

Bericht
zum
Forschungsprojekt
**„Beispielhafte Vergleichsmessung zwischen Infrarotstrahlungsheizung und
Gasheizung im Altbaubereich“**

Projektleitung:
Dr.-Ing. Peter Kosack
Graduate School CVT
Arbeitskreis Ökologisches Bauen
TU Kaiserslautern
Gottlieb-Daimler-Straße 42
67663 Kaiserslautern

Projektzeitraum: 1. 10. 2008 bis 30. 4. 2009

Version 1; Stand: Oktober 2009

© Copyright by Dr.-Ing. Peter Kosack

Der Forschungsbericht darf als Ganzes beliebig kopiert und weiterverbreitet werden.

Auszugsweise Verwendung, insbesondere solche, die die Aussagen des Forschungsberichts verfälschen, sind dagegen strengstens untersagt!

Zusammenfassung

In der Heizperiode 2008/2009 wurde eine Energieverbrauchs-Vergleichsmessung zwischen einer Infrarotstrahlungsheizung und einer Gasheizung durchgeführt, um vor dem Hintergrund des Strukturwandels im Energieversorgungsbereich den prinzipiellen Nutzen und Tauglichkeit einer Infrarotstrahlungsheizung für den Wohnbereich zu überprüfen.

Es konnte in der vorliegenden Untersuchung gezeigt werden, dass die Infrarotstrahlungsheizung eine sinnvolle Alternative zu herkömmlichen Heizsystemen darstellt.

Bei richtiger Anwendung einer Infrarotstrahlungsheizung ergeben sich sowohl Vorteile beim Energieverbrauch als auch bei den Kosten und der CO₂-Bilanz.

Vorwort

Allgemeines, Zielsetzung der Arbeit

In der Heizperiode 2008/2009 wurde eine Vergleichsmessung zwischen einer Infrarotstrahlungsheizung (kurz: Infrarotheizung) und einer Gasheizung durchgeführt. Zielsetzung war die Bestimmung des Energie- und Energiekostenverbrauchs am konkreten Beispiel und ein daraus abgeleiteter Versuch einer verallgemeinerten Bewertung der Energiebilanz unter ökologischen Gesichtspunkten und der Gesamtkosten für beide Heizungssysteme.

Motivation und Hintergrund

Der Energiemarkt ist derzeit durch stark ansteigende Kosten für fossile Energieträger gekennzeichnet. Auch der zwischenzeitlich eingetretene Einbruch in dieser Entwicklung als Folge der weltweiten Finanzkrise muss nach allgemeiner Einschätzung als vorübergehend und als kurze Verschnaufpause betrachtet werden, was sich aktuell auch schon abzeichnet.

Unter diesem Preisanstieg leiden insbesondere die Besitzer und Mieter von Altbauten mit entsprechend hohen Heizenergieverbräuchen. Es gibt zwar vielfältige staatliche Anreize zur Sanierung, doch in vielen Fällen fehlen die dafür nötigen finanziellen Mittel. Dies gilt trotz umfangreicher staatlicher Fördermaßnahmen.

Als ein möglicher Ausweg wird am Markt die Verwendung von elektrisch betriebenen Infrarotstrahlern angeboten. Das Projekt sollte die prinzipielle Anwendbarkeit und ökonomische wie ökologische Sinnhaftigkeit dieser Lösung am Beispiel überprüfen.

Danksagungen

Besonders herzlich dankt der Projektleiter der Familie Dietz-Groß für die Genehmigung aller notwendigen Installationen, die Möglichkeit, die Messungen unter Alltagsbedingungen durchführen zu können und die vielfältige Unterstützung während des Projektablaufs.

Herzlichen Dank auch an die Fa. Knebel, die ein sehr unbürokratischer Projektpartner war und die Infrarotstrahler sowie die Meßgeräte zur Verfügung stellte.

Wichtiger Hinweis

Der vorliegende Bericht ist wegen des großen allgemeinen Interesses so abgefasst, dass er auch vom interessierten Laien verstanden werden kann. Er enthält deshalb eine übersichtliche Darstellung der physikalischen sowie heizungs- und climatechnischen Grundlagen. Zur besseren Hintergrundinformation werden neben der Fachliteratur auch umfangreiche, leichter verständliche Internetseiten angegeben.

Für den Forschungsbericht wird es in Abhängigkeit der Rückmeldungen aus dem Leserkreis und nachfolgender erweiterter Auswertung der Meßergebnisse mehrere Versionen geben. Nachfragen, Anregungen, Kritik und Verbesserungsvorschläge für künftige Versionen sind daher ausdrücklich erwünscht!

Die jeweils aktuelle Version ist zu finden unter

<http://www-user.rhrk.uni-kl.de/~kosack/menu1/1.shtml>

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einführung**
 - 1.1 Grundsätzliche Erläuterung der Aufgabenstellung des Heizens**
 - 1.2 Motivation zur vorliegenden Untersuchung**
 - 1.3 Zum Verständnis des Projekts und seiner Auswertung notwendige Grundlagen und Hintergrundinformationen**
 - 1.3.1 Energiewirtschaftliche Grundlagen und Nachhaltigkeit**
 - 1.3.2 Wärmetechnische Grundlagen**
 - 1.3.3 Medizinische Aspekte**
 - 1.3.4 Prinzipielle Energieflüsse bei Heizungssystemen: Primärenergie, Sekundärenergie, Endenergie, Nutzenergie**
 - 1.3.5 Einteilung der Heizungssysteme nach Energiequellen**
 - 1.3.6 Einteilung der Heizungssysteme nach Art der Wärmeverteilung**
 - 1.3.7 Besondere Bauformen von Heizkörpern und Heizflächen**
 - 1.3.8 Die Rolle der Speichermasse für Wärmeenergie in Heizungssystemen**
 - 1.3.9 Einordnung der Infrarotheizung**
- 2 Verwandte Arbeiten**
- 3 Untersuchungsansatz**
 - 3.1 Betrachtete Systeme**
 - 3.2 Vergleich der Energieflüsse**
 - 3.3 Untersuchungshypothese**
 - 3.4 Das Meßobjekt**
 - 3.5 Versuchsaufbau: Installationen und Meßgeräte**
 - 3.6 Probetrieb**
- 4 Ergebnisse und Auswertung**
 - 4.1 Die Meß-Ergebnisse**
 - 4.2 Vergleich der Gesamtwerte der Energieverbräuche des Untersuchungszeitraums**
- 5 Interpretation der Ergebnisse**
 - 5.1 Interpretation hinsichtlich Energieverbrauch**
 - 5.2 Interpretation hinsichtlich Kosten**
 - 5.3 Interpretation hinsichtlich Nachhaltigkeit/Ökologie**
 - 5.4 Interpretation hinsichtlich medizinischer und Wellness-Aspekte**
 - 5.5 Kritische Anmerkungen zu Inhalten auf Internetseiten und Werbeaussagen in Herstellerprospekten**
- 6 Schlussfolgerungen und Ausblick**
- 7 Literaturverzeichnis**

Anhänge

Anhang A: Tabellen

Anhang B: Bilder

1 Einführung

1.1 Grundsätzliche Erläuterung der Aufgabenstellung des Heizens

Das Heizen dient generell dazu, die Innentemperatur von Gebäuden trotz sinkender Außentemperaturen in einem für den Menschen verträglichen oder sogar überlebensfähigen Bereich zu halten. Dies ist in Gegenden nötig, wo die Außentemperaturen deutlich unter 20°C absinken können.

Dazu wurde der Begriff der Heizperiode geprägt. Als Heizperiode wird der Zeitraum bezeichnet, in dem die Heizanlage in Betrieb genommen wird, um die Innentemperatur auf einem Richtwert von 20°C zu halten. Bezug ist in Deutschland eine mittlere Außentemperatur von 15°C, die sogenannte Heizgrenze.

Gesetzliche Regelungen zur Heizperiode gibt es nicht, da die Notwendigkeit und Dimensionierung eines Heizungssystems von Klima, geographischer und Höhenlage und anderen Faktoren wie Dämmstandard des Gebäudes abhängig und an jedem Ort verschieden ist. Im Extremfall ist es sogar möglich, ein Gebäude so gut zu dämmen, dass selbst in Frostgebieten überhaupt kein Heizungssystem benötigt wird und die reine Prozesswärme durch die Nutzung ausreicht. Übliche Dämmstandards, insbesondere im Bestand, liegen jedoch weit darunter. Im Energiebedarf eines Haushalts macht im derzeitigen Durchschnitt die Heizung 76% aus (siehe **Bild 1.1**). Es ist also ein Heizsystem nötig, das seine Aufgabe einer Beheizung möglichst nachhaltig, effizient und kostengünstig erfüllt.

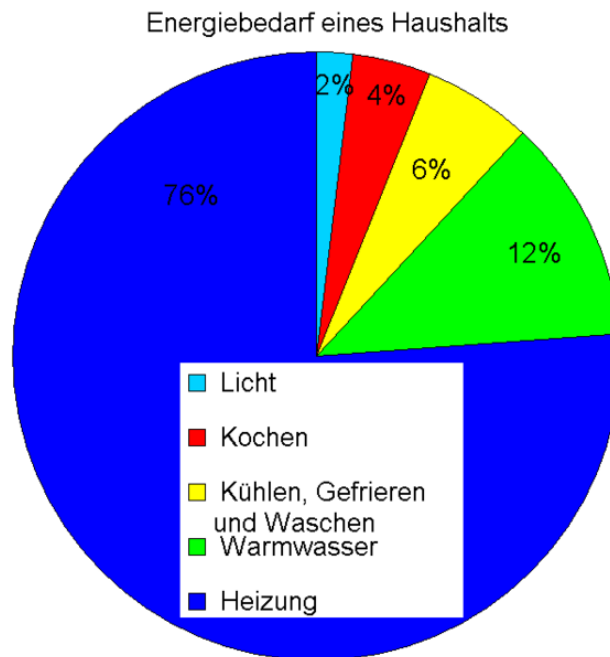


Bild 1.1: Energiebedarf Haushalt

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Energieeinsparung>)

1.2 Motivation zur vorliegenden Untersuchung

Die Motivation war die Fragestellung, ob eine Infrarot-Heizung eine sinnvolle Lösung für die Problemstellung des Heizens ist. Teilfragen dazu waren:

Ist sie als Heizung im Wohnbau überhaupt geeignet?

Sind die Kosten konkurrenzfähig zu anderen Heizsystemen?

Ist die Ökobilanz konkurrenzfähig zu anderen Heizsystemen?

Ist sie praxistauglich?

Ist sie uneingeschränkt verfügbar, d.h. was ist, wenn das jeder macht?

Diesen Fragen wurde schon in einem Vorläufer-Projekt des Arbeitskreises Ökologisches Bauen in den Jahren 1994 – 1996 nachgegangen. Dort wurde die Eignung von Infrarotstrahlern in der Ausführung mit Glühdrahtwendel (Badstrahler und Kirchenstrahler) in einem Niedrig-Energiehaus untersucht. Wegen der offensichtlichen Diskrepanz bei den damaligen Energiepreisen zwischen Öl/Gas und Strom wurde die Untersuchung jedoch vorzeitig abgebrochen. Außerdem erwies sich die Bauform der verwendeten Strahler für den Dauereinsatz als alleinige Heizung als ungeeignet.

Mit der Änderung der Energiepreise und der Marktreife der Bauform als Flächenstrahler, die praktisch verschleißfrei arbeiten und für Dauerbetrieb geeignet sind, wurde das Thema neu aufgegriffen.

Zuerst wurde eine Marktrecherche im Internet durchgeführt, um geeignete Flächenstrahler auszuwählen.

Hauptsächliche Auswahlkriterien waren die physikalische Eignung als Infrarotstrahler (siehe auch unten):

- Oberflächentemperaturen im Bereich von ca. 60°C bis 120°C (mehr als 50% reiner Strahlungsanteil) und
- keine Speichermasse (schnelles Ein- und Ausschaltverhalten).

Mit dem Hersteller des ausgewählten Produkts wurde anschließend Kontakt aufgenommen und eine Forschungskooperation vereinbart.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es hier nicht um eine vergleichende Untersuchung zwischen verschiedenen Anbietern oder Produkten geht, sondern um die generelle Eignung von Infrarotstrahlern, speziell Flächenstrahlern, zur Raumheizung im Wohnbereich.

1.3 Zum Verständnis des Projekts und seiner Auswertung notwendige Grundlagen und Hintergrundinformationen

1.3.1 Energiewirtschaftliche Grundlagen und Nachhaltigkeit

Mit dem Begriff Energiewirtschaft bezeichnet man die gesamte Infrastruktur, die notwendig ist, um die Energieversorgung sicherzustellen.

Dazu gehört die Erschließung von Energiequellen, die Energiegewinnung, die Energiespeicherung, der Energietransport, die Energieumwandlung und der Energiehandel.

Aus der Weltraumperspektive gesehen gibt es als primäre Basis jeder Energiewirtschaft drei prinzipiell verfügbare Energiequellen, aus der alle anderen Energieträger durch Umwandlung entstehen: Solarstrahlung, Gravitation und Eigenwärme der Planeten.

Die Hintergrundstrahlung als theoretische vierte Quelle ist energiewirtschaftlich nicht nutzbar. Die Hintergrundstrahlung ist jede elektromagnetische Strahlung, die durch Sterne, Pulsare, Quasare, etc. in den Tiefen des Universums entsteht und von außen zu unserem Sonnensystem geschickt wird.

Die Solarstrahlung entsteht durch Kernfusion in der Sonne. Sie ermöglicht das Leben auf unserem Planeten Erde und ist die mit weitem Abstand größte nutzbare Energiequelle im Sonnensystem. Deshalb wird in der Kernphysik versucht, diese Energiequelle in Form einer technisch realisierten Kernfusion auf der Erde nutzbar zu machen. Die physikalischen und technischen Probleme dazu sind jedoch zum größten Teil noch nicht gelöst, so dass diese Energiequelle in absehbarer Zeit nicht zur Verfügung steht oder zumindest sehr ungewiss ist.

Die Gravitation, verursacht durch die Masse der Himmelskörper, lässt sich nutzen, weil der Mond die Erde umkreist. Dadurch entsteht z.B. Ebbe und Flut mit der Möglichkeit, in Gezeitenkraftwerken Energie zu gewinnen.

Die Eigenwärme der Erde entsteht hauptsächlich durch Kernspaltung im Erdinneren. Diese Wärme lässt sich z. B. geothermisch nutzen.

Im **Bild 1.2** sind die drei nutzbaren primären Energiequellen und die daraus entstehenden regenerativen und fossilen Energieformen bzw. Energieträger dargestellt.

1. Durch die Kernfusion in der Sonne entsteht elektromagnetische Energie in Form von Strahlung, die sich direkt und indirekt nutzen lässt.

Die direkte Nutzung der Strahlung geschieht bei der Solarenergie durch Umsetzung von Sonnenlicht

in Strom oder Wärme.

Die indirekte Nutzung der Strahlung bei Wind, Wasserkraft und Geothermie geschieht durch Absorption, d.h. durch Aufnahme und Umwandlung der Strahlung in Wärme. Durch die erwärmte Luft entsteht Wind, der in Windkraftanlagen in Strom umgewandelt wird. Erwärmtes Wasser verdunstet und bildet Wolken, die abregnen. So entstehen Bäche und Flüsse, in die man Wasserkraftwerke einbauen kann. Bei der Geothermie durch Sonnenstrahlung werden die oberen Bodenschichten erwärmt. Diese gespeicherte Wärme wird durch Wärmepumpen und Erdregister genutzt.

Die indirekte Nutzung der Strahlung bei Biomasse geschieht durch Photosynthese in den Pflanzen. Der am meisten genutzte dabei entstehende Energieträger ist Holz.

2. Durch die Kernspaltung im Erdinneren entsteht Wärme, die über Geothermie auf verschiedene Art nutzbar ist.

3. Durch die Gravitationskräfte zwischen Erde und Mond entsteht kinetische Energie, welche die Atmosphäre und die Weltmeere bewegt.

Die bewegte Atmosphäre liefert einen Beitrag zur Windenergie. Aus der Bewegung des Meerwassers als Ebbe und Flut wird in Gezeitenkraftwerken Strom gewonnen.

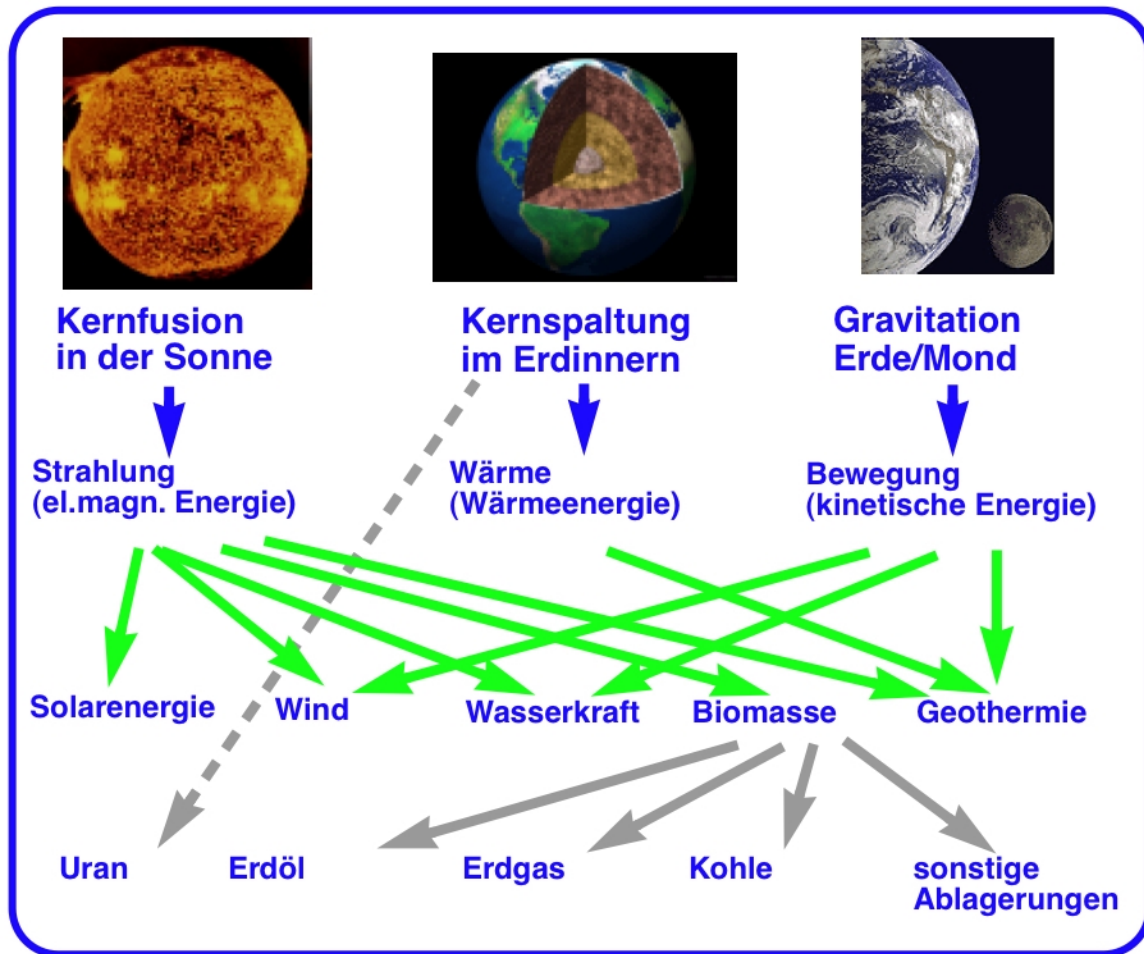


Bild 1.2: Nutzbares Energiespektrum

Die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl, Erdgas und sonstige Ablagerungen sind in Millionen Jahren durch geologische Prozesse aus Biomasse entstanden. Diese sind die heute überwiegend genutzten Energiequellen.

