

**Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel
Institut für Heizungs- und Klimatechnik
Salzdahlumer Straße 46/48
38302 Wolfenbüttel**

Wolfenbüttel, 2005

Bericht

Analyse des Energieverbrauches von Mehrfamilienhäusern am Kronsberg in Hannover anhand monatlicher Messdaten

Institut für Heizungs- und Klimatechnik

**Prof. Dr.-Ing. D. Wolff
Dipl.-Ing. (FH) Christian Halper
Dipl.-Ing. (FH) Kati Jagnow
Dipl.-Ing. (FH) Peter Teuber**

1. Inhalt

1.	Inhalt.....	2
2.	Vorwort und Einleitung.....	3
3.	Problemstellung und Ziele.....	4
4.	Definitionen und Grundlagen.....	6
4.1.	Erläuterungen wichtiger Energiekennwerte.....	6
4.2.	Berechnungsansätze.....	9
4.3.	Grundlagen der Bereinigung.....	9
4.4.	Kronsbergberechnungsverfahren und Kronsbergstandard.....	12
4.5.	EnEV-Bilanz.....	12
5.	Ausgangsdaten.....	14
5.1.	Objektbeschreibung.....	14
5.2.	Messdaten.....	16
5.3.	Wetterdaten.....	18
5.4.	Umrechnung des Kronsberg-Standards.....	20
6.	Heizgrenztemperatur für die Gebäude.....	21
7.	Bedarf nach EnEV 2002 und DIN V 4701-10.....	23
8.	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse.....	24
8.1.	Vergleich Verbrauch und Bedarf nach Kronsbergstandard.....	24
8.2.	Anteile der Endenergien für Heizung und Trinkwarmwasser.....	25
8.3.	Geregelte und ungeregelte Wärmeabgabe.....	26
8.4.	Anteile der Nutz- und Verlustenergien Trinkwarmwasser.....	27
8.5.	Vergleich Verbrauch und Bedarf nach EnEV.....	27
9.	Fazit.....	28
10.	Anhang.....	29
10.1.	Quellen.....	29
10.2.	Formelzeichen und Indices.....	30
10.3.	Veröffentlichung SBZ: Energieanalyse aus dem Verbrauch.....	31
10.4.	Veröffentlichung BBR, Kurzbericht.....	45

2. Vorwort und Einleitung

Für die Bereitstellung zusätzlicher Mittel und Daten im Rahmen der hier beschriebenen weitergehenden Untersuchungen zum Heizenergieverbrauch der Niedrigenergie-Mehrfamilienhäuser am Kronsberg in Hannover möchten wir uns bei den Stadtwerken Hannover – enercity recht herzlich bedanken.

Grundlage der zusätzlichen Untersuchung waren die für die Stadt Hannover und für die DBU/KUKA erstellten Studien:

- Heiztechnisches Konzept,
- Energetische Optimierung Nahwärmeversorgung Kronsberg (nicht von der Stadt Hannover zur Veröffentlichung freigegeben)
- Zwischenbericht für die KUKA 2001

Die verzögerte Veröffentlichung dieses Berichtes ist durch die noch nicht zu Ende geführte Diskussion über die Verursacher von Mehrverbräuchen gegenüber rechnerischen Bedarfsstandards (Kronsberg-Standard, EnEV-Standard) und durch die Diskussionen zum verbrauchsorientierten Energiepass und zur Heizkostenabrechnung im Niedrigenergiehaus begründet.

Verursacher eines gegenüber theoretischen Bedarfsrechnungen erhöhten Heizenergieverbrauchs sind:

- Bereitstellung eines anlagentechnischen Verschwendungspotentials (z.B. zu große Heizflächen) bzw. eines nicht vermeidbaren Zwangswärmeconsums (z.B. wenig oder gar nicht gedämmte im Estrich verlegte Rohrleitungen)
- Qualitätsmängel in der Planung und Ausführung der Heizungs- und Lüftungsanlagentechnik – Nicht durchgeführter Hydraulischer Abgleich)
- Mangelnde Transparenz der Heizkostenverteilung und Kostenzuordnung
- Einflüsse des Verbraucherverhaltens

Es sollte diskutiert werden, für zukünftige Neubauten und für umfassend modernisierte Bestandgebäude vom Versorgungsunternehmen zukünftig ein "ehrliches Performance Contracting" bis hin zur flächenmäßigen Abrechnung der Heizkosten anzubieten.

Durch sorgfältige und qualitätsgesicherte Planung und Ausführung sollten Verschwendungspotentiale und Zwangswärmeconsum so weit vermieden werden, dass sich – wie in einem Passivhaus – die Heizkostenerfassung langfristig erübrigt; da diese höhere Kosten erfordert, als der durch Nutzer noch beeinflussbare Verbrauchsunterschied [geschätzt ca. 10...20 kWh/(m²a) bzw. 0,50...1,00 €/m²a].

Die Ergebnisse werden wesentlich zur Ausgestaltung einer zukünftigen verbrauchsorientierten Analyse für die Erstellung von Energiepässen für die europäische Richtlinie "Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden" beitragen.

3. Problemstellung und Ziele

Ausgangspunkt für die Aufgabenstellungen der nachfolgend beschriebenen Untersuchungen waren die Aktivitäten der FH Braunschweig/Wolfenbüttel am Kronsberg, die nachfolgend zusammengefasst sind:

Seminarreihe P2

In Kooperation mit der Handwerkskammer Hannover und dem Büro für Bauphysik wurde eine Seminarreihe mit 11 Seminaren zum Thema Energieeinsparverordnung und mit geltende Normen mit der Zielgruppe Architekten und haustechnische Fachplaner durchgeführt.

Untersuchung einer Wärmeübergabestation

In einem weiteren Projekt wurde ein neuartiges System zur Wärmeübergabe, das von der Firma Meibes vertrieben wird, ausführlich untersucht.

Energetische Analyse und Verbrauchsauswertung von Wohneinheiten

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Heizungs- und Klimatechnik der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel konnten zahlreiche Untersuchungen zur Planung und Ausführung der Anlagentechnik der Raumheizung, Lüftung und Trinkwarmwasserbereitung im Geschosswohnungsbau durchgeführt werden.

Im Rahmen von zusätzlichen Diplom- und Studienarbeiten wurden mehrere hundert Wohneinheiten untersucht, wobei die Gebäude- und Anlagentechnik mit verschiedenen Energiebilanzverfahren analysiert und nach Ablauf der zweiten Heizperiode den tatsächlichen Energieverbrauchswerten gegenübergestellt werden konnte. Die Ergebnisse dieser Untersuchung wurden in der Edition 7 der KUKA zusammengefasst. Beteiligte Wohnbauunternehmen:

- Kurth- Bau
- Nileg
- HKF
- Spar- und Bauverein
- Munte Bau

Kurzfristige Maßnahmen "Hydraulischer Abgleich" (Weber)

Für ein Bauvorhaben mit 35 Reihenhäusern wurden die Auslegungsberechnungen für die Heizung und Warmwasserbereitung überprüft und teilweise neu durchgeführt, da es in der ersten Heizperiode zu Funktionsmängeln gekommen war. Eine hydraulische Einregulierung der Anlage durch die Heizungsfachfirma wurde durch das Trainings- & Weiterbildungszentrum Wolfenbüttel e.V. TWW unterstützend begleitet. Besonders positiv ist hierbei zu erwähnen, dass es in Zusammenarbeit und mit tatkräftiger Unterstützung der Kuka gelungen ist, sehr förderliche Gespräche mit Eigentümern, Bauträgern, Fachplanern, Energieversorgern und Fachhandwerkern zu führen. Durch die direkte Kommunikation konnten die bestehenden Probleme schnell erfasst und mit einer klaren Aufgabenverteilung bearbeitet werden. An diesem Beispiel erkennt man, dass viele Probleme und Streitfälle erst gar nicht entstehen würden, wenn von Anfang an ein integraler Planungsprozess stünde.

Vertrauensbildende Maßnahmen und Fehleranalyse der Anlagentechnik

Bedingt durch die für alle Beteiligten neue Technologie im Niedrigenergiehaus kam es bei mehreren Bauvorhaben am Kronsberg zu Konflikten zwischen Bauträgern, Nutzern, Fachplanern und Fachhandwerkern. Diese Schwierigkeiten waren auf unterschiedliche Ursachen zurückzuführen:

- Hohe Heizkosten
- Funktionsmängel in der Heizungs- und Lüftungstechnik
- Unzureichende Aufklärung der Nutzer

Zur Klärung und Lösung der Probleme wurden von der Kuka Gesprächsrunden einberufen bei denen das TWW Lösungsansätze und Hilfestellungen im Bereich der Heizungs- und Lüftungstechnik geben konnte. Durch das Auftreten der KUKA und des TWW als neutrale Vermittler konnte teilweise das Vertrauensverhältnis zwischen den am Bau beteiligten und den Nutzen wieder hergestellt werden. Eine unbürokratische Problemlösung wurde so ohne den Einsatz von Rechtsmitteln möglich gemacht.

Fachgespräche mit Komponentenherstellern

Es konnten Gespräche mit Komponentenherstellern (Thermostatventile, Heizkörper, Heizkostenerfassung, Heizungsregelung) zur Definition von Standardlösungen für Niedrigenergiehäuser geführt werden, die wahrscheinlich auch zur Modifikation des Produktprogramms verschiedener Hersteller führen werden. Planungshilfen, z.B. zur Heizkörper- und Thermostatventilauswahl, wurden erarbeitet.

Runder Tisch Heizkosten

Während der Planungs- und Bauphase des Kronsbergs fanden Gespräche zur gerechte Heizkostenerfassung und Preisgestaltung statt.

Edition 8 KUKA

Die besonderen Anforderungen und Randbedingungen im Niedrigenergiehaus erfordern eine Anpassung der zur Zeit am Markt erhältlichen Planungssoftware. Um dieses zeitnah verwirklichen zu können wurde vom TWW ein Planungseleitfaden zur Softwareerstellung im Niedrigenergiehaus erstellt.

Arbeiten zur Energieeinsparverordnung

Die untersuchten Gebäude werden anhand der Planungsdaten in Anlehnung an den Hessischen Energiepass, die EnEV 2000 und die DIN 4701 T10 bilanziert. Die Ergebnisse dieser Bilanzierung werden dem Kronsberg-Standard gegenübergestellt. Diese Untersuchungen ergaben wichtige Erkenntnisse für die Normungsarbeit zur DIN 4701 T 10.

Projekt Wärmemengenzähler

Um eine genauere Differenzierung der Verbrauchswerte zu ermöglichen, wird in einem Projekt, welches über die nächste Heizperioden hinaus laufen wird, über den Einbau zusätzlicher Wärmemengenzähler in den Warmwasserkreis die Energiemenge für die Warmwasserbereitung erfasst und analysiert. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen in Form von Fachveröffentlichungen publiziert werden.

Letzteres Projekt ist Gegenstand dieses Berichtes.

4. Definitionen und Grundlagen

4.1. Erläuterungen wichtiger Energiekennwerte

Bezugsfläche

Die Bezugsfläche wird zur Bildung von spezifischen (flächenbezogenen) Energiekennwerten verwendet. Je nach Bilanzverfahren werden verschiedene Flächen als Bezugsfläche herangezogen. Zwei von ihnen haben sich in den gängigen Bilanzverfahren durchgesetzt: die Energiebezugsfläche und die Nutzfläche.

Die Energiebezugsfläche A_{EB} ist die Summe aller Wohn- bzw. Nutzflächen eines Gebäudes, für deren Nutzung eine Beheizung notwendig ist. Definiert sind die Wohnfläche im BGBI. II "Verordnung über wohnungswirtschaftliche Berechnungen" von 1990 und die beheizte Nutzfläche in der DIN 277 Teil 2 "Grundflächen und Rauminhalte im Hochbau; Gliederung der Nutzflächen, Funktionsflächen und Verkehrsflächen" von 1987. Die Energiebezugsfläche A_{EB} wird auch vom Kronsberg-Berechnungsverfahren verwendet.

Die Nutzfläche A_N wird aus dem äußeren Gebäudevolumen V_e berechnet. Maßgeblich ist dazu das Gebäudevolumen, das die beheizte Zone umschließt, also üblicherweise der gedämmte Bereich des Gebäudes. Diese Fläche wird von der EnEV und deren Berechnungsvorschriften verwendet.

Heizperiode und Heizgrenze

Die Heizperiode (meist t_{HP}) und die Heizgrenztemperatur (meist ϑ_{HG}) sind zwei der Energieeinzelnennwerte, die von sehr vielen Randbedingungen beeinflusst werden. Beide hängen sowohl von der wärmetechnischen Qualität der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, als auch von der Anlagentechnik und der Nutzung ab. Gleichzeitig bestimmen sie die Energiebilanz entscheidend mit, denn sehr viele andere Energiekennwerte basieren auf diesen beiden Größen.

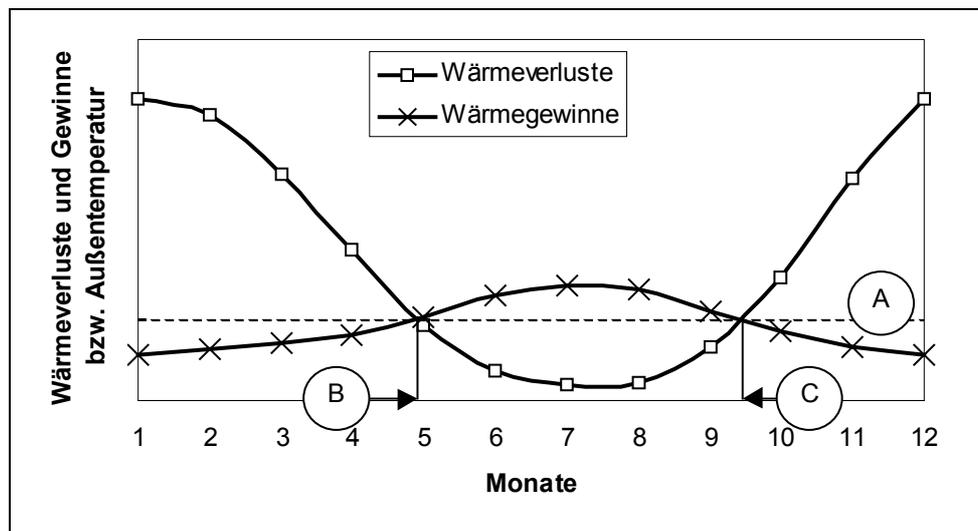


Abbildung 1: Heizgrenztemperatur und Heizperiode

Die theoretische Heizgrenztemperatur beschreibt die Außentemperatur, ab der ein Gebäude nicht mehr durch die Heizungsanlage versorgt werden muss. Sie hängt von den Wärmeverlusten und den Wärmegewinnen des Gebäudes ab.

Die Heizgrenztemperatur (siehe Abbildung 1, gestrichelte Linie) ist dann erreicht, wenn die Wärmegewinne gerade die Wärmeverluste decken. Fallen mehr Gewinne als Verluste an, muss nicht mehr geheizt werden.

Die theoretische Heizperiode entspricht der Anzahl der Tage im Jahr, die ein Gebäude durch die Heizungsanlage versorgt wird. Sie beginnt, wenn die Wärmegewinne die Wärmeverluste nicht mehr decken im Herbst (siehe Abbildung 1, Punkt (C)). Die Heizperiode endet, im Frühjahr, wenn die Außentemperatur höher ist als die Heizgrenztemperatur. In Abbildung 1 ist dies bei Punkt (B) erreicht. Dies ist eine vereinfachte Betrachtung. Selbstverständlich treten auch in der Übergangszeit und im Sommer abwechselnde Perioden mit bzw. ohne Heizwärmebedarf auf.

Die reale Heizperiode eines Gebäudes kann länger sein und hängt von der Regelung der Anlagentechnik ab. Die Heizperiode kann durch entsprechend schlecht geregelte Anlagentechnik künstlich verlängert werden, wenn die Anlage z.B. aufgrund von Reglereinstellungen noch bis in den Sommer hinein Wärme vorhält, obwohl die theoretische Heizgrenze bereits längst überschritten ist.

Heizgrenztemperatur und Heizperiode hängen voneinander ab. Beide werden wesentlich vom Klima bestimmt.

Gradtagszahl und Heizgradtage

Gradtagszahlen (meist G_t oder F_{Gt}) und Heizgradtage (G) sind zwei Energieeinkennwerte, die sich vollständig aus anderen Größen ableiten lassen. Die Gradtagszahl ist die Differenz zwischen Raumtemperatur und mittlerer Außentemperatur ϑ_{am} für alle Heiztage einer Heizperiode t_{HP} . Die Heizgradtage sind die Differenz zwischen Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} und mittlerer Außentemperatur ϑ_{am} für alle Heiztage einer Heizperiode t_{HP} . Sowohl Gradtagszahlen als auch Heizgradtage lassen sich auch monatlich angeben. Das maßgebliche Zeitintervall ist dann nicht die Heizzeit, sondern sind die Tage (oder Heiztage) pro Monat.

Innere Fremdwärme

Alle Objekte innerhalb des beheizten Bereiches des Gebäudes mit einer Temperatur über der Raumtemperatur geben Wärme ab. Innere Fremdwärme (meist Q_i bzw. $Q_{i'}$) ist auf die Wärmeabgabe von Personen, elektrischen Geräten und beheizten Komponenten der Anlagentechnik zurückzuführen.

Die im Verlaufe einer Heizperiode anfallende innere Fremdwärme wird in der üblichen Energiebilanz analog zur solaren Fremdwärme behandelt. Sie zählt zunächst einmal als Fremdwärmeeinfall, weil sie unregelmäßig auch dann auftritt, wenn keine Heizwärme benötigt wird. Den Teil des Fremdwärmeeinfalles, der tatsächlich zu Heizzwecken benutzt wird, nennt man den nutzbaren inneren Fremdwärmegewinn.

Verschiedene Bilanzverfahren berechnen die innere Fremdwärme (und auch den davon nutzbaren Anteil) unterschiedlich. Es gibt Bilanzverfahren, in denen alle inneren Wärmequellen wie oben beschrieben berücksichtigt werden. Andere Verfahren bilanzieren nur einen Teil der inneren Wärmequellen - die Personen und Geräte. Die Fremdwärme aus der Anlagentechnik wird anhand anderer Energiekennwerte berücksichtigt. Teilweise werden Wärmegewinne aus Anlagentechnik gar nicht betrachtet, teilweise werden sie als sogenannten Wärmegutschriften berücksichtigt.

Fremdwärmeanfall und unregelmäßige Wärmeabgabe

Der Fremdwärmeanfall wird durch zwei andere Kennwerte bestimmt: die Fremdwärme aus passiver solarer Einstrahlung und die innere Fremdwärme. Der Fremdwärmeanfall ist der Energiebetrag, der innerhalb des beheizten Bereiches eines Gebäudes aus anderen Energiequellen als den Heizflächen (bei Luftheizung den Luftauslässen) emittiert wird. Alle diese Fremdwärmequellen geben ihre Wärme unregelmäßig ab, also auch dann, wenn keine Heizwärme benötigt wird. Deshalb wird der Fremdwärmeanfall auch unregelmäßige Wärmeabgabe genannt.

Die gängigen Energiebilanzen berücksichtigen, dass die angefallene Fremdwärme nur teilweise genutzt werden kann. Der nicht nutzbare Teil führt in der Praxis zu erhöhten Raumtemperaturen und/oder erhöhten Luftwechseln. Aus diesem Ansatz heraus kann ein realer Luftwechsel definiert werden. Neben den im Normalfall schon enthaltenen Teil-Luftwechseln aus Anlagentechnik und Gebäudeundichtheiten sowie dem natürlichen Lüftungsverhalten der Nutzer umfasst dieser noch zusätzlich das Ablüften der nicht nutzbaren Wärmeüberschüsse. Den Autoren ist keine Energiebilanz bekannt, die diesen Kennwert verwendet, obwohl er die Realität abbildet.

Ausnutzungsgrad der Fremdwärme

In der üblichen Energiebilanz wird ein Ausnutzungsgrad der Fremdwärme oder Fremdwärmenutzungsgrad (meist η_F , auch η_e oder η) verwendet. Er ist ein dimensionsloser Umrechnungsfaktor zwischen dem Fremdwärmeanfall und den davon nutzbaren solaren und inneren Wärmegewinnen und hängt von diversen Einflussgrößen der Nutzung, Anlagentechnik und des Gebäudes ab.

Der Ausnutzungsgrad der Fremdwärme η wird je nach Art des Bilanzverfahrens unterschiedlich ermittelt. Teilweise sind Festwerte definiert oder es werden empirische Formeln zur Berechnung herangezogen. Grundlage für eine Berechnung sind üblicherweise die Höhe des Fremdwärmeanfalles und der Wärmeverluste durch Transmission und Lüftung. Andere Verfahren berücksichtigen zusätzlich die Speicherfähigkeit des Gebäudes und die Art der Regelung der Temperatur im Raum u.ä.

Sonstige Kennwerte und Berechnungsverfahren

Weitere Kennwerte und Berechnungsverfahren sind im Abschlussbericht "Felduntersuchungen zur Begrenzung des natürlichen und erzwungenen Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauchs durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen" ausführlich beschrieben. Dieser Bericht ist unter folgender Internetadresse verfügbar: <http://enev.tww.de/servlet/PB/menu/1022159/index.html> (<http://enev.tww.de> Rubrik "Abgeschlossene Projekte").

4.2. Berechnungsansätze

Der Bericht verfolgt zwei Strategien, für die jeweils unterschiedliche Bilanzverfahren verwendet werden.

1. Vergleich der am Kronsberg gemessenen Verbrauchswerte mit den Bedarfswerten, die sich nach dem Kronsbergberechnungsverfahren (siehe Kapitel 4.4) ergeben müssten. Dazu werden folgende Wertepaare miteinander verglichen:
 - a) Der im Zeitraum real gemessene Verbrauch für Heizung und Trinkwarmwasser (keine Bereinigung erforderlich) mit dem Bedarf für Heizung, Trinkwarmwasserbereitung und technische Wärmeverluste nach Kronsbergstandard. Der Heizwärmebedarf nach Kronsbergstandard wird mit Hilfe einer Witterungskorrektur der Heizungs- und Lüftungsverluste an das reale Wetter angepasst (Gradtagszahlkorrektur, siehe Kapitel 4.3). Der Nutzen für Trinkwarmwasser und technische Verluste wird pauschal dazuaddiert.
 - b) Der auf ein Hannover-Standardjahr bereinigte Verbrauch mit dem Standardverbrauch laut Kronsbergnachweis für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung. Der reale Verbrauch wird anhand der Wetterdaten (Heizgradtagkorrektur, siehe Kapitel 4.3) und der Länge des Messzeitraums korrigiert. Der Standardbedarf für den Heizwärmeverbrauch nach Kronsbergverfahren wird aus dem Kronsberg-Nachweis entnommen. Der Nutzen für Trinkwarmwasser und technische Verluste wird pauschal dazuaddiert.
2. Vergleich der gemessenen Verbrauchswerte (Bereinigung nach VDI 3807, siehe Kapitel 4.3) mit den Bedarfswerte der EnEV (siehe Kapitel 4.5).

