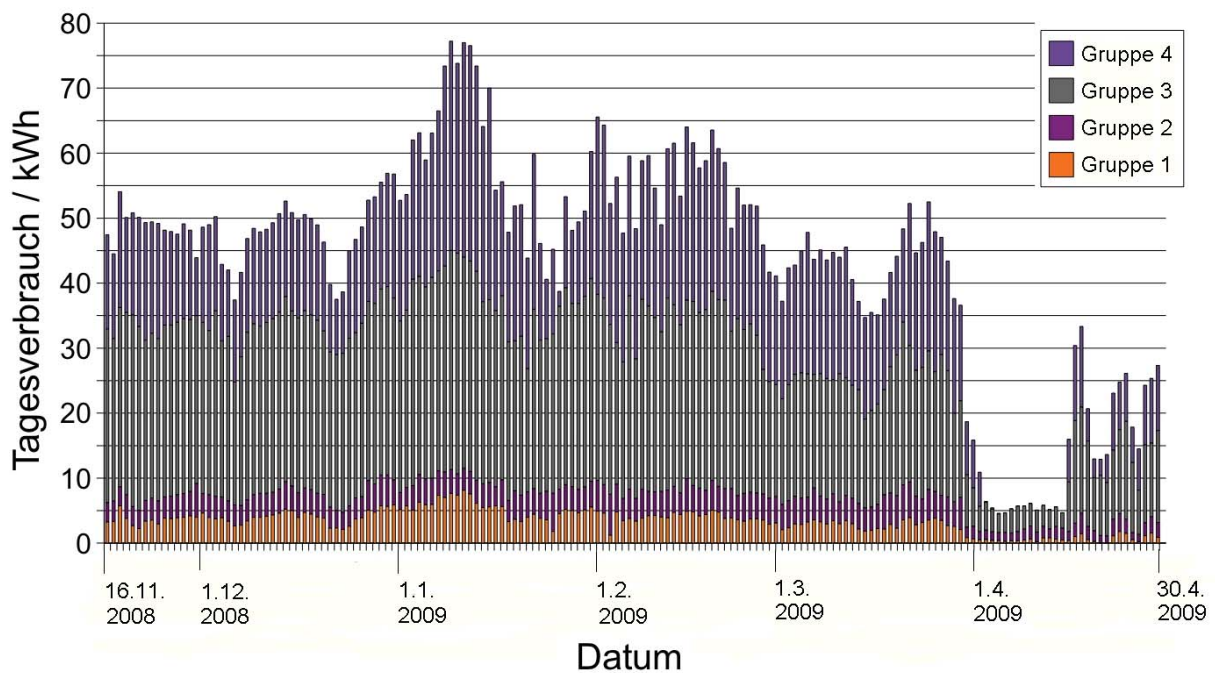


Bild 4.5: Gesamter Tages-Energieverbrauch aller Gruppen

Der **Gesamtverbrauch der Infrartheizung** über den kompletten Meßzeitraum umfasste aufsummiert **7305,92 kWh**.

Energieverbrauch der Gasheizung

Der Verbrauch der Gasheizung wurde über den Gaszähler wöchentlich erfasst. Die verbrauchte Gasmenge wurde mit den vom örtlichen Versorger angegebenen Faktoren in Energie umgerechnet. Dies ist in **Bild 4.6** dargestellt.