Einen Sonderfall stellt das Element Uran dar, das in Kernkraftwerken zur Stromerzeugung genutzt wird. Es ist eines der radioaktiven Elemente, die für die Eigenwärme der Erde sorgen und wird in Bergwerken abgebaut. In Kernkraftwerken wird die radioaktive Energie in Wärme umgewandelt und daraus Strom erzeugt. Dies ist eigentlich ein technologischer Umweg. Der direkte Weg wäre, die Energie aus Kernkraft wie bei den anderen radioaktiven Elementen über Geothermie direkt aus dem Erdinneren zu gewinnen.

Träger der Energiewirtschaft in Deutschland sind vorrangig die Erdölindustrie, der Kohlebergbau sowie die Elektrizitätsversorgung, Gaswirtschaft und Fernwärmewirtschaft.

Wie **Bild 1.3** zeigt, wird der überwiegende Teil der Energieversorgung noch durch fossile Energieträger bestritten.

Seit den 1990er Jahren werden im Rahmen der gesetzlichen Förderung einer Energiewirtschaft in Deutschland auf Basis erneuerbarer Energien private Haushalte beteiligt (Strom-Einspeise-Gesetz, Erneuerbare-Energien-Gesetz).

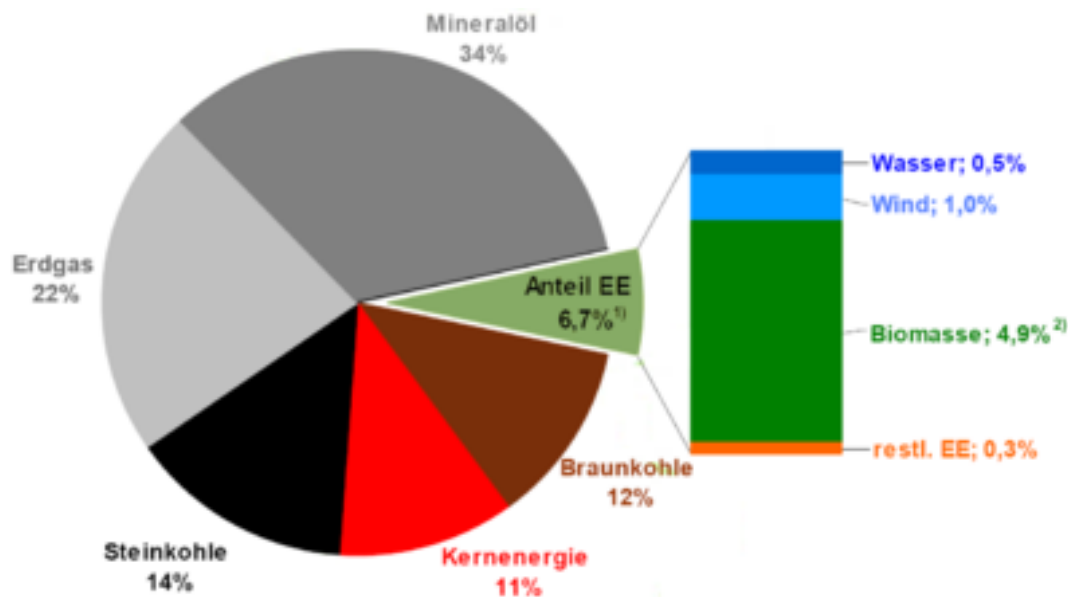


Bild 1.3: Primärenergieverbrauch Deutschland

Der Begriff *Nachhaltigkeit* stammt ursprünglich aus der Forstwirtschaft. Er bezeichnet dort die Bewirtschaftungsweise eines Waldes, bei welcher immer nur so viel Holz entnommen wird, wie nachwachsen kann, so dass der Wald nie komplett abgeholzt wird, sondern sich immer wieder in vollem Umfang regenerieren kann.

Allgemein ist Nachhaltigkeit die Nutzung eines Systems so, dass dieses System in seinen wesentlichen Strukturen und Eigenschaften erhalten bleibt und sein Bestand sich auf natürliche Weise regenerieren kann.

In der Energiewirtschaft erfüllen nur die regenerativen Energiequellen die Bedingungen für Nachhaltigkeit, da sie selbsttätig einen kontinuierlichen, - im übertragenen Sinne nachwachsenden - Energiestrom liefern, der nach menschlichen Maßstäben unendlich ist.

Wegen der Begrenztheit der fossilen Energieträger und der zunehmend negativen Nebenwirkungen ihrer Nutzung wie globale Erwärmung, Umweltverschmutzung, steigende Energiekosten infolge Verknappung und deren sozialen Folgen, ist es notwendig, so schnell wie möglich auf regenerative Energien umzusteigen. Dies wurde bereits mit dem internationalen Vertragswerk der Agenda 21 auf der „Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen“ (UNCED) in Rio de Janeiro in 1992 beschlossen, das von fast allen Staaten der Welt unterzeichnet wurde.

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Nachhaltigkeit>)

(http://de.wikipedia.org/wiki/Agenda_21)

Da die für Heizungszwecke benötigte Energiemenge in einem Durchschnittshaushalt etwa Dreiviertel des gesamten Energiebedarfs beträgt, ist dort ein schneller Umstieg auf regenerative Energieträger am dringsten.

1.3.2 Wärmetechnische Grundlagen

Thermische Energie (Wärmeenergie)

Thermische Energie (auch Wärmeenergie oder Wärme genannt) ist die Energie, die in der ungeordneten Bewegung der Atome oder Moleküle eines Stoffes gespeichert ist. Sie ist eine Zustandsgröße des Stoffes und wird in Maßeinheit Joule gemessen.

Thermische Energie und Temperatur hängen gemäß der Beziehung

$$E_{th} = m \cdot c \cdot T$$

voneinander ab, wobei E_{th} die thermische Energie, T die absolute Temperatur, m die Masse und c die spezifische Wärmekapazität ist. Die spezifische Wärmekapazität ist selbst wieder temperaturabhängig, d.h. der Zusammenhang ist nicht proportional. Es kommt zu sogenannten Phasenübergängen wie bei schmelzendem Eis, bei dem ein Teil der zugeführten Energie für den Schmelzvorgang als solchen verbraucht wird, ohne die Temperatur zu erhöhen.

Zwischen zwei Systemen mit unterschiedlichen Temperaturen gleichen sich ihre Temperaturen durch Wärmeübertragung vom heißeren zum kälteren System selbsttätig an, bis beide gleiche Temperatur besitzen. Man spricht dann vom thermischen Gleichgewicht.

Die Wärmeübertragung kann durch Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung erfolgen.

(http://de.wikipedia.org/wiki/Thermische_Energie)

Wärmeleitung

Bei der Wärmeleitung (auch Wärmediffusion oder Konduktion genannt), wird die Wärme in einem Feststoff oder einem ruhenden Fluid infolge eines Temperaturunterschiedes von Teilchen zu Teilchen durch intermolekulare Wechselwirkung weitergeleitet. Dies geschieht auch zwischen mehreren feststofflichen Körpern oder Fluiden, die sich berühren und in Ruhe zueinander sind. Aufgrund des Energieerhaltungssatzes geht dabei keine Wärmeenergie verloren. Bei der Wärmeleitung wird thermische Energie, aber keine Teilchen von einem Ort zu einem anderen transportiert.

In der Heizungstechnik sind Effekte durch Wärmeleitung meistens vernachlässigbar. Sie spielen nur eine Rolle bei Verlusten z.B. durch schlechte Dämmung von Brennern und Rohrleitungen.

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmeleitung>)

(Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenbourg Wissensch. Vlg; Auflage 68 (1997/98) S. 135 ff)

Konvektion

Konvektion ist eine Form der Wärmeübertragung, der auf dem Transport von Teilchen beruht, die die Wärmeenergie mit sich führen. In der Heizungstechnik spricht man von der Konvektion ohne Stoffaustausch, d.h. es findet ein Wärmeübergang von einem Festkörper zu einem Fluid (z.B. Wasser oder Luft) statt, das den Wärmetransport übernimmt. An der thermischen Grenzschicht zwischen Festkörper und Fluid gibt es zunächst Wärmeleitung zwischen der Körperoberfläche und den unmittelbar an der Körperoberfläche liegenden Teilchen des Fluids. Es stellt sich jedoch kein thermisches Gleichgewicht ein, da die je nach Temperaturgefälle aufgewärmten oder abgekühlten Teilchen fortlaufend abtransportiert und durch neue ersetzt werden, zu denen das ursprüngliche Temperaturgefälle besteht.

Bei der im Wohnbereich am häufigsten verwendeten Warmwasserheizung ist Wasser das Wärmetransportmedium durch Konvektion im geschlossenen Rohrkreislauf zwischen Brenner und der Innenseite der Heizkörper. Durch Wärmeleitung gelangt die Wärmeenergie von der Innen- zur Außenseite des Heizkörpers. An der Außenseite des Heizkörpers ist das Wärmetransportmedium die Luft. Dabei tritt sogenannte freie Konvektion auf, d.h. die Luft dehnt sich durch Erwärmung aus und bewegt sich nach oben, von unten strömt kühlere Luft über den Boden nach. Statt der häufig verwendeten Radiator-Heizkörper können Flächenheizkörper, wasserbeheizte Fußboden-, Wand-,

oder Deckenflächen oder andere Konstruktionen verwendet werden. Prinzipiell tritt überall Konvektion auf.

Die vom Heizkörper durch Konvektion in die Luft übertragene Wärmeleistung ist proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Heizkörper und Luft und gehorcht der Beziehung:

$P_{HL} = w \cdot A \cdot (T_H - T_L)$, wobei w den Wärmeübergangsfaktor in (W/m^2K) , A die Fläche des Heizkörpers, T_H die Heizkörpertemperatur und T_L die Lufttemperatur darstellt.

Die Konvektion ist bei gegebenem Heizkörper also hauptsächlich von der Temperaturdifferenz zwischen Heizkörper und umgebender Raumluft abhängig.

(Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenbourg Wissensch. Vlg; Auflage 68 (1997/98) S. 146 ff)

(Dillmann, Andreas (2005): Karl Wieghardt: Theoretische Strömungslehre, Universitätsverlag Göttingen)

(H. Oertel (Hrg.): Prandtl-Führer durch die Strömungslehre. Grundlagen und Phänomene, Vieweg 2002 (11. Aufl))

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Konvektion>)

Wärmestrahlung und Infrarotstrahlung

Als Wärmestrahlung bezeichnet man denjenigen Teil aus dem Spektrum der elektromagnetischen Strahlung, die jeder Körper abhängig von seiner Temperatur aussendet, sobald diese von der absoluten Nullpunkttemperatur von 0 K verschieden ist. Als Form der Wärmeübertragung ist sie nicht an Materie gebunden und tritt im Gegensatz zu Wärmeleitung und Konvektion auch im Vakuum auf. Die bekannteste Wärmestrahlung ist die Sonnenstrahlung, die sich in die Bereiche UV-Strahlung, sichtbares Licht und Infrarotstrahlung unterteilen lässt (siehe **Bild 1.4**).

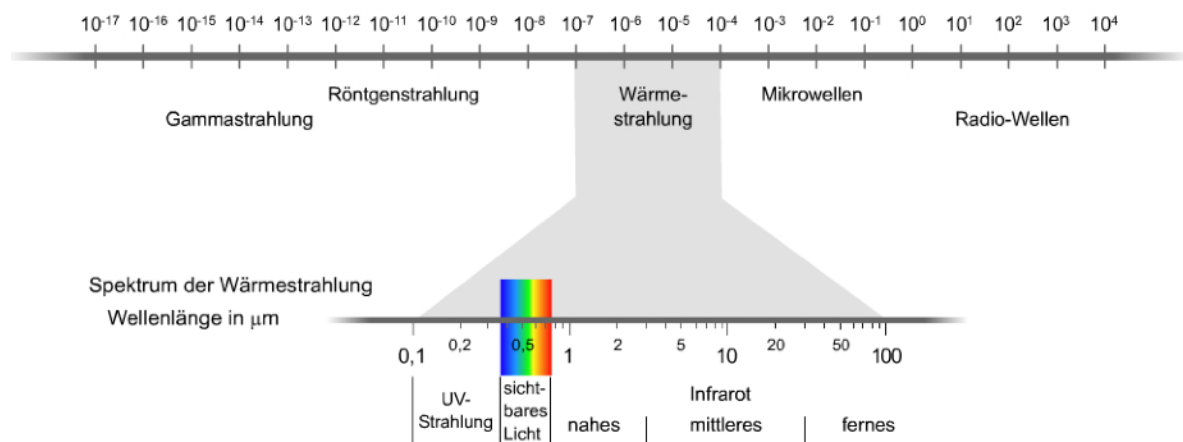


Bild 1.4: Wärmestrahlung im elektromagnetischen Spektrum

Die spektrale Verteilung der Strahlungsintensität (Plancksches Strahlungsspektrum) ist abhängig von der Oberflächentemperatur des strahlenden Körpers. Je heißer die Körperoberfläche ist, desto höher ist das Intensitätsmaximum und desto weiter verschiebt sich dieses Maximum hin zu kürzeren Wellenlängen.

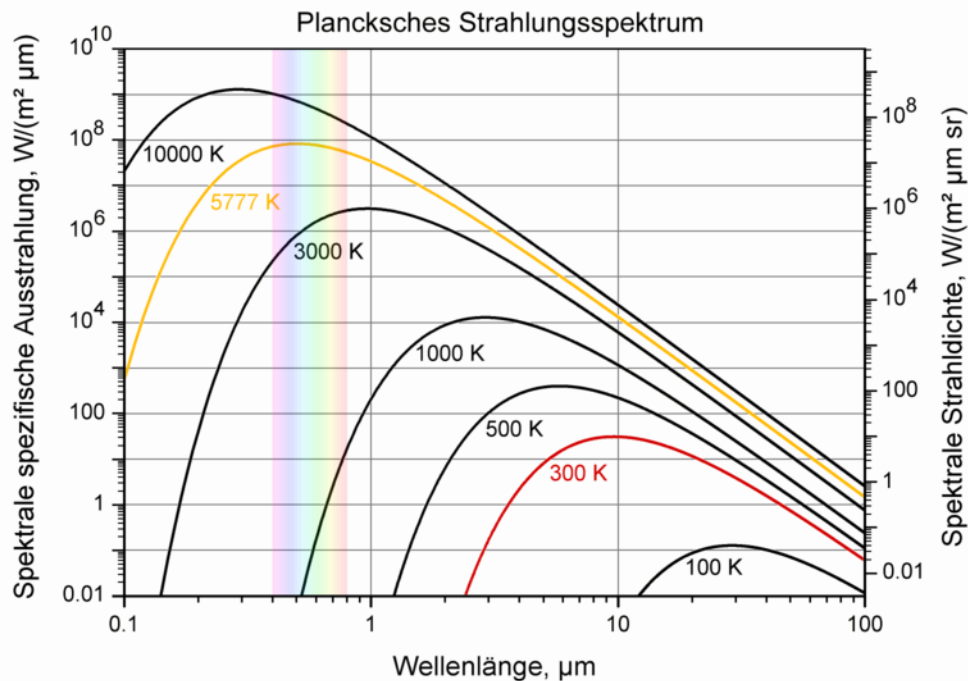


Bild 1.5: Strahlungsspektrum des idealen schwarzen Körpers

Im **Bild 1.5** sind die idealisierten Spektren für den so genannten „schwarzen Körper“ dargestellt. Beispielhaft ist dabei die Abstrahlung des menschlichen Körpers (300 Kelvin) und der Sonne (5777 Kelvin) hervorgehoben. Die Idealisierung des schwarzen Körpers bedeutet, dass das gezeigte Spektrum vollständig abgestrahlt wird. In der Realität gibt es jedoch nur so genannte „graue Körper“, bei denen die Abstrahlung mit einem Faktor ε ($0 < \varepsilon < 1$) gewichtet ist. Allerdings ist ε bei den meisten Oberflächen in Gebäuden nahe bei 1. Deshalb besteht in der Praxis in der Regel kein nennenswerter Unterschied zwischen schwarzem und grauem Körper.

Sehr wichtig ist es, den Strahlungsfaktor ε (auch Strahlungszahl genannt) nicht mit dem Strahlungswirkungsgrad eines Infrarotstrahlers zu verwechseln. Dies ist bei der Angabe der technischen Daten bei am Markt angebotenen Produkten ein häufig anzutreffender Fehler. Der Strahlungsfaktor gibt die Strahlungsleistung des Infrarotstrahlers im Verhältnis zu der des idealen schwarzen Körpers, der Strahlungswirkungsgrad den Anteil der abgegebenen Strahlungsleistung im Verhältnis zur zugeführten elektrischen Leistung an.

(siehe auch: Fröse, H.-D.: Elektrische Heizsysteme, Pflaum Verlag 1995, 23ff)

Nach Stefan-Boltzmann ist die Gesamtintensität der Ausstrahlung des Körpers:

$M = \sigma \cdot T^4$ (Stefan-Boltzmannsches-Gesetz) mit $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$ (Stefan-Boltzmann-Konstante) und T = absolute Oberflächentemperatur des Körpers.

Die Gesamtintensität steigt also mit der vierten Potenz der Temperatur stark an. Pro Quadratmeter Oberfläche strahlt die Sonne also etwa das 400fache an Strahlungsleistung ab im Vergleich zum menschlichen Körper, obwohl die Temperatur nur etwas mehr als das 19fache beträgt.

Auch beim Stefan-Boltzmannschen-Gesetz arbeitet man zunächst mit einer Idealisierung. Es wird so getan, als ob der Körper alleine im Universum wäre. In der Realität treten jedoch unzählige Körper durch gegenseitigen Strahlungsaustausch in Wechselwirkung. Dabei wird die vom einen Körper ausgesandte Strahlungsenergie auf der Oberfläche des anderen Körpers teilweise absorbiert und teilweise reflektiert. Die absorbierte Energiemenge trägt zur Erwärmung bei und verursacht eine Erhöhung der Abstrahlung.

Ist die abgestrahlte Leistung eines Körpers nach dem Stefan-Boltzmannschen-Gesetz

$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$, mit A = Oberfläche des Körpers,

so ergibt sich für den Strahlungsaustausch zwischen zwei Körpern:

$P_{12} = \sigma \cdot k \cdot (T_1^4 - T_2^4)$, wobei k für den Strahlenaustauschgrad steht, der von der Größe der gegenseitig zugewandten Körperoberflächen und den Strahlungsfaktoren ε_1 und ε_2 abhängt.

Der Strahlungsaustausch findet so fortlaufend zwischen allen Körpern statt und wird theoretisch erst beendet, wenn alle Körperoberflächen die gleiche Temperatur besitzen.

In der Realität eines beheizten Wohnraums sind als Strahlungsflächen die Oberflächen der Heizkörper, Wände, Decke, Boden, Fenster, Türen, Möbel, Menschen, Tiere etc. beteiligt. Da die Heizkörper oder Heizflächen die höchste Temperatur besitzen und ständig über diese die Energie nachgeliefert wird, würde sich im Idealfall die Temperatur aller anderen Oberflächen so lange erhöhen, bis alle Oberflächen im Raum die Temperatur der Heizflächen erreicht hätten.

In der Heizungstechnik spielt aus dem Spektrum der Wärmestrahlung nur die Infrarotstrahlung eine Rolle. Sie wird dort verkürzt oft auch als Wärmestrahlung bezeichnet, obwohl Infrarotstrahlung nur ein Teil der Wärmestrahlung ist.

Nach DIN 5031 wird die Infrarotstrahlung in die Wellenlängenbereiche IR-A (0,78 μm bis 1,4 μm), IR-B (1,4 μm bis 3,0 μm) und IR-C (3,0 μm bis 100 μm) eingeteilt.

Eine andere Einteilung ist die in nahes, mittleres und fernes Infrarot, die in den Geowissenschaften üblich ist (siehe **Bild 1.4**). Fernes Infrarot und IR-C sind identisch. Dies ist der Strahlungsbereich, in dem die in diesem Projekt verwendeten Infrarotheizungen arbeiten.

Absorption von Wärmestrahlung in Luft.

Neben der Energieübertragung zwischen Körpern durch Strahlungsaustausch gibt es auch noch die Energieübertragung von Körpern in ein sie umgebendes Fluid durch Absorption der ausgesandten Strahlungsenergie im Fluid.

