

# **Wohnkolonie Limmatstrasse, Zürich: Ergebnisse der energetischen Sanierung: Raumlufttemperaturen und Wärmeverbrauch der drei Testhäuser**

Autor(en): **Gass, Jürg**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 12

PDF erstellt am: **10.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75433>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

schiedlichen Sollwerten der einzelnen Räume (z.B. Schlafzimmer 16 °C, Wohnraum 20 °C) mit dem Regelgerät ein stationäres Temperaturgefälle besser einzuhalten.

Die *Steuerung der Vorlauftemperatur* erfolgte nach Bild 2 und liegt erfreulicherweise im Tagesmittel besonders im milderen Teil der Heizperiode deutlich unter der theoretischen Heizgeraden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei Anfall freier Wärme (Sonneneinstrahlung durch die Fenster, elektrische Apparate, Personenabwärme usw. im Raum) die Magnetventile der Wohnungen schliessen und damit – auf der Basis einer statistischen Vorgabe in der Zentraleinheit – die Vorlauftemperatur reduziert wird. Diese *super-gleitende Regelung* kommt vor allem dem Betrieb von Wärmepumpen entgegen, die dank der tieferen Vorlauftemperatur bei diesem Regelsystem bessere Heizzahlen erreichen.

Die *Unterschiede* der von den Bewohnern «bestellten Raumwärme» lagen im Bereich von  $\pm 20\%$  des Mittelwertes. Durch eine im zweiten Winter durchgeführte Orientierung der Bewohner konnte die Streuung auf etwa  $\pm 15\%$  reduziert werden, ohne dass bisher in den beobachteten Häusern eine Abrechnung der Wärme nach diesen Bestellungen erfolgt wäre. In den beiden untersuchten Heizperioden (1980/81 und 1981/82) wurden lediglich die beiden sparsamsten Bewohner belohnt, die übrigen Mieter aber nicht am Erfolg (Mehr- oder Minderverbrauch) beteiligt. Aufgrund der Untersuchungen des Wärmeverbrauchs in den 3 unterschiedlich ausgerüsteten Häusern

kommt die EMPA im folgenden Beitrag zum Schluss, dass in der Wohnsiedlung Limmatstrasse eine *Einsparung an Raumwärme von etwa 30%* durch das programmierbare Einzelraum-Regelsystem erzielt werden konnte. Dieser Wert ist grösser als ursprünglich erwartet und den Berechnungen zugrundegelegt wurde. Wenn die Bewohner durch eine Abrechnung der Heizkosten nach diesem System noch mehr für die Ausschöpfung der Sparmöglichkeiten mit dem Temperatur-Programm motiviert werden, sollten sie tatsächlich dieses Niveau halten oder noch übertreffen. Bereits hier konnte beobachtet werden, dass die Bewohner mit dem modularen Regelsystem deutlich *weniger unnötige Fensterlüftung* betreiben als die Mieter ohne dieses System.

Die damaligen *Kosten* des als Pilotanlage gebauten Regelsystems von etwa 5000 Fr./Wohnung (Zentraleinheit, programmierbare Wohnungseinheit, Magnetventile und Fühler pro Raum, inkl. hydraulische und elektrische Anschlüsse) konnten durch Serienfertigung bis heute noch deutlich gesenkt werden. Der Zusammenschluss von 20–60 Wohnungen wird zudem den Kostenanteil der Zentraleinheit reduzieren. In der Zwischenzeit ist mit einer neuen Generation der Seriengeräte auch der Einbezug des Warmwasseranteils möglich geworden. Damit kann der *ganze Wärmehaushalt* über diese moderne Art der Heizungsregelung abgerechnet werden. Etwa die Hälfte der Investitionskosten geht auf das Konto einer gerechteren Verteilung der Kosten, die andere Hälfte ist durch die Energieeinsparung gedeckt.