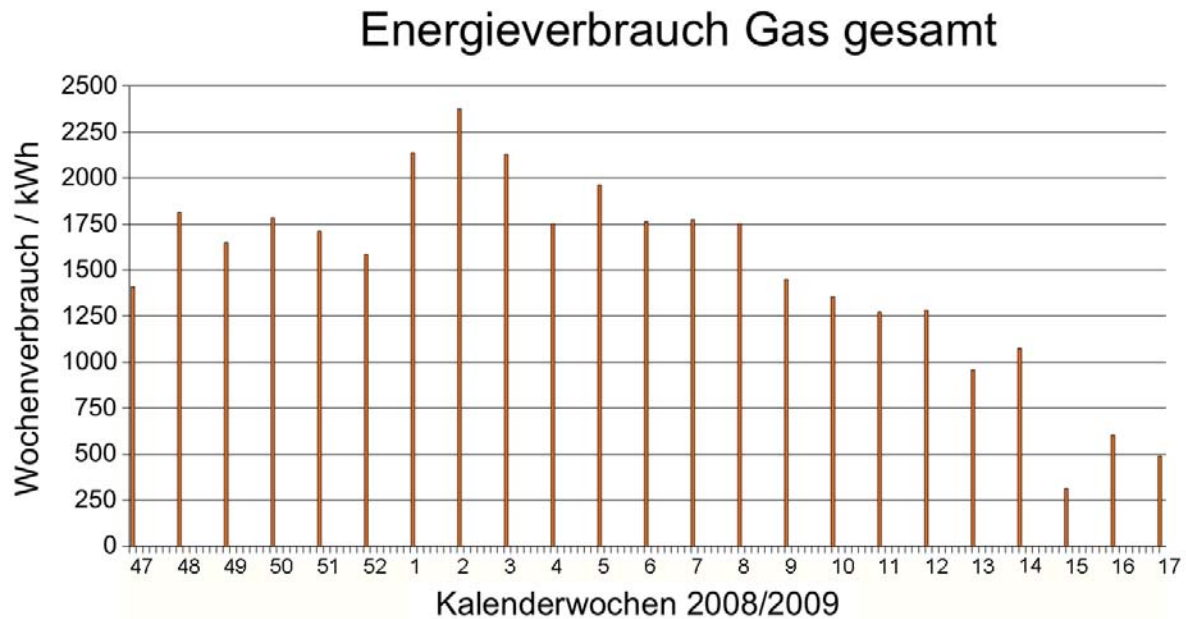


Bild 4.6: Wochen-Energieverbrauch der Gasheizung

Im Vergleich dazu ist der Energieverbrauch der Infrarotheizung auf Wochenbasis in **Bild 4.7** dargestellt.

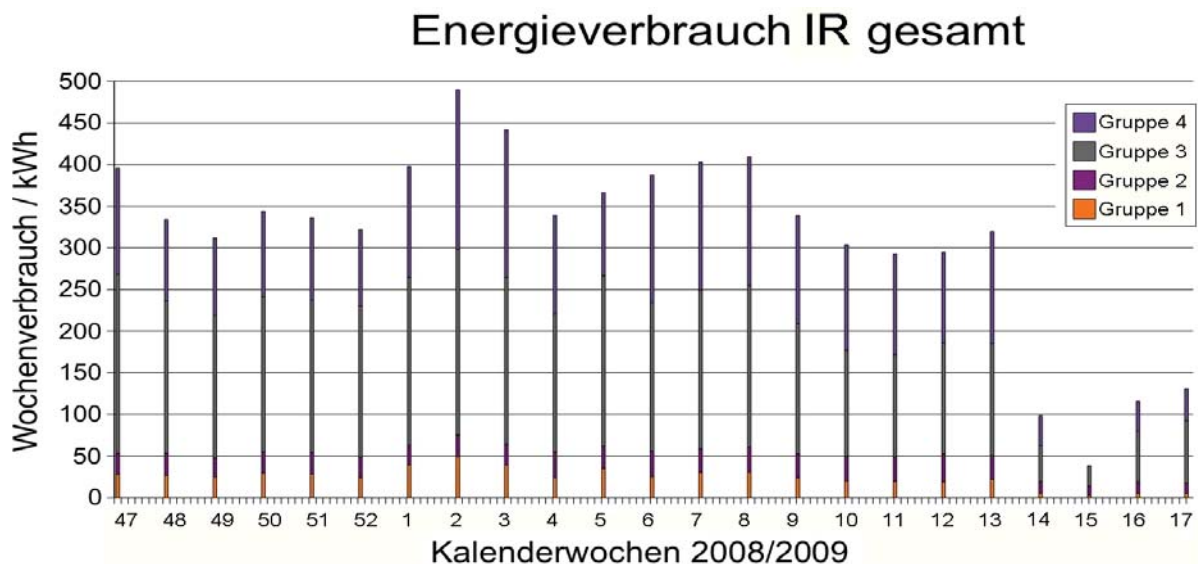


Bild 4.7: Wochen-Energieverbrauch der IR-Heizung

Der **Gesamtverbrauch der Gasheizung** im kompletten Meßzeitraum war **34742,33 kWh**.

Die separate Messung der Energiemenge für die Trinkwassererwärmung hätte erheblichen Aufwand bei den Installationen verursacht und wurde deshalb unterlassen. Da überwiegend Warmwasser für das Duschen benötigt wurde, wird ein Pauschalwert von 400 kWh pro Person für den Meßzeitraum von 5,5 Monaten angesetzt (übliche Standard-Werte inklusive Badewasser liegen zwischen 800 kWh und 1000 kWh pro Person und Jahr). Für die regelmäßig anwesenden Bewohner ergibt damit ein

Verbrauch von 1200 kWh.

Der **korrigierte Gesamtverbrauch der Gasheizung** im Meßzeitraum war damit **33542,33 kWh**.

Um einen Vergleich mit dem heutigen Stand der Brennwerttechnik zu ermöglichen, wird der korrigierte Gesamtverbrauch um weitere 10% heruntergerechnet. Das entspricht dem Verbrauchswert, wie er mit einer Gas-Brennwertheizung im Meßobjekt erzielbar wäre.