In der Heizungstechnik tritt Absorption von Infrarotstrahlung in Luft auf, die in der Regel jedoch einen deutlich kleineren Anteil an der Energieübertragung hat als die Konvektion.

Die Absorptionsgrade in Abhängigkeit von der Wellenlänge zeigt **Bild 1.6**.

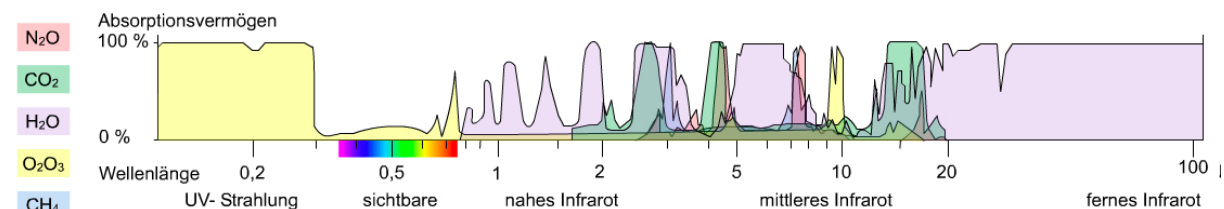


Bild 1.6: Absorptionsspektren verschiedener Stoffe in Luft

Es ist leicht zu erkennen, dass durch hohe Luftfeuchte große Teile der Infrarotstrahlung absorbiert werden können.

Außerdem ist das Durchlaß-Fenster im Bereich von etwa 7 μm bis 13 μm zu erkennen, in dem die Infrarotstrahlung sich fast ungehindert durch die Luft ausbreiten kann. Die dort markierten Absorptionsbereiche für Ozon, Kohlenwasserstoffe und Stickoxide spielen im Wohnraum keine Rolle. Das Strahlungsmaximum der verwendeten Infrarot-C-Strahlung liegt idealerweise in diesem Durchlaß-Fenster. Wegen der Grenze bei 7 μm sollte die Oberflächentemperatur des Strahlers ca. 120°C nicht überschreiten. Die untere Oberflächentemperaturgrenze wird durch das Verhältnis von Strahlungs- und Konvektionsanteil festgelegt und sollte 60°C nicht unterschreiten (siehe unten).

(http://www.webgeo.de/beispiele/rahmen.php?string=de;1;k_304;1;;;)

(<http://www.ikg.rwth-aachen.de/planck/planck1.html>)

(http://de.wikipedia.org/wiki/Plancksches_Strahlungsgesetz)

(http://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzer_Körper)

(http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum)

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Infrarotstrahlung>)

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmestrahlung>)

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Strahlungsaustausch>)

(<http://www.ing-buero-ebel.de/strahlung/Strahlungsaustausch%20-%20Wikipedia.htm>)

(Baehr, H.D., Stephan, K.: Wärme- und Stoffübertragung, 4. Auflage. Springer-Verlag, Berlin 2004)

Behaglichkeit

In der Heizungs- und Klimatechnik bezeichnet (thermische) Behaglichkeit den Umgebungstemperaturbereich und Luftzustandsbereich, in dem sich der Mensch am wohlsten fühlt. Dafür wurden die Begriffe gefühlte Temperatur und Behaglichkeitstemperatur eingeführt.

Gefühlte Temperatur und Behaglichkeitstemperatur

Ein Heizungssystem hat nicht nur den Zweck, bei niedrigen Außentemperaturen das Überleben zu sichern, sondern soll auch zu einem behaglichen Raumklima beitragen. Objektive Meßgrößen dafür sind die sogenannte gefühlte Temperatur und die Behaglichkeitstemperatur, die Gegenstand der DIN 33 403, DIN EN ISO 7730 und der DIN 1946 sind. Die Behaglichkeitstemperatur ist ein Unterbegriff zur gefühlten Temperatur und ergibt sich bei vorgegebenen, standardisierten physiologischen und individuellen Parametern aus derjenigen gefühlten Temperatur in Innenräumen, die auf der Basis der DIN EN ISO 7730 bei einer statistisch signifikanten Personenzahl einen Zufriedenheitsgrad mit dem Raumklima von mindestens 90% erzeugt.

Gefühlte Temperatur und Behaglichkeitstemperatur sind abhängig von

- der Raumlufttemperatur,
- der Strahlungstemperatur der Umgebung,
- der Lufttemperaturverteilung (Luftschichtung),
- der Luftströmung (Zugluft) und
- der relativen Luftfeuchte.

Eine umfassende Darstellung dazu findet man in
(Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenbourg Wissensch. Vlg.; Auflage 68 (1997/98) S. 50 ff)

Raumlufttemperatur

Die Raumlufttemperatur ist eine physikalische Größe, die den energetischen Zustand der Raumluft beschreibt. Sie wird in Kelvin (K) oder in Grad Celsius (°C) angegeben. Im vorliegenden Bericht wird °C verwendet. In Kelvin werden Temperaturdifferenzen angegeben.

Die Raumlufttemperatur gibt indirekt die Wärmeenergiemenge in der Luft an, die mit der Umgebung des Raumes oder in ihm enthaltenen Gegenständen oder Personen wechselwirken kann. Dies geschieht bei Temperaturdifferenz zur Luft durch Wärmeleitung von der wärmeren zur kälteren Seite. Physiologisch wird Wärmeleitung vom menschlichen Körper in die Luft als Abkühlung empfunden, das Umgekehrte als Aufwärmen.

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Temperatur>)

Strahlungstemperatur der Umgebung

Die Strahlungstemperatur der Umgebung ist die mittlere Oberflächentemperatur der den Raum begrenzenden Einzelflächen (Wände, Boden, Decke, Tür- und Fensterflächen, Oberflächen der Heizkörper). Sie wird aus dem Quotient der Summe der Produkte aus den Einzelflächen und deren Temperaturen und der Summe der Einzelflächen gebildet:

$$t_U = (\sum A_i t_i / \sum A_i)$$

mit:

A_i : Flächeninhalt der Einzelfläche i

t_i : Temperatur der Einzelfläche i

Sie ist im Zusammenhang mit der gefühlten Temperatur auch ein Maß für die vom Menschen empfundene Wärmestrahlung aus der Umgebung.

Strahlungstemperaturasymmetrie

Wenn die Raumwände stark unterschiedliche Oberflächentemperaturen haben, kann dies Einfluß auf die Behaglichkeit haben, obwohl die durchschnittliche Strahlungstemperatur der Umgebung in einem angenehmen Bereich liegt. Man spricht dann von Strahlungstemperaturasymmetrie. Aus diesem Grund ist es auch nicht sinnvoll, Heizflächen mit Temperaturen von über etwa 120°C zu verwenden, da die Asymmetrien dann schon deutlich spürbar sind. Bei ungünstiger Platzierung der Infrarotstrahler wie z.B. gegenüber von Fenstern, ist die Asymmetrie schon bei etwa 80°C störend. Infrarotstrahler sollten daher möglichst an den Wänden der Fensterseite oder quer dazu angebracht werden. Bei Deckenmontage sollte ein Abstand von mindestens einem Meter von der Kopfposition eingehalten werden. Bei stehender Haltung ist dies nur in hohen Räumen, wie sie in Altbauten zu finden sind, sinnvoll.

(Gutachten über die thermische Behaglichkeit in Wohnräumen hinsichtlich elektrischer Heizflächen, Prof. Dr.-Ing. Bruno Gräff, November 2006;
<http://ihs-europe.de/wp-content/uploads/2009/03/gutachten-uber-infraheat-vproffgraff-in-pdf-datei.pdf>)
(Forschungsbericht B I 5 80 01 97 – 14, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen, Optimierung der Anordnung von Heizflächen und Lüftungselementen mittels Strömungssimulation, Universität Gesamthochschule Kassel, 1999)

Lufttemperaturverteilung

Unter den möglichen Lufttemperaturverteilungen ist im Innenraum nur die vertikale Verteilung oder Lufttemperaturschichtung für die gefühlte Temperatur relevant. Horizontale oder unregelmäßige Verteilungen kommen entweder nicht vor oder sind über durch sie entstehende Luftströmungen berücksichtigbar.

Unter Lufttemperaturschichtung versteht man den Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Höhe über dem Boden. Der Temperaturverlauf ist abhängig von der Art der Heizung, der Wärmedämmung und der Dichtigkeit des Raumes gegen die Außenluft.

Der Temperaturverlauf sollte möglichst konstant sein. Untersuchungen (z.B. (Olesen, B. W., M. Schøler und P. O. Fanger, Indoor Climate, 36. S. 561/579 (1979)) haben ergeben, dass bereits Temperaturdifferenzen ab 1 K pro Höhenmeter als störend empfunden werden.

Luftströmung

Die Luftströmung ist die durch Luftdruckdifferenzen verursachte, gerichtete Bewegung der Gesamtheit der Luftteilchen an einem bestimmten Punkt im Raum. Sie wird als mittlere Geschwindigkeit der Luftteilchen in m/s angegeben. Sie hat für den Fall, dass die Luftteilchen kühler sind als die umgebende Raumluft und die Bewegung konstant in eine Richtung verläuft, einen besonders großen Einfluß auf die Behaglichkeit. Man spricht dann von Zugluft.

Nach ISO 7730 und VDI 2083 sind Luftströmungen unter 0,1 m/s nicht störend und haben keinen Einfluss auf die Behaglichkeit.

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Luftzug>)

Luftfeuchte

Die Luftfeuchte oder Luftfeuchtigkeit beschreibt den Anteil an Wasserdampf in der Luft. Da die Aufnahmefähigkeit der Luft für Wassermoleküle von der Temperatur abhängt, unterscheidet man zwischen absoluter und relativer Luftfeuchte. Je wärmer die Luft ist, desto größer ist die aufnehmbare Wassermenge. Die absolute Luftfeuchte wird in Wassermenge pro Raumvolumen angegeben (g/m^3).

Die relative Luftfeuchte ist das Verhältnis von aktueller Wassermenge in der Luft zur maximal möglichen Wassermenge bei gegebener Lufttemperatur und wird in Prozent angegeben. Von der relativen Luftfeuchtigkeit hängt die Stärke der Verdunstung von Wasser auf der Haut ab. Durch Verdunstung entsteht dabei Verdunstungskälte auf der Haut. Für die Behaglichkeit spielen bei Lufttemperaturen um 20°C herum erst relative Luftfeuchten von unter 30% oder über 70% eine Rolle (DIN 1946).

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Luftfeuchte>)

Operative Temperatur

In der Praxis hängt die Behaglichkeit in erster Linie von der Raumlufttemperatur und der Strahlungstemperatur der Umgebung, eventuell noch von Zuglufterscheinungen ab. Deshalb wurde in der DIN EN ISO 7730 auch noch der Begriff der operativen Temperatur definiert, die genau diese Größen erfaßt.

(Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenbourg Wissensch. Vlg; Auflage 68 (1997/98) S. 54)

(Forschungsbericht B I 5 80 01 97 – 14, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen, Optimierung der Anordnung von Heizflächen und Lüftungselementen mittels Strömungssimulation, Universität Gesamthochschule Kassel, 1999)

Im einfachsten Fall ohne Zuglufterscheinungen ist die operative Temperatur T_O der Mittelwert aus Raumlufttemperatur T_r und mittlerer Strahlungstemperatur der Umgebung T_u :

$$T_O = (T_r + T_u)/2 .$$

Die optimale operative Temperatur hängt dann im Wesentlichen noch von der Aktivität und Bekleidung des Menschen ab. Bei sitzender Tätigkeit und leichter Bekleidung ist beispielsweise die operative Temperatur bei 21,5°C optimal.

Bei der Auswahl und Dimensionierung eines Heizungssystems samt der zugehörigen Regelungstechnik genügt es, die Anforderungen für die gezielte Erreichung einer bestimmten operativen Temperatur zu erfüllen. Bei Klima-Anlagen sind die Ansprüche höher und es müssen alle Anforderungen zur Erreichung der eingestellten gefühlten Temperatur erfüllt werden, also z.B. auch die Luftfeuchte reguliert werden.

Die operative Temperatur wird in Form von Behaglichkeitsfeldern in Strahlungstemperatur-Lufttemperatur-Diagrammen dargestellt (siehe **Bild 1.7**).

Tendenziell werden höhere Strahlungstemperaturen gegenüber höheren Lufttemperaturen als angenehmer empfunden. Ein Heizungssystem, das grundsätzlich höhere Strahlungstemperaturen als Lufttemperaturen erzeugt, ist aus Behaglichkeitsgründen also vorzuziehen.

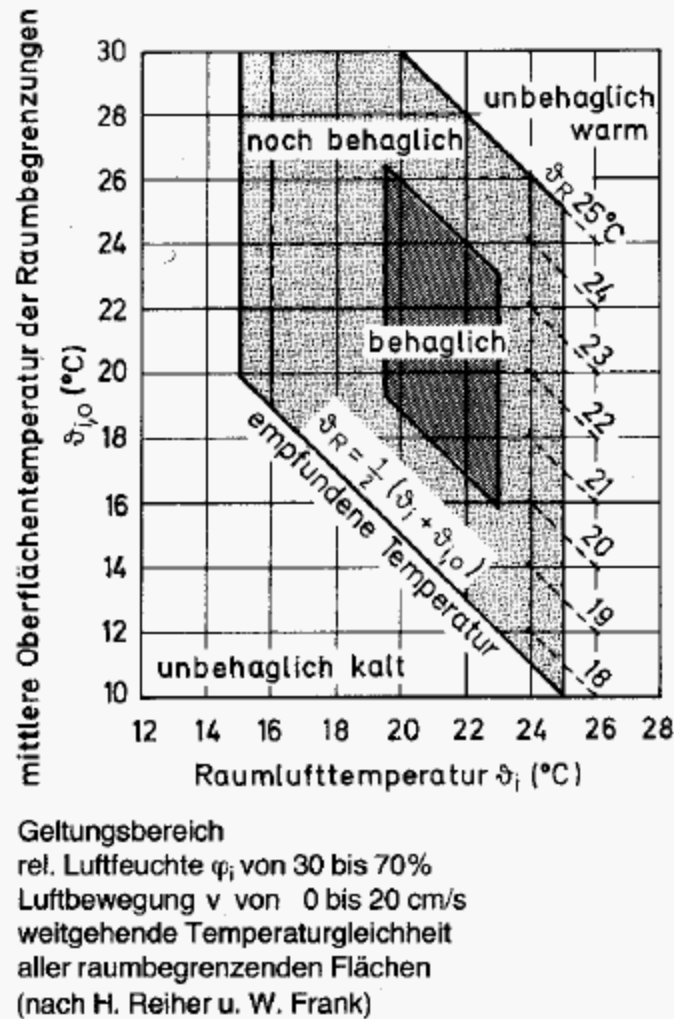


Bild 1.7: Strahlungstemperatur-Lufttemperatur-Diagramm

1.3.3 Medizinische Aspekte

Allergiker/Asthmatiker

Von der Heizungstechnik sind vor allem Hausstauballergiker betroffen. Als Hausstauballergie bezeichnet man eine Sensibilisierung und allergische Reaktion gegenüber dem Kot von Hausstaubmilben, die Rhinitis, Jucken und allergisches Asthma auslösen können. Ausgelöst wird diese Reaktion des Immunsystems nicht durch den Hausstaub direkt, sondern durch den Kot von Hausstaubmilben, die in dem Staub leben. Dieser Kot haftet am Hausstaub und wird mit jeder Form von Konvektion „aufgewirbelt“. Je niedriger der Konvektionsanteil desto besser für den Allergiker. Den prinzipbedingt niedrigsten Konvektionsanteil hat die Infrarotstrahlungsheizung.

(Wilfried Diebschlag, Brunhilde Diebschlag: Hausstauballergien. Gesundheitliche und hygienische Aspekte. 2. Aufl., Herbert Utz Verlag, München 2000)

Medizinische Wärmebehandlung

Die medizinische Behandlung mit Infrarotstrahlung gehört zum Bereich der physikalischen Therapie oder Physiotherapie. Dort befasst man sich mit medizinische Behandlungsformen, die auf physikalischen Prinzipien wie Wärme, elektrischem Strom, Infrarot- und UV-Strahlung, Wasseranwendungen und mechanische Behandlung wie Massage beruhen. Insbesondere die Anwendung der Infrarot-C-Strahlung, wie sie auch bei Infrarot-Saunen Anwendung findet, ist in der Schmerz-Therapie, bei Überlastungen des Bewegungsapparats und bei der Behandlung von Durchblutungsstörungen gut untersucht. Eine Infrarotstrahlungsheizung hat also

tendenziell einen positiven medizinisch-therapeutischen Effekt. Außerdem ist das derjenige Strahlungsanteil, der uns im Alltag sowieso ständig umgibt, da er von allen Gegenständen mehr oder weniger stark ausgestrahlt wird.

(Richter W., Schmidt W.: Milde Ganzkörper-Hyperthermie mit Infrarot-C-Strahlung. Z Onkol/J Onkol 34 (2002) 49 - 58)

(Schmidt W., Heinrich H., Wolfram G.: Detoxifikation und Immunstimulation durch Infrarot-C-Strahlung. Biol. Med. 33 (2004) 66 – 68)

1.3.4 Prinzipielle Energieflüsse bei Heizungssystemen: Primärenergie, Sekundärenergie, Endenergie, Nutzenergie

Als Primärenergie bezeichnet man energiewirtschaftlich die Energie, die mit den in der Natur vorkommenden Energiequellen als freie oder gebundene Energieform zur Verfügung steht. Dazu gehören die oben vorgestellten Energien des Energiespektrums:

- erneuerbare Energie wie Biomasse, Wasserkraft, Sonnenenergie, Erdwärme (Geothermie) und Windenergie,
- fossile Energie wie Braunkohle, Steinkohle, Erdgas und Erdöl und
- Kernenergie (Uran).

Sekundärenergien oder Energieträger entstehen durch verlustbehaftete Umwandlungsprozesse wie Verbrennung, Kernspaltung oder Raffinieren. Energieträger sind zum Beispiel Gas, elektrische Energie, Benzin, Kerosin oder Fernwärme.

Die nach eventuellen weiteren Umwandlungs- oder Übertragungsverlusten beim Verbraucher ankommende Energie bezeichnet man als Endenergie.

Die Nutzenergie ist schließlich diejenige Energie, die dem Endverbraucher durch direkte Anwendung oder nach Umwandlung aus Endenergie für die gewünschte Energiedienstleistung zur Verfügung steht. Zur Nutzenergie gehören Wärme, Kälte, Licht, mechanische Arbeit oder Schallwellen.

In der Regel ist die Nutzenergiemenge kleiner als die Endenergiemenge, da die Energieumwandlung aus Endenergie verlustbehaftet ist. Eine Glühlampe erzeugt z.B. sowohl Licht als auch Wärme aus der Endenergie Strom. Normalerweise wird die Wärme jedoch nicht genutzt.

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Primärenergie>)

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Sekundärenergie>)

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Endenergie>)

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Nutzenergie>)

1.3.5 Einteilung der Heizungssysteme nach Energiequellen

Wegen der ökologischen Aspekte ist es sinnvoll, Heizungssysteme nach den verwendeten Energiequellen für die Umwandlung in Wärme und deren Herkunft einzuteilen.

Physikalisch gesehen haben wir es mit vier verschiedenen Energieformen zu tun:

- Chemische Energie: Festbrennstoffe, Öl, Gas
- Elektrische Energie
- Solarstrahlungsenergie
- (Umwelt-)Wärme

Die Solarstrahlungsenergie und die Umwelt-Wärme sind von sich aus regenerative Energieformen. Bei der chemischen und elektrischen Energie kommt es auf die vorgelagerte Energiequellen an, ob sie regenerativ sind oder nicht. Oft ist die Herkunft auch gemischt. So beträgt der regenerative Anteil in der Stromversorgung mittlerweile mehr als 15% und in die Erdgasleitungen werden regional unterschiedliche, allerdings generell noch geringe Anteile von wenigen Prozent an Biogas

beigemischt. Festbrennstoffe und Öl können vollständig aus Biomasse erzeugt beim Verbraucher angeliefert werden.