4.3. Grundlagen der Bereinigung

Energieverbrauchswerte werden bereinigt, um den Einfluss des Klimas im Betrachtungszeitraum zu berücksichtigen. Der insgesamt geringere Energieverbrauch für ein warmes Betrachtungsjahr wird somit beispielsweise auf den langjährigen Mittelwert eines Referenzstandortes hochgerechnet. Nach der Bereinigung sind Energieverbrauchswerte verschiedener Jahre und Standorte untereinander vergleichbar. Aus Gründen der Vergleichbarkeit empfiehlt es sich, alle zu untersuchenden Gebäude auf denselben Referenzort und ein Standardjahr zu normieren.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Bereinigung, von denen zwei im Folgenden vorgestellt werden.

Bereinigung mit Heizgradtagen

Zunächst soll kurz erläutert werden, was unter Heizgradtagen zu verstehen ist. Die Heizgradtage G beschreiben die Summe aller Temperaturdifferenzen zwischen der Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} und der Außentemperatur ϑ_a in einer Heizperiode t_{HP} . In Abbildung 2 beschreibt die graue Fläche das Ergebnis dieses Ausdruckes.

Da in der Regel die Außentemperatur für jeden Tag nicht verfügbar ist, wird der Mittelwert innerhalb der Heizperiode ϑ_{am} verwendet.

$$G = (\vartheta_{HG} - \vartheta_{am}) \cdot t_{HP}.$$

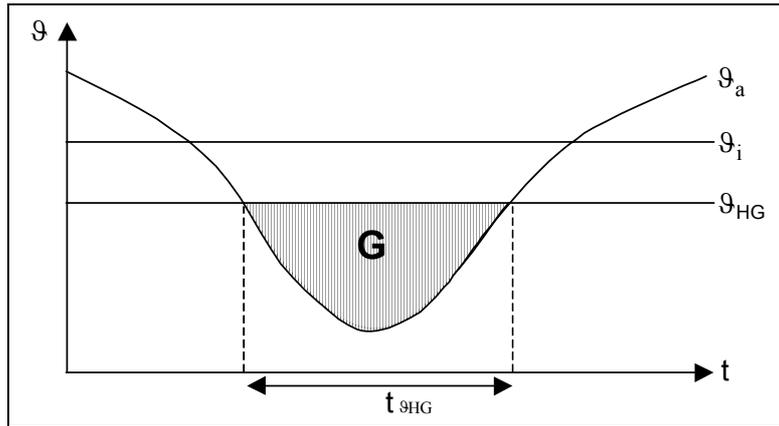


Abbildung 2 Heizgradtage

Die Heizgradtage G erhalten einen Index je nach gewählter Heizgrenztemperatur. Ist die Heizgrenztemperatur beispielsweise $\vartheta_{HG} = 15\text{ °C}$ für Gebäude im Bestand (Baujahr vor 1995), werden die Heizgradtage G_{15} genannt.

Die Heizgradtage sind proportional zu der Energiemenge, die dem Gebäude als Nutzwärmemenge (von der Heizung z.B. über Heizkörper) unterhalb der Heizgrenztemperatur zuzuführen ist. Oberhalb der Heizgrenztemperatur werden die Verluste des Gebäudes allein von den Wärmegewinnen gedeckt. Die Bereinigung mit Heizgradtagen wird also immer dann angewendet, wenn für ein Gebäude die mittlere Nutzwärmemenge für die Heizung und Lüftung bekannt ist.

Die Bereinigung erfolgt anhand der folgenden Formel:

$$q_h' = q_h \cdot \frac{G'}{G^*}$$

Die mit dem Stern (*) gekennzeichneten Größen sind in dieser Gleichung die Werte des untersuchten Jahres; die bereinigten Werte bzw. die Werte für das Standardjahr erhalten einen Apostroph (') zur Kennzeichnung. Für den Kronsbergstandard wird mit Heizgradtagen G_{12} , für die übliche Bereinigung von Verbrauchsdaten mit G_{15} gerechnet.

Bereinigung mit Gradtagszahlen

Abbildung 3 dient zur Erklärung, was unter Gradtagszahlen zu verstehen ist und wann sie zur Anwendung kommen. Die Gradtagszahlen Gt beschreiben die Summe aller Temperaturdifferenzen zwischen der Innentemperatur ϑ_i und der Außentemperatur ϑ_a im Verlauf einer Heizperiode t_{HP} . In Abbildung 3 beschreibt die graue Fläche das Ergebnis dieses Ausdrucks.

Für die Innentemperatur und die Außentemperatur werden in der Regel die Mittelwerte innerhalb der Heizperiode verwendet:

$$Gt = (\vartheta_{im} - \vartheta_{am}) \cdot t_{HP}$$

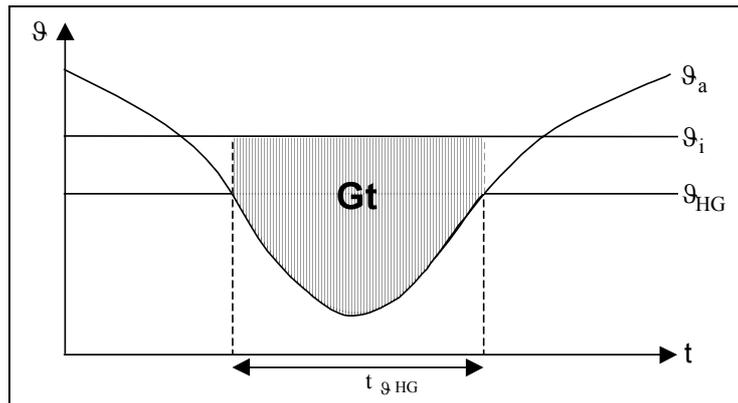


Abbildung 3 Gradtagszahlen

Die Gradtagszahlen erhalten zwei Indizes je nach Innentemperatur und gewählter Heizgrenztemperatur. Ist die Innentemperatur zum Beispiel $\vartheta_{im} = 19 \text{ °C}$ und die Heizgrenztemperatur $\vartheta_{HG} = 12 \text{ °C}$, wird die Gradtagszahl $Gt_{19,12}$ genannt.

Die Gradtagszahl Gt ist proportional zu der Energiemenge, die das Gebäude in der Heizzeit t_{HP} aufgrund von Wärmeverlusten (Transmission und Lüftung) verliert. Die Bereinigung mit Gradtagszahlen wird also immer dann angewendet, wenn für ein Gebäude die Wärmeverluste für Transmission und Lüftung ($q_T + q_V$) bekannt sind. Die Bereinigung erfolgt anhand der folgenden Formel:

$$(q_T + q_V)' = (q_T + q_V)^* \cdot \frac{Gt'}{Gt^*}$$

Die mit dem Stern (*) gekennzeichneten Größen in der Gleichung sind die Werte des untersuchten Jahres; die bereinigten Werte bzw. die Werte für das Standardjahr erhalten einen Apostroph (') zur Kennzeichnung. Für den Kronsbergstandard wird mit Gradtagszahlen $Gt_{20,12}$, für die EnEv-Bilanz mit $Gt_{19,10}$ gerechnet.

Rechengang der VDI 3807

Die klimatische Bereinigung der Heizenergieverbräuche nach VDI 3807 erfolgt mit Hilfe der Heizgradtage G_{15} . Der zu bereinigende Energieverbrauch und die zugehörigen Heizgradtage G_{15} müssen den gleichen Zeitraum umfassen, üblich ist 1 Jahr. Bei kürzeren Bezugszeiträumen sollten nach VDI 3807 die Heizgradtage für diesen mindestens 250 Kd betragen.

Für den Vergleich von Heizenergieverbräuchen von Gebäuden desselben Ortes wird Bezug genommen auf die mittleren Heizgradtage dieses Ortes. Für den Vergleich von Heizenergieverbräuchen von Gebäuden verschiedener Orte soll Bezug auf den Mittelwert der Heizgradtage für Würzburg bzw. für den mittleren Standort in Deutschland genommen werden.

Bereinigt wird der Heizenergiebedarf (Nutzen plus Verluste). Die Anteile für Warmwasser sind vorher aus dem Energieverbrauch herauszurechnen. Die Bereinigung nach VDI 3807 wird im Rahmen der Untersuchungen verwendet, um den Verbrauch mit den Energiebedarfswerten der EnEV zu vergleichen.

4.4. Kronsbergberechnungsverfahren und Kronsbergstandard

Allgemeine Anforderungen

In den Kaufverträgen wird für das Neubaugebiet Hannover-Kronsberg ein Heizwärmebedarf von maximal 55 kWh/(m²a) gefordert. Er beschreibt den spezifischen auf die beheizte Fläche bezogenen Nutzenergiebedarf für die Beheizung. Erzeugungs- und Verteilungsverluste sind in diesem Grenzwert ebenso wenig berücksichtigt wie die Trinkwarmwasserbereitung.

Rechenverfahren

Der Nachweis ist mit einem Standardisierten Rechenverfahren zu erbringen, das auf dem Leitfaden "Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG-Verfahren)" des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten basiert.

Das Kronsberg-Rechenverfahren unterscheidet sich in zwei Punkten vom Hessischen LEG-Verfahren:

- Die Klimadaten (Gradtagszahl und Sonneneinstrahlung) wurden den hannoverschen Verhältnissen angepasst (siehe Kapitel 5.4).
- Die Luftwechselrate wird beim Einbau einer mechanischen Lüftungsanlagen deutlich niedriger angesetzt, 0,3 statt 0,5 h⁻¹. Daraus resultieren geringere Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz.

4.5. EnEV-Bilanz

Die Bedarfsrechnung nach EnEV erfolgt mit dem vereinfachten Verfahren zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs, das im Anhang 1 der EnEV dokumentiert ist. Zur Bewertung der Anlage in der Bedarfsrechnung werden die Standardwerte der DIN V 4701-10 herangezogen.

Das Schema in Abbildung 4 gibt den Ablauf wieder. Die Berechnung der DIN V 4701-10 erfolgt eigentlich mit bezogenen Kennwerten (A_N). Der Formalismus ist zur besseren Vergleichbarkeit mit absoluten Kennzahlen dargestellt. Für die Bedarfsrechnung nach EnEV werden folgende Annahmen getroffen (die Nummerierung bezieht sich auf die Fußnoten im Bild):

- ¹ Diese Standardwerte sind der EnEV entnommen.
- ² Diese Standardwerte sind der DIN V 4701-10 entnommen.
- ³ Der spezifische Transmissionswärmeverlust wird aus den U-Werten der Hüllbauteile ermittelt. Abminderungsfaktoren werden der EnEV entnommen. Es wird ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag angesetzt. Die "66", mit der der spezifische Transmissionswärmeverlust multipliziert wird, hat die Einheit kWh/a und ist eine Gradtagszahl.
- ⁴ Der spezifische Lüftungswärmeverlust ist in der EnEV tabelliert. Die "66", mit der der spezifische Lüftungswärmeverlust multipliziert wird, ist die Gradtagszahl.
- ⁵ Die solare Fremdwärme wird mit den realen Fensterdaten und den weiteren in der EnEV tabellierten Kennwerten bestimmt.
- ⁶ Die Gutschrift der Lüftung ist ein Kennwert nach DIN V 4701-10, der bei der Berechnung der Lüftungsanlage ermittelt wird.

- 7 Die Gutschrift der Trinkwarmwasserbereitung ist ein Kennwert nach DIN V 4701-10, der bei der Berechnung der Verteilverluste und Speicherverluste der Trinkwarmwasseranlage ermittelt wird.
- 8 Die Kennwerte sind Standardwerte der DIN V 4701-10. Es ist zu beachten, dass die bilanzierten Verluste nur den Anteil repräsentieren, der nicht als Fremdwärme nutzbar ist. Die Kennwerte sind nicht unbedingt mit denen aus anderen Bilanzverfahren vergleichbar.

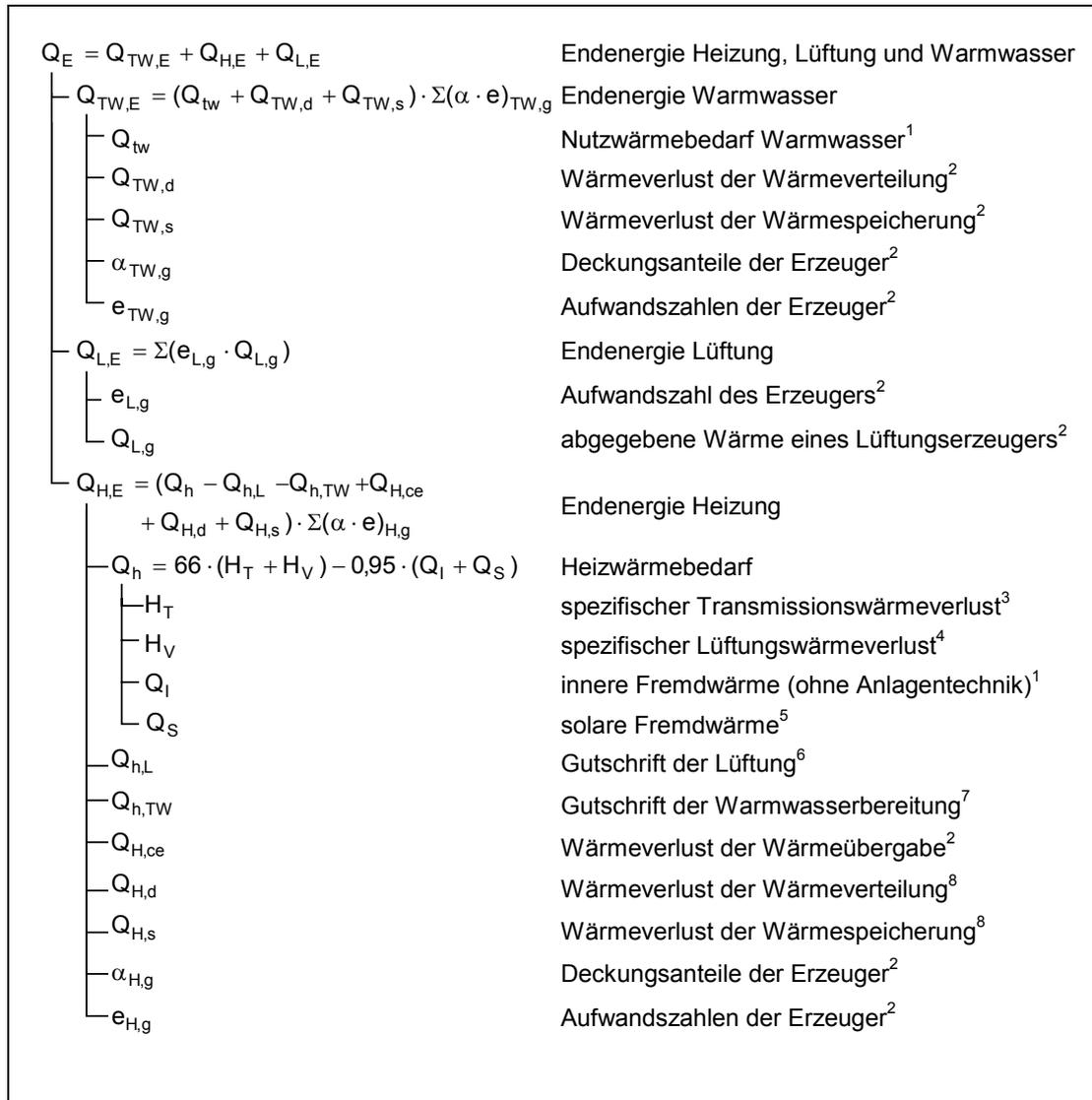


Abbildung 4 Rechenverfahren: Bedarf EnEV 2002

Als reale Daten für die Bedarfsermittlung werden nur die Bauteildaten berücksichtigt. Alle anderen Daten sind Standardnutzungsdaten.

5. Ausgangsdaten

5.1. Objektbeschreibung

Gebäudefotos



Abbildung 5: Weistfeld 40+42



Abbildung 6: Weistfeld 12-24



Abbildung 7: Papenkamp 1+3



Abbildung 8: Papenkamp 5+7

Gebäudeabmessungen

Die in der folgenden Tabelle enthaltenen Größen ($A_{Hüll}$, V_L , A_{EB}) wurden den Nachweisen von Ingenieurbüro Scholtyssek (Weistfeld) und Ingenieurbüro Barakat (Papenkamp) entnommen (Formblatt zum Nachweis der Niedrigenergiebauweise).

Im Rahmen der Auswertung fiel auf, dass in den Planungsunterlagen (Heizlastberechnung, Grundrisspläne, Wärmeschutznachweise) zum Teil unterschiedliche Flächenangaben verwendet wurden. Um zu vergleichbaren Kennwerten zu gelangen, beziehen sich die folgenden Auswertungen ausschließlich auf die in Tabelle 1 genannten Angaben.

Gebäude	Aus Kronsbergberechnungsverfahren/ Kronsbergnachweis			V_e aus Zeichnungen ermittelt		
	Äußere Hüllfläche $A_{Hüll}$ des beheizten Bereichs m^2	Belüftetes Nettovolumen der beheizten Hülle V_L in m^3	Energiebezugsfläche A_{EB} in m^2	Beheiztes Gebäudevolumen in Außenmaßen V_e in m^3	Belüftetes Nettovolumen der beheizten Hülle V_L ($V_L=0,8 \cdot V_e$)	Gebäudenutzfläche A_N in m^2 ($A_N = 0,32 m^{-1} \cdot V_e$)
Weistfeld 40+42	1661	2656	1021	3489	2791	1116
Weistfeld 12-24	1719	2428	906	3333	2666	1067
Papenkamp 1+3	2220	3507	1349	4475	3580	1432
Papenkamp 5+7	2330	4001	1539	5242	4194	1677

Tabelle 1: Flächen und Volumenangaben

Daten der Gebäudehülle und Kompaktheit

Für Vergleichszwecke werden in Tabelle 2 die in der Energiebilanzierung üblichen Kennwerte – mittlerer U-Wert der Gebäudehülle und Kompaktheit – angegeben. Die fiktive Nutzfläche A_N ist im Mittel 10 % größer als die tatsächliche beheizte Fläche.

Gebäude	mittlerer U-Wert der Gebäudehülle (Berechnung nach EnEV) in W/m^2K	Kompaktheitsgrad A/V_e in m^{-1}	Verhältnis Nutzfläche zu Energiebezugsfläche A_N/A_{EB} in m^2/m^2
Weistfeld 40+42	0,417	0,493	1,09
Weistfeld 12-24	0,401	0,490	1,18
Papenkamp 1+3	0,395	0,493	1,06
Papenkamp 5+7	0,419	0,482	1,09

Tabelle 2: Flächen und Volumenangaben

5.2. Messdaten

Papenkamp 1+3

Datum	Zählerstand Hzg+TWW in kWh	Verbr. Hzg + TWW in kWh	Tage im MZ	Mittlere Außentemp. im MZ	MZ	TWW in kWh	Hzg in kWh
01.02.2001	293980						
01.03.2001	308202	14222	28	2,9	Feb 01		
01.04.2001	322391	14189	31	3,7	Mrz 01		
01.05.2001	331946	9555	30	7,9	Apr 01		
01.06.2001	336243	4297	31	14,1	Mai 01	2756	1541
01.07.2001	340322	4079	30	14,2	Jun 01	2811	1268
01.08.2001	342780	2458	31	19,0	Jul 01	2327	131
01.09.2001	345501	2721	31	19,2	Aug 01	2557	164
01.10.2001	351148	5647	30	12,6	Sep 01	2530	3117
01.11.2001	356973	5825	31	13,5	Okt 01	2792	3033
01.12.2001	368881	11908	30	5,6	Nov 01	3048	8860
01.01.2002	387937	19056	31	0,9	Dez 01	3691	15365
01.02.2002	403442	15505	31	3,3	Jan 02	3547	11958
01.03.2002	414968	11526	28	6,1	Feb 02	3418	8108
01.04.2002	426784	11816	31	5,9	Mrz 02	3493	8323
01.05.2002	435141	8357	30	8,4	Apr 02	3363	4994
01.06.2002	440046	4905	31	14,4	Mai 02		
01.07.2002	443260	3214	30	17,1	Jun 02		
01.08.2002	446535	3275	31	17,8	Jul 02		
01.09.2002	449467	2932	31	19,7	Aug 02		
01.10.2002	453794	4327	30	14,2	Sep 02		
01.11.2002	463207	9413	31	8,5	Okt 02		
01.12.2002	475673	12466	30	5,7	Nov 02		
01.01.2003	494375	18702	31	-0,4	Dez 02		
01.02.2003	511438	17063	31	1,3	Jan 03		

Tabelle 3 Messdaten Papenkamp 1+3

Papenkamp 5+7

Datum	Zählerstand Hzg+TWW in kWh	Verbrauch Hzg + TWW in kWh	Zeitraum zw. den Ablesungen	Mittlere Außentemp. im MZ	MZ	TWW in kWh	Hzg in kWh
01.02.2001	336696						
01.03.2001	351589	14893	28	2,9	Feb 01		
01.04.2001	367296	15707	31	3,7	Mrz 01		
01.05.2001	376359	9063	30	7,9	Apr 01		
01.06.2001	380513	4154	31	14,1	Mai 01	3109	1045
01.07.2001	384605	4092	30	14,2	Jun 01	3516	576
01.08.2001	387987	3382	31	19,0	Jul 01	3069	313
01.09.2001	391323	3336	31	19,2	Aug 01	3125	211
01.10.2001	397668	6345	30	12,6	Sep 01	3210	3135
01.11.2001	404752	7084	31	13,5	Okt 01	3745	3339
01.12.2001	418234	13482	30	5,6	Nov 01	3531	9951
01.01.2002	437023	18789	31	0,9	Dez 01	4171	14618
01.02.2002	453703	16680	31	3,3	Jan 02	3957	12723
01.03.2002	465169	11466	28	6,1	Feb 02	3709	7757
01.04.2002	477552	12383	31	5,9	Mrz 02	4210	8173
01.05.2002	485715	8163	30	8,4	Apr 02	3659	4504
01.06.2002	490572	4857	31	14,4	Mai 02		
01.07.2002	494154	3582	30	17,1	Jun 02		
01.08.2002	497832	3678	31	17,8	Jul 02		
01.09.2002	500987	3155	31	19,7	Aug 02		
01.10.2002	505564	4577	30	14,2	Sep 02		
01.11.2002	515615	10051	31	8,5	Okt 02		
01.12.2002	529222	13607	30	5,7	Nov 02		
01.01.2003	549007	19785	31	-0,4	Dez 02		
01.02.2003	566440	17433	31	1,3	Jan 03		