Der **rechnerische Gesamtverbrauch der Gasheizung in Brennwerttechnik** im Meßzeitraum war damit **30188,1 kWh**.

4.2 Vergleich der Gesamtwerte der Energieverbräuche des Untersuchungszeitraums

Um eine Vergleichsbasis für die Energieverbräuche zu haben, werden diese auf die jeweilige Wohnfläche bezogen.

Damit erhält man:

Der **wohnflächenbezogene Gesamtverbrauch der Infrarotheizung** im Meßzeitraum war $7305,92 \text{ kWh}/102,6 \text{ m}^2 = \mathbf{71,21 \text{ kWh/m}^2}$.

Der **wohnflächenbezogene korrigierte Gesamtverbrauch der Gasheizung** im Meßzeitraum war damit $33542,33 \text{ kWh}/160,7 \text{ m}^2 = \mathbf{208,73 \text{ kWh/m}^2}$.

Der **wohnflächenbezogene rechnerische Gesamtverbrauch der Gasheizung in Brennwerttechnik** im Meßzeitraum war damit $30188,1 \text{ kWh}/160,7 \text{ m}^2 = \mathbf{187,85 \text{ kWh/m}^2}$.

Die wohnflächenbezogenen Verbrauchswerte sind in **Bild 4.8** dargestellt.

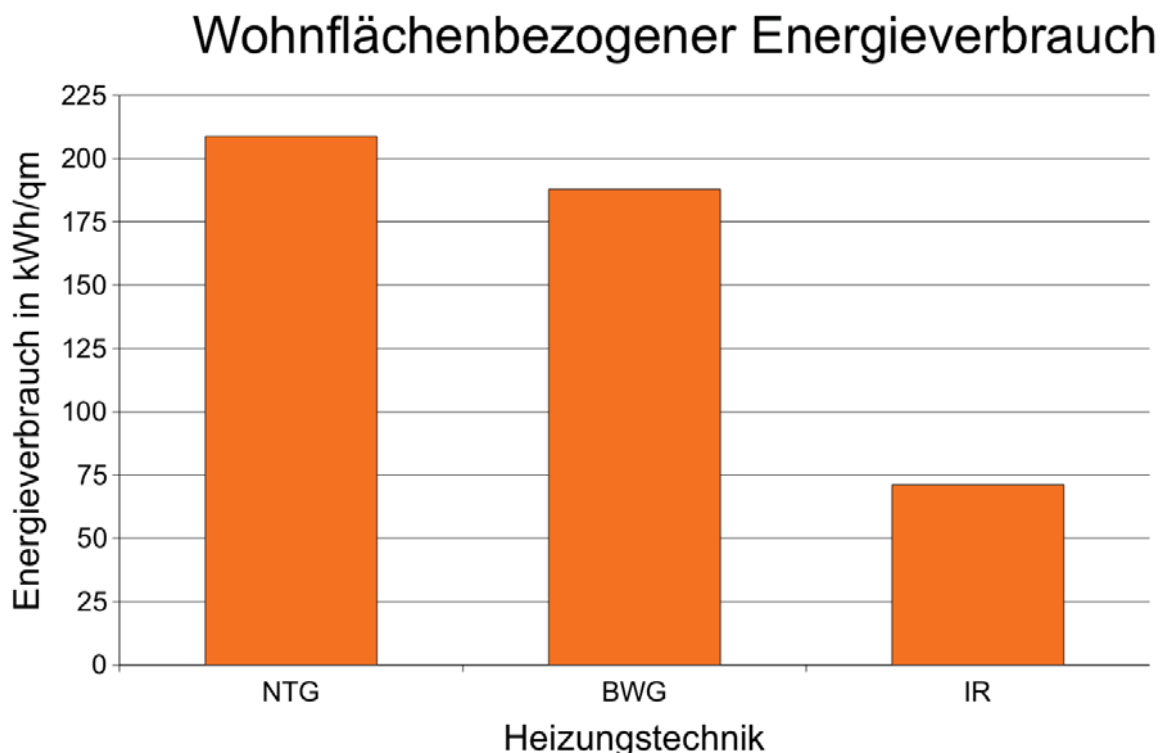


Bild 4.8: Wohnflächenbezogener Energieverbrauch im Vergleich

Im Verhältnis zur Niedertemperatur-Gasheizung (NTG) beträgt der Endenergieverbrauch der Infrarotheizung (IR) nur 34,1%, zur Gasheizung in Brennwerttechnik nur 37,9%. Das heißt, der **Endenergieverbrauch der Gasheizung beträgt mehr als das 2,5fache** derjenigen der Infrarotheizung.