Da der Übergang zu regenerativen Energien in der Energieversorgung insgesamt ein relativ langsamer Prozess über Jahrzehnte ist, sollte bei der Auswahl eines Heizungssystems auf die möglichst einfache und vollständige Nutzungsmöglichkeit von regenerativen Energien geachtet werden.

1.3.6 Einteilung der Heizungssysteme nach Art der Wärmeverteilung

Einzelheizung

Als Einzelheizung bezeichnet man Heizungen, bei denen die Wärme aus der zugeführten Endenergieform wie Gas, Öl, Holz, Kohle oder Strom erst in den einzelnen Räumen mittels eigenständigen Energiewandlern erzeugt wird. Die Wärmequelle befindet sich also in den einzelnen Räumen und hat den Zweck, die direkte Umgebung, in der sie steht, unabhängig von anderen Räumen zu beheizen. Die Wärmeverteilung findet ebenfalls im gleichen Raum statt.

Zu den Einzelheizungen gehören der offene Kamin, geschlossene Öfen wie Kaminöfen, Kachelöfen, Grundöfen, Dauerbrandöfen mit angeschlossenem Öltank und Gas-Einzelöfen mit Gasanschluss direkt im Raum oder elektrisch betriebene Widerstandsheizungen wie Heizlüfter, elektrisch beheizte Radiatoren, Infrarotstrahler (Heizstrahler), Elektro-Fußbodenheizung oder Elektrospeicher-Heizung.

Zentralheizung

Bei der Zentralheizung befindet sich der Energiewandler von Endenergie zu Wärme und damit die Wärmequelle zentral im Gebäude oder im Gebäudekomplex. Die Wärmeenergie muss durch geeignete Medien wie Wasser, Wasserdampf oder heiße Luft zuerst in die einzelnen Räume verteilt werden, dann über Heizkörper oder Heizflächen im Raum.

Die am weitesten verbreitete Zentralheizung in Deutschland ist die Gas-Zentralheizung mit Warmwasser als Transportmedium, die so genannte Warmwasserheizung. Weitere sind die Öl-Zentralheizung, die verschiedenen Arten von Wärmepumpenheizungen und die Pelletsheizung.

In der vorliegenden Untersuchung wird eine Gas-Zentralheizung mit einem dezentralen Heizungssystem aus Infrarot-Einzelheizungen verglichen.

Wärmeübertragungsprinzip in den Wohnraum: Konvektions- und Strahlungsheizung

In diesem Forschungsbericht wird von Strahlungsheizung gesprochen, wenn der durch Strahlung über die Heizkörper oder Heizflächen in den Raum abgegebene Anteil der Energiemenge über 50% beträgt. Dies wird in der Praxis allerdings nicht oft erreicht (siehe unten).

Entsprechend wird von Konvektionsheizung gesprochen, wenn der durch Konvektion über die Heizkörper oder Heizflächen in den Raum abgegebene Anteil der Energiemenge über 50% beträgt. Bei fast allen am Markt erhältlichen Heizungen handelt es sich um Konvektionsheizungen.

Besonderer Hinweis:

Jede Form von Heizkörper oder Heizfläche gibt die Wärmeenergie sowohl durch Strahlung als auch durch Konvektion, in meist vernachlässigbarem Anteil sogar zusätzlich durch Wärmeleitung ab. Entscheidend ist das Mischungsverhältnis. Durch falsche oder missverständliche Darstellung in Prospekten, Internetseiten und sonstigen Veröffentlichungen der Heizungsbranche wird oft der Eindruck erweckt, als gäbe es jeweils „reine“ Strahlungs- oder Konvektionsheizungen. Diese sind aber nur im physikalischen Experiment unter großem Aufwand annähernd erreichbar. In der heizungstechnischen Praxis ist das bei weitem nicht der Fall.

Anteile Konvektions- und Strahlungsheizung bei verschiedenen Heizkörpern und Heizflächen

Grundsätzlich ist die **Verteilung von Konvektions- und Strahlungsanteil von der Oberflächentemperatur, Oberflächenbeschaffenheit und der Bauform des Heizkörpers** abhängig.

Bei der einfachsten Bauform des freistehenden Plattenheizkörpers mit einer Platte, Strahlungsfaktor nahe bei 1 und üblicher Größe von ca. einem halben bis einem Quadratmeter sind bei etwa 60°C bis 70°C Oberflächentemperatur beide Anteile gleich. Bei niedrigeren Oberflächentemperaturen überwiegt der Konvektionsanteil, bei höheren Oberflächentemperaturen der Strahlungsanteil.

Bei komplizierteren Bauformen wie Gliederheizkörpern, Stahlrohrradiatoren Lamellenradiatoren und Plattenheizkörpern aus mehreren Platten und Konvektorblechen nimmt der Konvektionsanteil durch Kamineffekte stark zu und kann selbst bei hohen Vorlauf- und Oberflächentemperaturen von 90°C mehr als 90% betragen.

Umgekehrt nimmt bei der einfachen Heizfläche der Strahlungsanteil mit steigender Oberfläche zu. Bei einer Fläche von mehr als 10 Quadratmetern ist deshalb die Gleichheit von Konvektions- und Strahlungswärme schon bei etwa 45°C bis 50°C Oberflächentemperatur erreicht.

(Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenbourg Wissensch. Vlg.; Auflage 68 (1997/98) S. 435 ff und S. 938 ff und S. 836)

1.3.7 Besondere Bauformen von Heizkörpern und Heizflächen

Kachelöfen und Kaminöfen

Kachelöfen und Kaminöfen ohne Luftkanäle sind in Ihrem Abstrahlverhalten dem einfachen Plattenheizkörper am ähnlichsten, die Oberfläche ist durch den quaderförmigen Körper in der Regel größer. Da die Oberflächentemperaturen typisch bei ca. 80°C liegen, ist es die klassische Strahlungsheizung.

Bei Kachelöfen und vielen Kaminöfen mit Luftkanälen überwiegt jedoch durch die starken Kamineffekte der Konvektionsanteil.

Heizleiste

Die Heizleiste (auch als Fußleistenheizung bezeichnet) ist eine spezielle Form des Konvektions-Heizkörpers. Die Heizleisten verlaufen meist an der Innenseite von Außenwänden dicht über dem Fußboden. Die Heizelemente der Heizleiste bestehen aus einem von Heizwasser durchflossenen Rohr mit vielen darauf angebrachten Lamellenblechen. Durch die Lamellen wird ein lokaler Kamineffekt (Konvektion) erzeugt. Heizleisten bauen einen Warmluftschleier entlang der Wände oder Glasflächen von Fenstern auf. Dadurch werden die Wand- oder Fensteroberflächen erwärmt. Durch die so entstehende Strahlungstemperatur der Oberflächen stellt sich die gewünschte Behaglichkeit ein. Da der Warmluftschleier sehr dünn im Vergleich zu dem Luftstrom anderer Konvektionsheizungen ist und sich nur langsam bewegt, wird die innere Raumluft langsamer erwärmt und bleibt in der Regel unter der Temperatur des Warmluftschleiers.

Die Heizleiste stellt damit eine höchst optimierte Form von Konvektionsheizung dar. Damit sie zur Strahlungsheizung werden könnte, müssten die Oberflächentemperaturen der Wand oder Glasflächen durch den Warmluftschleier auf mindestens 45°C aufgeheizt werden, was jedoch nicht der Fall ist.

Großflächenheizungen (Decken-, Wand- und Fußbodenheizungen)

Großflächenheizungen entstehen meist durch in den Verputz von Decken und Wänden oder in den Estrich von Fußböden verlegten flexiblen Heizungsrohren. Man spricht dann jeweils von Decken-, Wand- oder Fußbodenheizungen. Durch Wärmeleitung werden die Oberflächen erwärmt und so für eine angenehme mittlere Strahlungstemperatur gesorgt. Die Luft wird überwiegend durch langsame Konvektion erwärmt. Dasselbe gilt, wenn statt wasserdurchflossenen Heizungsrohren elektrisch betriebene Heizleitungen oder Heizfolien verwendet werden.

Heizleiste und Großflächenheizungen werden irrtümlich als Strahlungsheizungen bezeichnet, obwohl sie in der Regel weniger als 50% der zugeführten Wärmeenergie oder elektrischen Energie in Form von Strahlung in den Raum abgeben. Gemeint ist mit dieser Bezeichnung ihr Vorteil, dass sie für eine hohe mittlere Strahlungstemperatur der Umgebung sorgen, da die Raumbooberflächen teils direkt, teils über den Strahlungsanteil und teils über einen Luftschleier aufgewärmt werden.

Ideal wäre bei Großflächenheizungen, wenn die gesamten Raumbegrenzungsflächen auf niedrigem Temperaturniveau von etwa 20°C bis 25°C gehalten würden. Das würde dazu führen, dass zwischen Raumbooberflächen und bekleideter menschlicher Körperoberfläche praktisch kein Strahlungsaustausch

stattfindet, weil die Oberflächentemperaturen annähernd gleich sind. Genau das wird als besonders angenehm empfunden. Die von solchen Heizungen abgegebene Wärmeleistung in den Raum geschieht überwiegend durch Konvektion und durch Strahlungsabsorption in die Raumluft.

Die Vorteile sind ähnlich wie bei einer echten Strahlungsheizung:

- kein Platzbedarf für Raumheizkörper im Aufenthaltsbereich
- keine Staubansammlung auf Heizkörpern;
- kleiner Temperaturgradient über der Raumhöhe;
- geringere Lufttemperatur als bei der klassischen Konvektionsheizung; daraus ergibt sich eine physiologisch günstige Erwärmung des Menschen;
- kein oder geringer Niederschlag von Feuchtigkeit an Bauteilen, das verhindert Schimmelbildung.

1.3.8 Die Rolle der Speichermasse für Wärmeenergie in Heizungssystemen.

Sowohl in Einzelheizungen als auch in Zentralheizungen wird die Wärmeenergie unmittelbar vor ihrer Weitergabe in den Raum im Heizungssystem gespeichert. Je nach Heizungssystem sind diese Speicher in Abhängigkeit von ihrer Masse unterschiedlich groß. Allgemein gilt: Je größer die Masse desto größer der Wärmespeicher.

Solche Speichermassen sind das Wasser im Heizkörper und der Heizkörper selbst, Schamottsteine in Kaminöfen und elektrischen Heizungen oder der Estrich bei Fußbodenheizungen.

In früheren Zeiten, wo der festbrennstoffbefeuerte Grundofen ein Standard war und es noch keine geregelte Heizungen gab, war eine möglichst große Speichermasse erwünscht. Der Ofen wurde dann nur ein- oder zweimal pro Tag mit Brennstoff beschickt und die Speichermasse sorgte für eine gleichmäßige Wärmeabgabe in den Raum, auch wenn das Feuer im Ofen schon erloschen war. Dies war auch noch bei den später verbreiteten Öl- und Gasheizungen ohne Regelungen und einfachen Ventilen an den Heizkörpern der Fall.

Wenn die Weitergabe in den Raum annähernd gleichmäßig mit der Wärmeerzeugung erfolgt, spielt die Größe der Speichermasse keine Rolle.

Dies ist bei modernen Heizungssystemen mit Raumtemperaturregelungen und Häusern mit geringem Heizenergiebedarf nicht der Fall. Eine wechselnde Sonneneinstrahlung, das Nutzen zusätzlicher Wärmequellen (z.B. Backofen) oder das Öffnen eines Fensters machen eine schnelle Reaktion der Heizungsregelung notwendig. Der Regler kann aber nur die Wärmezufuhr in den Speicher, nicht aber die Weitergabe von Wärmeenergie aus der Speichermasse in den Raum unterbinden oder zulassen.

Für den Fall, dass schnell hochgeheizt werden soll, gibt es bei großen Speichermassen eine starke zeitliche Verzögerung. Bei Fußbodenheizungen, die als Speichermasse den kompletten Estrich aufheizen müssen, kann diese Verzögerung mehrere Stunden betragen.

Im umgekehrten Fall, wenn bei zusätzlichem Aufheizen des Raumes, z. B. durch die Aufheizung des Raumes durch die tief stehende Wintersonne über ein Südfenster, die Wärmezufuhr über die Heizung unterbrochen werden soll, kommt es durch das bereits gespeicherte warme Heizungswasser in den Heizkörpern zu einer Überhitzung des Raumes und unnötigem Energieverbrauch.

Regelungstechnisch spricht man von Überspringen und Regelungsträgheit.

Eine energiesparende Heizung mit Regler sollte daher entgegen landläufiger Meinung eine möglichst kleine Speichermasse in den Heizkörpern oder Heizflächen haben. Der Pufferspeicher bei Zentralheizungen im Heizungsraum bleibt davon unberührt, da die Wärmeabgabe von dort aus in die Räume unter der Kontrolle der Regelung liegt.

Eine große Speichermasse bei Infrarotstrahlern führt dazu, dass der Strahler jeweils nach jedem Einschalten und nach jedem Ausschalten durch die Regelung lange Zeit im Temperaturbereich zwischen Umgebungstemperatur (Lufttemperatur) und 60°C verbleibt. D.h. man hat es mit langen Aufheiz- und Abkühlzeiten von deutlich über fünf Minuten zu tun, statt idealerweise weniger als eine Minute. In dieser Zeit wirkt der Infrarotstrahler als Konvektionsheizung. Die Vorteile als Infrarotstrahler gehen dann insgesamt bei der Nutzung solcher Strahler umso mehr verloren, je höher die Speichermasse ist. Viele solcher „Infrarotstrahler“ sind deshalb nur Konvektionsheizungen mit erhöhtem Strahlungsanteil.

Dies gilt auch für nah an der Wandoberfläche eingebaute elektrische Heizfolien, die zwar gegenüber klassischen Flächenheizungen große Oberflächentemperaturen erreichen, aber die komplette Wand als rückwärtige Speichermasse haben. Insgesamt geben sie weniger als 50% der zugeführten elektrischen Energie als Infrarotstrahlung ab. In der Regel entsteht bei bodennaher Montage zusätzlich durch großflächige Konvektion ein Luftschleier, ähnlich wie bei der Heizleiste.

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Heizungsregler>)

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Überschwingen>)

(Otto Föllinger: Regelungstechnik, Hüthig Verlag)

(Lutz & Wendt: Taschenbuch der Regelungstechnik, Verlag Harry Deutsch)

(Fröse, H.-D.: Elektrische Heizsysteme, Pflaum Verlag 1995)

1.3.9 Einordnung der Infrarotheizung

Als Infrarotheizungen werden Heizungen nach folgender Definition bezeichnet: Es sind

- Einzelheizungen,
- Strahlungsheizungen, d.h. mehr als 50% reiner Strahlungsanteil der in den Raum abgegebenen Wärmeenergie und
- das Strahlungsmaximum liegt im Infrarotbereich (auch bei Heizungen, die einen sichtbaren Anteil abstrahlen, d.h. rot glühen).

Die abgegebene Strahlung einer Infrarotheizung entspricht der natürlichen Infrarot-Strahlung im Sonnenlicht unterhalb des sichtbaren Bereichs.

Gas-Infrarotheizung

Gas-Infrarotheizungen oder sogenannte Heizstrahler werden in der Industrie und beim Camping mit Brenngas, meist mit Flüssiggas, bei stationärem Einsatz seltener auch mit Erdgas betrieben. Dabei erhitzt die Gasflamme einen Glühkörper. Industrieheizstrahler können zur alleinigen Hallenheizung verwendet werden. Für die Gasstrahler müssen besondere Sicherheitsbestimmungen eingehalten werden. Aufgrund dessen sind sie für den Wohnbereich nicht geeignet. In den letzten Jahren wurden immer mehr Terrassenstrahler (auch „Heizpilze“ genannt) in Außenbereichen wie Straßencafés eingesetzt. Auch diese sind für Wohnräume nicht geeignet.

Gas-Infrarotheizungen gehören zu den Hochtemperaturstrahlern, bei denen die Heizenergie am oder im Abstrahlbauteil erzeugt und mit hoher Temperatur (mehrere hundert bis über tausend Grad) abgestrahlt wird. Diese Heizungsform wird verwendet, um über einen größeren Abstand oder in größerem Umfang Heizenergie abzugeben. Durch die hohe Temperatur besteht in der Regel Brandgefahr, die durch Sicherheitsmaßnahmen beherrscht werden muss.

Elektrische IR-Heizung

Elektrische Heizstrahler, Quarzstrahler, Hellstrahler

Elektrische Heizstrahler gehören ebenfalls zu den Hochtemperaturstrahlern und funktionieren im Prinzip wie eine Glühbirne, allerdings in der Regel mit einem auf einen Kermikträger aufgewickelten Widerstandsdraht, der durch den elektrischen Strom zum Glühen gebracht wird. Bei den meisten Heizstrahlern liegt das Strahlungsmaximum im Infrarot-B-Bereich, d.h. sie glühen dunkelrot. Eine Sonderstellung nimmt der so genannte Quarzstrahler ein. Sein Strahlungsmaximum liegt im Infrarot-A-Bereich, er ist hellrot glühend und die Glühwendel ist mit einem Quarzglasrohr umgeben, um die Strahlung möglichst gut durchzulassen. Quarzstrahler haben mit über 95% den höchsten Strahlungsanteil unter den Infrarotstrahlern. Infrarotstrahler, deren Strahlungsmaximum im Infrarot-A- oder Infrarot-B-Bereich liegen, werden auch als Hellstrahler bezeichnet, weil sie sichtbar glühen.

Dunkelstrahler

Einen Infrarotstrahler, dessen Strahlungsmaximum im Infrarot-C-Bereich liegt, bezeichnet man als Dunkelstrahler, da es keinen sichtbaren Lichtanteil gibt. Dunkelstrahler gibt es sowohl gas- als auch elektrisch betrieben.

Eine besondere Bauform des Dunkelstrahlers ist die elektrisch betriebene Infrarot-Flächenheizung. Ihre Oberflächentemperaturen liegen meist unter 150°C. Die häufigsten beiden Bauformen sind

diejenige aus Blechen mit integrierter Heizwendel und diejenige unter Verwendung von stromdurchflossene Carbonfolien, die in einem Rahmen aufgehängt sind. Solche Infrarot-Flächenheizungen werden in der vorliegenden Untersuchung verwendet.

Strahlungswirkungsgrad

Für gasbetriebene Infrarotheizungen gilt neben der Gasgeräte-richtlinie (90/396/EWG) der in DIN EN 416-2 und in DIN EN 419-2 beschriebene Strahlungswirkungsgrad. Beides ist maßgebend für eine rationelle Energienutzung und die Wirtschaftlichkeit, wobei ein Strahlungswirkungsgrad (entspricht dem Infrarotanteil) möglichst weit über 50% angestrebt wird.

Für elektrisch betriebene Infrarotheizungen ist analog ein Strahlungswirkungsgrad als Verhältnis zwischen Infrarotstrahlungsleistung und zugeführter elektrischer Leistung anzusetzen, wofür es allerdings noch keine Norm gibt.

2 Verwandte Arbeiten

Wissenschaftliche Fachliteratur zur Verwendung von Infrarotheizungen im Wohnbereich ist praktisch nicht vorhanden, da die Verwendung als Hauptheizung dort noch unüblich ist.

Typische Anwendungsfälle für Infrarotheizungen waren bisher große Zweckgebäude oder halboffene Gebäude wie Fertigungs- und Lagerhallen, Ausstellungs- und Veranstaltungsgebäude, Waschhallen, Sport- und Reithallen, Flugzeughangars, der Agrarbereich mit Ställen oder Gewächshäusern, Kirchen und Fußballstadien. Hauptgrund für die Anwendung war die gezielte Erwärmung von Arbeitsplätzen ohne energieaufwendige komplette Beheizung der Raumluft.