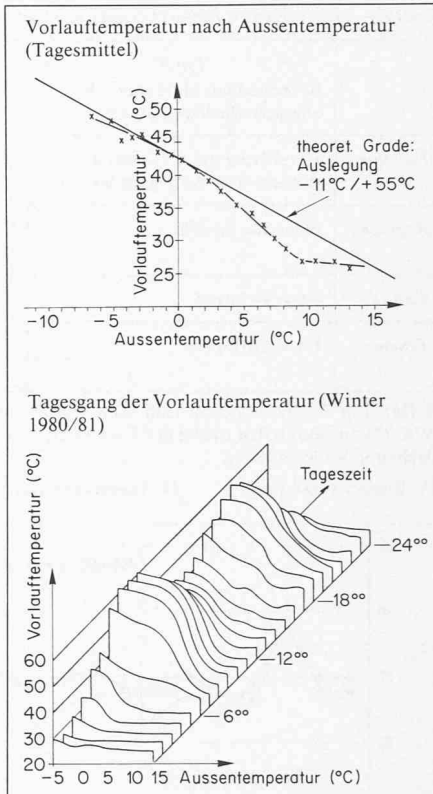


Bild 2. Vorlauftemperaturen im Haus mit dem modularen Regelsystem

#### Literatur

- [1] Becker, H.H.: Heizkostenverteiler nach dem Raumtemperaturverfahren, in Geräte und Verfahren für die verbrauchsabhängige Heizkostenverteilung, Sonderdruck aus Schweizerische Blätter für Heizung und Lüftung, Zürich 1983

## Raumlufttemperaturen und Wärmeverbrauch der drei Testhäuser

Von Jürg Gass, Dübendorf

### Raumlufttemperaturen in den Testhäusern

In den 3 Testhäusern wurden je in mindestens zwei Wohnungen in allen Räumen die *Raumlufttemperaturen* gemessen. Die Fühler sind jeweils etwa 50 cm unter der Zimmerdecke angebracht und sind mit einem Aluminiummantel als Strahlungsschutz versehen. Das *Hauptziel* dieser Temperaturmessungen war festzustellen, ob sich zwischen den verschiedenen Haustypen 0, 1 und 2 mit unterschiedlichen energetischen Sanierungsstufen (Tab. 1) im

Sommer ein durch die Gebäudehülle bedingter Temperaturunterschied ergibt und ob im Winter das modulare Regelsystem mit individueller Programmiermöglichkeit der Temperatur in jedem Raum im Haus Typ 2A zu tieferen mittleren Raumtemperaturen führt.

Die Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der gemessenen Raumlufthtemperaturen zeigt *keine wesentlichen Differenzen zwischen den verschiedenen Haustypen* (Bild 1).

Im Februar 1981 wurden die Häuser Typ 0' und 1 ohne Nachtabenkung be-

trieben, was signifikant höhere Temperaturen bewirkte. Im Winter 1981/82 (Mitte November bis Ende Januar) wurde die Temperatur in der Messwohnung auf 15 °C eingestellt. In der Auswertung sind alle Messungen gleichermaßen berücksichtigt, wodurch der Mittelwert für das Haus Typ 2 signifikant tiefer liegt. Ab Februar 1982 wurde die Temperatur in der Messwohnung in allen Räumen tagsüber auf 21 °C und nachts auf 15 °C eingestellt. Obwohl diese Einstellung etwa derjenigen in den bewohnten Wohnungen entspricht, werden die Messwerte höher, da die unbenutzte Wohnung praktisch nie gelüftet wurde.

Anstelle eines Einflusses der Gebäudehülle oder des Regelsystems auf die Temperaturmittelwerte findet man, dass die Temperaturen stärker durch das *Benutzerverhalten* beeinflusst werden. Im Winter ist die Verteilung der

Tabelle 1. Die vorgenommenen energetischen Sanierungsmassnahmen der drei verschiedenen Testhäuser

|          | Typ 0' *)<br>Referenzhaus ohne spezielle energetische Massnahmen | Typ 1<br>Normalhaus       | Typ 2<br>Testhäuser mit Sonnenkollektoren und Wärmepumpenanlage |
|----------|------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Heizung  | Heizkörper unter Fenster an Aussenwand, Auslegung 90°/70 °C      | wie Typ 0'                | Plattenheizkörper an Innenwand, Auslegung auf 55°/40 °C         |
| Regelung | manuelle Ventile                                                 | Thermostatventile überall | Elektronisches System mit Einzelraumregelung                    |
| Fassade  | keine Isolation                                                  | Teilisolation             | umfängliche Isolation                                           |
| Fenster  | EV + Vorfenster                                                  | 2fach IV und EV           | wie Typ 1                                                       |