5 Interpretation der Ergebnisse

5.1 Interpretation hinsichtlich Energieverbrauch

Trotz der vorher als tendenziös vermuteten Informationen über verschiedene Hersteller und deren interne Untersuchungen aus denen die Untersuchungshypothese entwickelt wurde, fällt der Unterschied im Endenergieverbrauch überraschend deutlich aus.

Da systematische Fehler durch die Wahl des Objektes und der Meßanordnung praktisch ausgeschlossen wurden und die Bewohner im Sinne eines verlässlichen Ergebnisses engagiert mitgearbeitet haben (keine Änderung im Nutzerverhalten während des Meßzeitraums), können die Meßergebnisse als typisch für den Altbaubereich angenommen werden.

Die Unterschiede lassen sich an folgenden Punkten festmachen:

a) Übertragungsverluste zwischen Gasbrenner und Heizkörpern; Leitungsverluste in der Elektroinstallation sind vernachlässigbar gering.

b) Regelungsverluste (wegen Trägheit) durch die Regelung der Gasheizung und die Speichermasse der Heizkörper.

Während die Heizkörper der Gasheizung teils mehr als 10 Minuten vom Öffnen der Ventile zur Aufheizung benötigten und nach dem (manuellen) Abdrehen noch mindestens 30 Minuten nachheizten, lag die Aufheizzeit (auf mindestens 60°C) der Infrarotstrahler bei weniger als 4 Minuten und die Abkühlzeit (von 60°C auf unter 30°C) bei weniger als 7 Minuten. Entscheidend war dabei, dass die Zeit, in der die Infrarotstrahler als Konvektionsheizung fungierten, möglichst kurz war. Außerdem ist das gesamte Regelungskonzept der Infrarotheizung als Einzelraumregelung ohne Außentemperaturfühler wesentlich flexibler als das der Gasheizung.

Deutlich läßt sich die hohe Regelgeschwindigkeit am niedrigen Verbrauch des südlich orientierten Wohnzimmers an kalten oder kühlen, aber überwiegend sonnigen Tagen Ende Januar und in der Übergangszeit Anfang April beobachten.

Die Vermeidung von Regelungsverlusten ist auch einer der Hauptvorteile gegenüber allen Großflächenheizungen, bei denen die Trägheit noch größer ist als bei den Radiatoren. Die hier erzielten Einsparungen an Endenergie sind mit solchen Heizungen trotz niedrigerer Vorlauftemperaturen sehr wahrscheinlich nicht erreichbar.

c) Unterschiedliche Lüftungsverluste durch unterschiedliche Raumlufttemperaturen. In beiden Wohnungen wurde in gleicher Weise diszipliniert per Stoßlüftung gelüftet.

d) Transmissionswärmeverluste (trockene/feuchte Wand): die Transmissionswärmeverluste sind in der Praxis durch feuchte Wände erheblich. Die niedrigen Temperaturen von Innenseiten der Außenwände bei Frosttemperaturen im Außenbereich sind bei ungedämmten Wänden hauptsächlich durch die verminderten Dämmwerte wegen Durchfeuchtung bedingt. Die Stichprobenmessungen ergaben in der gasbeheizten Wohnung Oberflächentemperaturen der Innenseite der Außenwände bis herunter auf ca. 14°C. Die infrarotbeheizten Wandoberflächen wurden auf mindestens ca. 19°C gehalten und waren durchschnittlich immer höher als die Lufttemperatur. Durch die hohen Oberflächentemperaturen wurde außerdem die Aufnahme von Wasserdampf durch die Wände weitestgehend unterbunden.

Für einen deutlichen Unterschied durch das Trocknen und Trockenhalten der Wände sprechen auch durchgeführte Messungen in Häusern aus anderen Projekten, wo wasserdampfsperrende Anstriche auf die Innenseiten von Außenwänden aufgetragen wurden. Die Wandoberflächentemperaturen blieben dabei knapp (ca. 1 K) unter der Lufttemperatur. (vgl. www.hygrosan.de)

Feuchtes Mauerwerk hat gegenüber trockenem drastisch verminderte Dämmwerte. Bereits eine Feuchte von 4% setzt den Dämmwert um ca. 50% herab. Durch die Austrocknung der Außenwände durch die Infrarotheizung (Gebäudetrocknung ist eine klassische Anwendung von Infrarotstrahlern) wurde wahrscheinlich der Dämmwert so stark angehoben, dass der Anstieg der Transmissionsverluste durch die größere Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenoberfläche der Außenwände mehr als ausgeglichen wurde.

(Ernst Vill: "Mauerfeuchtigkeit - Ursachen, Zusammenhänge, Lösungen", Verlag - Ernst Vill, Sauerlach 2002)