Tabelle 4 Messdaten Papenkamp 5+7

Weistfeld 40+42

Datum	Zählerstand Hzg+TWW in kWh	Hzg + TWW in kWh	Zeitraum zw. den Ablesungen	Mittlere Außentemp. im MZ	MZ	TWW in kWh	Hzg in kWh
01.02.2000	159510	-	-	-	-		
01.03.2000	169956	10446	29	5,2	Feb 00		
01.04.2000	179726	9770	31	5,8	Mrz 00		
01.05.2000	186070	6344	30	10,7	Apr 00		
01.06.2000	189558	3488	31	15,4	Mai 00		
01.07.2000	192637	3079	30	17,0	Jun 00		
01.08.2000	195988	3351	31	15,7	Jul 00		
01.09.2000	198642	2654	31	17,4	Aug 00		
01.10.2000	202150	3508	30	14,8	Sep 00		
01.11.2000	207918	5768	31	11,5	Okt 00		
01.12.2000	216821	8903	30	7,9	Nov 00		
01.01.2001	228850	12029	31	4,4	Dez 00		
01.02.2001	242511	13661	31	1,8	Jan 01		
01.03.2001	253780	11269	28	2,9	Feb 01		
01.04.2001	266100	12320	31	3,7	Mrz 01		
01.05.2001	273916	7816	30	7,9	Apr 01		
01.06.2001	278440	4524	31	14,1	Mai 01	2794	1730
01.07.2001	282879	4439	30	14,2	Jun 01	2875	1564
01.08.2001	285636	2757	31	19,0	Jul 01	2363	394
01.09.2001	288205	2569	31	19,2	Aug 01	2253	316
01.10.2001	292908	4703	30	12,6	Sep 01	2384	2319
01.11.2001	298814	5906	31	13,5	Okt 01	2742	3164
01.12.2001	308947	10133	30	5,6	Nov 01	2887	7246
01.01.2002	322685	13738	31	0,9	Dez 01	3428	10310
01.02.2002	336052	13367	31	3,3	Jan 02	3169	10198
01.03.2002	345441	9389	28	6,1	Feb 02	2908	6481
01.04.2002	355593	10152	31	5,9	Mrz 02	3113	7039
01.05.2002	362987	7394	30	8,4	Apr 02	2845	4549
01.06.2002	367849	4862	31	14,4	Mai 02		
01.07.2002	370972	3123	30	17,1	Jun 02		
01.08.2002	374456	3484	31	17,8	Jul 02		
01.09.2002	377510	3054	31	19,7	Aug 02		
01.10.2002	381521	4011	30	14,2	Sep 02		
01.11.2002	388949	7428	31	8,5	Okt 02		
01.12.2002	398983	10034	30	5,7	Nov 02		
01.01.2003	412937	13954	31	-0,4	Dez 02		
01.02.2003	426660	13723	31	1,3	Jan 03		

Tabelle 5 Messdaten Weistfeld 40+42

Weistfeld 12-24

Datum	Zählerstand Hzg+TWW in kWh	Hzg + TWW in kWh	Zeitraum zw. den Ableseungen	Mittlere Außentemp. im MZ	MZ	TWW in kWh	Hzg in kWh
01.02.2000	152077	-	-	-	-		
01.03.2000	161958	9881	29	5,2	Feb 00		
01.04.2000	171583	9625	31	5,8	Mrz 00		
01.05.2000	177588	6005	30	10,7	Apr 00		
01.06.2000	180810	3222	31	15,4	Mai 00		
01.07.2000	183781	2971	30	17,0	Jun 00		
01.08.2000	186890	3109	31	15,7	Jul 00		
01.09.2000	189900	3010	31	17,4	Aug 00		
01.10.2000	193532	3632	30	14,8	Sep 00		
01.11.2000	199666	6134	31	11,5	Okt 00		
01.12.2000	208524	8858	30	7,9	Nov 00		
01.01.2001	219570	11046	31	4,4	Dez 00		
01.02.2001	233306	13736	31	1,8	Jan 01		
01.03.2001	243610	10304	28	2,9	Feb 01		
01.04.2001	254847	11237	31	3,7	Mrz 01		
01.05.2001	261768	6921	30	7,9	Apr 01		
01.06.2001	265433	3665	31	14,1	Mai 01	2877	788
01.07.2001	268406	2973	30	14,2	Jun 01	2735	238
01.08.2001	271110	2704	31	19,0	Jul 01	2479	225
01.09.2001	273811	2701	31	19,2	Aug 01	2533	168
01.10.2001	277843	4032	30	12,6	Sep 01	2668	1364
01.11.2001	282270	4427	31	13,5	Okt 01	2849	1578
01.12.2001	290668	8398	30	5,6	Nov 01	3068	5330
01.01.2002	302939	12271	31	0,9	Dez 01	3879	8392
01.02.2002	314190	11251	31	3,3	Jan 02	3672	7579
01.03.2002	322267	8077	28	6,1	Feb 02	3430	4647
01.04.2002	330503	8236	31	5,9	Mrz 02	3416	4820
01.05.2002	336686	6183	30	8,4	Apr 02	3394	2789
01.06.2002	340880	4194	31	14,4	Mai 02		
01.07.2002	343918	3038	30	17,1	Jun 02		
01.08.2002	346780	2862	31	17,8	Jul 02		
01.09.2002	349424	2644	31	19,7	Aug 02		
01.10.2002	352530	3106	30	14,2	Sep 02		
01.11.2002	359090	6560	31	8,5	Okt 02		
01.12.2002	367262	8172	30	5,7	Nov 02		
01.01.2003	380316	13054	31	-0,4	Dez 02		
01.02.2003	392654	12338	31	1,3	Jan 03		

Tabelle 6 Messdaten Weistfeld 12-24

5.3. Wetterdaten

Zeitraum Mai 2001 bis April 2002

Innentemperatur in °C: 20															
Heizgrenztemperatur in °C:															
12															
15															
17															
Datum	MZ	Tage im MZ	$\vartheta_{am,MZ}$ in °C	G in Kd/MZ	Gt in Kd/MZ	t_{HP} in d	$\vartheta_{am,THP}$ in °C	G in Kd/MZ	Gt in Kd/MZ	t_{HP} in d	$\vartheta_{am,THP}$ in °C	G in Kd/MZ	Gt in Kd/MZ	t_{HP} in d	$\vartheta_{am,THP}$ in °C
01.05.2001															
01.06.2001	Mai 01	31	14,1	12	76	8	10,5	50	130	16	11,9	92	176	28	13,7
01.07.2001	Jun 01	30	14,2	10	66	7	10,5	51	146	19	12,3	95	164	23	12,9
01.08.2001	Jul 01	31	19,0	0		0	-	1	6	1	14,4	7	31	8	16,2
01.09.2001	Aug 01	31	19,2	0		0	-	1	16	3	14,6	11	35	8	15,6
01.10.2001	Sep 01	30	12,6	12	108	12	11,0	74	204	26	12,1	133	223	30	12,6
01.11.2001	Okt 01	31	13,5	9	73	8	10,8	57	172	23	12,5	110	197	29	13,2
01.12.2001	Nov 01	30	5,6	193	433	30	5,6	283	433	30	5,6	343	433	30	5,6
01.01.2002	Dez 01	31	0,9	344	592	31	0,9	437	592	31	0,9	499	592	31	0,9
01.02.2002	Jan 02	31	3,3	270	518	31	3,3	363	518	31	3,3	425	518	31	3,3
01.03.2002	Feb 02	28	6,1	165	381	27	5,9	249	389	28	6,1	305	389	28	6,1
01.04.2002	Mrz 02	31	5,9	190	430	30	5,7	283	438	31	5,9	345	438	31	5,9
01.05.2002	Apr 02	30	8,4	111	311	25	7,6	198	348	30	8,4	258	348	30	8,4
Summe		365		1317	2989	209		2045	3390	269		2621	3542	307	

Tabelle 7 Zeitraum Mai 2001 bis April 2002

Zeitraum Oktober 2001 bis September 2002

Innentemperatur in °C: 20																
Heizgrenztemperatur in °C:																
12																
15																
17																
Datum	MZ	Tage im MZ	$\vartheta_{am,MZ}$ in °C	G in Kd/MZ	Gt in Kd/MZ	t_{HP} in d	$\vartheta_{am,THP}$ in °C	G in Kd/MZ	Gt in Kd/MZ	t_{HP} in d	$\vartheta_{am,THP}$ in °C	G in Kd/MZ	Gt in Kd/MZ	t_{HP} in d	$\vartheta_{am,THP}$ in °C	
01.10.2001																
01.11.2001	Okt 01	31	13,5	9	73	8	10,8	57	172	23	12,5	110	197	29	13,2	
01.12.2001	Nov 01	30	5,6	193	433	30	5,6	283	433	30	5,6	343	433	30	5,6	
01.01.2002	Dez 01	31	0,9	344	592	31	0,9	437	592	31	0,9	499	592	31	0,9	
01.02.2002	Jan 02	31	3,3	270	518	31	3,3	363	518	31	3,3	425	518	31	3,3	
01.03.2002	Feb 02	28	6,1	165	381	27	5,9	249	389	28	6,1	305	389	28	6,1	
01.04.2002	Mrz 02	31	5,9	190	430	30	5,7	283	438	31	5,9	345	438	31	5,9	
01.05.2002	Apr 02	30	8,4	111	311	25	7,6	198	348	30	8,4	258	348	30	8,4	
01.06.2002	Mai 02	31	14,4	7	47	5	10,7	37	137	20	13,2	85	163	26	13,7	
01.07.2002	Jun 02	30	17,1	0		0	-	10	40	6	13,4	35	83	16	14,8	
01.08.2002	Jul 02	31	17,8	0		0	-	3	33	6	14,6	26	77	17	15,5	
01.09.2002	Aug 02	31	17,8	0		0	-	0		0	-	0		0	-	
01.10.2002	Sep 02	30	14,2	11	67	7	10,4	48	133	17	12,2	92	164	24	13,2	
Summe		365		1301	2853	194		1965	3230	253		2522	3401	293		

Tabelle 8 Zeitraum Oktober 2001 bis September 2002

Zeitraum Januar 2002 bis Dezember 2002

Innentemperatur in °C: 20																
Heizgrenztemperatur in °C:																
12																
15																
17																
Datum	MZ	Tage im MZ	$\vartheta_{am,MZ}$ in °C	G in Kd/MZ	Gt in Kd/MZ	t_{HP} in d	$\vartheta_{am,THP}$ in °C	G in Kd/MZ	Gt in Kd/MZ	t_{HP} in d	$\vartheta_{am,THP}$ in °C	G in Kd/MZ	Gt in Kd/MZ	t_{HP} in d	$\vartheta_{am,THP}$ in °C	
01.01.2002																
01.02.2002	Jan 02	31	3,3	270	518	31	3,3	363	518	31	3,3	425	518	31	3,3	
01.03.2002	Feb 02	28	6,1	165	381	27	5,9	249	389	28	6,1	305	389	28	6,1	
01.04.2002	Mrz 02	31	5,9	190	430	30	5,7	283	438	31	5,9	345	438	31	5,9	
01.05.2002	Apr 02	30	8,4	111	311	25	7,6	198	348	30	8,4	258	348	30	8,4	
01.06.2002	Mai 02	31	14,4	7	47	5	10,7	37	137	20	13,2	85	163	26	13,7	
01.07.2002	Jun 02	30	17,1	0		0	-	10	40	6	13,4	35	83	16	14,8	
01.08.2002	Jul 02	31	17,8	0		0	-	3	33	6	14,6	26	77	17	15,5	
01.09.2002	Aug 02	31	17,8	0		0	-	0		0	-	0		0	-	
01.10.2002	Sep 02	30	14,2	11	67	7	10,4	48	133	17	12,2	92	164	24	13,2	
01.11.2002	Okt 02	31	8,5	114	314	25	7,4	201	356	31	8,5	263	356	31	8,5	
01.12.2002	Nov 02	30	5,7	188	428	30	5,7	278	428	30	5,7	338	428	30	5,7	
01.01.2003	Dez 02	31	-0,4	385	633	31	-0,4	478	633	31	-0,4	540	633	31	-0,4	
Summe		365		1441	3129	211		2145	3450	261		2711	3596	295		

Tabelle 9 Zeitraum Januar 2002 bis Dezember 2002

5.4. Umrechnung des Kronsberg-Standards

Um die gemessenen Verbrauchswerte mit den berechneten Bedarfswerten aus dem Kronsberg-Berechnungsverfahren vergleichen zu können, mussten die im Berechnungsverfahren angenommenen Standardwetterdaten für Hannover durch die tatsächlichen Witterungsbedingungen im Messzeitraum ersetzt werden.

Dem Kronsbergberechnungsverfahren liegt eine Gradtagszahl $G_{t_{20,12}}$ von 3618 Kd/a (entspricht 87 kWh/a) zugrunde. Im Messzeitraum ergab aus sich den Wetterdaten des DWD für den Standort Hannover eine Gradtagszahl $G_{t_{20,12}}$ von 2989 Kd/a (entspricht 72 kWh/a). Im Messzeitraum lagen also im Schnitt höhere Temperaturen vor, als im Referenzjahr. Mit dieser realen Gradtagszahl wurden Transmissions- und Lüftungswärmeverlust erneut berechnet (siehe Anhang: Angepasste Berechnungsnachweise).

Eine Anpassung der solaren und inneren Gewinne erfolgte nicht, hier wurde weiterhin mit den Standardwerten nach Kronsberg-Rechenverfahren gearbeitet.

Gebäude	Bedarfswerte nach Kronsberg-Rechenverfahren		Bedarfswerte nach angepasstem Kronsberg-Rechenverfahren	
	Gradtagszahl $G_{t_{20,12}}$, Kronsberg-verf.	Heizwärmebedarf laut Kronsberg-Nachweis	Gradtagszahl für Zeitraum 01.05.2001 bis 30.04.2002 $G_{t_{20,12,real}}$	Angepasster Heizwärmebedarf
	Kd/a	kWh/(m ² a)	Kd/a	kWh/(m ² a)
Papenkamp 1+3	3618	54,4	2989	42,8
Papenkamp 5+7		52,9		41,5
Weistfeld 40/42		53,6		41,5
Weistfeld 12-24		54,5		42,5

Tabelle 10: Heizwärmebedarf nach Kronsberg-Berechnungsverfahren

Durch die im Vergleich zum im Kronsbergberechnungsverfahren erhöhten Außentemperaturen im Zeitraum 01.05.2001 bis 30.04.2002 darf der Heizwärmebedarf in diesem Zeitraum nicht knapp 55 kWh/(m²a) betragen sondern nur ca. 42 kWh/(m²a).

6. Heizgrenztemperatur für die Gebäude

Aus den vorliegenden monatlichen Heizenergieverbräuchen und den Wetterdaten für den Messzeitraum kann die reale Heizgrenztemperatur des Gebäudes ermittelt werden.

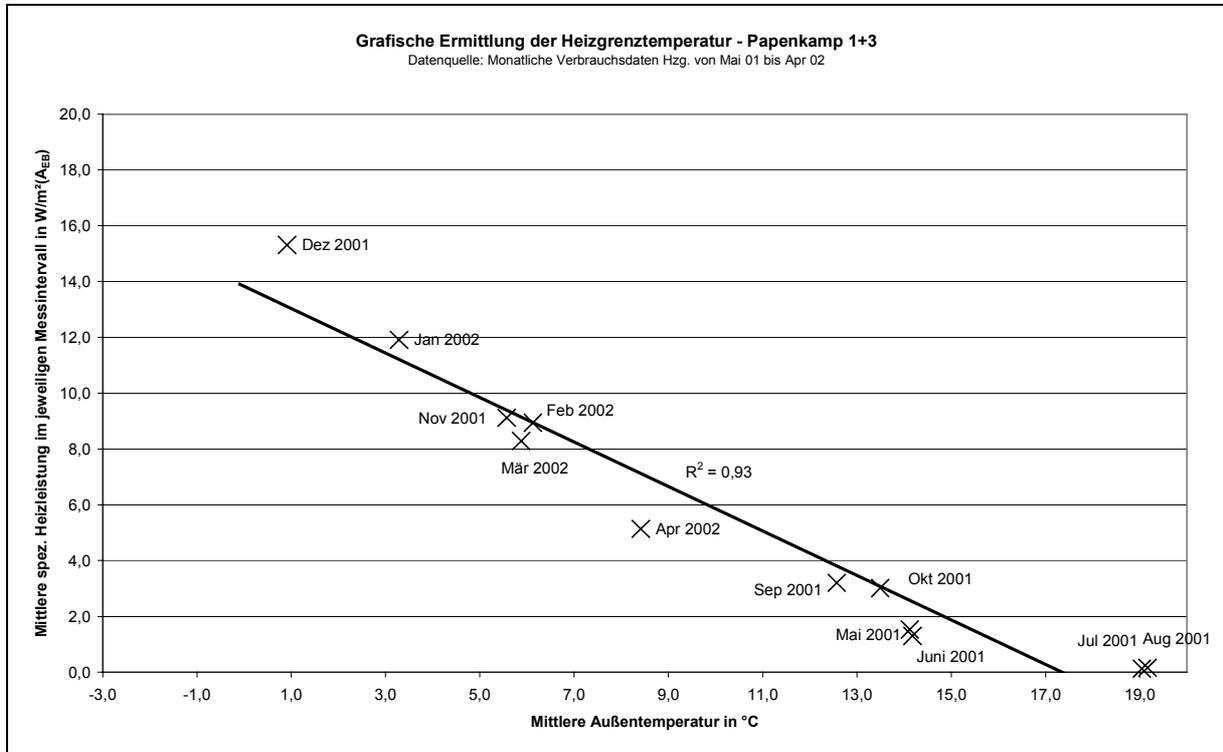


Abbildung 9: Papenkamp 1+3

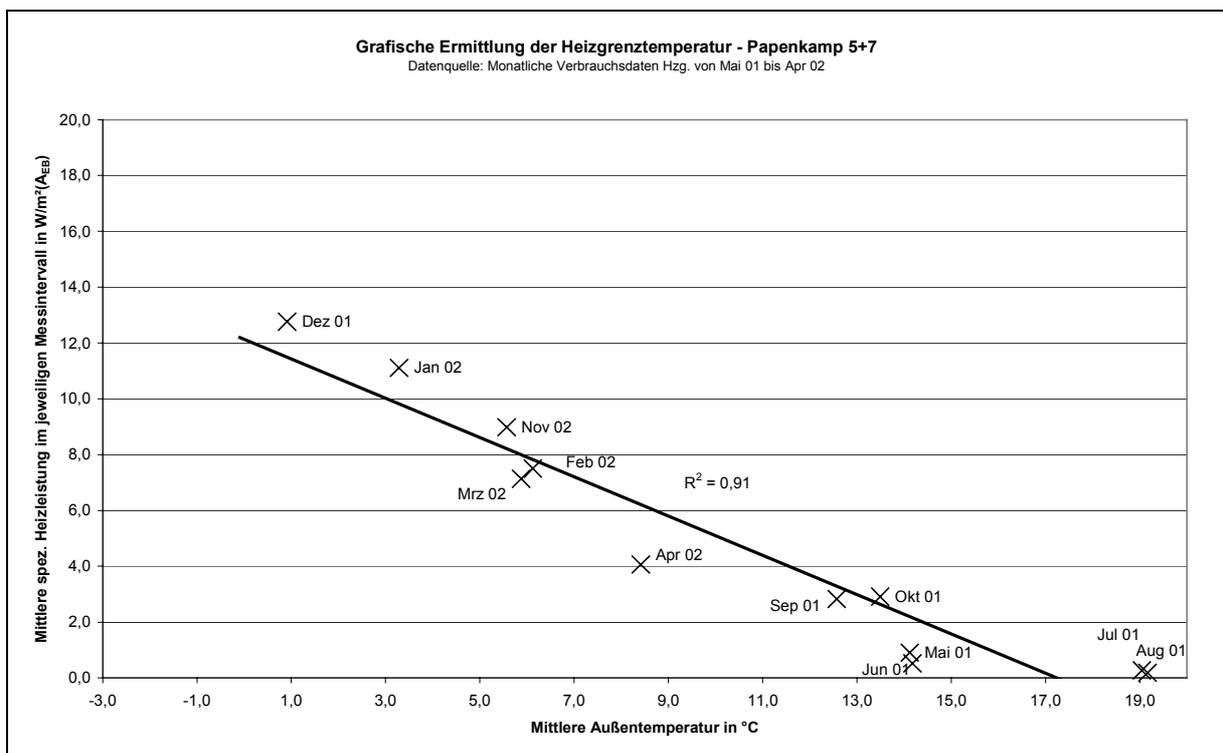


Abbildung 10: Papenkamp 5+7

Dazu wird aus den gemessenen Verbräuchen mit Hilfe der Zeit zwischen zwei Able- sungen eine mittlere Heizleistung berechnet. Diese wird auf die Energiebezugsfläche bezogen und über der mittleren Außentemperatur im Messintervall aufgetragen. Der Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden durch die so aufgetragenen Punkte mit der x- Achse stellt die reale Heizgrenztemperatur dar.