Es gibt zwar zahlreiche, auch firmeninterne Untersuchungen zur Verwendung von meist gasbetriebenen Infrarotheizungen in solchen Gebäuden sowie entsprechende Arbeitsplatzuntersuchungen z.B. durch die Berufsgenossenschaften. Die Ergebnisse dieser teils sehr detaillierten Forschungen sind jedoch nur sehr bedingt auf den Wohnbereich übertragbar, da hier ein völlig anderes Nutzungsprofil gilt. Insbesondere lassen sich keine fundierten Aussagen über den Energieverbrauch ableiten. Im Wohnbereich sind außerdem ausschließlich elektrisch betriebene Dunkelstrahler als Hauptheizung verwendbar.

Das Gemeinsame in beiden Anwendungsgebieten ist die Vermeidung der Luftaufheizung, die im Wohnbereich tendenziell ähnliche Energieeinsparungen erwarten lassen wie bei Zweckgebäuden.

Von einer Reihe von Anbietern von Infrarotheizungen für den Wohnbereich gibt es firmeninterne Untersuchungen über den Energieverbrauch vor und nach der Umrüstung auf Infrarotstrahler. Allerdings wurden in der Regel nur die Endenergieverbräuche verglichen, was nur im direkten Vergleich mit anderen elektrischen Heizungen eine gewisse Aussagekraft hat. Es ist dabei von Einsparungen im Stromverbrauch von bis zu 70% die Rede.

Nachteilig ist bei diesen Untersuchungen auch, dass einerseits von einer gewissen Einseitigkeit bei der Auswahl der Objekte ausgegangen werden muss, andererseits können die Werte bei einem Vorher/Nachher-Vergleich prinzipiell durch Verhaltensänderungen der Bewohner und durch unterschiedliche Witterungsverhältnisse verfälscht sein.

Die zeitgleiche Messung am gleichen Standort mit vergleichbarem Bewohnerverhalten und gleicher Bausubstanz, wie es in der vorliegenden Untersuchung der Fall ist und die die oben genannten Nachteile vermeidet, ist aus solchen Untersuchungen nicht bekannt.

3 Untersuchungsansatz

Um die oben gestellten Fragen zu beantworten, wurden zunächst auf abstrakter Ebene geeignete Untersuchungsobjekte festgelegt. Dabei handelt es sich um die Systeme Gasheizung (zentrale Warmwasserheizung) und Infrarotheizung.

3.1 Betrachtete Systeme

Das System Gasheizung:

Es wird die am meisten verbreitete Struktur einer im Altbau betriebenen zentralen Gasheizung mit zentralem Gasbrenner im unbeheizten Kellerraum, Heizwasserkreisläufen zu den einzelnen Räumen und ventilgeregelten Radiatoren zugrunde gelegt. Prinzipiell sind die Ergebnisse dann auch auf strukturgleiche Ölheizungen übertragbar.

Der Primärenergieträger und zugleich Endenergie ist das an das Haus per Gasleitung angelieferte Erdgas. Verluste auf dem Transportweg vom Gaswerk zum Hausanschluß werden vernachlässigt. Die Nutzenergie ist die an die Luft der Wohnräume abgegebene Wärmeenergie durch Konvektion (siehe **Bild 3.1**). Der dabei entstehende Luftstrom erzeugt einen großen Temperaturunterschied zwischen oben und unten im Raum.

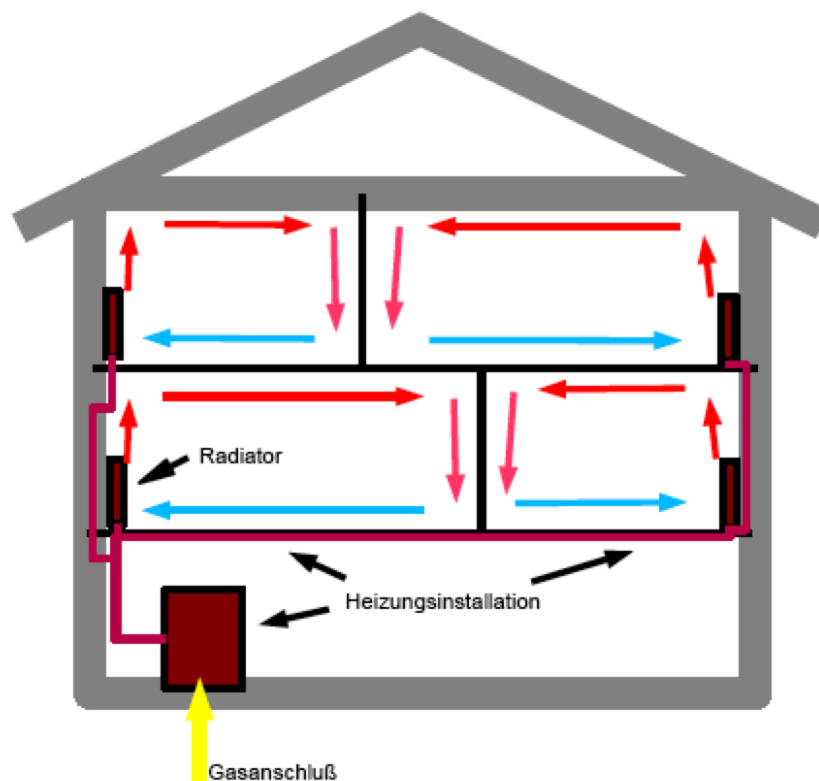


Bild 3.1: Prinzipieller Aufbau einer zentralen Gas-Warmwasserheizung

Das System Infrarotheizung:

Es werden Flächen-Infrarotstrahler dezentral ähnlich wie frei aufgehängte Bilder an den Wänden in den Räumen angebracht und über die Elektroinstallation angeschlossen. Alternativ ist auch eine Deckenmontage ähnlich einer Flächenleuchte möglich (kein Deckeneinbau!).

Zum System gehört außerdem anteilig das vorgelagerte öffentliche Stromnetz (siehe **Bild 3.2**). Der Primärenergieträger ist der im Verbundnetz durchschnittliche Mix an Primärenergieträgern zur Stromversorgung.

Nutzenergie ist die an den Wohnraum abgegebene Infrarot-Strahlungsenergie.

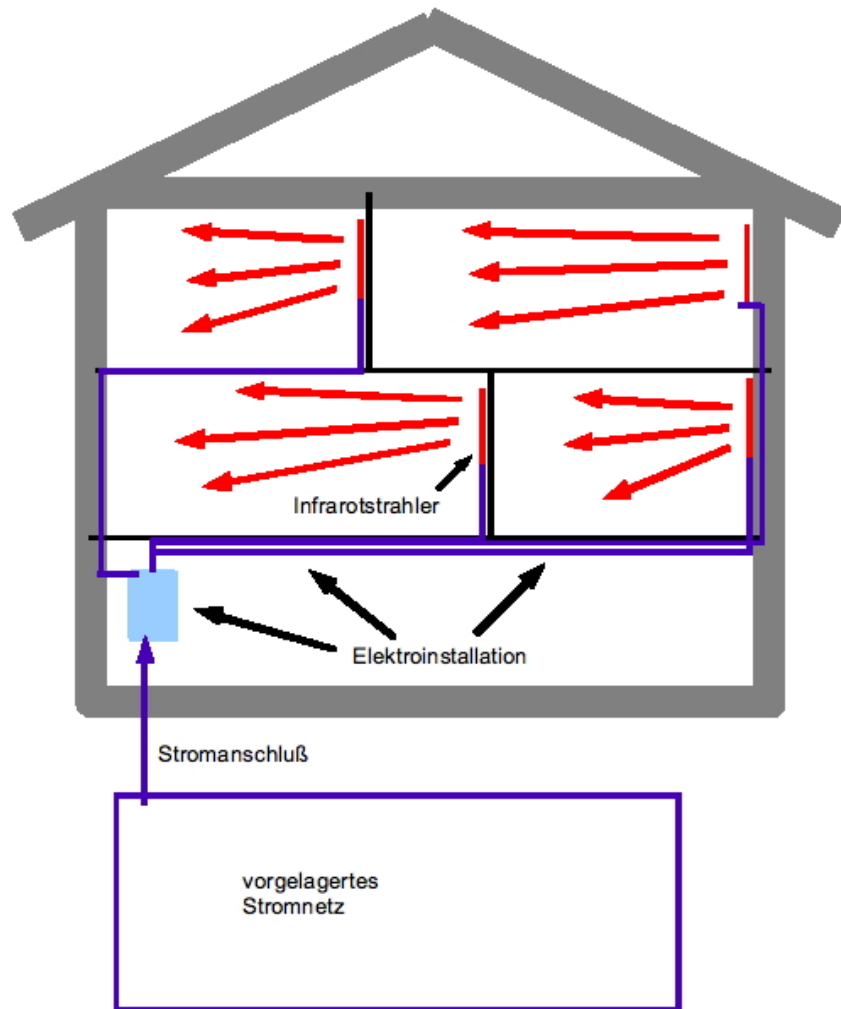


Bild 3.2: Prinzipieller Aufbau einer Infrarotheizung

3.2 Vergleich der Energieflüsse

Der Energiefluß im System Gasheizung ist im **Bild 3.3** dargestellt.

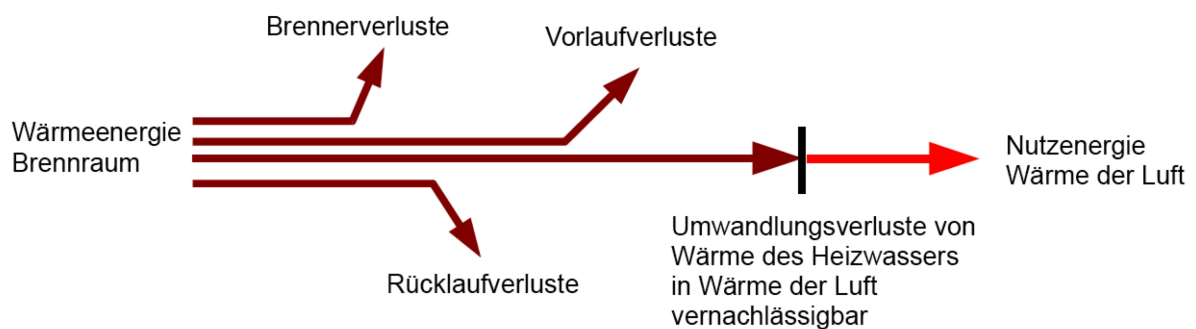


Bild 3.3: Energiefluss der Gasheizung

Der Primärenergieträger Erdgas ist bei seiner Anlieferung am Haus zugleich Endenergie und wird bei der Verbrennung im Brenner in ca. 10 kWh Wärmeenergie pro Kubikmeter Gas umgesetzt. Ein Teil davon gelangt über Wärmetauscher in den Heizwasserkreislauf, der Rest geht als Brennerverluste

über den Kellerraum oder den Schornstein nach außen verloren.

Die Rohre des Heizwasserkreislaufs vom Brenner zu den Radiatoren und wieder zurück sind mehr oder weniger isoliert in Wänden und Decken verlegt und wärmen diese von innen auf. Ein kleiner Teil der Wärmeenergie gelangt so direkt über Wände, Decken und Böden in die Räume. Ein weitaus größerer Teil geht jedoch über die Außenwände verloren, da im Winter die Temperaturdifferenz nach außen am größten ist. Außerdem sorgen gerade in Altbauten sogenannte Wärmebrücken für die Auskühlung nach außen. Die Wärmeverluste entstehen sowohl im Vorlauf als auch im Rücklauf des Heizwasserkreislaufs.

Mittels Radiatoren wird die verbleibende Wärmemenge als Nutzenergie an die Raumluft abgegeben. Die gleichzeitig von den Radiatoren abgegebene Strahlungswärme (Infrarotstrahlung) lässt sich vernachlässigen, da sie nur wenige Prozent der insgesamt abgegebenen Wärmemenge beträgt und letztlich auch die Luft im Raum erwärmt.

Über die Konvektion der Raumluft werden die Gegenstände im Raum und die Raumbegrenzungsflächen (Wände, Decken und Böden) erwärmt. In der Regel ist daher die Raumlufttemperatur höher als die Oberflächentemperaturen.

In Altbauten, besonders noch solche mit veralteten Brennern, können durch schlechte Isolierung so hohe Verluste auftreten, dass weniger als die Hälfte der Primärenergie als Nutzenergie in der Raumluft übrigbleibt.

Der Energiefluß im System Infrarotheizung ist im **Bild 3.4** dargestellt.

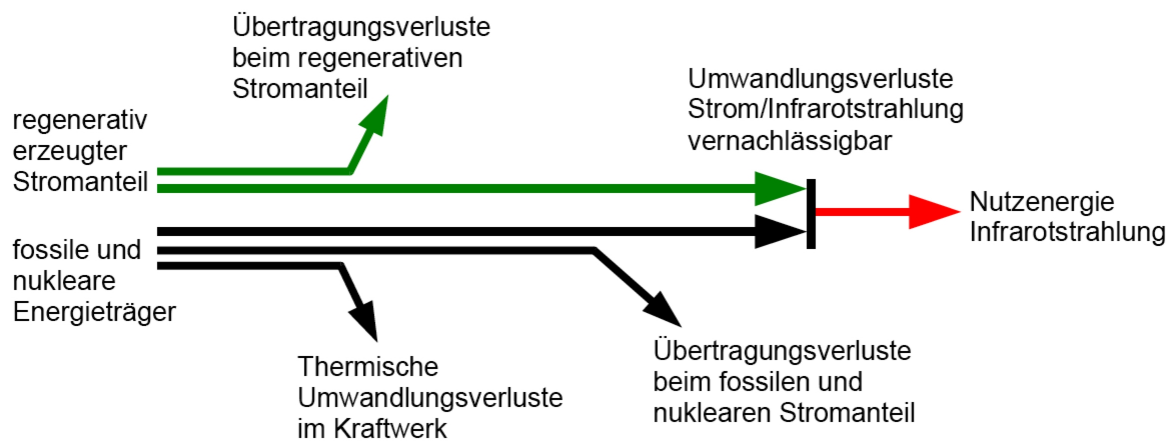


Bild 3.4: Energiefluss der Infrarotheizung

Die Primärenergie im Stromnetz wird in regenerativ erzeugten Strom sowie in fossile oder nukleare Energieträger eingeteilt. Die Unterteilung in die unterschiedlichen regenerativen Energien unterbleibt, weil sie für eine spätere Bilanzierung keine Rolle spielt.

Aus den fossilen und nuklearen Energieträgern wird elektrische Energie und Wärmeenergie gewonnen, wobei die Wärmeenergie in der Regel als Abwärme ungenutzt in die Umgebung abgegeben wird.

Zwischen den Kraftwerken und dem Hausanschluß treten Übertragungsverluste von durchschnittlich ca. 10% der erzeugten elektrischen Energie auf.

Im Haus wird die ankommende elektrische Energie in den Infrarotstrahlern in Wärmestrahlungsenergie (Infrarotstrahlung) als Nutzenergie umgewandelt und direkt in die Wohnräume abgestrahlt. Die direkte Aufheizung der Luft wie bei den Radiatoren wird vernachlässigt. Es entsteht vergleichsweise wenig Konvektion. Die Infrarotstrahlung heizt überwiegend direkt die Oberflächen der Wände, Decken und Böden sowie der Gegenstände im Raum auf. Ein kleiner Teil der Infrarotstrahlung wird in der Luft absorbiert und wärmt diese direkt auf. Ansonsten wird die Luft indirekt über die angestrahlten Oberflächen per großflächiger, extrem schwacher Konvektion aufgewärmt. In der Regel sind daher die Oberflächen im Raum wärmer als die Luft.

3.3 Untersuchungshypothese

Der wichtigste Unterschied in beiden Energieflüssen besteht darin, dass bei der Infrarotheizung ab Hausanschluß bis zur Nutzenergieform keine Verluste mehr auftreten. Darüberhinaus ist die Infrarotstrahlung besser geeignet als aufgeheizte Luft, um für eine behagliche Raumtemperierung zu sorgen (Stichwort operative Temperatur).

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 vornherein 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, Drenpelhöhe 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 Wärmezählern 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.

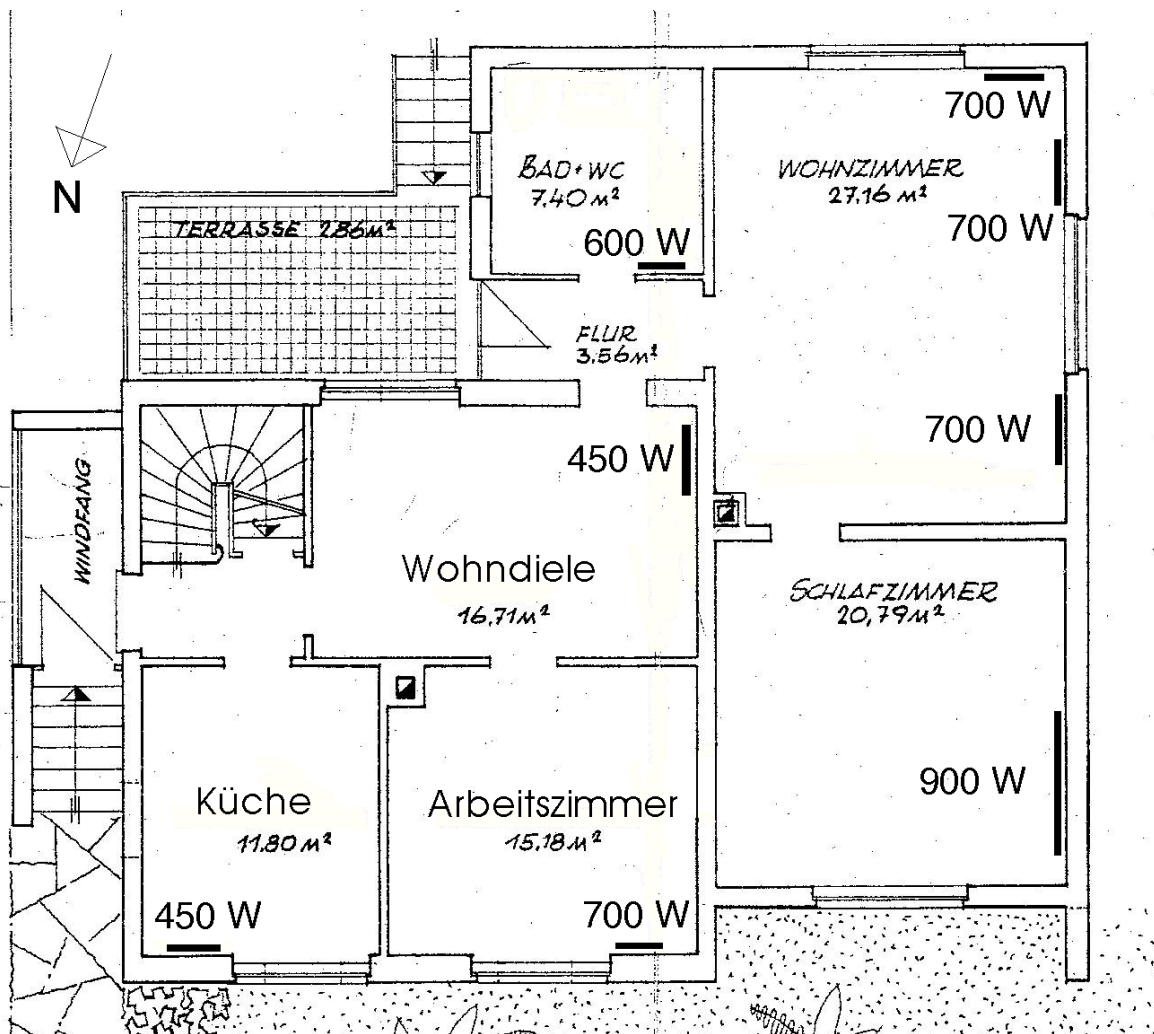


Bild 3.5: Grundriss Erdgeschoss des Maßobjekts

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 Probebetrieb

Die Installationen wurden wie vorgesehen im Oktober 2008 vorgenommen und der Meßbetrieb aufgenommen. Zuerst wurde in einem Probebetrieb 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 Probebetrieb 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 Probebetrieb 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.

Sinngemäß 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.