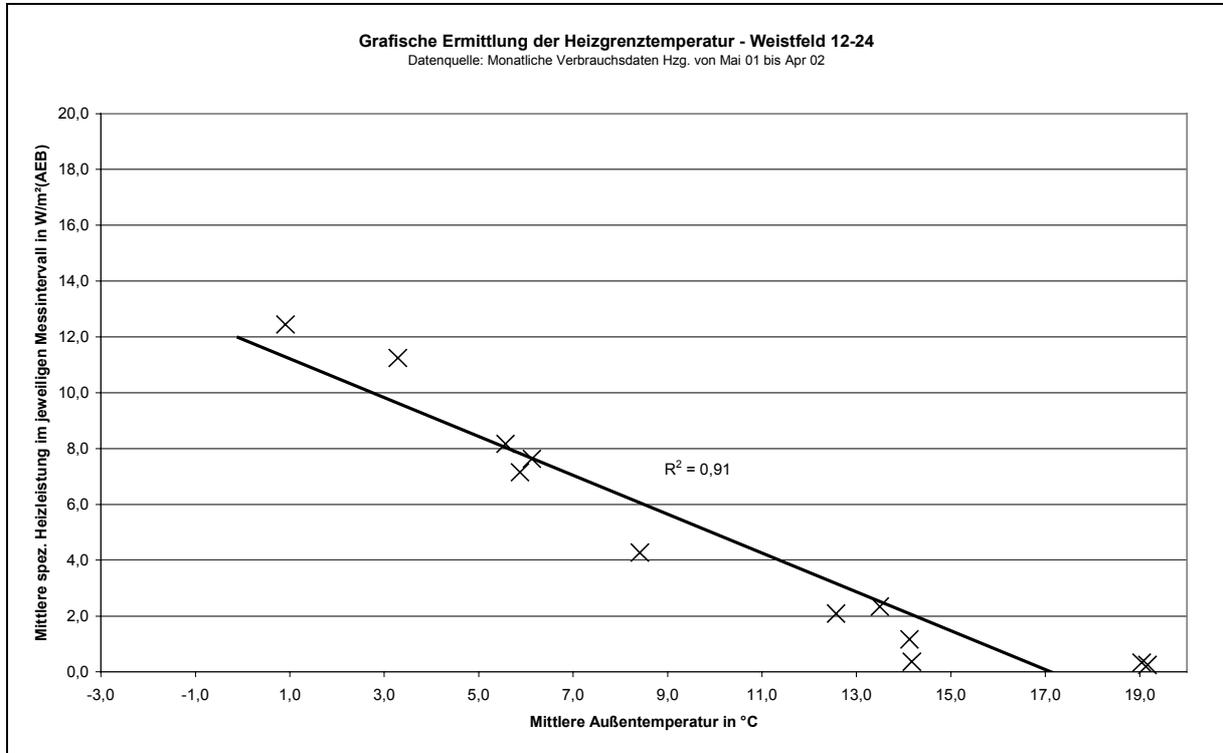


Abbildung 11: Weistfeld 12-24

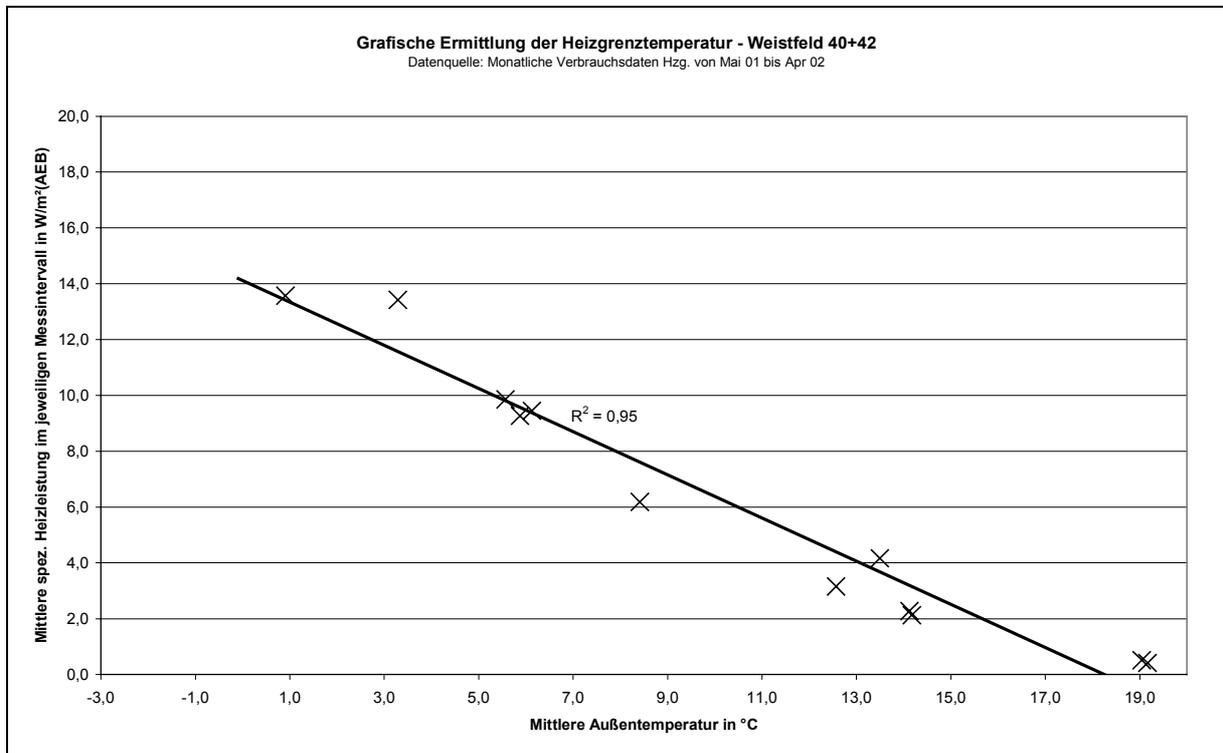


Abbildung 12: Weistfeld 40+42

Die Heizgrenztemperatur liegt bei allen vier Gebäuden zwischen 17 und 18 °C. Die im Berechnungsverfahren zu Grunde gelegte Heizgrenztemperatur von 12 °C wird in der Praxis nicht erreicht. Aus den Verbrauchsdaten geht hervor, dass die Regelung auch außerhalb der Heizperiode (Juni 2002) Heizwärme zur Verfügung gestellt hat, und das die angebotene Heizwärme von den Mietern genutzt wurde. Sinnvollerweise sollten die Regelungsparameter hinsichtlich Heizgrenztemperatur und Heizperiode in allen vier Gebäuden überprüft werden.

7. Bedarf nach EnEV 2002 und DIN V 4701-10

Tabelle 11 zeigt wichtige Zwischenergebnisse der Bedarfsrechnung nach EnEV 2002. Die Kennwerte sind bezogen auf die fiktive Nutzfläche A_N und damit nicht unmittelbar mit praktischen Werten vergleichbar. Zum Vergleich wird in Tabelle 12 zusätzlich der absolute Bedarf in kWh/a bestimmt.

Gebäude	Heizwärmebedarf	Nutzen Trink- warmwasserberei- tung	technische Ver- luste	Endenergiebedarf
	alle Werte bezogen auf die Nutzfläche A_N			
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Papenkamp 1+3	43,07	12,5	14,20	69,77
Papenkamp 5+7	43,85	12,5	14,31	70,66
Weistfeld 40+42	42,97	12,5	14,71	70,18
Weistfeld 12-24	43,65	12,5	14,79	70,94

Tabelle 11 Ergebnisse EnEV, flächenbezogen

Gebäude	Endenergie Heizung (Bedarf)	Endenergie Trinkwarm- wasser (Bedarf)	Endenergiebedarf, abso- lut (Bedarf)
	alle Werte absolut		
	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Papen- kamp 1+3	32845	67061	99906
Papen- kamp 5+7	38790	79703	118493
Weistfeld 40+42	25966	52351	78317
Weistfeld 12-24	24887	50810	75697

Tabelle 12 Ergebnisse EnEV, absolut

8. Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

8.1. Vergleich Verbrauch und Bedarf nach Kronsbergstandard

In Tabelle 13 sollen die Bedarfswerte nach angepassten Kronsberg-Berechnungsverfahren mit dem gemessenen Endenergieverbrauch für die Raumheizung verglichen werden. Da im Kronsberg-Berechnungsverfahren lediglich der Heizwärmebedarf berechnet wird, also der Endenergiebedarf Heizung abzüglich der Verteilverluste der Heizung, müssen die Verteilverluste zusätzlich berücksichtigt werden. Entsprechend den Ansätzen bei der Planung der Wärmeversorgung am Kronsberg wurden diese Verteilverluste einheitlich mit 5 kWh/(m²a) angenommen.

Gebäude	Messzeitraum	Berechneter Bedarf			Gemessener Verbrauch	Differenz
		Heizwärmebedarf nach angepasstem Kronsberg-berechnungsverfahren (siehe Tabelle 10)	Angenommene Verteilverluste	Endenergiebedarf	Endenergieverbrauch Heizung (unbereinigt)	
		kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Papenkamp 1+3	01.05.2001 bis 30.04.2002	42,8	5	47,8	49,6	+1,8
Papenkamp 5+7		41,5		46,5	43,1	-3,4
Weistfeld 40+42		41,5		46,5	54,2	+7,7
Weistfeld 12-24		42,5		47,5	41,9	-5,6

Tabelle 13 Verbrauch und Bedarf (Bedarf bereinigt)

Der Vergleich in Tabelle 13 zeigt, dass der Endenergieverbrauch Heizung der Gebäude Papenkamp 5+7 und Weistfeld 12-24 leicht unter dem berechnetem Bedarf liegt. Das Gebäude Papenkamp 1+3 erreicht fast genau den Planungswert, das Gebäude Weistfeld 40+42 liegt etwas über dem Planungswert.

Alternativ kann ein Vergleich von Bedarf und Verbrauch durch die Bereinigung (Umrechnung) des gemessenen Verbrauchs in Anlehnung an VDI 3807-1 auf die Witterungsbedingungen eines Standardjahrs am Standardstandort erfolgen. Bei dieser Bereinigung des Heizenergieverbrauchs wird der Witterungseinfluss über die Heizgradtage erfasst. Die Heizgrenztemperatur nicht wie in VDI 3807-1 mit 15 °C angesetzt sondern mit 12 °C wie im Kronsbergberechnungsverfahren.

Laut Tabelle 14 liegen die realen Verbräuche für Endenergie Heizung aller vier Gebäude im Vergleich zu den Bedarfswerten etwas höher als nach Tabelle 13. Dies ist auf die Anwendung verschiedener Bereinigungsverfahren zurückzuführen.

Gebäude	Messzeitraum	Berechneter Bedarf			Bereinigter Verbrauch	Differenz
		Heizwärmebedarf nach Kronsbergberechnungsverfahren (Standardwerte)	Angenommene Verteilverluste	Endenergiebedarf	Nach VDI 3807-1 mit $G_{12,Hannover}$ bereinigter Endenergieverbrauch Heizung	
		kWh/(m ² a)			kWh/(m ² a)	
Papenkamp 1+3	01.05.2001 bis 30.04.2002	54,4	5	59,4	67,2	+7,8
Papenkamp 5+7		52,9		57,9	58,5	+0,6
Weistfeld 40+42		53,6		58,6	73,5	+14,9
Weistfeld 12-24		54,5		59,5	56,8	-2,7

Tabelle 14 Verbrauch und Bedarf (Verbrauch bereinigt)

Beide Methoden haben Vor- und Nachteile. Das in Tabelle 13 angewandte Verfahren berücksichtigt z. B. nicht die realen, im Messzeitraum anfallenden inneren und solaren Gewinne. Die solaren Gewinne weichen in der Regel nur wenig vom Referenzjahr ab, eine Beibehaltung der Standardwerte führt daher nur zu geringen Fehlern. Die inneren Gewinne jedoch stehen in einem direkten Zusammenhang mit dem Nutzerverhalten und müssten theoretisch einbezogen werden. Praktisch ist dies jedoch kaum möglich.

Das zweite Bereinigungsverfahren (VDI 3807-1) geht davon aus, dass der Wärmeverbrauch für die Beheizung eines Gebäudes proportional zu der Temperaturdifferenz zwischen angenommener Heizgrenztemperatur und der jeweiligen Außentemperatur ist. Ein verändertes Nutzerverhalten aufgrund unterschiedlicher Jahrestemperaturverläufe wird nicht berücksichtigt. So könnten Nutzer z. B. durch sehr milde Übergangszeiten dazu verleitet werden, mehr als nötig zu lüften, Motto: "Draußen ist es ja schon/noch so warm!". Aufgrund der nur scheinbar warmen Außentemperaturen würde sich folglich ein erhöhter Lüftungswärmebedarf einstellen, der zu erhöhten Heizwärmeverbräuchen führen würde.

Keins der beiden Bereinigungsverfahren arbeitet also absolut fehlerfrei, in erster Näherung führen sie aber zu ähnlichen Ergebnissen.

8.2. Anteile der Endenergien für Heizung und Trinkwarmwasser

Der Vergleich in Tabelle 15 zeigt, dass der bereinigte Messwert für den Endenergieverbrauch über den geplanten Werten liegt. Dies liegt aber vor allem an den erhöhten Wärmeverbräuchen der Trinkwarmwasserbereitung. Diese hängen sehr stark vom Nutzerverhalten ab, sie stellen nicht die Qualität des Gebäudes oder der Anlagentechnik in Frage.

Gebäude	Mess- zeitraum	Nach VDI 3807-1 mit $G_{12,Hannover}$ be- reinigter End- energieverbrauch Heizung	Gemessener End- energieverbrauch Trinkwarm- wasserbereitung	Summe Endener- gieverbrauch Hei- zung + Trink- warmwasser
		kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Papenkamp 1+3	01.05.2001 bis 30.04.2002	67,2	26,9	94,1
Papenkamp 5+7		58,5	28,0	86,5
Weistfeld 40+42		73,5	33,1	106,6
Weistfeld 12-24		56,8	40,8	97,6
Sollwerte		60 (= 55 + 5)	25	85 (= 55 + 5 + 25)

Tabelle 15: Aufteilung des Endenergieverbrauchs in Heizung und Trinkwarmwasserbereitung

8.3. Geregelte und ungeregelte Wärmeabgabe

Mit geregelter Wärmeabgabe wird die Wärmeabgabe bezeichnet, die über die Heizflächen erfolgt. Nur dieser Anteil der im Gebäude abgegebenen Wärme kann vom Nutzer über das Thermostatventil beeinflusst werden. Der über die Heizflächen abgegebene Wärmeanteil wurde in den untersuchten Gebäuden über elektronische Heizkostenverteiler erfasst. Der Messwert dieser Geräte entspricht in erster Näherung kWh.

Leider differierte der Messzeitraum der Heizkostenerfassung gegenüber dem Messzeitraum, in dem sowohl der gesamte Wärmeverbrauch des Gebäudes als auch der Wärmeverbrauch der Trinkwarmwasserbereitung messtechnisch erfasst wurde. Um dennoch den Anteil der geregelten und ungeregelten Wärmeabgabe bestimmen zu können, wurde die Annahme getroffen, dass der Wärmebedarf der Trinkwarmwasserbereitung im Zeitraum 01.05.2001 bis 30.04.2002 genauso groß war wie im Zeitraum 17.10.2001 bis 16.10.2002. In der Regel ist der jährliche Wärmebedarf der Trinkwarmwasserbereitung annähernd konstant.

Gebäude	Gemessener Verbrauch (unbereinigt)				Anteil der geregelten Wärme- abgabe
	Endenergie- verbrauch Hei- zung + Warm- wasser	Warmwasser	Endenergie- verbrauch Heizung	Energieverbrauch Heizkostenverteiler (= geregelte Wär- meabgabe)	
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Papenkamp 1+3	76,1	26,9	49,2	36,8	75
Papenkamp 5+7	70,1	27,9	42,2	27,5	65
Weistfeld 40+42	88,4	33,1	55,3	37,1	67
Weistfeld 12-24	85,4	40,8	44,6	38,0	85

Tabelle 16: Anteil der geregelten Wärmeabgabe der Heizung

8.4. Anteile der Nutz- und Verlustenergien Trinkwarmwasser

Die Erfassung der Trinkwarmwasserverbräuche (m³) der Wohnungen bezieht sich nicht auf den gleichen Zeitraum wie die Erfassung des Wärmeverbrauchs der Trinkwarmwasserbereitung über Wärmemengenzähler (siehe Kapitel 8.2). Um dennoch den Nutzen der Trinkwarmwasserbereitung bestimmen zu können, wird die Annahme getroffen, dass der jährliche Wärmebedarf der Trinkwarmwasserbereitung annähernd konstant ist. Weiterhin werden eine mittlere Kaltwassertemperatur von 10 °C und eine mittlere Trinkwarmwassertemperatur von 55 °C angenommen.

Tabelle 17 zeigt, dass bei der Trinkwarmwasserbereitung erhebliche Verluste auftreten. Erfahrungsgemäß entfallen diese im Wesentlichen auf die Verteilverluste. Die Leitungen sollten daher so kurz wie möglich ausfallen und auch im beheizten Bereich mit einer Dämmdicke von mindestens 100 % EnEV ausgestattet sein. Weiterhin sollten die Laufzeiten der Zirkulationspumpe minimiert werden.

Gebäude	Endenergieverbrauch Trinkwarmwasser- bereitung	Nutzenergie Trink- warmwasser-Bereitung	Anteil der Nutzenergie
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	%
Papenkamp 1+3	26,9	17,3	64
Papenkamp 5+7	28,0	15,3	55
Weistfeld 40+42	33,1	15,4	47
Weistfeld 12-24	40,8	20,3	50

Tabelle 17 Nutz- und Verlustenergien bei Trinkwasserbereitung

8.5. Vergleich Verbrauch und Bedarf nach EnEV

Tabelle 18 zeigt eine Gegenüberstellung der nach VDI 3807 mit den Heizgradtagen G₁₅ bereinigten Verbrauchswerten und den Bedarfswerten nach EnEV 2002.

Gebäude	End- energie, absolut, Bedarf nach EnEV	Verbrauch Hei- zung (6/01– 5/02)	Verbrauch Trink- warm- wasser (6/01– 5/02)	G ₁₅ (6/01– 5/02)	G ₁₅ (Stan- dard)	berei- nigter Verbrauch	Differenz	
	kWh/a	kWh/a	kWh/a	Kd/a	Kd/a	kWh/a	kWh/a	%
Papenkamp 1+3	99911	66862	36333	2033	2565	120692	20781	+21
Papenkamp 5+7	118497	66345	43011			126717	8220	+ 7
Weistfeld 40+42	78321	37918	37000			84840	6519	+ 8
Weistfeld 12-24	75693	55310	33761			103545	27852	+ 37

Tabelle 18 Vergleich EnEV und bereinigter Verbrauch

Der durchschnittliche Mehrverbrauch gegenüber den von der EnEV ermittelten Werten beträgt 17 %.

9. Fazit

Die in diesem Bericht zusammengefassten Ergebnisse bestätigen die **Notwendigkeit einer Qualitätssicherung beim Neubau und bei der Modernisierung** im Gebäudebestand (siehe auch die Auswertung im BBR-Projekt, Anhang 10.4).

Das von der FH Braunschweig/Wolfenbüttel derzeit begleitete Projekt OPTIMUS (www.optimus-online.de, siehe beigefügte Veröffentlichung aus der Zeitschrift sbz, Anhang 10.3) ist daher die konsequente Weiterführung der am Kronsberg gewonnenen Ergebnisse auf den Gebäudebestand.

Die Diskussion zur Gerechtigkeit der Heizkostenabrechnung im Niedrigenergie-Geschosswohnungsbau ist derzeit voll im Gange und noch nicht abgeschlossen. In jedem Fall sind aber die Wirtschaftlichkeit der Dienstleistung Heizkostenabrechnung im Niedrigenergiehaus und noch mehr im zukünftigen Passivhaus kritisch zu hinterfragen.

Experten weisen immer wieder darauf hin, dass für bestehende Gebäude und Anlagen ein erhebliches Energieeinsparpotenzial vorhanden ist. Dabei geht es darum, dass in den Heizungsanlagen in der Regel zwar durchaus hochwertige Einzelkomponenten (Kessel, Pumpen, Regler, Thermostate, Heizkörper, etc.) vorhanden sind, diese aber oft nicht optimal zusammen arbeiten.

Der oftmals unterlassene **hydraulische Abgleich, die Überdimensionierung von Heizflächen und die zumeist nicht der Anlagendimensionierung entsprechende Auslegung der Pumpen** sind dabei nur drei, wenn auch entscheidende Faktoren, die zu einem unnötigen Energieverbrauch und somit zu einer Verschwendung von Ressourcen führen.

Die Optimierung vorhandener Anlagen zielt darauf ab, Überangebote von Wärmeenergie zu vermeiden und den einzelnen Heizflächen die richtige Wärmemenge zuzuführen. Dazu ist es notwendig, die Heizwassertemperatur den tatsächlichen Gegebenheiten anzupassen sowie einen hydraulischen Abgleich fachgerecht durchzuführen. Diese Einstellungen verursachen relativ geringe Kosten und können die Lebensdauer der Anlagenkomponenten verlängern.

10. Anhang

10.1. Quellen

Kürzel	Quelle
[BBR]	Wolff, Dieter / Jagnow, Kati / Ullrich, Christian und Halper, Christian; Felduntersuchungen zur Begrenzung des Lüftungswärmeverbrauchs bei mechanischer Wohnungslüftung und Fensterlüftung durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen; BBR Forschungsvorhaben; Endbericht; Institut für Heizungs- und Klimatechnik an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002.
[SBZ]	Wolff, Dieter / Teuber, Peter und Jagnow, Kati; Energieanalyse aus dem Verbrauch; SBZ; Nr. 03/2005; Gentner; Stuttgart; 2005.
[DIN V 4108-6]	DIN V 4108 Teil 6; Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden; Vornorm - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfes; Beuth-Verlag, Berlin, 2000
[DIN V 4701-10]	DIN V 4701 Teil 10; Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen; Vornorm - Teil 10: Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung; Beuth-Verlag, Berlin, 2001
[Edition 8]	K. Jagnow, D. Wolff; Kriterien zur Entwicklung von Software für die Gebäude- und Anlagenplanung von Niedrig-Energie-Häusern; KUKA-Dokumentation Kronsberg Edition 8; 2001
[Energiepass]	Energiepass Heizung/Warmwasser; Institut Wohnen und Umwelt, IMPULS Programm Hessen; Darmstadt; 1997
[EnEV]	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV); Stand November 2001
[HalperDA]	Halper, C.; Untersuchung von Einflüssen der Anlagentechnik und der Nutzung auf den Lüftungswärmeverbrauch von Gebäuden; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002
[HalperSA]	Halper, C.; Untersuchung der Schwankungsbreite des Luftwechsels in einem Mehrfamilienhaus; Studienarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002
[Heiz Konzept]	Bauen Am Kronsberg - Heiztechnisches Konzept; Landeshauptstadt Hannover; Februar 1998
[IWU Heizwärme]	W. Ebel, W. Eicke-Hennig, W. Feist, H.-M. Groscurth; Der zukünftige Heizwärmebedarf der Haushalte; IWU; Darmstadt; 1996
[LEG]	Heizenergie im Hochbau - Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung; Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit; Druck: Elektra/Niedernhausen; 1999
[Lüftungskonzept]	Bauen am Kronsberg - Lüftungskonzept; Landeshauptstadt Hannover, September 1996
[UllrichDA]	Ullrich; C.; Monatsweise Energetische Bewertung von Mehrfamilienwohnbauten in NEH-Bauweise; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002
[UllrichSA]	Ullrich, C.; Untersuchung der Eignung von Jahres-Energiebilanzverfahren zur monatsweisen Bilanzierung der Anlagentechnik; Studienarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002
[VDI 3807-1]	VDI 3808; Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen; Blatt 1 Grundlagen; VDI; 1994
[VDI 3807-2]	VDI 3808; Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen; Blatt 2 Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte; VDI; 1998
[VDI 3807-3]	VDI 3808; Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen; Blatt 3 Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude und Grundstücke; VDI; 2000

Tabelle 10.1 Quellen

10.2. Formelzeichen und Indices

Symbol	physikalische Größe	Grundeinheit(en)
Δ	Differenz zweier Größen	[-]
ϑ	Temperatur	[°C]
η	Ausnutzungsgrad	[%], [-]
A	Fläche	[m ²]
F, f	Allgemeiner Faktor	[-]
G	Heizgradtage	[kKh/a]
Gt	Gradtagszahl	[kKh/a]
H _T	Transmissionsheizlast	[W/K]
Q	(Jahres-) Energie	[kWh/a] [kWh/mon]
U	Wärmedurchgangskoeffizient	[W/(m ² K)]
t	Zeit bzw. Zeit pro Jahr	[a], [d/a]
V	Volumen	[m ³]
z	Zeit bzw. Zeit pro Jahr	[a], [d/a]

Tabelle 2 Formelzeichen

Index	Bedeutung
a	außen
ce	Regelung der Übergabe
d	Verteilung
e	external (für äußeres Hüllvolumen)
E	Jahres-Endenergie
EB	Energiebezug~ (für Energiebezugsfläche, beheizte Wohnfläche)
g	Erzeugung
h	Heizwärme, Nutzwärme der Heizung
H	Heiz(end)energie
HP	Heizperiode
i	innen
I	Innere Wärme
m	Mittelwert
N	Nutz~ (für Nutzfläche)
L	Luft (für Luftvolumen)
s	Speicher
S	Solare Wärme
T	Transmission
V	Lüftung
w	Warmwassernutzen
W	Warmwasser(end)energie

Tabelle 3 Indizes

10.3. Veröffentlichung SBZ: Energieanalyse aus dem Verbrauch

Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, Dipl.-Ing. (FH) Kati Jagnow, Dipl.-Ing.(FH) Peter Teuber

Einführung: Energiepässe

Spätestens mit dem Inkrafttreten der Europäischen Gebäuderichtlinie sind an breiter Front Energiepässe für Gebäude auszustellen. Die derzeitige Diskussion behandelt die Frage, für welche Gebäude und in welcher Detailtiefe diese Pässe zu erstellen sind.