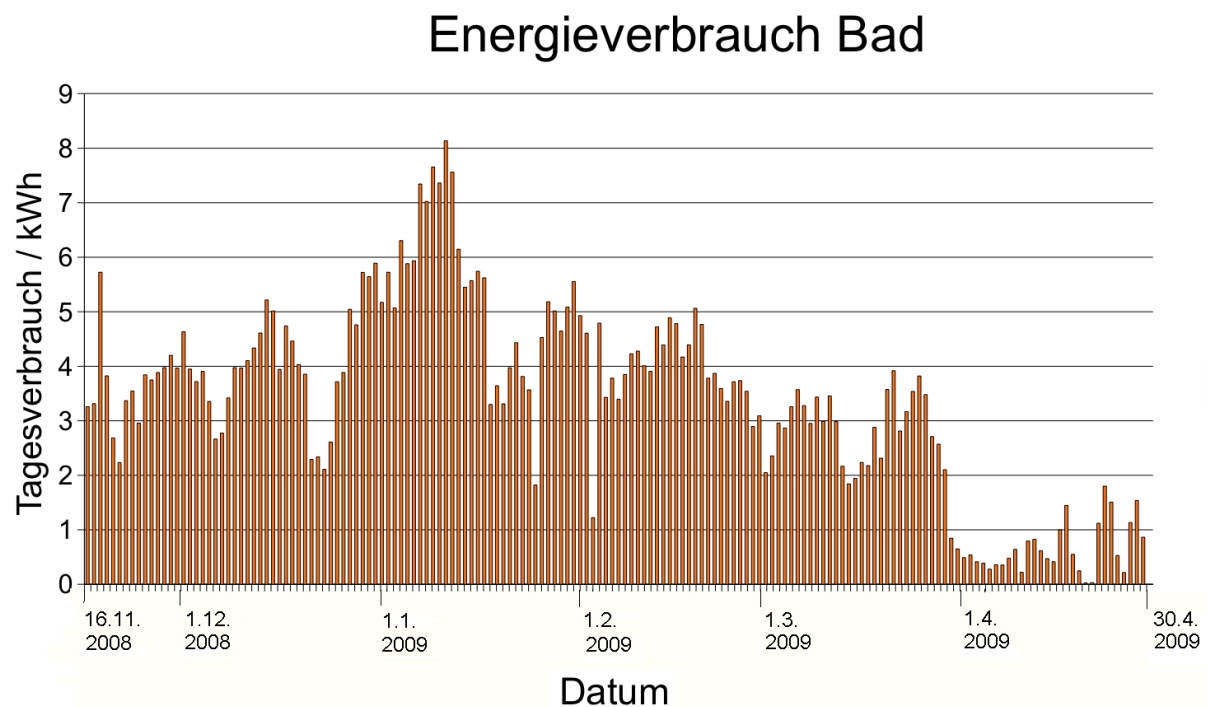


Bild 4.1: Verbrauch der Gruppe 1 (Bad)

Energieverbrauch Küche / Wohndiele

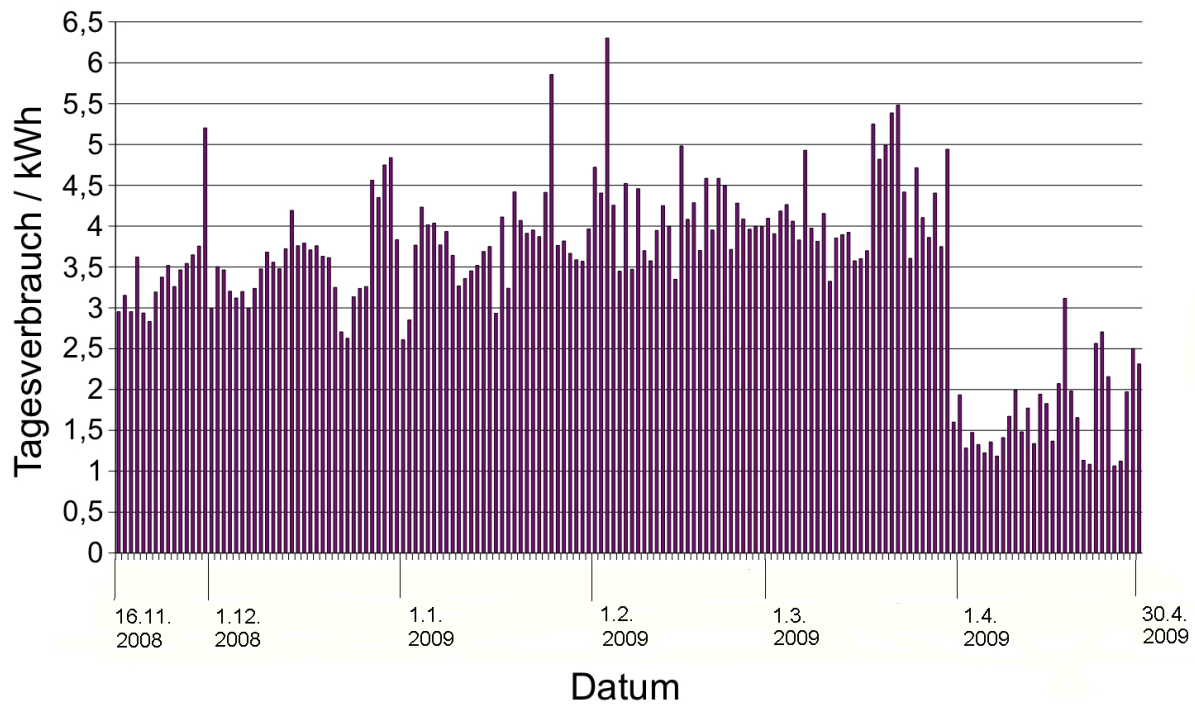


Bild 4.2: Verbrauch der Gruppe 2 (Küche / Wohndiele)

Energieverbrauch Büro / Schlafzimmer

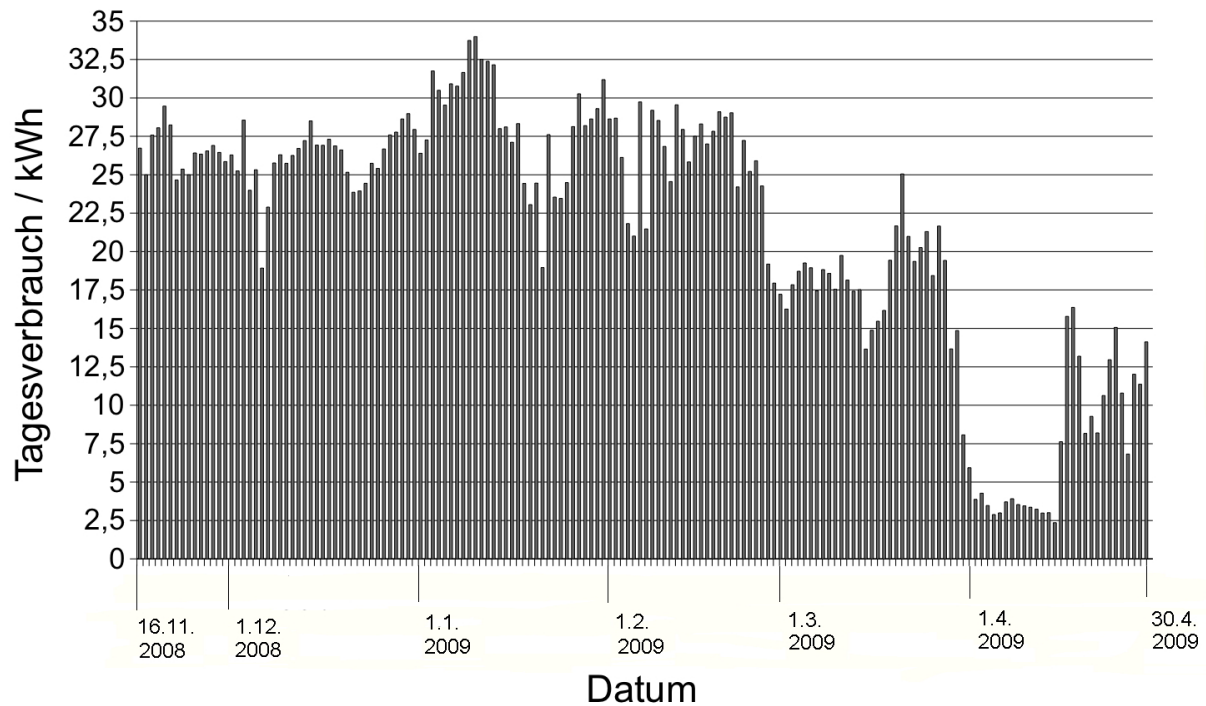


Bild 4.3: Verbrauch der Gruppe 3 (Büro / Schlafzimmer)

Energieverbrauch Wohnzimmer

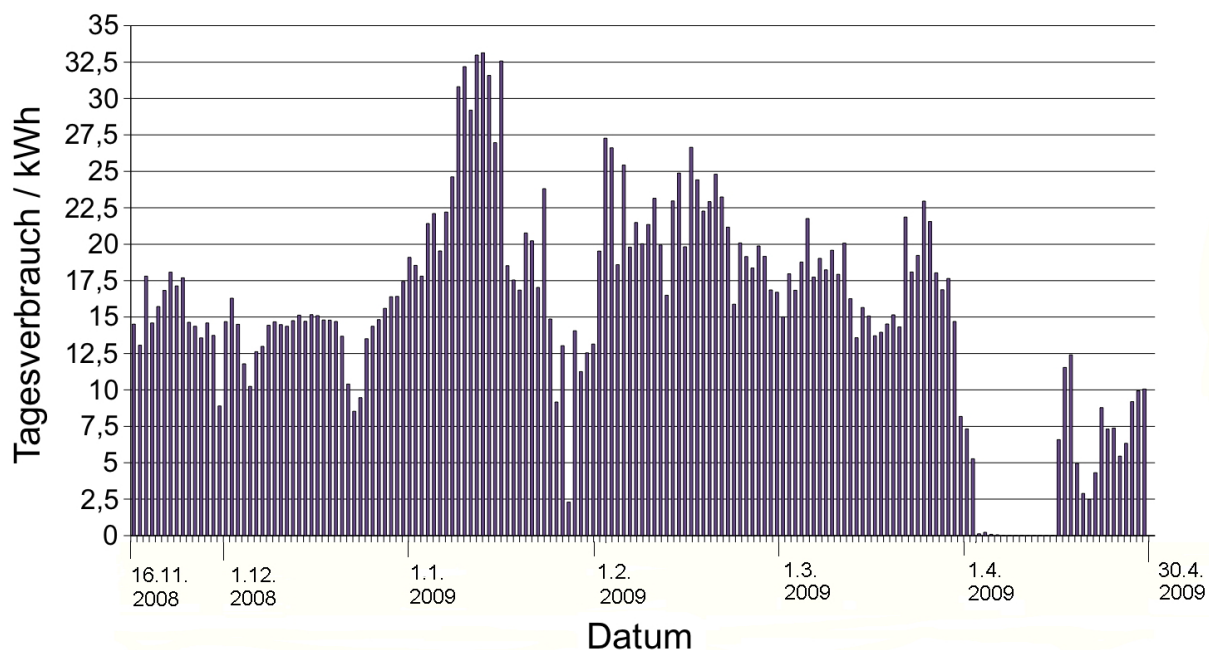


Bild 4.4: Verbrauch der Gruppe 4 (Wohnzimmer)

In **Bild 4.5** sind die Verbrauchsgruppen in ihren Tagessummen dargestellt.

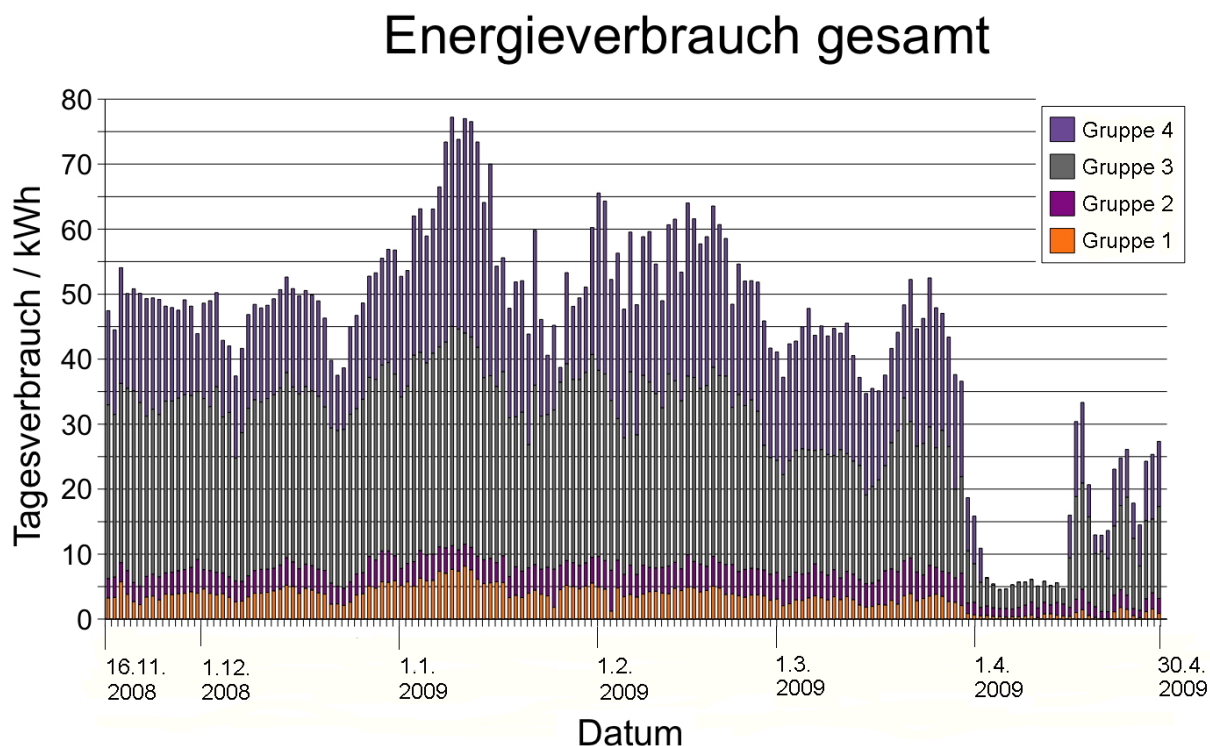


Bild 4.5: Gesamter Tages-Energieverbrauch aller Gruppen

Der **Gesamtverbrauch der Infrarotheizung** 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.

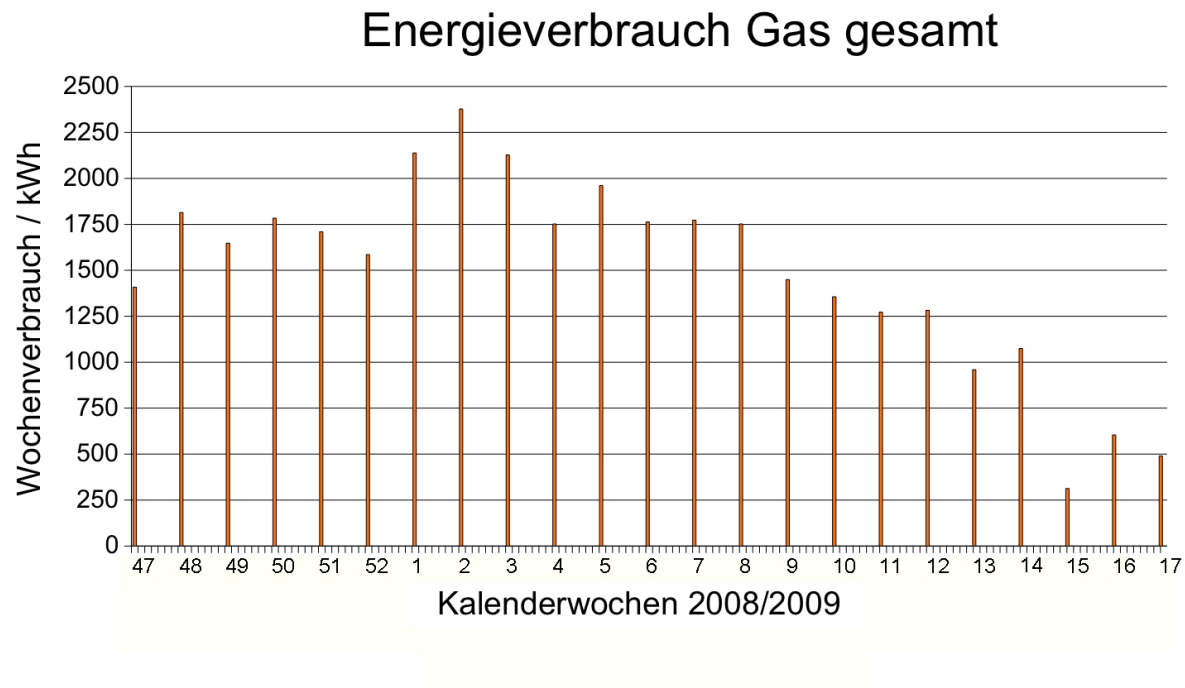


Bild 4.6: Wochen-Energieverbrauch der Gasheizung

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

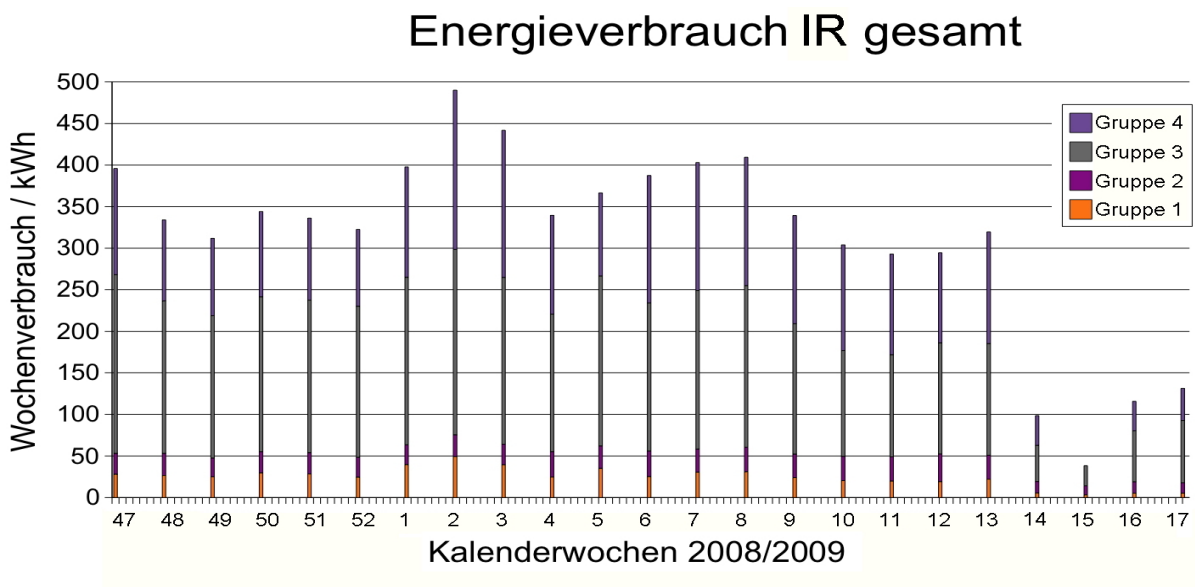


Bild 4.7: Wochen-Energieverbrauch der IR-Heizung

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.