Die Autoren halten folgenden Weg für gangbar: Bedarfsenergiepässe werden generell für Neubauten erstellt, da hier noch keine Verbrauchsdaten vorliegen. Hier wird der ganzheitliche Bilanzansatz für Gebäude, Anlagentechnik, Nutzung und Qualität in Planung und Ausführung der DIN 18599 verfolgt.

Für die Bewertung von Bestandsbauten, die nicht (im Zuge der Energiepasserstellung) modernisiert werden, schlagen die Autoren das Ausstellen eines verbrauchsorientierten Energiepasses vor.

Werden bestehende Gebäude modernisiert und die Berechnungen zum Energiepass dienen auch zur Prognose von Energieeinsparungen oder sind Grundlagen für Wirtschaftlichkeitsberechnungen, sollte unbedingt ein Abgleich zwischen vor der Modernisierung gemessenen Verbrauchswerten und voraussichtlichen theoretischen Bedarfswerten nach der Modernisierung erfolgen. Die Aussage der vermutlichen Energieeinsparung muss sich am vorhandenen Verbrauch bzw. den zugehörigen Randbedingungen orientieren und diese entsprechend berücksichtigen.

Im Folgenden wird ein Ansatz zur Ermittlung von Energiekenngrößen für Baukörper, Anlagentechnik, Nutzung und Qualitätssicherung aus Verbrauchsdaten beschrieben. Der Schwerpunkt liegt bei der Bewertung von Wohngebäuden bzw. des Heizenergieverbrauchs von Gebäuden. Der Ansatz kann Grundlage für den verbrauchsorientierten Energiepass als auch den Verbrauchs-/Bedarfsabgleich sein.

Vorteile, die sich aus der verbrauchsorientierten energetischen Analyse von Wohngebäuden ergeben, werden in mehreren von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekten [1] [11] [12] deutlich. Eine vertiefte Bearbeitung des Themas u. a. in der Dissertation der Mitautorin [10] zeigt, dass Verbrauchswerte eine sehr vertrauenswürdige Datenbasis für Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Energieeinsparmaßnahmen sind. Auf Basis von realen Verbrauchsdaten werden mögliche Energieeinsparungen nicht überbewertet und somit für den betroffenen Gebäudebesitzer realistisch darstellbar.

Erfassung der Messwerte

Jahresverbrauchswerte aus Heizkostenabrechnungen liefern eine erste Gesamtbewertung von Bestandsgebäuden. Sehr viel detailliertere Informationen über Gebäude, Anlagentechnik, Nutzung und Qualitätssicherung erhält man aus der Analyse von monatlichen Verbrauchswerten.

Im einfachsten Fall kann der monatliche Gesamtwärmeverbrauch des Gebäudes erfasst werden (Gas, Fernwärme usw.). Durch den (zusätzlichen) Einbau von Wärme-

mengenzählern zur Erfassung der Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für Raumheizung und wenn möglich auch für die Trinkwarmwasserbereitung lassen sich die aus dem Verbrauch ableitbaren Informationen verfeinern.

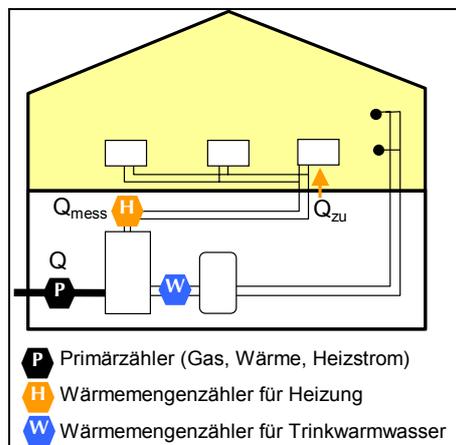


Bild 1 Anordnung der Wärmemengenzähler

In einem nach Bild 1 mit Messeinrichtungen ausgestatteten Gebäude können zum einen Wärmemengen, die im beheizten Bereich auftreten von denen im unbeheizten Bereich unterschieden werden. Die Monatsdatenauswertung erlaubt darüber hinaus die Unterscheidung in Energieaufwendungen, die abhängig von der Belastung (Außentemperatur bzw. Wärmeerzeugerbelastung) sind und solche, die davon unabhängig sind.

Energetische Beurteilung des beheizten Bereichs

Zunächst soll die Auswertung der im beheizten Bereich verbrauchten Wärmemengen erfolgen. Die gemessenen monatlichen Verbrauchswerte für die Heizung werden dazu als mittlere Wärmeleistung (gemessener Energieverbrauch in kWh/Zeitraum geteilt durch Länge des Messzeitraums in h/Zeitraum) abhängig von der zugehörigen Außentemperatur in ein Diagramm eingetragen - Bild 2.

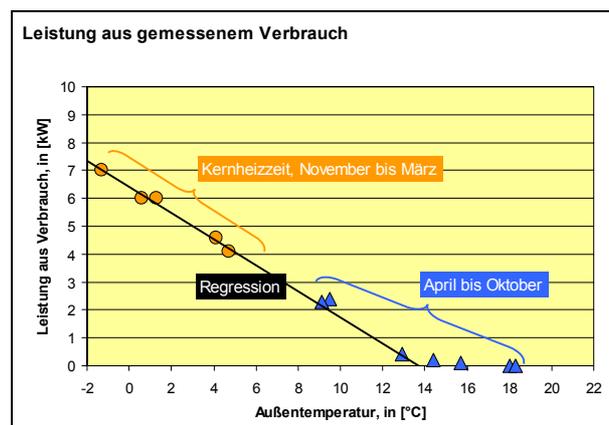


Bild 2 Auftragung der Messwerte mit Regressionsgerade

Die Heizverteilverluste im unbeheizten Bereich sind hier vorher berücksichtigt und von den am Wärmemengenzähler gemessenen Verbrauchswerten abgezogen worden. Die exakte monatliche Datenerfassung z.B. mit einem Speicherwärmemengenzähler ist sinnvoll, da auch Wetterdaten meist nur für Gesamtmonate verfügbar sind.

Die notwendigen Wetterdaten erhält man am kostengünstigsten im Internet. Hierbei sei besonders auf den kostenlosen Service des IWU, Darmstadt hingewiesen (www.iwu.de).

In das Diagramm nach dem in Bild 2 gezeigten Schema werden alle Messpunkte eingetragen. Für die Messpunkte in den sogenannten Kernheizmonaten November bis März (bei denen die mittlere Außentemperatur unter 6 ... 8°C liegt) streuen die Datenpunkte meist nur wenig um eine einfach zu ermittelnde Regressionsgerade. Die anderen Messpunkte der Monate April bis Oktober sind zunächst als zusätzliche Messpunkte zu verstehen, die nicht unbedingt für das Vorhaben "Erstellung eines verbrauchsorientierten Energiepasses" benötigt werden.

Interpretation und Erläuterungen zum Messdatenverlauf

Die Steigung der Geraden im Diagramm entspricht dem bezogenen Wärmeverlust aus Transmission und Lüftung (= bezogene Heizlast in W/K). Diese Größe wird mit H bezeichnet. Je schlechter die Dämmqualität eines Gebäudes oder je höher der mittlere Luftwechsel desto höher die Steilheit der Geraden und desto größer ist H . Wichtig für weitergehende Überlegungen ist die Tatsache, dass die Steigung der Regressionsgeraden von einer mittleren Raumtemperatur unabhängig ist. Die Größe H kann aus dem Diagramm einfach abgelesen werden.

Die Größe kann aber auch nach Gleichung 1 berechnet werden. In bedarfsorientierten Energiebilanzverfahren wird hierzu recht kostenintensiv und zeitaufwendig die Gebäudegeometrie (einzelne Hüllflächen A_i , zur Gesamthüllfläche A sowie das Gebäudevolumen V) aufgenommen, Wärmedämmstandards (U_i) zu einem mittleren U_m -Wert unter Berücksichtigung von Temperaturkorrekturen abgeschätzt und Luftwechsel (n) angenommen [5] [6] [8] [7] [13].

$$H = H_T + H_V = U_m \cdot A + n \cdot V \cdot 0,34 \frac{Wh}{m^3K} \quad 1$$

- H : bezogener Wärmeverlust, in [W/K]
- H_T : bezogener Transmissionswärmeverlust, in [W/K]
- H_V : bezogener Lüftungswärmeverlust, in [W/K]

Der Laie fragt sich bei der Betrachtung der Verbrauchsdatenauswertung nach Bild 2 zunächst, warum die Regressionsgerade nicht durch die Raumtemperatur von z.B. 20°C verläuft. Da die Wärmeverluste eines Gebäudes durch Transmission und Lüftung proportional der Innen-/Außentemperaturdifferenz sind, müsste theoretisch bis zur Raumtemperatur geheizt werden (Bild 3a). Dies wäre in einem Gebäude ohne jegliche innere Wärmequellen und bei Vernachlässigung solarer Wärmegewinne richtig.

In der Realität tritt Fremdwärme auf. In der Kernheizzeit November bis Februar/März ist sie darüber hinaus näherungsweise konstant und führt damit zu einer Parallelverschiebung der Heizlastkurve (Bild 3b). Die Steigung der Geraden ändert sich dabei nicht.

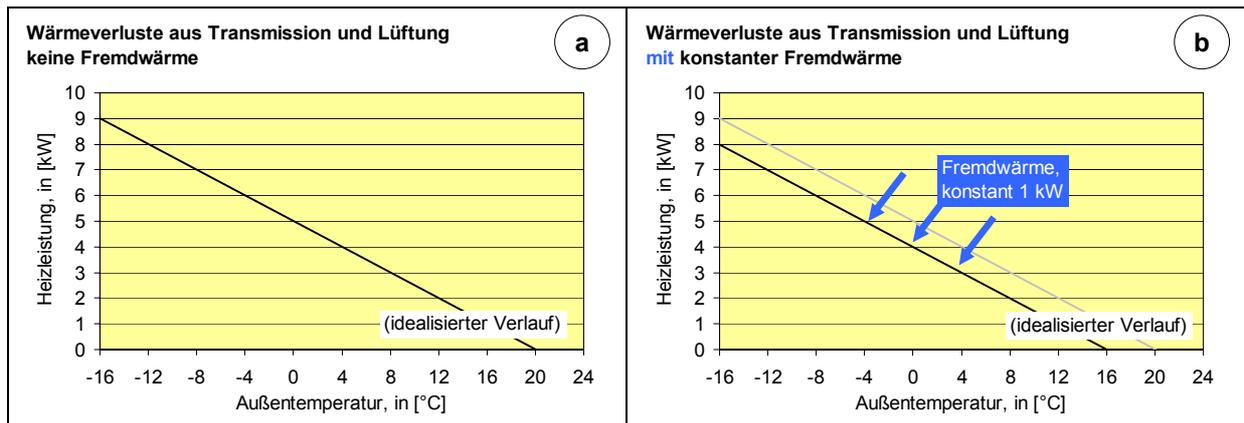


Bild 3 Verlauf der Heizleistung

(a) idealisierte Verluste aus Transmission und Lüftung ohne Fremdwärme

(b) idealisierte Verluste aus Transmission und Lüftung mit konstanter Fremdwärme

In der Übergangszeit sind die Verbrauchswerte sehr viel stärker dem Einfluss des Nutzerverhaltens unterworfen. Sie liegen i.d.R. nicht mehr so eindeutig auf der "Kernheizzeit-Regressionsgeraden", sondern streuen mehr. Es gibt zwei Tendenzen:

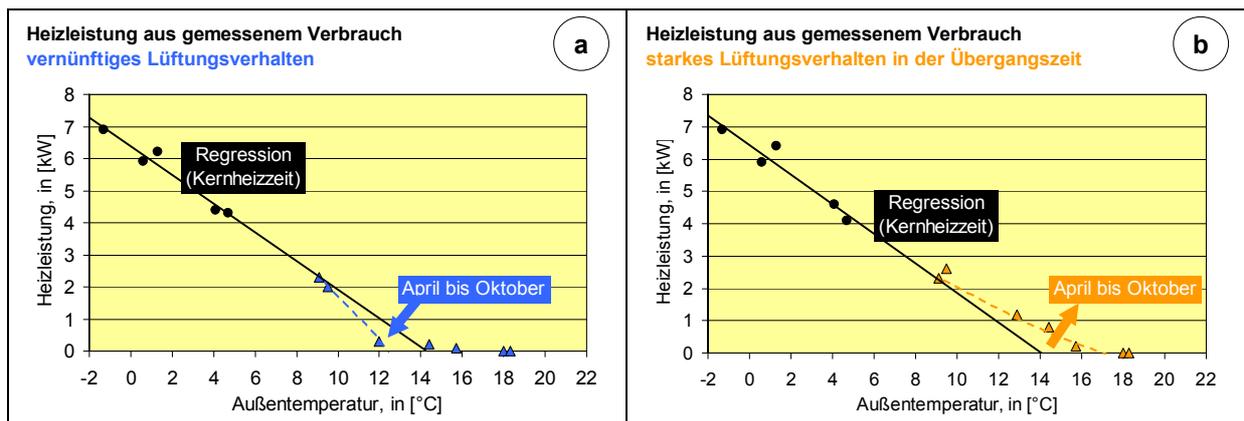


Bild 4 Verlauf der Heizleistung

(a) Verlauf der Heizleistung mit normalem Lüftungsverhalten in der Übergangszeit

(b) Verlauf der Heizleistung bei zu starkem Lüften in der Übergangszeit

1. In den Übergangszeiten Frühjahr und Herbst entsteht durch die höheren Solarstrahlungen eine erhöhte mittlere Fremdwärmeleistung, die theoretisch sogar zu einer niedrigeren Heizgrenztemperatur führen müsste. Die Verbrauchswerte liegen tendenziell unter der "Kernheizzeit-Regression" (Bild 4a).
2. Da in den Übergangszeiten aus den verschiedensten Gründen aber häufig viel stärker gelüftet wird, kann jedoch auch der gegenteilige Effekt auftreten, die Heizgrenztemperatur verschiebt sich zu höheren Werten. Die Verbrauchswerte liegen tendenziell über der "Kernheizzeit-Regression" (Bild 4b).

Einfache Gesamtenergiebilanz

Für den Schnittpunkt der Regressionsgerade mit der Außentemperatur-Achse (X-Achse) ergibt sich eine theoretische Heizgrenztemperatur, bei der die Fremdwärme-gewinne gleich den Wärmeverlusten sind und folglich die Heizlast null wird. An Tagen unterhalb dieser Außentemperatur muss geheizt werden.

Mit der aus Messwerten ermittelten Heizgrenztemperatur (gerundet auf einen standardisierten Wert: 10, 12, 15, 17°C) kann für den Standort und das Gebäude eine typische Standardheizperiodendauer z sowie mittlere Heizgradtage bestimmt werden (Bild 5). Die notwendigen statistischen Wetterdaten sind vielfach veröffentlicht [4] [17].

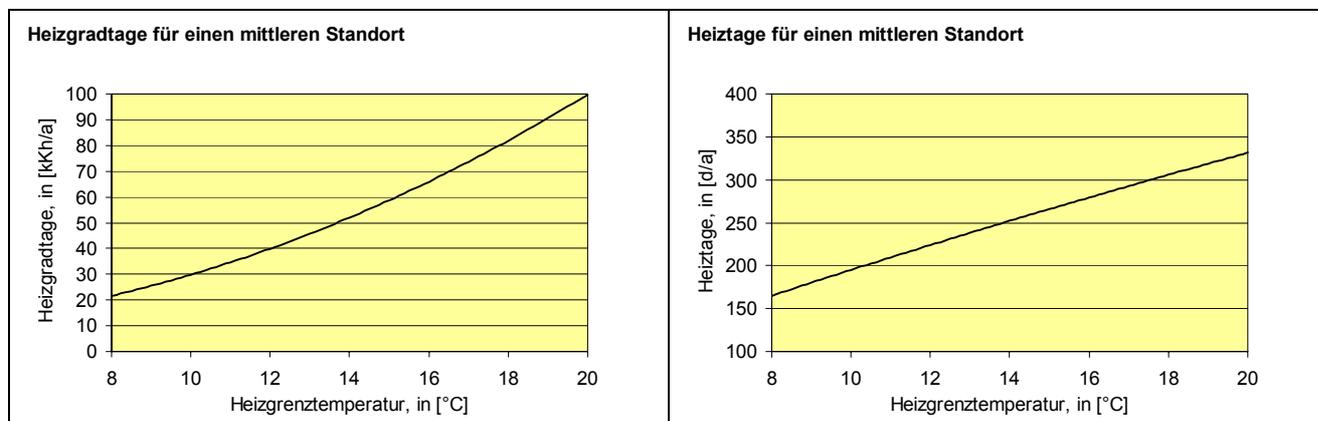


Bild 5 Typische Heizgradtage und Heiztage

Der normierte Heizenergieverbrauch des Gebäudes lässt sich nun auf eine einfache Beziehung zurückführen. Er ist die Summe der Wärmezufuhr in den beheizten Bereich und der technischen Verluste im unbeheizten Bereich nach Gleichung 2.

$$Q = Q_h + Q_t \quad 2$$

$$= (H \cdot G) + (Q_d + Q_s + Q_g)$$

- Q_h : normierter Heizwärmeverbrauch, in [kWh/a]
- Q_t : anlagentechnische Verluste außerhalb des beheizten Bereichs, in [kWh/a]
- H : aus Messdaten abgeleiteter bezogener Wärmeverlust, in [W/K]
- G : normierte Heizgradtage mit einer aus Messdaten abgeleiteten Heizgrenztemperatur, in [kWh/a]
- Q_d : mit Hilfe von Messwerten standardisierte Verteilverluste, in [kWh/a]
- Q_s : mit Hilfe von Messwerten standardisierte Speicherverluste, in [kWh/a]
- Q_g : mit Hilfe von Messwerten standardisierte Erzeugerverluste, in [kWh/a]

Die Bestimmung der technischen Verluste unter Einbezug von Messwerten wird im Folgenden erläutert.

Verteilverluste im unbeheizten Bereich

Die standardisierten Verteilverluste im unbeheizten Bereich müssen mit Hilfe von Kennwerten, aber auch unter Verwendung von realen Anlagengrößen abgeschätzt werden. Es kann der Zusammenhang nach Gleichung 3 verwendet werden.

$$Q_d = L_{Rohr} \cdot U_{Rohr} \cdot (t_{i,Rohr} - t_{unbeheizter\ Raum}) \cdot z \quad 3$$

- Q_d : standardisierte Verteilverluste, in [kWh/a]
- L_{Rohr} : Heizleitungslängen im unbeheizten Bereich des Gebäudes, in [m]
- U_{Rohr} : mittlerer längenbezogener Wärmeverlust der Leitungen (z.B. nach Bild 6a), in [W/(mK)]
- $t_{i,Rohr}$: mittlere Temperatur in den Rohren (näherungsweise nach Bild 6b), in [°C]
- $t_{unbeheizter\ Raum}$: Temperatur im unbeheizten Raum (z.B. aus Messung abgeschätzt), in [°C]
- z : Heiztage mit der aus Messdaten abgeleiteten Heizgrenztemperatur (siehe Bild 5), in [h/a]

Die Leitungslängen im unbeheizten Bereich müssen bei einer Gebäudebegehung aufgenommen werden. Dabei wird auch der typische Dämmstandard für die Leitungen erfasst. Bild 6b kann zur Ermittlung des mittleren längenbezogenen Wärmeverlustes für die Rohre herangezogen werden.

Bei der Gebäudebegehung werden nun noch 4 Temperaturen erfasst: die Vorlauf-temperatur der Heizleitungen, die mittlere Rücklauf-temperatur der Heizleitungen, die Außentemperatur und die typische Kellertemperatur.

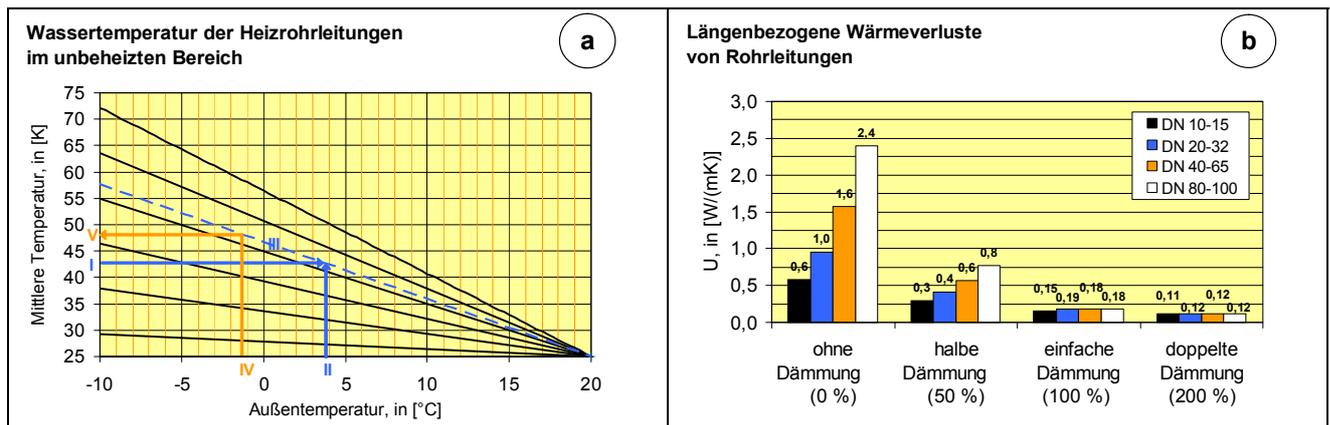


Bild 6 Abschätzung von Verteilverlusten
(a) Heizwassertemperatur
(b) Längenbezogener Wärmeverlust der Leitungen

Mit Bild 6a wird aus dem Mittelwert der gemessenen Vor- und Rücklauf-temperatur des Heiznetzes (I) und der gemessenen Außentemperatur (II) der typische Heizwassertemperaturverlauf (III) konstruiert. Vereinfacht liegen alle Heiznetztemperaturen über den Verlauf des Jahres auf dieser Linie (III). Der Einsatz einer witterungsgeführten Vorlauf-temperaturregelung wird hierbei vorausgesetzt.

Nun kann beispielsweise mit der normierten mittleren Außentemperatur aus den statistischen Wetterdaten (IV) auch die mittlere Heizwassertemperatur (V) bestimmt werden. Zusammen mit der typischen gemessenen Kellertemperatur und der normierten Anzahl der Heiztage kann der Mittelwert für die Verteilverluste im unbeheizten Bereich bestimmt werden.

Die beschriebene Vorgehensweise kann auch für die Abschätzung monatsweiser Verteilverluste verwendet werden. Aus Bild 6a wird die mittlere Heizwassertemperatur anhand der mittleren Monatstemperatur abgelesen und in die Gleichung zu Bestimmung der Verteilverluste wird die Zeitdauer eines Monats eingesetzt.

Beurteilung von Wärmeerzeugern mit dem normierten Aufwand

Mit den Messeinrichtungen nach Bild 1 lassen sich auch alle wichtigen Kennwerte fossil beheizter Wärmeerzeuger ableiten. Alternativ zur heute üblichen Bewertung von Wärmeerzeugern mit Nutzungsgraden oder Aufwandszahlen kann dazu das Verfahren des "normierten Energieaufwands" [14] verwendet werden. Basis des Verfahrens sind gemessene Nutzenergieabgaben (Output) und Endenergiemengen (Input) der Wärmeerzeuger.

Die Darstellung des Nutzungsgrades oder der Aufwandszahl als Funktion der Auslastung ergibt stark gekrümmte Verläufe – vor allem im Bereich geringer Auslastungen des Wärmeerzeugers (Bild 7a und b).

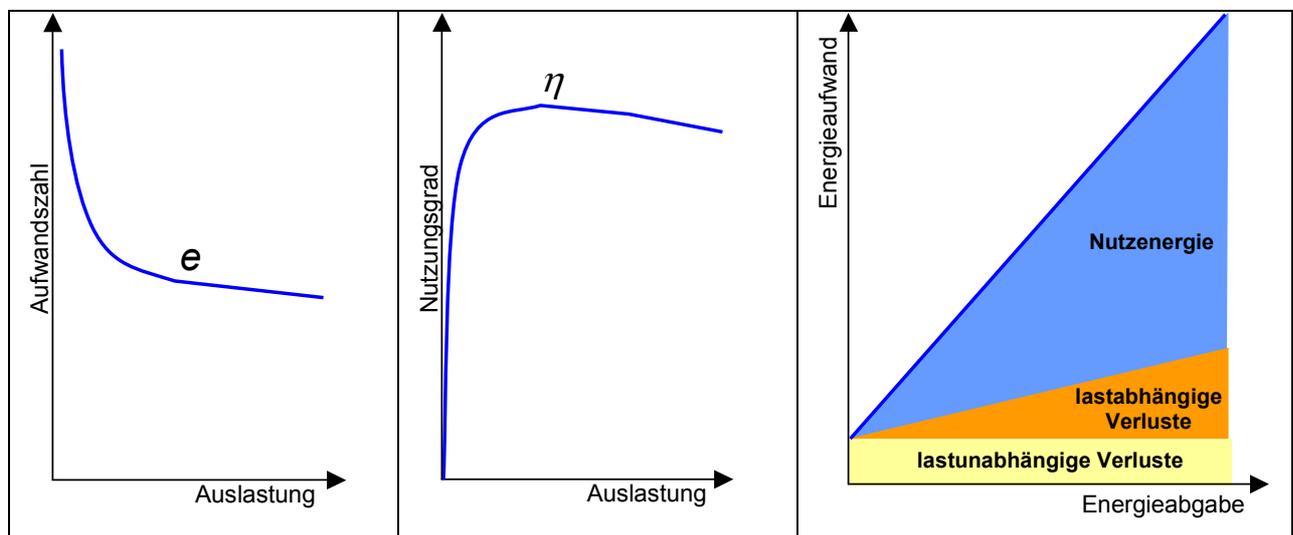


Bild 7 Nutzungsgrad (a), Aufwandszahl (b), Energieaufwand (c) [10]

Stellt man die Verluste jedoch in der Form "Energieaufwand" über "Energieabgabe" dar, ergeben sich in erster Näherung lineare Auftragungen (Bild 7c). Die lastabhängigen Verluste (Abgas- und Strahlungsverluste) nehmen linear mit der Nutzenergieabgabe (= Belastung) des Kessels zu, während die lastunabhängigen Verluste (Betriebsbereitschaftsverluste) praktisch nicht von der Belastung abhängen.

Will man das Diagramm des "normierten Energieaufwands" anhand von Messwerten erstellen, reichen praktisch 2 Messpunkte aus, um die Gerade zeichnen zu können – ein klarer Vorteil gegenüber der Darstellung des Nutzungsgrades oder der Aufwandszahl. Mit weiteren Messwerten (mehrere Monate) gewinnt die Auswertung zusätzlich an Sicherheit.

Es werden für den Kessel somit zunächst die absoluten Wärmemengen (Input, Output) für den Erzeuger erfasst. Monatliche Messwerte eignen sich dafür. Anschließend werden die Messwerte nach Gleichung 4 und 5 normiert.

Dazu werden sowohl die monatlich gemessene Feuerungswärmemenge $Q_{Feuerung}$ (Brennstoffverbrauch mal Brennwert) als auch die Nutzenergieabgabe Q_{Nutz} (Wärmenengenzählerwerte) des untersuchten Wärmeerzeugers auf die maximal mögliche Energieabgabe (Produkt aus Kesselnennleistung und Zeit eines Monats) bezogen.

$$w_{auf} = \frac{Q_{Feuerung}}{\dot{Q}_K \cdot t_B} \quad 4$$

$$\beta = \frac{Q_{Nutz}}{\dot{Q}_K \cdot t_B} \quad 5$$

- w_{auf} : normierter Energieaufwand
- $Q_{Feuerung}$: Feuerungswärmeaufnahme des Kessels
- β : Auslastung
- Q_{Nutz} : Nutzenergieabgabe des Kessels
- \dot{Q}_K : Kesselnennleistung
- t_B : Messzeit (z. B. ein Monat)

Die beiden entstehenden Größen sind der normierte Energieaufwand w_{auf} und die Kessel-Auslastung β . Alle Monatswerte werden in ein Diagramm eingetragen und durch eine Ausgleichsgerade verbunden, siehe Bild 8.

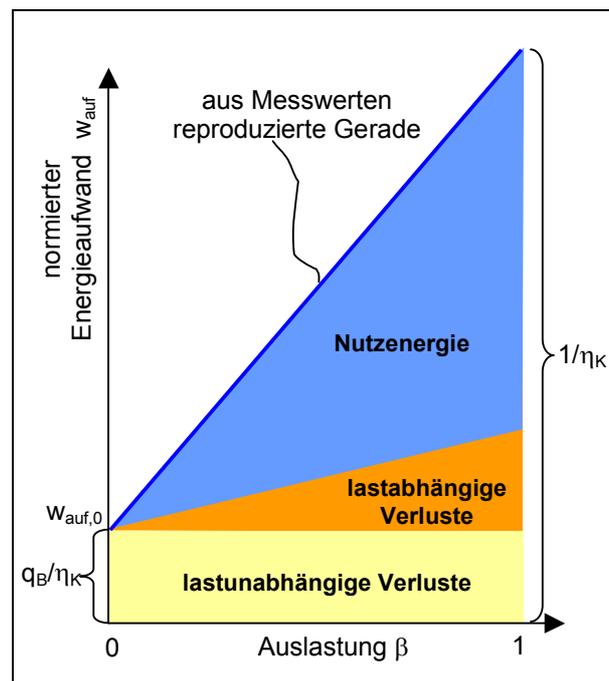


Bild 8 Ermittlung bekannter Kennwerte

Aus der Geraden nach Bild 8 können anschließend sehr einfach bekannte Energiekennwerte ermittelt werden. Der Kesselwirkungsgrad im Betrieb ergibt sich beispielsweise bei einer Auslastung von 100 % ($\beta = 1$). Es gilt Gleichung 6.

$$\eta_K = \frac{\text{Kesselleistung}}{\text{Feuerungsleistung}} = \frac{1}{w_{auf}(\beta = 1)} \quad 6$$

- η_K : Kesselwirkungsgrad
- $w_{auf}(\beta = 1)$: normierter Energieaufwand bei Volllast

Den Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse nennt man $w_{auf,0}$. Aus dieser Kenngröße kann nach Gleichung 7 der mittlere Betriebsbereitschaftsverlust berechnet werden.

$$q_B = \eta_K \cdot w_{auf,0} \quad 7$$

- q_B : Bereitschaftsverluste
- $w_{auf,0}$: normierter Energieaufwand bei Nulllast
- η_K : Kesselwirkungsgrad

Mit Hilfe des normierten Energieaufwands w_{auf} können auch die standardisierten Erzeugerverluste Q_g berechnet werden. Es wird zunächst die Energiemenge Q_{Nutz} bestimmt, die der Kessel im Verlauf eines Standardjahres abgeben muss. Dies ist die Summe aus normiertem Heizwärmeverbrauch Q_h und den normierten Verteil- und Speicherverlusten Q_d sowie Q_s (nach Gleichung 2).

Mit Hilfe der Gleichung 8 wird dann eine mittlere Belastung β des Erzeugers berechnet. Für diese Belastung wird der normierte Energieaufwand w_{auf} aus dem Diagramm (Bild 8) bestimmt. Mit Gleichung 9 kann ein standardisierter Erzeugerverlust bestimmt werden.

$$\beta = \frac{Q_{Nutz}}{\dot{Q}_K \cdot z} \quad 8$$

$$Q_g = Q_{Feuerung} - Q_{Nutz} = (w_{auf} \cdot \dot{Q}_K \cdot z) - Q_{Nutz} \quad 9$$

- β : Auslastung
- Q_{Nutz} : Nutzenergieabgabe des Kessels
- \dot{Q}_K : Kesselnennleistung
- z : Heiztage mit der aus Messdaten abgeleiteten Heizgrenztemperatur (siehe Bild 5), in [h/a]
- Q_g : mit Hilfe von Messwerten standardisierte Erzeugerverluste, in [kWh/a]
- $Q_{Feuerung}$: Feuerungswärmeaufnahme des Kessels
- w_{auf} : normierter Energieaufwand

Der normierte Energieaufwand: Brennwertkessel im Feldtest

Als Exkurs soll an dieser Stelle über das Projekt "Felduntersuchungen: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gasbrennwertkessel" berichtet werden. Im Projekt wurden 60 Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln und 7 mit Gas-Niedertemperaturkesseln mit zusätzlichen Wärmemengenzählern ausgestattet und die über die Gasmenge zugeführte Energie (Aufwand) sowie die abgeführte Energie (Nutzen) über die Wärmemengenzähler erfasst. Zur Datenauswertung wurde u.a. das Verfahren des "normierten Energieaufwandes" verwendet.

Die untersuchten Brennwertkessel (in Ein- und Zweifamilienhäusern) sind gegenüber der Gebäudeheizlast um etwa das zwei- bis vierfache überdimensioniert, so dass sich eine mittlere Kesselauslastung β von ca. 9 % ergibt. Werden alle Brennwertkesselanlagenlagen unabhängig von ihren speziellen Merkmalen gemeinsam ausgewertet, ergibt sich das Diagramm des "normierten Energieaufwands" nach Bild 9.

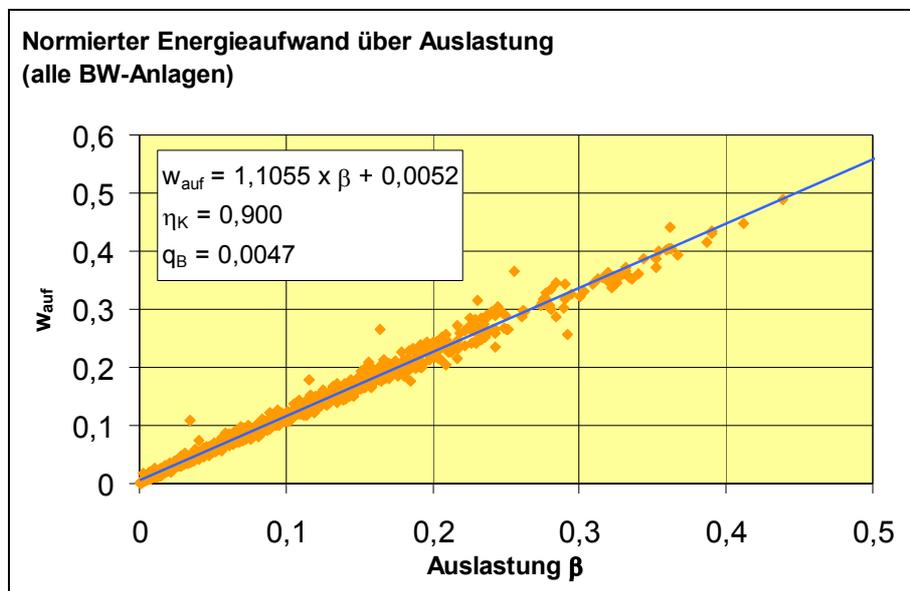


Bild 9 Normierter Energieaufwand über normierter Energieabgabe [1]

Aus der Ausgleichgeraden der Monatsmesswerte ergibt sich auf ein Jahr bezogen ein durchschnittlicher Betriebsbereitschaftsverlust von $q_B = 0,47$ % für alle Brennwertanlagen. Der mittlere Kesselwirkungsgrad im Betrieb beträgt $\eta_K = 90$ % (Brennwertbezug).

Für die festgestellte mittlere Belastung der Anlagen von 9 % ergibt sich ein normierter Energieaufwand von $w_{auf} = 0,105$. Das bedeutet:

1. Die mittlere Kesselnutzleistung im Betrieb beträgt 9 % der installierten Kesselleistung ($\beta = 0,09$). Für einen typischen 20 kW Kessel ergibt sich eine mittlere Leistung von 1,8 kW.
2. Die benötigte, zugeführte Leistung beträgt 10,5 % der installierten Kesselleistung ($w_{auf} = 0,105$). Für den 20 kW-Kessel beträgt sie also im Mittel 2,1 kW.
3. Der mittlere Nutzungsgrad aller untersuchten Brennwertkessel liegt damit bei rund 86 % (1,8 kW / 2,1 kW) bezogen auf den Brennwert. Bezogen auf den Heizwert liegt der Nutzungsgrad damit bei etwa 96 %.

Die Auswertung nach dem Verfahren des normierten Energieaufwandes wurde auch verwendet, um den Einfluss verschiedener Anlagenmerkmale auf die Kesseleffizienz sichtbar zu machen. Dazu wurden jeweils Gruppen von Anlagen mit unterschiedlichen Merkmalen gebildet, z.B. die Gruppe aller Anlagen mit Überströmventil gegenüber der Gruppe ohne Überströmventil. Die verschiedenen untersuchten Merkmale zeigt Bild 10, ebenso jeweils in Klammern angegeben die Anzahl der Anlagen je Gruppe.

Aus den sich ergebenden Auftragungen des normierten Energieaufwandes wurden jeweils alle Effizienzmerkmale abgeleitet. Bild 10 zeigt die Ergebnisse des Kesselwirkungsgrades (bei Belastung $\beta = 100\%$) und des mittleren normierten Kesselnutzungsgrades (bei mittlerer Kesselbelastung β) für verschiedene Anlagenmerkmale.

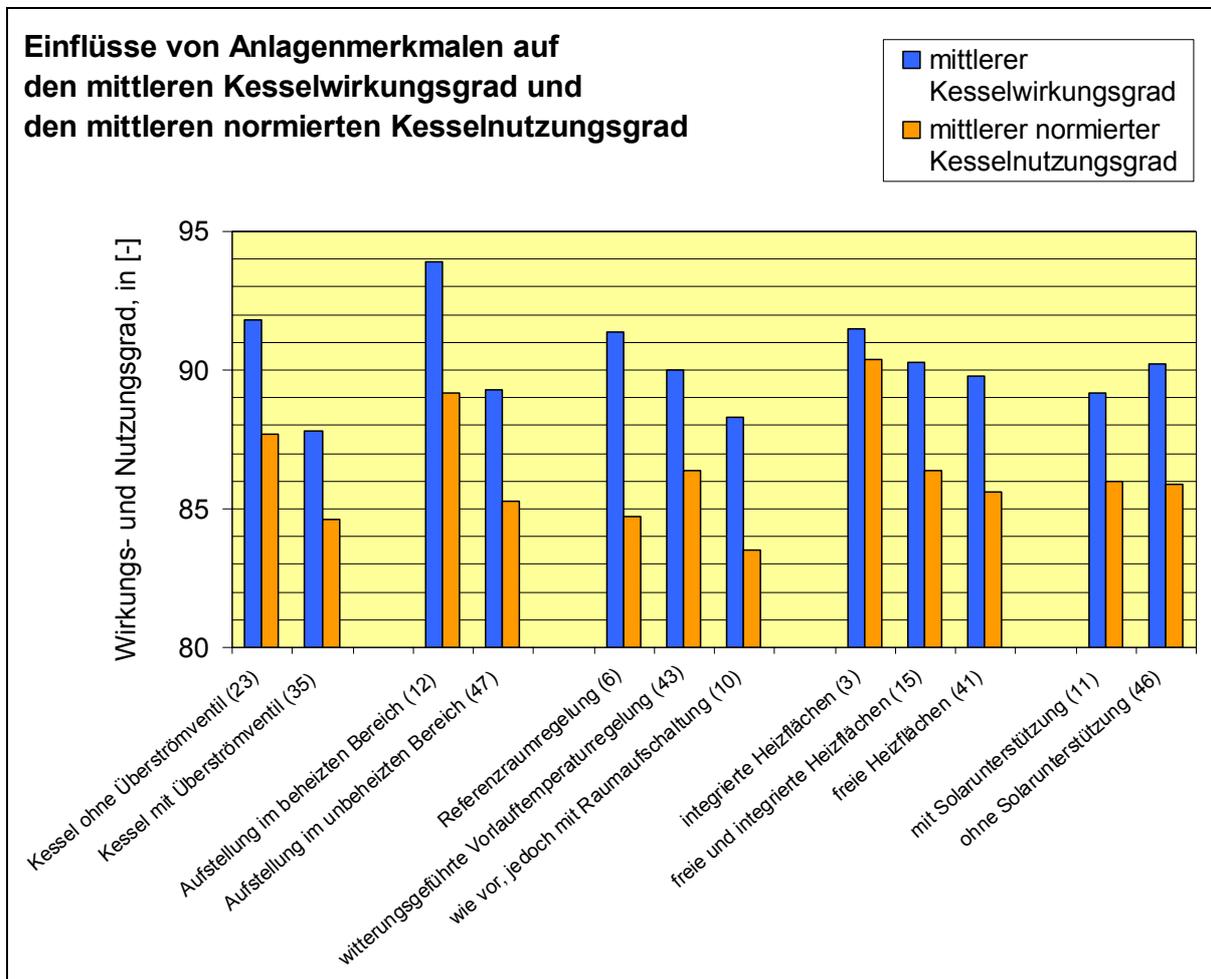


Bild 10 Einflüsse von Anlagenmerkmalen auf die Effizienz (Daten nach [1])

Die Analyse der Feldmessungen zeigt Abhängigkeit des mittleren Nutzungsgrades sowie des Kesselwirkungsgrades:

- von der hydraulischen Einbindung mit oder ohne ein Überströmventil,
- vom Aufstellort des Wärmeerzeugers im beheizten oder unbeheizten Bereich und
- von den am Kesselregler eingestellten Vorlauftemperaturen.

Weitere Erläuterungen und Auswertungen der Brennwertkesselanlagen sowie die Ergebnisse für die Niedertemperaturanlagen sind in den entsprechenden Kapiteln des im Internet veröffentlichten Berichtes [1] zu finden.

Vergleich der Messwerte mit Theoriewerten

Ein Vergleich der Messwerte des Projekts "Brennwertkessel" mit theoretischen Bedarfswerten nach DIN V 4701-10 sowie dem Normnutzungsgrad nach DIN 4702-8 [3] ergab große Differenzen für die untersuchten Anlagen.

Die Spannbreite der auf die beheizte Fläche bezogenen Kesselverluste der im Feldtest untersuchten Wärmeerzeuger liegt zwischen 5 und 35 kWh_(H₀)/(m²·a) die Spannbreite der auf den Brennwert H₀ bezogenen Jahresnutzungsgrade zwischen ca. 60 bis 94 %; wobei man beim heutigen Stand deutscher Kesseltechnologie von gleicher Qualität der eingesetzten Geräte ausgehen kann.

Für ein typisches Einfamilienhaus des Projekts ergaben sich im Mittel beispielsweise gemessene brennwertbezogene Kesselverluste von 16 kWh/(m²a). Die EnEV-konforme Berechnung liefert im gleichen Fall q_g (H₀) = 9 kWh/(m²a) bei guten Randbedingungen (BDH-Produktkennwerte, 55/45 °C Auslegung u.a.) und q_g (H₀) = 15 kWh/(m²a) bei schlechten Randbedingungen (DIN-Standardwerte für Brennwertkessel und 70/55 °C Auslegung u.a.).

Die Theoriewerte der DIN 4701-10 ergeben also nur eine akzeptable Übereinstimmung mit den realen Messwerten, wenn u.a. für die Kessel die Standardwerte nach Anhang C und nicht die verbesserten Kennwerte nach BDH verwendet werden.

Die in der Praxis verbreitete Annahme, dass der tatsächlich erreichbare Jahresnutzungsgrad nur etwa 1 % unter dem Normnutzungsgrad nach DIN 4702-8 liegt [2], konnte durch das Projekt nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse des Projektes "Brennwertanlagen" [1] liefern Unterschiede zwischen real gemessenem Nutzungsgrad und Normnutzungsgrad von 10 ... 13 Prozentpunkten. Neben diesen Ergebnissen ergab sich aus den Auswertungen eindeutig, dass nur der Bezug auf den Brennwert bzw. auf den oberen Heizwert sinnvolle Aussagen zur Effizienz von Wärmeerzeugern zulässt.