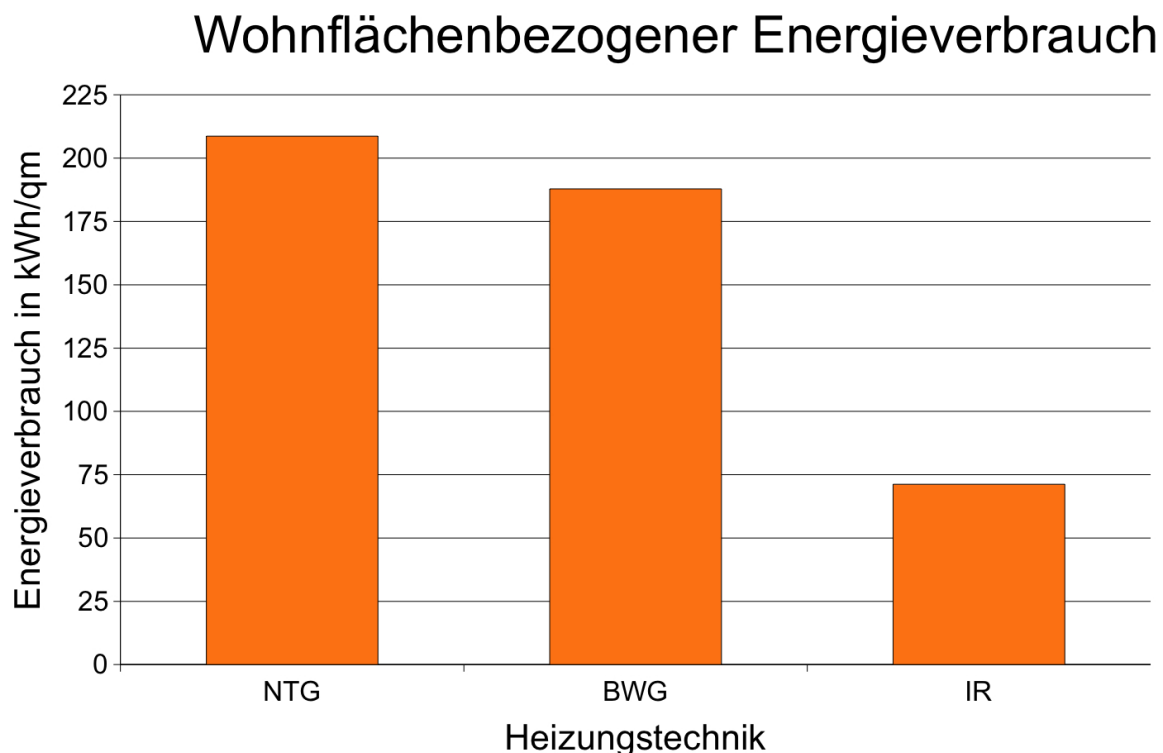


Bild 4.8: Wohnflächenbezogener Energieverbrauch im Vergleich

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.hygroson.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)

5.2 Interpretation hinsichtlich Kosten

Stromkosten

Als Vergleichsbasis wurden die bundesweit verfügbaren Standardtarife der vier „klassischen“ überregionalen Stromversorger EnBW, EON, RWE, Vattenfall und der vier bundesweit verfügbaren Ökostromanbieter EWS, Greenpeace Energy, Naturstrom, Lichtblick mit 100% zertifiziertem regenerativem Strom herangezogen. Lokal können die Zahlen je nach verfügbarem Anbieter nach unten und oben abweichen.

Der niedrigste Standardtarif (Arbeitspreis für 4.000 kWh mit Stand Sommer 2009) lag bei 19,5 Cent/kWh, der höchste bei 23,8 Cent/kWh. Da die Grundgebühren bei allen acht Anbietern in etwa gleich und vernachlässigbar zur Spanne der Arbeitspreise waren, wurden sie im Kostenvergleich nicht berücksichtigt.

Gaskosten

Da die vier großen Stromversorger EnBW, EON, RWE und Vattenfall auch als Gasanbieter am Markt auftreten, wurden als Vergleichsbasis ebenfalls deren bundesweit verfügbare Standardtarife gewählt. Lokal können auch hier die Zahlen je nach verfügbarem Anbieter nach unten und oben abweichen.

Der niedrigste Standardtarif (Arbeitspreis für 20.000 kWh mit Stand Sommer 2009) lag bei 5,0 Cent/kWh, der höchste bei 5,9 Cent/kWh. Da die Grundgebühren bei allen vier Anbietern wie oben in etwa gleich und vernachlässigbar waren, wurden sie im Kostenvergleich nicht berücksichtigt.

Entwicklung von Strom- und Gaspreisen

Die Strompreise sind in den letzten 10 Jahren seit der Liberalisierung der Märkte um durchschnittlich ca. 2,25% pro Jahr, die Gaspreise um ca. 7,1% pro Jahr gestiegen. Die Kopplung der Gas- an die Ölpreise wird in absehbarer Zeit erhalten bleiben und beide fossilen Brennstoffe werden weiter verknappen. Die Steigerungen bei den Strompreisen wurden zu 40% durch staatliche Abgaben verursacht und es stellen sich erste Kostendämpfungseffekte durch regenerative Stromerzeugung ein. Daher ist eine Fortschreibung dieser unterschiedlichen Entwicklung sehr wahrscheinlich. D.h. der Gaspreis wird auch in Zukunft deutlich schneller steigen als der Strompreis. Unter dieser Annahme ist die Entwicklung gemäß den oben genannten Steigerungsraten in **Bild 5.1** dargestellt.

Die blauen Kurven zeigen die Entwicklung der Gaspreise, die grünen Kurven die der Strompreise jeweils über die Anzahl der Jahre ab 2009.

Da der Gasverbrauch der Gasheizung in Kilowattstunden mindestens das 2,5fache des Stromverbrauchs einer Infrarotheizung ist, muss der Gaspreis mit diesem Verbrauchskorrektur-Faktor gewichtet werden. Dies ist mit den roten Kurven dargestellt.

Kostenvergleichsschätzung zwischen Infrarot- und Gasheizung

Bild 5.1 zeigt, dass sich die untere gewichtete Gaspreiskurve und die obere Strompreiskurve in etwa 14 Jahren schneiden, d.h., dass spätestens dann der Verbrauch der Infrarotheizung günstiger ist als der einer Gasheizung. Da die Investitionskosten der Infrarotheizung aber nach ersten groben Abschätzungen in etwa nur die Hälfte derjenigen einer Gasheizung betragen, ist die kostenmäßige Überlegenheit wesentlich früher, eventuell sogar sofort erreicht. Der gesamte Überlappungsbereich, in dem die Gasverbrauchskosten höher werden können als die Stromverbrauchskosten, ist schraffiert eingezeichnet.

Regional gibt es von einigen Anbietern Sondertarife für sogenannten Direktheizungsstrom. Damit sind die Verbrauchskosten der Infrarotheizung in der Regel sofort günstiger als die der Gasheizung.

Falls die tatsächliche Entwicklung von dem in **Bild 5.1** gezeigten vermuteten Spektrum abweichen sollte, ist trotzdem mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit von einer ähnlichen Entwicklung auszugehen.

(www.verivox.de)

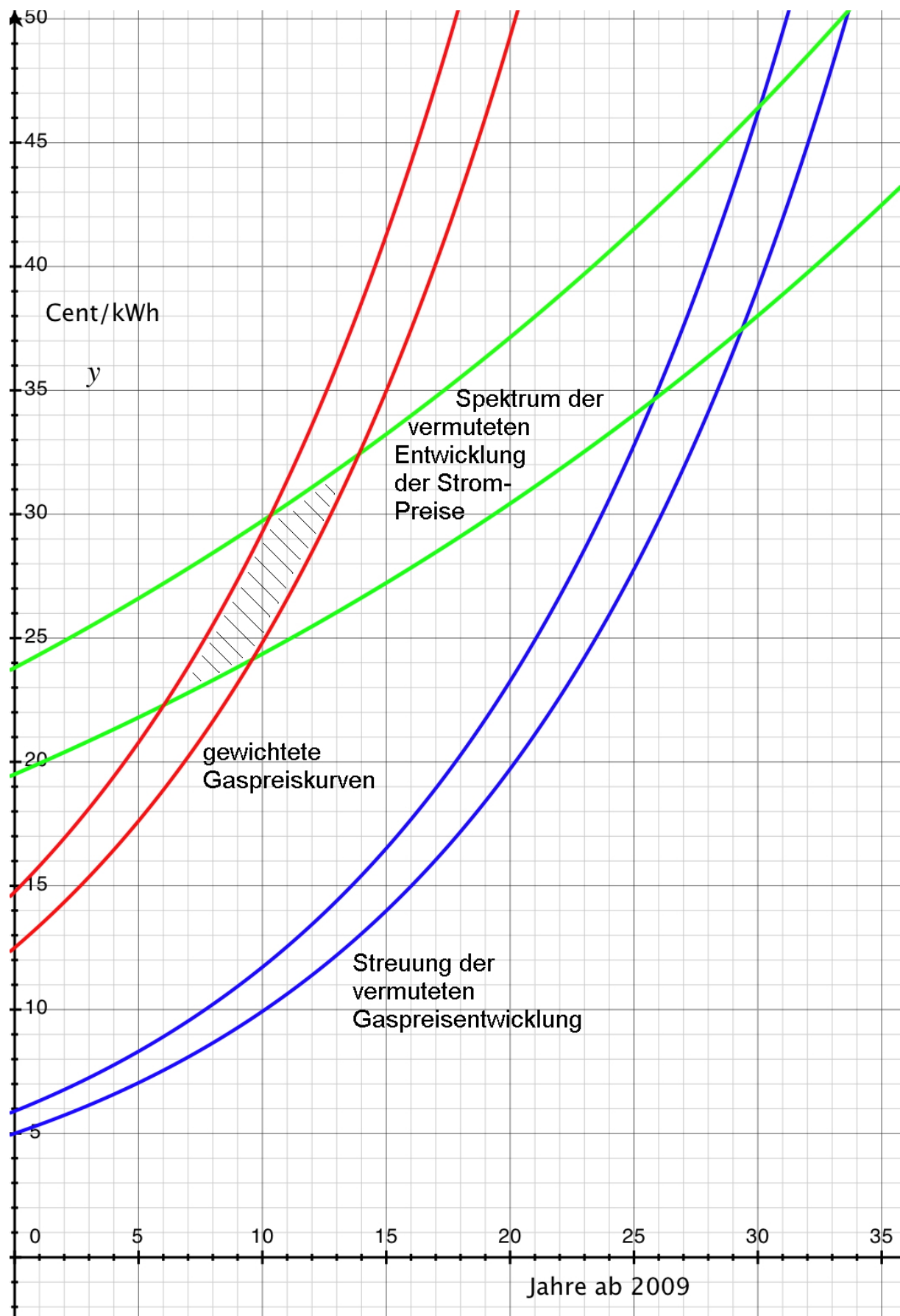


Bild 5.1: Vermutete Preisentwicklung Strom versus Gas

5.3 Interpretation hinsichtlich Nachhaltigkeit/Ökologie

CO₂-Emissionen

Der Durchschnittswert der CO₂-Emission beträgt 541 g/kWh in der Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2007 (Quelle: BDEW). Neuere Daten sind noch nicht veröffentlicht, deshalb wird dieser Wert zugrunde gelegt. Da der Anteil regenerativer Energien im Strom-Mix laufend zunimmt, ist der aktuelle Emissionswert eher niedriger.

Beim Vergleich der CO₂-Emissionen wurde bewusst der ganzjährige Strom-Mix zugrunde gelegt, obwohl der Anteil an Strom aus Kohlekraftwerken und damit der CO₂-Anteil im Winterhalbjahr größer ist als im Sommer. Gleiches gilt jedoch auch für den Stromanteil aus Windkraftwerken, deren Kapazität stetig ausgebaut wird. Es geht in erster Linie darum, einen groben Anhaltspunkt zu gewinnen. Um den momentan unterschiedlichen CO₂-Emissionen gerecht zu werden, müsste man konsequenterweise neben den zeitlichen auch die räumlichen Schwankungen berücksichtigen. So eine detaillierte Betrachtung würde aber von dem Trend ablenken, insgesamt so schnell wie möglich auf regenerative Energien umzusteigen. Eine Empfehlung für fossile Brennstoffe wegen kurzzeitig niedrigerer CO₂-Emission wäre kontraproduktiv zu diesem Trend, da die Nutzung für mindestens 20 Jahre festgelegt wird.

Als Vergleichsgröße für die Gasheizung wird der Standardwert für Gas-Brennwerttechnik von 249 g/kWh (IWU 2006) verwendet, obwohl im Meßobjekt eine emissionsstärkere Niedertemperatur-Gasheizung installiert ist. Es wird daher auch der rechnerisch korrigierte Verbrauchswert für eine Gas-Brennwerttechnik (BWG) im Meßobjekt für den Vergleich herangezogen.

Gewichtet man die Emissionen mit dem wohnflächenbezogenen Energieverbrauch, dann erhält man:

Wohnflächenbezogene **CO₂-Emission der Infrarotheizung (IR)**:

$$541 \text{ g/kWh} * 71,21 \text{ kWh/m}^2 = \mathbf{38,52 \text{ kg/m}^2}.$$

Wohnflächenbezogene **CO₂-Emission der BW-Gasheizung (BWG)**:

$$249 \text{ g/kWh} * 187,85 \text{ kWh/m}^2 = \mathbf{46,77 \text{ kg/m}^2}.$$

Die Werte sind in **Bild 5.2** veranschaulicht.

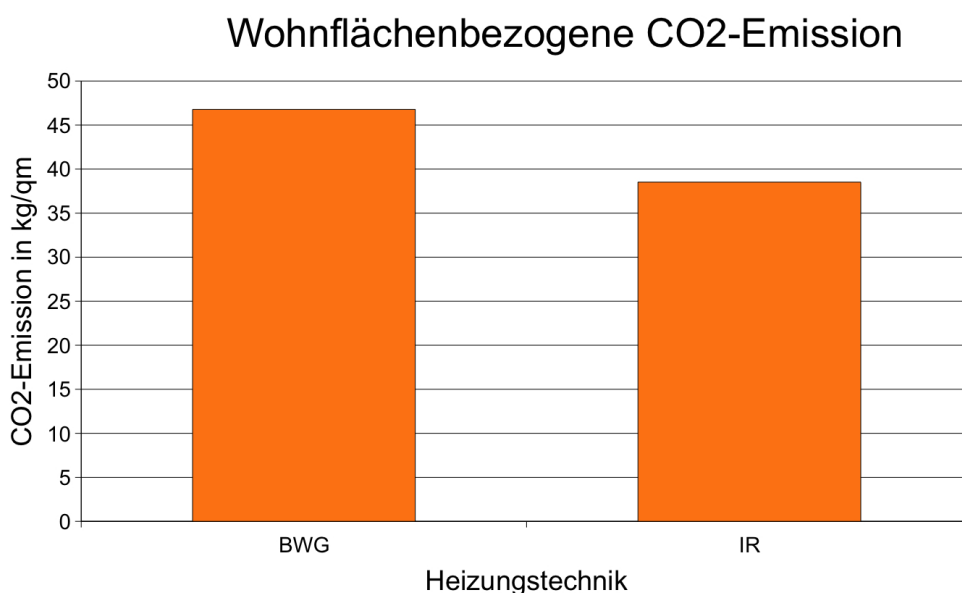


Bild 5.2: Vergleich der CO₂-Emissionen

Der Unterschied zwischen beiden Werten ist hinreichend groß, so dass die generelle Aussage möglich ist, dass die Infrarotheizung bezüglich CO₂-Emissionen besser abschneidet als die Gasheizung. Dies gilt erst recht bei Verwendung von 100% regenerativem Strom.

Diskussion zur Energiequalität

In der Diskussion um die Verwendung von elektrischer Energie zu Heizungszwecken wird häufig der Begriff der Exergie verwendet, der ein Maß für denjenigen Energieanteil der verwendeten Energieform ist, der maximal genutzt werden kann. Je höher die Exergie, desto höher die physikalische Qualität der Energieform. Elektrische Energie hat danach eine wesentlich höhere Qualität als Wärmeenergie. Wegen dieser Qualitätsdefinition wird oft die Meinung vertreten, dass elektrische Energie „zu schade“ zum Heizen ist.

Diese Wertung geht am Thema Nachhaltigkeit völlig vorbei. Wie in den einleitenden Informationen zum Thema Energieformen und Nachhaltigkeit ausführlich dargestellt, ist in erster Linie wesentlich, ob eine Energie regenerativen Quellen entspringt oder nicht. Das macht die ökologische Qualität einer Energieform aus. Gerade die potenzialreichsten regenerativen Energiequellen wie Sonne und Wind lassen sich besonders leicht zur Gewinnung elektrischer Energie einsetzen. Die Endenergie in Form von elektrischem Strom aus regenerativen Quellen muss deshalb höchste Priorität erhalten.

Eine mit 100% regenerativ erzeugtem elektrischem Strom betriebene Infrarotheizung ist eine der nachhaltigsten Heizungen überhaupt. Da die Kosten für 100% regenerativen Haushaltsstrom inzwischen mit konventionellen Angeboten gleichgezogen haben, gibt es hier auch keinen ökonomischen Hinderungsgrund mehr, diesen dem klassischen Strom-Mix vorzuziehen (siehe oben).

5.4 Interpretation hinsichtlich medizinischer und Wellness-Aspekte

Obwohl keine explizite medizinische oder Wellness-Untersuchung vorgenommen wurde, wurden ungefragt auffällig häufig subjektive Bewertungen durch Bewohner und Besucher in diese Richtung gemacht.

Typische Aussagen waren:

- kein Staubgeruch/Heizungsgeruch; diese Eigenschaft wurde besonders von Personen mit Asthma, die einen großen Anteil der Besucher ausmachten, positiv vermerkt;
- warme Füße (im Gegensatz zu vorher mit Konvektionsheizung);
- frische (kühle) Luft;
- mollige Wärme.

Im Meßobjekt waren keine akuten Probleme mit Schimmelbildung vorhanden. Trotzdem kann generell gesagt werden, dass die Austrocknung der Wände der Schimmelbildung und allen damit verbundenen gesundheitlichen Problemen entgegenwirkt.

5.5 Kritische Anmerkungen zu Inhalten auf Internetseiten und Werbeaussagen in Herstellerprospekten

Im Projektzeitraum fanden viele Gespräche mit Besuchern des Meßobjektes statt. Außerdem gab es viele Anfragen zum Projekt, sowohl von Fachleuten als auch interessierten Laien, die durch die Projekt-Homepage auf das Projekt aufmerksam wurden. In diesen Gesprächen und Anfragen gab es viele Fragen zu Internetseiten und Prospekten von Heizungsherstellern. Auf die häufigsten Fehler in den dortigen Werbeaussagen sei an dieser Stelle eingegangen:

- Perpetuum Mobile und traumhafte Strahlungs-Wirkungsgrade

Durch falsche Anwendung der strahlenphysikalischen Gleichungen wird vielfach behauptet, dass von Infrarotstrahlern mehr Strahlungsleistung abgegeben als in Form elektrischer Leistung zugeführt wird. Der Infrarotstrahler wäre dann ein Perpetuum Mobile, d.h. es wäre ein Verstoß gegen den Energieerhaltungssatz der Physik. Solche Aussagen sind unsinnig bis unseriös.

Ebenso unseriös sind extreme Angaben zu Strahlungs-Wirkungsgraden. Werte von über 90% sind von Dunkelstrahlern technisch bedingt nicht zu erreichen. Angaben von 98% bis 100% beziehen sich auf den Wirkungsgrad der Wandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie insgesamt, also IR-Strahlungs- und Konvektionsanteil gemeinsam, und nicht auf die IR-Strahlung alleine. Es wird jedoch der Eindruck erweckt, es sei der Strahlungs-Wirkungsgrad.

- Infrarotheizungen, die keine sind

Von einigen Anbietern werden klassische elektrische Heizungen wie Fußboden- Decken- oder Wandheizungen mit eingebauten Heizfolien sowie elektrisch betriebene Radiatoren als Infrarotheizungen vermarktet. Dabei handelt es sich jedoch um Konvektionsheizungen mit gegenüber herkömmlichen Konvektionsheizungen etwas erhöhtem Strahlungsanteil. Die oben im Forschungsprojekt erzielten Einsparungen wie mit echten Infrarotstrahlern lassen sich damit mit sehr großer Wahrscheinlichkeit nicht erzielen.

Ähnliches gilt für elektrisch betriebene, frei aufstellbare Flächenheizungen, deren Oberflächentemperaturen unter 60°C (typischerweise 30°C bis 50°C) liegen oder bei denen durch die Art des Aufbaus starke Konvektion entsteht (Kamineffekt). Auch bei ihnen überwiegt der Konvektionsanteil.