Bei aller Kritik an den untersuchten Brennwertanlagen soll an dieser Stelle noch mal darauf hingewiesen werden, dass die als Referenzanlagen betrachteten Niedertemperaturanlagen deutlich höhere Wärmeverluste aufweisen (auch hier werden die angegebenen Normnutzungsgrade nicht erreicht).

Hinweise zur Optimierung und Qualitätssicherung

Aus dem Vergleich der Theorie- und Praxiswerte wurden im Projekt "Brennwertkessel" Regeln für die künftige Konstruktion, die Planung und den Betrieb von Brennwertkesselanlagen formuliert [1].

1. An die Hersteller
 - a. Es werden Brennwertkessel mit höherem Wasserinhalt, ohne Anforderungen an einen Mindestvolumenstrom (Überströmventil) benötigt.
 - b. In Geräte integrierte Pumpen sollten insgesamt geringere Leistungen aufweisen (geringere hydraulische Widerstände der Geräte), auf jeden Fall aber sollte die Förderhöhe einstellbar und an das Netz anzupassen sein.
 - c. Die Modulationsbereiche der Geräte sollten möglichst hoch sein, um eine Anpassung an verschiedene Auslegungslasten und Teillastbereiche zu ermöglichen.
 - d. Die Kesselwassertemperatur sollte im Auslieferungszustand 50 bis 55 °C betragen mit einer Parallelverschiebung der Heizkurve von etwa 2 bis 4 K bezogen auf die Raumtemperatur. Der Brennwertkessel arbeitet dann mit seiner mittleren Kesselwassertemperatur praktisch in der gesamten Heizperiode im Brennwertbereich, während dies heute (ca. 75 °C Werkseinstellung) nicht der Fall ist.

2. An die Planer
 - a. Einfache Anlagenkonzepte planen. Gesamtsysteme eines Herstellers, speziell auch für Solarunterstützte Systeme, und ein einfaches Gesamtregelkonzept sind zu bevorzugen.
 - b. Im Neubau innerhalb eines Raumes entweder nur Heizkörper oder nur Fußbodenheizflächen einsetzen.
 - c. Kessel mit großem Wasserinhalt und möglichst hohem Modulationsbereich (Grundlaststufe unter 4 ... 5 kW) bevorzugen.
 - d. Kessel soweit möglich im beheizten Bereich des Gebäudes anordnen.
 - e. Bei der Wahl von Kesseln im kleinen Gebäude besonders auf geringe Bereitschaftsverluste und Pumpenstromaufwendungen achten, da die Pumpen praktisch die gesamte Heizperiode hindurch in Betrieb bzw. die Kessel größtenteils in Betriebsbereitschaft sind.
 - f. Im Bestand sind das vorhandene Rohrnetz sowie die Heizflächen in einer Ist-Analyse aufzunehmen. Wichtig ist die Anpassung der notwendigen Heizwassertemperaturen auf einem für das Gesamtsystem, v. a. für die Brennwertnutzung sinnvollen, möglichst niedrigen Temperaturniveau. Hierzu wurden von den Verfassern Hilfen (auch mit Softwareunterstützung) im Rahmen der Projekte: OPTIMUS [12] in Zusammenarbeit mit ProKlima Hannover entwickelt und bereits erfolgreich erprobt [9].
 - g. Grundsätzlich wird der Einbau eines Wärmemengenzählers nach dem Wärmeerzeuger als Kontrollinstrument für den späteren Betrieb empfohlen.

3. An die Ausführenden
 - a. Plandaten einzustellen und in einer Fachunternehmererklärung bestätigen.
 - b. Auf die korrekte Einstellung der Heizkurve am Regler (diese wird heute in ca. 90 % aller Fälle aus „Sicherheitsgründen“ nicht eingestellt) sowie die Anpassung der Pumpe und auf die Durchführung des hydraulischen Abgleichs ist zu achten.
 - c. Information der Nutzer über alle wesentlichen Geräte- und Bedienfunktionen sowie die Bedienung der Thermostatventilregler.

Die an die Hersteller gerichteten Vorschläge wurden in mehreren Gesprächen diskutiert mit dem ersten Konsens, dass sofern der Markt es fordert, seitens der Hersteller Kesselkonstruktionen mit ausreichendem Wasserinhalt bzw. mit geringem hydraulischem Widerstand angeboten werden können. Hier stellt sich die Frage, ob der Markt primär von den Abnehmern oder vom Angebot der Hersteller bestimmt wird.

Kompatibilität der Energiepassverfahren

Kommen wir nach dem Exkurs in das Gebiet der Kessel noch einmal zurück auf den Energiepass. Der einfache Vorschlag zur Energiebilanz aus Verbrauchsmessungen ist voll kompatibel mit den bekannten Bilanzansätzen und hat den Vorteil, dass er mit einfachen Mitteln und Rechenwerkzeugen durchführbar ist. Die Bewertung des Gesamtsystems "Gebäude" kann alternativ zur theoretischen Bedarfsrechnung also auch anhand von Verbrauchsdaten erfolgen, im einfachsten Fall aus Jahresverbrauchsdaten.

Mit heute verfügbaren Wärmemengenzählern, welche die Datenspeicherung von Monatsverbrauchswerten ohne Zusatzaufwand ermöglichen, ließen sich die oben beschriebenen Informationen zum Gebäude und zur Anlagentechnik, sowie zur Nutzung für eine bevorstehende Sanierung bzw. Modernisierung gewinnen.

Es erscheint den Verfassern deshalb durchaus angemessen, die Installation von zusätzlichen Messeinrichtungen (Ölmengenmesser, Wärmemengenzähler), ggf. finanziert durch Zuschüsse, als sinnvolle Maßnahme zur Erstellung eines Energiepasses für Gebäude mit hohen Verbrauchswerten und/oder mit kurz-, mittel- oder langfristig vorgesehener Modernisierung der Fassade, der Fenster und der Anlagentechnik zu fordern.

Der in der derzeitigen Diskussion favorisierte, rein bedarfsorientierte Energiepass [8] [7] kann so durch den verbrauchsorientierten sinnvoll und kostengünstig ergänzt werden. Dies gilt vor allem für alle Bestandsgebäude, die in absehbarer Zeit nicht für eine Sanierung oder für eine Modernisierung vorgesehen sind. Durch Verbrauchsauswertungen erhält man zudem realistische Energiekennwerte ohne die Gefahr, dass auf Basis reiner Bedarfsrechnungen mit teilweise unrealistisch festgelegten Randbedingungen falsche Hoffnungen auf nicht erreichbare Einsparungen bei einer Modernisierung entstehen.

Quellen für Kapitel 10.3

- [1] Brennwertkessel im Feld; von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördertes Projekt zur Untersuchung des Betriebsverhaltens von Brennwertkesseln im Feld; durchgeführt von der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Abschlussbericht im Internet unter <http://enev.tww.de>

- [2] Buderus Heiztechnik GmbH (Hrsg.); Handbuch für Heizungstechnik; Beuth; Berlin; 1995 und 2002

- [3] DIN 4702-8; Heizkessel; Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors; Beuth-Verlag, Berlin, 1990

- [4] DIN 4710; Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland; Beuth-Verlag; Berlin; 2003

- [5] DIN V 4108 Teil 6; Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden; Vornorm - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfes; Beuth-Verlag; Berlin; 2000 und 2003

- [6] DIN V 4701 Teil 10; Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen; Vornorm - Teil 10: Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung; Beuth-Verlag, Berlin, 2001 und 2003

- [7] DIN V 4701-12 Blatt 1; Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand; Teil 12: Heizung, Trinkwarmwasserbereitung, Lüftung; Blatt 1 – Wärmeerzeuger und Trinkwarmwassererwärmung; Beuth; Berlin; 2003.

- [8] Energetische Bewertung von Bestandsgebäuden; Arbeitshilfe für die Ausstellung von Energiepässen; Deutsche Energieagentur; Berlin; 2004

- [9] Kati Jagnow, Christian Halper, Tobias Timm und Marco Sobirey; Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand; Teile 1 bis 5; TGA Fachplaner; Nr. 5, 8 und 11/2003, 01 und 03/2004; Gentner; Stuttgart; 2003 und 2004

- [10] Kati Jagnow; Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik; Dissertation; Fakultät Bauwesen der Universität Dortmund; 2004

- [11] Kronsberg; von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördertes Projekt zur Entwicklung und Durchführung von Qualifizierungsmaßnahmen im Bereich des ökologischen Bauens am Beispiel des Stadtteils Hannover Kronsberg

- [12] Optimus; von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördertes Projekt zur Optimierung von Heizungsanlagen zusammen mit dem ausführenden Handwerk, Berufsbildenden Schulen, Berufsschullehrerausbildung und Wissenschaftlicher Begleitung; beteiligt u.a. Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; im Internet unter <http://www.optimus-online.de>
-
- [13] PAS 1027; Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen im Bestand; Ergänzung zur DIN 4701-12 Blatt 1; 2004.
-
- [14] Peter Deutscher und Lothar Rouvel; Energetische Bewertung haustechnischer Anlagen; 2 Teile; HLH; Nr. 7 und 8/2003; VDI; Düsseldorf; 2003
-
- [15] Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Gebäuderichtlinie); 16. Dezember 2002
-
- [16] Tobias Loga; Heizgrenztemperaturen für Gebäude unterschiedlicher energetischer Standards; Bauphysik Nr. 25; 2003 sowie Energiebilanztoolbox; IWU; Darmstadt; 2001.
-
- [17] Wetterdatenzusammenstellung des IWU (<http://iwu-darmstadt.bei.t-online.de/datei/>) auf Basis der Daten des Deutschen Wetterdienstes (<http://www.dwd.de/de/Funde/Klima/KLIS/daten/online/nat/index.htm>)

10.4. Veröffentlichung BBR, Kurzbericht

Prof. Dr.-Ing. D. Wolff, Dipl.-Ing. (FH) K. Jagnow, cand. Ing. Christian Halper, cand. Ing. Christian Ullrich

Felduntersuchungen zur Begrenzung des natürlichen und erzwungenen Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauchs durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen

1. Vorwort und Einleitung

Die Forschungsarbeit "Felduntersuchungen zur Begrenzung des natürlichen und erzwungenen Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauchs durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen" hat wesentlich die Auswertung konkreter Verbrauchsdaten im Niedrigenergie-Geschosswohnungsbau und im Einfamilienhausbereich zum Inhalt. Die Untersuchungen beruhen auf Auswertungen verschiedener Neubauprojekte, sowie Gebäude des auf Niedrigenergie- bzw. Neubaustandard sanierten Bestandes.

Die Gebäude werden unter den Aspekten des Nutzungseinflusses, der (nachträglichen) Qualitätssicherung der Heiz-, Lüftungs- und Regelungstechnik auf ihre Energiebilanz hin näher untersucht. Die energetische Bilanzierung erfolgt für das gesamte Gebäude mit der Gebäudehülle als Bilanzgrenze in Einzelbilanzanteilen. Mit dieser Art der Bilanzierung können Einflüsse auf den Anfall und die Nutzung innerer Wärmegewinne sowie die Rückkopplung auf den Lüftungswärmeverbrauch sichtbar gemacht werden. Dabei spielt das Wärmeabgabepotential der Heiz- und Regelungstechnik in Abhängigkeit von der Qualität der Anlagentechnik eine besondere Rolle.

Es wird untersucht, ob eine Begrenzung des energetischen Lüftungswärmeverbrauchs durch angepasste Heiz- und Regelkonzepte sowie durch intensive Nutzerinformation möglich ist. Eine planmäßig durchgeführte Qualitätssicherung der Anlagentechnik und gleichzeitige Nutzerschulung sollen eine deutliche Verminderung der Schwankungsbreite des Heizenergieverbrauchs, verursacht durch differierendes Lüftungsverhalten, bewirken. Es soll gezeigt werden, dass der Mehrverbrauch an

Energie in Gebäuden kein Fehlverhalten des Nutzers, sondern vielmehr ein Mangel an der heutigen Art der Anlagenkonzeption ist, die einen "Zwangswärmekonsum" verursacht.

Aus den Untersuchungen konkreter Verbrauchswerte werden Konsequenzen für die Planung, Ausführung und deren Qualitätssicherung und für die Nutzung eines Neubaus oder Bestandsgebäudes incl. der Anlagentechnik abgeleitet, die als Hilfen zur Erstellung von künftigen "Gesamtkonzepten für Gebäude, Anlage und Nutzung" gesehen werden sollen.

2. Grundlagen und Energiebilanzverfahren

Im Vorfeld der Bilanzierung wurden verschiedene Energiebilanzverfahren daraufhin untersucht, ob sie für die Auswertung der Messergebnisse des Feldprojektes geeignet sind. Ziel der Untersuchungen war es, Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren zu finden. Besonderes Augenmerk lag auf der Art der Bewertung der Lüftungswärmeverluste, der Bewertung der Wärmeübergabe, der Bewertung der Verteilverluste sowie der Verrechnung von Fremdwärme als Gewinn.

Fremdwärmenutzungsgrad

Ein besonderes Problem der Energiebilanzierung ist der Fremdwärmenutzungsgrad. Bei der Untersuchung der gängigen Bilanzverfahren auf Eignung zur Auswertung der Projektdaten stellte sich heraus, dass alle einen Fremdwärmenutzungsgrad definieren, der ein Maß dafür ist, welcher Anteil der in einem Gebäude auftretenden Fremdwärme wirklich zu Heizzwecken nutzbar ist. Die einzelnen Verfahren machen den Fremdwärmenutzungsgrad jedoch jeweils von verschiedenen Randdaten abhängig und geben unterschiedliche, empirisch gefundene Zusammenhänge zur Ermittlung des Wertes an. Er liegt in den verschiedenen Bilanzverfahren zwischen 0,7... 1,0 für ein typisches Niedrigenergiehaus. In einer Monatsbilanz, die einige der Verfahren ebenfalls zulassen, schwanken die Werte zwischen null (im Sommer) und nahezu eins (im Winter) - wobei auch dort unterschiedliche Ansätze zur Bestimmung der Größe gewählt werden.

Lüftungswärmeverbrauch und Luftwechsel

Der Lüftungswärmeverbrauch ist hauptsächlich durch den Luftwechsel bestimmt. In üblichen Bilanzverfahren wird ein theoretischer Luftwechsel zur Bestimmung der Lüftungswärmeverluste herangezogen. Dieser stimmt nicht mit dem praktischen Luftwechsel überein. Ursachen liegen in der Definition eines Fremdwärmenutzungsgrades für nicht nutzbare Fremdwärme.

Da in der Praxis auch der nicht nutzbare Fremdwärmeanfall das Gebäude als Energiestrom verlassen muss, ist der reale Lüftungswärmeverlust und damit auch der reale Luftwechsel ggf. höher. Die nicht nutzbare Menge an Fremdwärme bedingt im realen Gebäude nämlich mehrere Effekte: sie wird z.B. zu Temperaturerhöhungen im Raum und zu erhöhten Luftwechseln führen. Diese Zusammenhänge werden bei der Auswertung der Gebäude berücksichtigt.

Zwangswärmekonsum und Verschwendungspotential

Der Zwangswärmekonsum und das Verschwendungspotential sowie der im Rahmen dieser Forschungsarbeit untersuchte Lüftungs- und Transmissionswärmeverbrauch sind eng miteinander verbunden. Unter Zwangswärmekonsum und dem Verschwendungspotential versteht man erhöhte Lüftungs- und Transmissionsverluste bezogen

auf einen theoretisch möglichen Idealzustand. Diese sind bedingt durch eine fehlende Qualitätssicherung, vor allem der Anlagentechnik in Planung und Ausführung. Während der Nutzer sich dem Zwangswärmeconsum nicht entziehen kann, bestimmt er die Höhe des Verschwendungspotentials mit. Zwangswärmeconsum liegt z.B. vor, wenn in einer Wohnung mit Einrohrheizung die Wärmeabgabe allein der durchlaufenden Rohre so hoch ist, dass die Raumtemperatur inakzeptabel hoch ansteigt und die anfallende Wärme schließlich abgelüftet wird. Verschwendungspotential liegt vor, wenn z.B. die Vorlauftemperatur eines Netzes so hoch eingestellt ist, dass auch bei stundenlang gekippten Fenstern in der kühlen Jahreszeit keine merkliche Verminderung der Raumtemperatur zu spüren ist. Der entstandene Lüftungswärmeverlust wäre weder aus energetischer noch aus hygienischer Sicht notwendig gewesen.

Bewertung der Qualität der Anlagentechnik

Die Bewertung anlagentechnischer Qualitätssicherungsmaßnahmen in einer Energiebilanz ist der komplexeste und der noch am wenigsten praktizierteste Ansatz energetischer Bewertung. Unter Qualitätssicherung der Anlagentechnik werden im wesentlichen folgende Punkte verstanden:

- Reglereinstellung: Länge der Heizzeit, Steilheit der Heizkurve, Absenkphasen
- Verteilnetz Heizung: Länge, Lage, Dämmung, hydraulischer Abgleich, Pumpvolumenströme
- Heizflächen: Überdimensionierung, Regelung im Raum
- Lüftungsanlage: Regelung und Einbindung in die Regelung der Heizung
- Wärmeerzeuger: Zwangsdurchströmung

Die Qualitätssicherung der Anlagentechnik kann im wesentlichen durch veränderte Temperaturen, Luftwechsel, Heizzeiten sowie der mittleren Systemtemperatur für alle wärmeleitenden Anlagenteile in der Energiebilanz beschrieben werden. Im Rahmen der gängigen Bilanzverfahren wird eine Qualitätssicherung der Anlagentechnik nicht bewertet. Für das Forschungsvorhaben werden die Effekte pauschal zu einem Mehrverbrauch zusammengefasst werden, da die Zusammenhänge für jedes Gebäude anders sind und von den konkreten Ausführungen der Heizflächen, Reglereinstellungen, Netze und vor allem von den Nutzern abhängen.

Weiterentwicklung der Bilanzverfahren

Aus den positiven Ansätzen der gängigen untersuchten Energiebilanzverfahren und noch zusätzlich definierten neuen Anforderungen an ein Bilanzverfahren werden im Rahmen des Forschungsvorhabens zwei neue Bilanzverfahren abgeleitet. Das Gesamtbilanzverfahren stellt die erste Weiterentwicklung dar. Es ist ein Verfahren, dass:

- sowohl eine Energiebedarfsberechnung als auch eine Verbrauchsbereinigung ermöglicht,
- flexibel in der Wahl der Heizzeit (Bewertung von Neubauten und Bestand) ist,
- für die Bewertung eines eingeschränkten Heizbetriebes geeignet ist,
- den Einfluss der Fremdwärme für alle Arten Fremdwärme eines Gebäudes gemeinschaftlich bewertet (es gibt nur einen Nutzungsgrad für Fremdwärme),
- den Einfluss der dezentralen Regelung, der Art der Wärmeübergabe und des eingeschränkten Heizbetriebes primär in der Raumtemperatur widerspiegelt und
- sowohl für eine Jahres- als auch für eine Monatsbilanz angewendet werden kann.

Gründe für die zweite Weiterentwicklung liegen vor allem in der durch das Gesamtbilanzverfahren unzureichend gelösten Problematik des Fremdwärmenutzungsgrades und der Bewertung der Qualitätssicherung der Anlagentechnik. Es wurde daher nach einem Verfahren gesucht, dass zusätzlich zu den im Gesamtbilanzverfahren realisierten Anforderungen folgende Eigenschaften aufweist:

1. Bewertung des Einflusses der Fremdwärme nicht mit Hilfe eines Fremdwärmenutzungsgrades,
2. Abbildung des Einfluss der dezentralen Regelung, der Art der Wärmeübergabe und des eingeschränkten Heizbetriebes sowie eines eventuell vorhandenen Mehrverbrauches aufgrund nicht erfolgter Qualitätssicherung der Anlagentechnik in einer Differenzenergiemenge.

Das entwickelte Verfahren ist das ΔQ -Verfahren. Die übermäßige Temperatur- und Luftwechselerhöhung, die sich in einer üblichen Bilanz (mit Fremdwärmenutzungsgrad) nur indirekt ermitteln lassen, werden hier zahlenmäßig angegeben. Das Verfahren lehnt sich bei der Bestimmung der Einzelkennwerte an der Gesamtbilanz an. Mit seiner Hilfe wird der Einfluss einer nicht vorhandenen Qualitätssicherung anhand einer Differenzenergiemenge (ΔQ) sichtbar gemacht, die einem unnötigen Mehrverbrauch gegenüber einem idealen Zustand entspricht.

3. Ergebnisse der Feldprojekte

Untersucht werden 3 Mehrfamilienhäuser und ein Einfamilienhaus. Alle Gebäude sind mit einem zentralen Heizungssystem (Fernwärme) sowie zentraler Trinkwarmwasserbereitung mit Zirkulation ausgestattet. Allgemeine Gebäudedaten zeigt Tabelle 10.4.

		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Standort		Hannover	Berlin	Hannover	Münster
Baujahr		1998	1979, saniert 1998	1998	2000
äußeres Volumen V_e	m ³	5244	15469	3489	609
Luftvolumen V	m ³	3552	10782	2319	400
Hüllfläche A	m ²	2177	5443	1513	417
Nutzfläche A_N	m ²	1678	4950	1112	195
Energiebezugsfläche A_{EB}	m ²	1421	4228	924	160
Mittelwert für die Hüllfläche (incl. Minderungsfaktoren)	W/(m ² K)	0,394	0,578	0,427	0,511

Tabelle 10.4 Allgemeine Gebäudedaten

Für die Gebäude ergibt sich eine verlegte Leitungslänge von etwa 1m/m² Energiebezugsfläche, wobei davon etwa drei Viertel auf die Heizleitungen entfallen. Etwa ein Viertel der installierten Leitungen befinden sich durchschnittlich im unbeheizten Bereich eines Gebäudes.

Die Gebäude werden mit drei jahresweisen Energiebedarfsrechnungen vorab bewertet:

- der EnEV und DIN V 4701-10,
- dem Hessischen Energiepass und
- dem Gesamtbilanzverfahren.

Anschließend werden verschiedene Bilanzverfahren verwendet, um den gemessenen Energieverbrauch witterungs- und zeitubereinigen. Es werden folgende Verfahren angewendet:

- das Gesamtverfahren in einer Jahresbilanz und in einer Monatsbilanz,
- das ΔQ -Verfahren in einer Jahresbilanz und in einer Monatsbilanz.

Zusammenhang Luftwechsel und Temperatur

Für die verschiedenen Gebäude wird auf Basis der Verbrauchsdaten mit Hilfe des jahresweisen ΔQ -Verfahrens der Zusammenhang zwischen Innentemperatur und Luftwechsel untersucht, da die Innentemperatur kein Messwert für die Gebäude ist. Bei mittleren Innentemperaturen ergibt sich für die Mehrfamiliengebäude ein realistischer Bereich für den Luftwechsel von $0,6 \dots 0,7 \text{ h}^{-1}$.

Erfolgt die Untersuchung des Verbrauchs anhand der Monatsmessdaten mit dem monatsweisen ΔQ -Verfahren, ergeben sich beispielsweise für das Mehrfamilienhaus 3 die in Bild 10.11 gezeigten Zusammenhänge zwischen Temperatur und Luftwechsel. Es werden drei Temperaturszenarien abgebildet, wobei Szenario 2 etwa das übliche Niveau (mittleres Nutzerverhalten) abbilden wird.

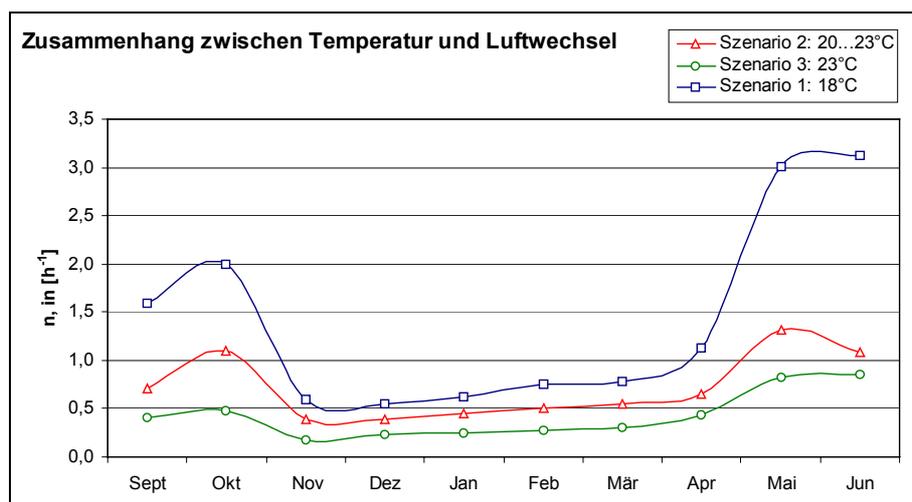


Bild 10.11 Zusammenhang zwischen Temperatur und Luftwechsel für MFH 3

Sehr deutlich sichtbar ist der verhältnismäßig hohe Luftwechsel in den Übergangsmontaten Oktober und Mai. Hier wird stark gelüftet, obwohl die Außentemperaturen deutlich unter der Raumtemperatur liegen. Der Nutzer verursacht – vermutlich beeinflusst durch die gute Wetterlage – einen erhöhten Lüftungswärmebedarf, den die Heizflächen ausgleichen. Die Heizungsanlage ist nachweislich in diesen Monaten bereits eingeschaltet, obwohl die theoretische Heizgrenze weit niedriger liegt. Da keine oder nur eine unzureichende Qualitätssicherung der Anlagentechnik vorhanden ist, haben die Heizflächen entsprechend hohes Wärmeabgabepotential, das die Nutzer annehmen. Es ist ebenfalls deutlich sichtbar, dass in beiden Gebäuden in den kalten Monaten ein Mindestluftwechsel von etwa konstant $0,4 \dots 0,5 \text{ h}^{-1}$ für den Nutzer akzeptabel ist.

Aussagen zum Einsparpotential ΔQ

Neben den Aussagen zum Luftwechsel und der Temperatur werden Einsparpotentiale - bezogen auf einen idealen (minimalen) Luftwechsel und eine ideale (minimale) Innentemperatur – aus den Verbrauchsdaten abgeleitet. Die idealen, für den Nutzer akzeptablen Werte sind in der Rechnung frei wählbar; von den Autoren werden nach Auswertung der monatlichen Messdaten etwa $0,4 \dots 0,5 \text{ h}^{-1}$ Luftwechsel und eine Raumtemperatur von etwa 20°C als realistisch angesehen.

Das Ergebnis ΔQ - das Einsparpotential - ist der Anschaulichkeit halber auch auf die Energiebezugsfläche A_{EB} bezogen angegeben. Es bewegt sich - bei Annahme der oben genannten realistischen, für den Nutzer akzeptablen Innentemperaturen und Luftwechsel für die untersuchten Mehrfamilienwohngebäude zwischen $15 \dots 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die geschilderten Zusammenhänge für die Jahresbetrachtung zeigt Bild 10.12.

Für das untersuchte Mehrfamilienhaus 3 sind in Bild 10.13 die monatlichen Einsparpotentiale dargestellt. Besonders im Frühjahr (April, Mai, Juni) und auch im Herbst kann in diesem Gebäude Energie – vor allem durch weniger Lüftung – eingespart werden.

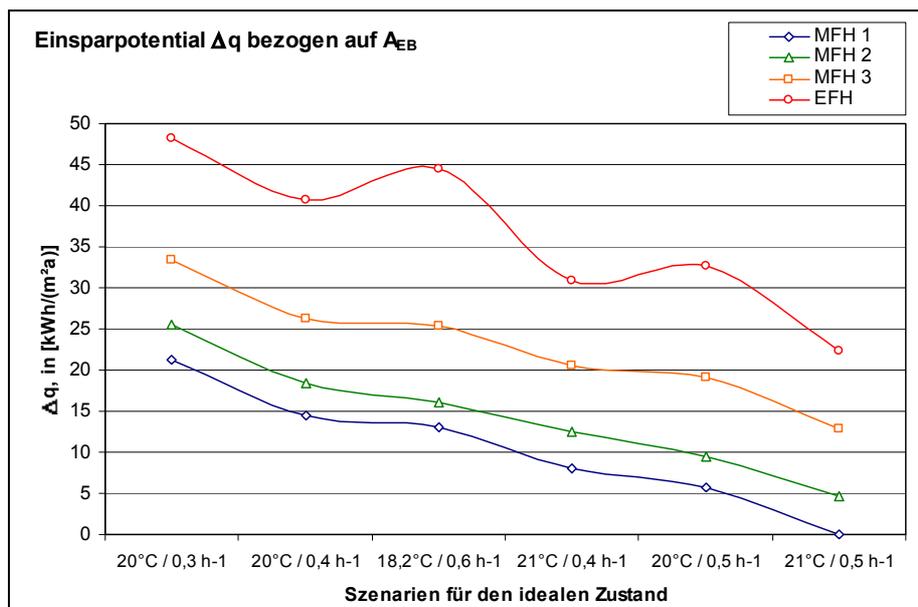


Bild 10.12 Jahresweises Einsparpotential Δq für die Gebäude

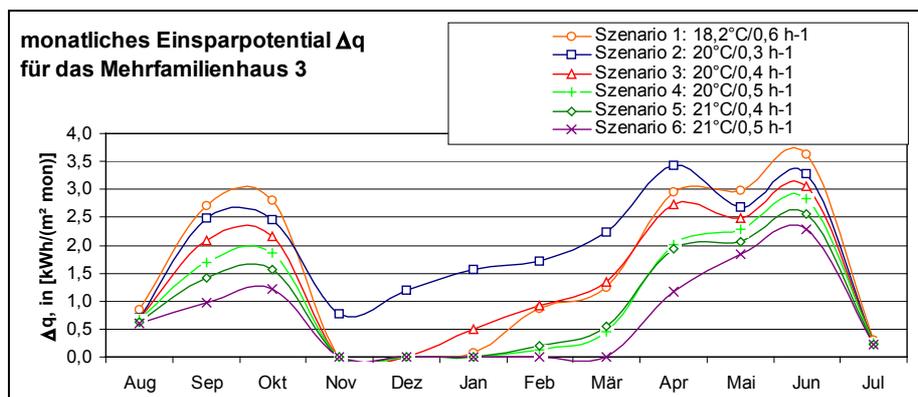


Bild 10.13 Monatliches Einsparpotential Δq für das MFH 3

Weitere Aussagen aus der Energiebilanz

Die Gebäude werden hinsichtlich ihrer Energiekennwerte miteinander verglichen. Die Mehrfamilienwohngebäude weisen einen recht einheitlichen Endenergieverbrauch von 90... 120 kWh/(m²a) auf. Auf die Heizung entfällt dabei eine Energiemenge von ca. 63... 85 kWh/(m²a). Damit liegen die Gebäude trotz guter Qualität der Außenfassade und der sehr kompakten Bauweise einen für ein NEH recht hohen Energieverbrauch auf.

Die Bedarfsrechnungen der Gebäude werden mit den Verbrauchsrechnungen verglichen. Dies ergibt folgende Ergebnisse: Die Bedarfsrechnungen mit der EnEV und der DIN V 4701-10 liegen tendenziell etwa 20... 25 % unter den Verbrauchswerten, die Bedarfsrechnungen mit dem Energiepass und dem Gesamtbilanzverfahren dagegen etwa 5... 10 % über dem Verbrauchswert. Die Prognose für den Endenergieverbrauch der Trinkwarmwasserbereitung erfolgt mit allen Bedarfsrechnungen recht genau.

Die Anteile der verbrauchten Endenergie für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung im NEH-Mehrfamilienhaus liegen bei etwa 1/4... 1/3 für die Trinkwarmwasserbereitung und 2/3... 3/4 für die Heizung. Diese Aufteilung wird auch durch die Bedarfsrechnungen abgebildet.

Die Untersuchungen der Gebäude zeigen weiterhin, dass für die Mehrfamiliengebäude der Anteil der Nutzenergien, d.h. der Energiemengen, die messtechnisch erfasst werden können (Wärmeabgabe der Heizkörper und gezapftes Warmwasser) bei etwa 2/3 der aufgewendeten Gesamtenergiemenge. Das restliche 1/3 wird - nicht messbar - über das Verteilsystem und den Wärmeerzeuger abgegeben.

Der Anteil der geregelten Wärmeabgabe in der beheizten Zone des Gebäudes (über die Heizkörper) liegt bei etwa 60%. Die restlichen 40 % der Energie, die zur Deckung der Verluste beitragen, entstammen anderen Wärmequellen.

4. Übertragbarkeit auf andere Objekte und Konsequenzen

Die Messergebnisse entsprechen tendenziell den für die Temperatur und den Luftwechsel in der Literatur angegeben typischen Werte oder liegen leicht darüber. Ein mittlerer Luftwechsel für das Jahr von etwa 0,6... 0,8 h⁻¹ im Mehrfamilienhaus (bei ca. 20°C mittlerer Raumtemperatur) kann für die untersuchten Gebäude festgestellt werden. Dabei ist der Luftwechsel in den Übergangsjahreszeiten sehr viel höher als im Winter.

Eine Untersuchung diverser Literatur sowie anderer Praxisprojekte führte zu folgenden Rückschlüssen der Gebäudestruktur und der Anlagentechnik im Bestand:

- Über die Hälfte aller Gebäude in Deutschland sind Mehrfamilienwohnbauten. Die größte Gruppe der Gebäude in Deutschland bilden die zwischen 1958 und 1968 erbauten Häuser. Der Anteil der Niedrigenergiegebäude in Deutschland macht nur etwa 5 % aller Gebäude aus. Die Mehrzahl der Gebäude gehören also dem Bestand an und müssen künftig noch auf einen energetisch besseren Standard saniert werden.

- Der Anteil der zentralen Trinkwarmwasser- und Heizwärmeversorgung nimmt für alle Gebäudetypen zu, je jünger die Gebäude sind. Dabei sind für die älteren Gebäude auch in den kommenden Jahren im Zuge von Komplettanierungen noch Zentralisierungen zu erwarten. Die Mehrzahl der Gebäude sind Mehrfamiliengebäude mit ausgedehnten Netzen und einer Vielzahl unterschiedlicher Nutzer, in denen eine Qualitätssicherung der Anlagentechnik und Nutzung den größten Einspareffekt bringen kann.
- Die Ausführung von Rohrsystemen verschiebt sich für neuere Gebäude immer weiter in Richtung Kunststoffrohrsysteme. Diese können flexibel, schnell und kostengünstig verlegt werden - dies führt im Neubau zu den heute üblichen Verlegearten: Anschluss sehr vieler Abnehmer jeweils einzeln an einen zentralen Verteiler, wobei insgesamt eine lange Leitungslänge verlegt wird. Diese Verlegeart mit zentralen Verteilern und Sammlern bewirkt (zumeist wenig gedämmt wegen der Fußbodenaufbauhöhen) hohe Verteilverluste und hohe Fremdwärmeanteile und sollte künftig überdacht werden.
- Die freie Verlegung von Leitungen nimmt tendenziell mit neueren Baujahren ab, dafür die Verlegung im Fußboden zu. Bei der nachträglichen Sanierung ergibt sich damit die Chance, die alten frei liegenden Leitungen nachträglich zu dämmen. Im Neubau besteht bei heutigen Verlegearten keine Chance, eine Dämmung später zu erhöhen.
- Die hauptsächliche Verlegeart für Heizleitungen ist das Zweirohrsystem mit unterer Verteilung. Es bedingt aufgrund seiner Konstruktion den hydraulischen Abgleich u.a. Qualitätssicherungsmaßnahmen.
- Im Quervergleich aller Wohngebäude sind etwa 0,6... 0,7 m/m² Heizwasserleitungen und 0,2... 0,3 m/m² Trinkwarmwasserleitungen verlegt (bezogen auf die Wohnfläche); davon der größte Anteil innerhalb des beheizten Bereiches. Das bedeutet eine mittlere Wärmeabgabe der Verteilleitungen bei gedämmten Leitungen und mittleren Systemtemperaturen von insgesamt etwa: 25...35 kWh/(m²a) innerhalb der Heizzeit. Im größeren Geschosswohnungsbau ist dieser Wert fast ausschließlich im beheizten Bereich zu finden. Der Wert der Wärmeabgabe der Verteilleitungen ist bei nicht abgeglichenen Netzen, bei ungedämmten Leitungen und bei Einrohrsystemen noch sehr viel höher und bietet Potential zur Energieeinsparung.
- In der Praxis lässt sich folgende Tendenz erkennen: die Mehrzahl der Regler und Thermostatventile sind in der Praxis nicht eingestellt, sondern im Auslieferungszustand eingebaut. Der Anteil beläuft sich, je nach Quelle auf etwa 80... 95%. Die Anzahl der Pumpen, die auf oberster Drehzahlstufe läuft, ist etwa genauso groß. Diese Zahlen betreffen alle Arten von Anlagen, sowohl alte als auch neue.
- Die zu Beginn des Aufkommens der Pumpenwarmwasserheizung noch übliche Praxis der Rohrnetzauslegung und des hydraulischen Abgleichs ist heute - aus diversen Gründen - kaum noch vorzufinden. Selbst die einstmals ausgelegten Netze laufen mittlerweile nicht mehr im qualitätsgesicherten Zustand, denn mit der Fassadenmodernisierung vieler Baukörper sind die Heizflächen überdimensioniert.

Die Typologisierung von Gebäuden und Anlagentechniken zeigt, dass die Problematik der fehlenden Qualitätssicherung, damit des Zwangswärmekonsums und der Reaktion der Nutzer auf angebotenes Verschwendungspotential im modernisierten Bestand zumindest in gleicher Höhe - wenn nicht höher - wie im Neubau erwartet werden kann. Dies liegt vor allem an der in sanierten Gebäuden (Fenster, Dämmung der Außenwände) vorhandenen alten Anlagentechnik, im speziellen der Verteilsysteme.

Konsequenzen für die Anlagentechnik und Nutzung

Die Konsequenz für Verteilsysteme ist die Optimierung der Leitungslänge und des Dämmstandards. Die heute üblichen Verteilsysteme sollten in folgender Hinsicht überdacht werden:

- Die Verteilnetze sind kurz zu planen.
- Alle Leitungen sind zu dämmen, auch Anbindeleitungen.
- Die Verlegung soll so weit wie möglich im beheizten Bereich eines Gebäudes erfolgen.
- Die Planung und Ausführung von Dämmmaßnahmen sollte im Rahmen der Qualitätssicherung dokumentiert werden.

Für die Sanierung von vorhandenen Gebäuden wird üblicherweise das vorhandene Rohrnetz beibehalten. In diesem Fall sind alle vorhandenen, zugänglichen Leitungen und Armaturen im unbeheizten Bereiches wenn möglich mit doppeltem Dämmniveau gegen Wärmeverluste zu schützen. Die im beheizten Bereich verlaufenden Leitungen können - sofern es die Optik und eine zugängliche Lage zulässt - ebenfalls wenigstens einfach gedämmt werden. Nur so lässt sich der Fremdwärmeanfall im modernisierten Gebäude begrenzen und damit der Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauch effektiv vermindern.

Im Zusammenhang mit den Ergebnissen dieser Studie soll auf zwei Tatsachen die Lüftungstechnik betreffend hingewiesen werden:

- Eine Abluftanlage kann bei heutigen Verteilsystemen einen Mehrverbrauch an Energie bewirken, wenn angebotene Fremdwärme einfach abgelüftet wird. Dies ist zum Beispiel bei belüfteten Bädern der Fall, die ihre Luft aus dem Flur ansaugen, in dem mit sehr hoher Dichte Verteilleitungen verlegt sind. Die Wärmeabgabe dieser Leitungen bleibt für die Wohnung ungenutzt.
- Eine Lüftungsanlage, die auf den für Wohnungen üblichen Luftwechsel von $0,4 \text{ h}^{-1}$ eingestellt ist, kann die angebotene Fremdwärmemenge in nicht qualitätsgesicherten Gebäuden nicht abführen. Es wird dazu kommen, dass die Nutzer zwangsweise einen zusätzlichen Luftwechsel provozieren, um behagliche Verhältnisse herzustellen.

Die Installation einer Lüftungsanlage ist also vor allem dann sinnvoll, wenn damit durch ausreichende Qualitätssicherung der Heizungsanlage kein sinnloses Ablüften von Fremdwärme zu erwarten ist.

Im Niedrigenergiegebäude kann auf eine Rohrnetzrechnung und einen hydraulischen Abgleich nicht verzichtet werden. Besonderes Augenmerk sollte auf eine saubere nachvollziehbare Dokumentation der notwendigen Planungsdaten gelegt werden. Im Fall der Sanierung ist ein hydraulischer Abgleich des bestehenden Netzes ebenso notwendig. Da die Leitungsdimensionen und Längen oft nur geschätzt werden können, ist der Abgleich überschlägig. Aber auch eine nur überschlägige Einregulierung vermindert das Verschwendungspotential erheblich.

Die Auslegung von Heizflächen erfordert im Niedrigenergiehaus eine feinere Vorgehensweise als es bisher üblich war. Bei der Auslegung der Heizflächen sollte die Leistung der Heizkörper möglichst genau den Vorgaben der Heizlastberechnung ent-

sprechen. Für die Modernisierung liegt die Größe der Heizfläche bereits fest. Hier kann die Überdimensionierung von Heizflächen nur vermieden werden, indem das Temperaturniveau entsprechend angepasst (meist abgesenkt) wird. Wenn einzelne Heizkörper eines Gebäudes sehr knapp bemessen sind und die Absenkung des Temperaturniveaus für das ganze Gebäude damit verhindern, sollte über einen Austausch dieser Heizflächen nachgedacht werden.

Die Temperaturregelung für die Raumheizung sollte auch im Niedrigenergiegebäude überwiegend zweistufig sein: neben der zentralen Vorlauftemperaturregelung gibt es eine dezentrale Nachregelung im Raum. In den meisten Fällen ist diese Forderung mit dem Einsatz einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung im Zusammenspiel mit Thermostatventilen oder elektronischen Einzelraumregelsystemen erfüllt. Zu einer Anlagenplanung und -ausführung sollte künftig eine dokumentierte Planung und Einstellung der Vorlauftemperatur gehören.

Die Umsetzung der Planungskonsequenzen setzt immer gleichzeitig eine Nutzerinformation voraus. Im wesentlichen umfasst diese Information Aufklärung über richtiges Lüftungsverhalten, die Funktion der Thermostatventile und der selbsttätigen Abschaltung der Anlage ab bestimmten Außentemperaturen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden anhand von Felduntersuchungen und Literaturrecherchen Einflüsse auf den Transmissions- und Lüftungswärmebedarf im Wohnungsbau untersucht. Anhand von jahresweisen und monatlichen Messdatenauswertungen mit herkömmlichen und weiterentwickelten Bilanzverfahren sind Bandbreiten für heute übliche Luftwechsel ermittelt worden.

Ein mittlerer realer Luftwechsel für ein nach heutigen baulichen Standards errichtetes oder auf heutigen baulichen Standard modernisiertes Wohngebäude ohne besondere Qualitätssicherung der Anlagentechnik und Nutzung liegt bei ca. $0,6 \dots 0,8 \text{ h}^{-1}$. Dieser Wert kann mit Qualitätssicherungsmaßnahmen auf etwa $0,4 \dots 0,5 \text{ h}^{-1}$ reduziert werden.

Der Luftwechsel wird dabei vor allem durch das Fremdwärmeangebot der Anlagentechnik bestimmt. Der Nutzer kann auf ein Zwangswärmeconsum nur mit erhöhtem Lüften reagieren bzw. nutzt das Angebot an Verschwendungspotential aus. Dabei drückt sich dieses genutzte Mehrenergieangebot real nicht nur in höheren Luftwechseln, sondern auch in erhöhten Raumtemperaturen aus. Der Effekt des erhöhten Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauches zeigt sich im modernisierten Bestand noch sehr viel deutlicher, wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Dies liegt vor allem an den früher üblichen ungedämmten Verteilsystemen, die teilweise allein (ohne Wärmeabgabe über die Heizflächen) mehr Fremdwärme emittieren, als zur Aufrechterhaltung der Raumkonditionen notwendig ist.

Eine Begrenzung des Lüftungs- und Transmissionswärmeverbrauches im Neubau und auch in der Bestandssanierung kann nur durch gleichzeitige Nutzerschulungen und (nachträgliche) Qualitätssicherung der Anlagentechnik erfolgen. Dazu sind Regeln für die Planung, Ausführung und Nutzung von Gebäuden im Rahmen des Forschungsvorhabens erarbeitet worden.

Die Ergebnisse der untersuchten Objekte bestätigen die Notwendigkeit einer integrierten, also gemeinschaftlichen Planung von baulicher und anlagentechnischer Seite. Vor allem im Bereich der Planung der Anlagentechnik ist eine tiefere Zusammenarbeit zwischen Anlagentechniker und Architekt notwendig. Die bereits auf der baulichen Seite vorhandene Qualifizierung und Qualitätssicherung sollten auch auf die Heizungs-, Lüftungs- und Regelungstechnik ausgedehnt werden. Die Dokumentation der wichtigsten Planungsdaten und eine überprüfte und dokumentierte Heizflächen-dimensionierung, Einstellung von Thermostatventilen, Reglern, Pumpen- und Ventilatorantrieben sind hierfür eine unabdingbare Leistung der ausführenden Firmen.