Auch diese Heizungen werden mit blumigen Worten als Infrarotheizungen angepriesen, obwohl sie gemäß obiger Definition keine sind.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Es konnte in der vorliegenden Untersuchung gezeigt werden, dass die Infrarotheizung eine sinnvolle Alternative zu herkömmlichen Heizsystemen darstellt.

Bisher wird sie in Normen (z.B. Strahlungswirkungsgrad bei elektrischen Flächenheizungen) und Verordnungen (z.B. EnEV) nicht oder nicht genügend berücksichtigt.

In der EnEV wird sie mit herkömmlichen Elektro-Direktheizungen gleichgesetzt, obwohl sie durch das Prinzip der Strahlungsheizung gegenüber den sonst üblichen Elektro-Direktheizungen auf der Basis von Konvektion deutliche Einsparungen erwarten lässt.

Bei den oben genannten firmeninternen Vergleichen werden zwischen elektrischen Fußbodenheizungen oder Nachtspeicherheizungen und Infrarotheizungen typischerweise ca. 50% Einsparungen genannt. Diese Aussagen werden durch das vorliegende Projekt indirekt bestätigt, da die firmeninternen Vergleiche zwischen Gas- und Infrarotheizungen im Großen und Ganzen direkt bestätigt wurden.

Gerade der Ersatz von Nachtspeicherheizungen und elektrischen Fußbodenheizungen wäre wegen der einfachen Umsetzung (wenige oder keine zusätzliche Elektro- Installation, nur Infrarotstrahlermontage) und besonders geringen Investitionskosten (typischerweise die Hälfte oder weniger einer entsprechenden Gas-Brennwertheizung) eine leicht durchführbare Maßnahme zur Effizienzsteigerung.

Weitere Qualitätskriterien, die für Infrarotheizungen sprechen, sind:

- geringe Investitionskosten,
- keine Nebenkosten (z.B. Schornsteinfeger)
- Wartungsfreiheit,
- 100% regenerativ betreibbar.

Obwohl keine vergleichenden Untersuchungen zu Fabrikaten gemacht wurden, lassen sich aus dem Projekt allgemeine Eigenschaften für Infrarotstrahler (Dunkelstrahler) im Wohnbereich aufstellen:

- Oberflächentemperaturen zwischen 60°C und 120°C,
- keine Speichermassen und
- möglichst einfache, flächige Aufbauten, um den Konvektionsanteil zu minimieren.

In weiteren Untersuchungen sollten die exemplarischen Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung auf eine breitere Datenbasis gestellt werden. Insbesondere sollten damit Auswahl- und Dimensionierungskriterien für Infrarotheizungssysteme sowohl bei der Sanierung im Bestand als auch im Neubaubereich ermittelt werden. Besonders interessant ist hierbei der Ersatz von Nachtspeicherheizungen.

Außerdem sind ergänzend dazu sinnvolle Alternativen für eine möglichst nachhaltige und effiziente Trinkwassererwärmung gegenüber herkömmlichen Verfahren zu entwickeln.

7 Literaturverzeichnis

Im folgenden werden nur grundlegende Lehrbücher als Hintergrundinformation aufgeführt. Wegen der besseren Zuordnung werden die im Bericht direkt verwendeten Literaturstellen in den betreffenden Kapiteln (in Klammern) aufgeführt.

Kübler, Thomas: Infrarot-Heizungstechnik für Großräume, Vulkan Verlag 2001

Herwig, Heinz: Wärmeübertragung A - Z: Systematische und ausführliche Erläuterungen wichtiger Größen und Konzepte, Springer, Berlin; 1. Auflage, 2000

Polifke, Wolfgang; Kopitz, Jan: Wärmeübertragung. Grundlagen, analytische und numerische Methoden, mit SoftwarePaket Scilab auf CD-ROM; Pearson Studium 2005

Herr, Horst: Wärmelehre. Technische Physik 3; Europa-Lehrmittel; 4. A., 2006

Konstantin, Panos: Praxisbuch Energiewirtschaft: Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt; Springer, Berlin; 2. Aufl. 2009

Petermann, Jürgen (Herausgeber): Sichere Energie im 21. Jahrhundert; Hoffmann und Campe, 2008

Anhänge

Anhang A: Tabellen

Tabelle 1: Tages-Meßwerte Stromverbrauch IR-Heizung nach Meßgruppen

Datum	Gruppe 1 [kWh]	Gruppe 2 [kWh]	Gruppe 3 [kWh]	Gruppe 4 [kWh]
16.11.08	3,257	2,953	26,739	14,517
17.11.08	3,315	3,153	24,995	13,064
18.11.08	5,724	2,953	27,581	17,812
19.11.08	3,824	3,623	28,052	14,595
20.11.08	2,687	2,937	29,465	15,728
21.11.08	2,233	2,834	28,239	16,828
22.11.08	3,369	3,194	24,664	18,079
23.11.08	3,543	3,375	25,364	17,131
24.11.08	2,957	3,520	24,997	17,697
25.11.08	3,842	3,261	26,415	14,635
26.11.08	3,750	3,465	26,348	14,369
27.11.08	3,885	3,544	26,546	13,572
28.11.08	3,975	3,648	26,901	14,598
29.11.08	4,199	3,757	26,448	13,738
30.11.08	3,967	5,202	25,856	8,896
01.12.08	4,636	2,990	26,293	14,686
02.12.08	3,949	3,502	25,245	16,293
03.12.08	3,719	3,465	28,555	14,503
04.12.08	3,907	3,204	23,987	11,793
05.12.08	3,354	3,120	25,323	10,242
06.12.08	2,664	3,199	18,922	12,618
07.12.08	2,775	2,996	22,896	12,983
08.12.08	3,419	3,238	25,765	14,439
09.12.08	3,976	3,476	26,298	14,675
10.12.08	3,968	3,681	25,748	14,480
11.12.08	4,103	3,558	26,260	14,363
12.12.08	4,336	3,479	26,707	14,752
13.12.08	4,609	3,723	27,223	15,136
14.12.08	5,218	4,193	28,501	14,713
15.12.08	5,015	3,759	26,927	15,165
16.12.08	3,941	3,791	26,914	15,092
17.12.08	4,740	3,709	27,309	14,795
18.12.08	4,463	3,761	26,870	14,788
19.12.08	4,031	3,630	26,618	14,694
20.12.08	3,855	3,615	25,165	13,680
21.12.08	2,291	3,251	23,854	10,399
22.12.08	2,340	2,707	23,950	8,533
23.12.08	2,110	2,628	24,445	9,465

24.12.08	2,611	3,134	25,748	13,507
25.12.08	3,716	3,238	25,415	14,370
26.12.08	3,886	3,260	26,679	14,820
27.12.08	5,044	4,560	27,586	15,593
28.12.08	4,760	4,351	27,773	16,391
29.12.08	5,722	4,748	28,633	16,421
30.12.08	5,643	4,837	28,976	17,438
31.12.08	5,892	3,835	27,954	19,099
01.01.09	5,173	2,612	26,402	18,545
02.01.09	5,724	2,852	27,263	17,806
03.01.09	5,071	3,769	31,755	21,423
04.01.09	6,304	4,233	30,499	22,104
05.01.09	5,882	4,016	29,528	19,537
06.01.09	5,936	4,036	30,918	22,210
07.01.09	7,344	3,770	30,765	24,626
08.01.09	7,023	3,933	31,659	30,812
09.01.09	7,655	3,643	33,737	32,188
10.01.09	7,362	3,268	33,983	29,199
11.01.09	8,136	3,359	32,511	32,990
12.01.09	7,562	3,453	32,379	33,142
13.01.09	6,148	3,519	32,154	31,586
14.01.09	5,450	3,689	28,003	26,967
15.01.09	5,571	3,749	28,112	32,583
16.01.09	5,744	2,933	27,107	18,532
17.01.09	5,622	4,112	28,329	17,541
18.01.09	3,299	3,240	24,440	16,852
19.01.09	3,645	4,419	23,062	20,770
20.01.09	3,310	4,070	24,458	20,234
21.01.09	3,973	3,911	18,963	17,031
22.01.09	4,432	3,952	27,609	23,820
23.01.09	3,813	3,871	23,546	14,870
24.01.09	3,567	4,413	23,461	9,166
25.01.09	1,823	5,856	24,489	13,040
26.01.09	4,529	3,765	28,138	2,297
27.01.09	5,185	3,818	30,266	14,056
28.01.09	5,014	3,667	28,195	11,254
29.01.09	4,645	3,589	28,635	12,546
30.01.09	5,084	3,570	29,308	13,144
31.01.09	5,553	3,966	31,194	19,531
01.02.09	4,930	4,721	28,633	27,281
02.02.09	4,607	4,404	28,691	26,619
03.02.09	1,224	6,303	26,122	18,594
04.02.09	4,791	4,255	21,824	25,427

05.02.09	3,430	3,448	21,013	19,808
06.02.09	3,782	4,522	29,739	21,493
07.02.09	3,396	3,472	21,479	20,036
08.02.09	3,848	4,458	29,194	21,354
09.02.09	4,229	3,699	28,536	23,153
10.02.09	4,278	3,577	26,842	19,947
11.02.09	4,009	3,947	24,553	16,496
12.02.09	3,907	4,251	29,557	22,971
13.02.09	4,722	3,996	27,953	24,881
14.02.09	4,391	3,350	25,838	19,825
15.02.09	4,889	4,982	27,507	26,652
16.02.09	4,781	4,084	28,306	24,415
17.02.09	4,168	4,286	27,003	22,272
18.02.09	4,393	3,702	27,832	22,926
19.02.09	5,065	4,584	29,100	24,810
20.02.09	4,766	3,951	28,746	23,244
21.02.09	3,782	4,584	29,031	21,172
22.02.09	3,871	4,496	24,213	15,884
23.02.09	3,591	3,715	27,230	20,091
24.02.09	3,356	4,281	25,220	19,151
25.02.09	3,716	4,087	25,905	18,361
26.02.09	3,738	3,962	24,267	19,888
27.02.09	3,540	3,998	19,185	19,160
28.02.09	2,894	3,995	17,952	16,868
01.03.09	3,090	4,096	17,229	16,700
02.03.09	2,050	3,907	16,260	15,014
03.03.09	2,358	4,185	17,847	17,972
04.03.09	2,957	4,263	18,720	16,841
05.03.09	2,867	4,062	19,257	18,774
06.03.09	3,258	3,831	18,943	21,765
07.03.09	3,570	4,930	17,441	17,737
08.03.09	3,279	3,974	18,832	19,031
09.03.09	2,951	3,815	18,573	18,240
10.03.09	3,435	4,154	17,554	19,585
11.03.09	2,991	3,325	19,751	17,929
12.03.09	3,456	3,855	18,147	20,075
13.03.09	2,984	3,895	17,417	16,260
14.03.09	2,166	3,924	17,529	13,583
15.03.09	1,842	3,576	13,657	15,652
16.03.09	1,943	3,602	14,878	15,071
17.03.09	2,238	3,700	15,465	13,715
18.03.09	2,178	5,250	16,167	13,959
19.03.09	2,880	4,819	19,433	14,531

20.03.09	2,314	4,991	21,673	15,157
21.03.09	3,574	5,387	25,056	14,318
22.03.09	3,920	5,482	20,987	21,867
23.03.09	2,814	4,418	19,357	18,095
24.03.09	3,166	3,606	20,257	19,235
25.03.09	3,539	4,714	21,300	22,963
26.03.09	3,823	4,104	18,433	21,561
27.03.09	3,481	3,862	21,665	18,040
28.03.09	2,709	4,405	19,428	16,872
29.03.09	2,571	3,750	13,665	17,649
30.03.09	2,103	4,942	14,862	14,692
31.03.09	0,846	1,601	8,069	8,177
01.04.09	0,649	1,935	5,934	7,328
02.04.09	0,491	1,284	3,871	5,274
03.04.09	0,538	1,474	4,277	0,117
04.04.09	0,416	1,327	3,475	0,225
05.04.09	0,387	1,225	2,884	0,093
06.04.09	0,279	1,359	2,993	0,051
07.04.09	0,361	1,184	3,714	0,025
08.04.09	0,355	1,411	3,922	0,018
09.04.09	0,478	1,672	3,543	0,015
10.04.09	0,642	1,992	3,454	0,016
11.04.09	0,222	1,482	3,369	0,012
12.04.09	0,797	1,773	3,233	0,018
13.04.09	0,827	1,338	2,980	0,015
14.04.09	0,616	1,944	3,009	0,018
15.04.09	0,472	1,829	2,352	0,018
16.04.09	0,416	1,369	7,621	6,589
17.04.09	1,000	2,073	15,782	11,536
18.04.09	1,449	3,116	16,361	12,410
19.04.09	0,552	1,982	13,189	4,954
20.04.09	0,248	1,657	8,172	2,887
21.04.09	0,024	1,135	9,271	2,478
22.04.09	0,030	1,086	8,201	4,318
23.04.09	1,123	2,564	10,630	8,778
24.04.09	1,803	2,706	12,957	7,309
25.04.09	1,507	2,158	15,070	7,377
26.04.09	0,530	1,066	10,792	5,457
27.04.09	0,220	1,125	6,825	6,334
28.04.09	1,135	1,972	12,020	9,188
29.04.09	1,537	2,501	11,367	9,939
30.04.09	0,864	2,313	14,122	10,055

Tabelle 2: Wochen-Meßwerte Stromverbrauch IR-Heizung nach Meßgruppen

Kalender- Wochen 2008/09	Wochenwerte Gruppe 1 [kWh]	Wochenwerte Gruppe 2 [kWh]	Wochenwerte Gruppe 3 [kWh]	Wochenwerte Gruppe 4 [kWh]
47	27,95	25,02	215,1	127,75
48	26,58	26,4	183,51	97,51
49	25	22,48	171,22	93,12
50	29,63	25,35	186,5	102,56
51	28,34	25,52	183,66	98,61
52	24,47	23,88	181,6	92,68
1	39,53	23,88	201,48	132,84
2	49,34	26,03	223,1	191,56
3	39,4	24,7	200,52	177,2
4	24,56	30,49	165,59	118,93
5	34,94	27,1	204,37	100,11
6	25,08	30,86	178,06	153,33
7	30,43	27,8	190,79	153,93
8	30,83	29,69	194,23	154,72
9	23,93	28,13	156,99	130,22
10	20,34	29,15	127,3	127,13
11	19,83	29,15	122,63	121,32
12	19,05	33,23	133,66	108,62
13	22,1	28,86	134,11	134,42
14	5,43	13,79	43,37	35,91
15	3,13	10,87	24,23	0,16
16	5,33	13,65	61,29	35,54
17	5,27	12,37	75,09	38,6

Tabelle 3: Wochen-Meßwerte Stromverbrauch Gas-Heizung

Datum	Zählerstände Gas	Kalender- Wochen 2008/09	Wochenverbrauch Gas Kubikmeter	Wochenverbrauch Gas kWh
16.11.08	61766			
23.11.08	61901	47	135	1408,05
30.11.08	62075	48	174	1814,82
07.12.08	62233	49	158	1647,94
14.12.08	62404	50	171	1783,53
21.12.08	62568	51	164	1710,52
28.12.08	62720	52	152	1585,36
04.01.09	62925	1	205	2138,15
11.01.09	63153	2	228	2378,04
18.01.09	63357	3	204	2127,72
25.01.09	63525	4	168	1752,24
01.02.09	63713	5	188	1960,84
08.02.09	63882	6	169	1762,67
15.02.09	64052	7	170	1773,1
22.02.09	64220	8	168	1752,24
01.03.09	64359	9	139	1449,77
08.03.09	64489	10	130	1355,9
15.03.09	64611	11	122	1272,46
22.03.09	64734	12	123	1282,89
29.03.09	64826	13	92	959,56
05.04.09	64929	14	103	1074,29
12.04.09	64959	15	30	312,9
19.04.09	65017	16	58	604,94
26.04.09	65064	17	47	490,21
30.04.09	65097		33	344,19

Anhang B: Bilder



Bild B1: Schlafzimmer



Bild B2: Wohnzimmer



Bild B3: Bad



Bild B4: Küche



Bild B5: Wohndiele

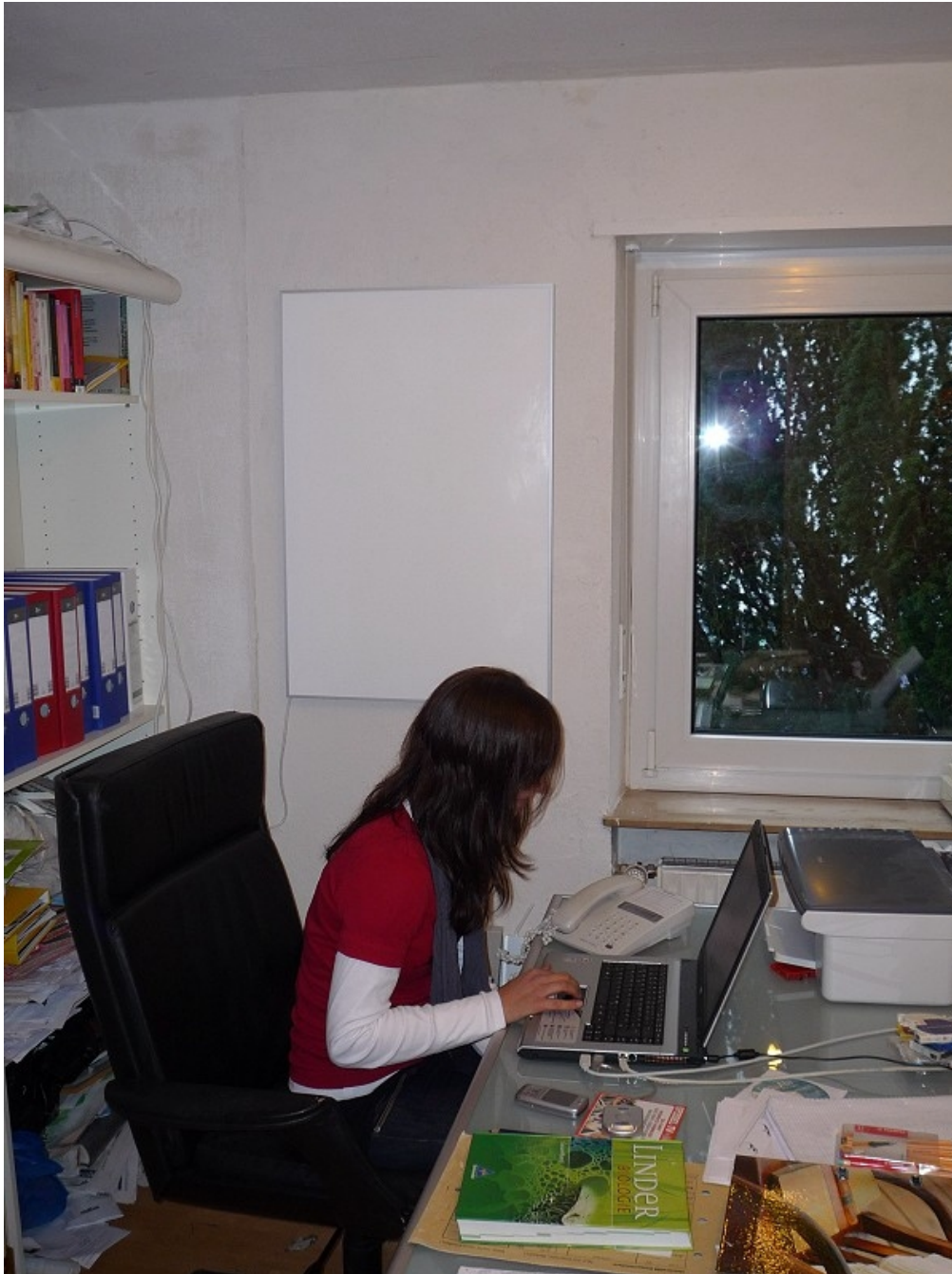


Bild B6: Arbeitszimmer