\*) Der Typ 0' unterscheidet sich vom Urzustand Typ 0 (vor Sanierung, erfasst mit Messprogramm 1976/77) nur durch den Ersatz der Einzelöfen durch den Anschluss an die Zentralheizung und durch die Dach- und Kellerisolierung

EV: Einfachverglasung

IV: Isolierverglasung

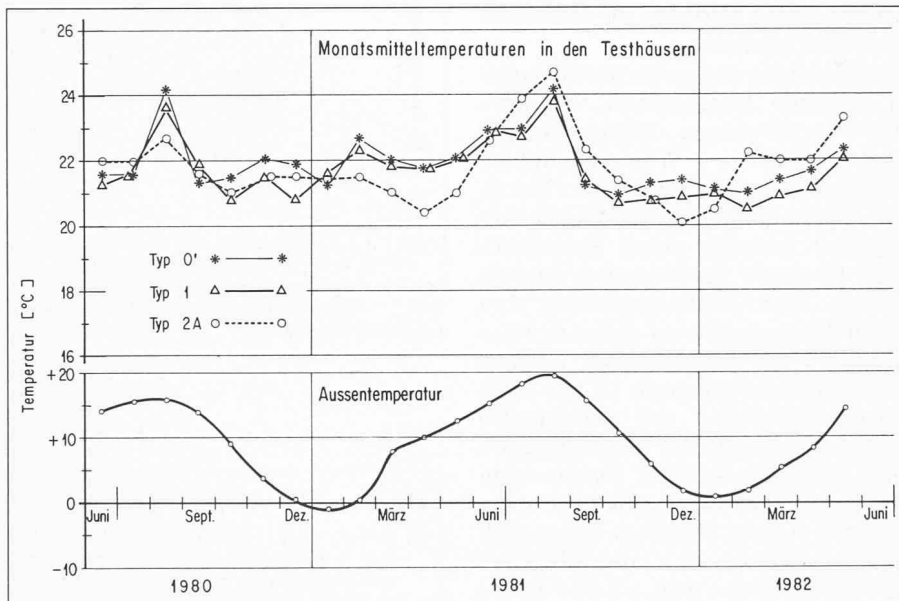


Bild 1. Monatsmittel der Raumlufttemperaturen in den Wohnungen der 3 Testhäuser in Abhängigkeit von der Aussentemperatur

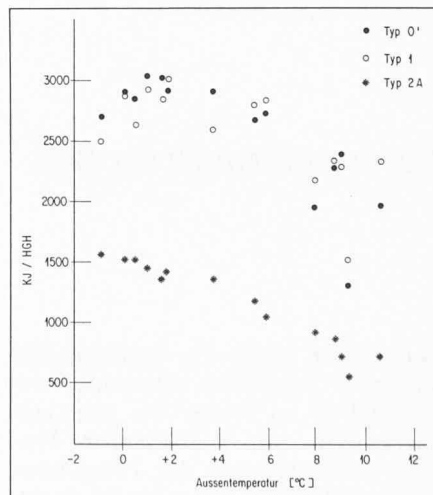
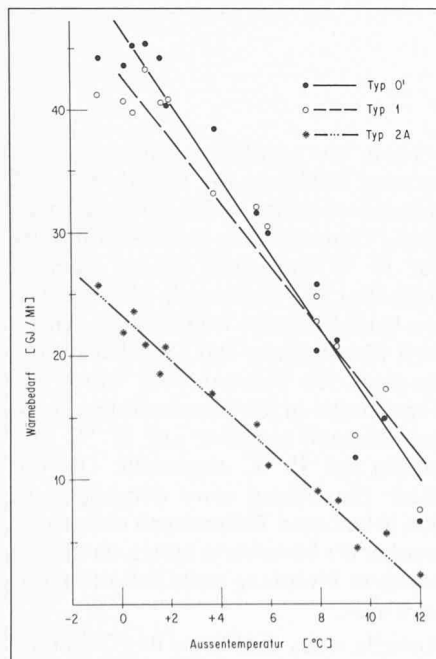


Bild 3 (oben). Spezifischer Wärmeverbrauch der drei Testhäuser (Monatsmittelwerte), ermittelt aus zwei Heizperioden

Bild 2 (links). Energiesignaturen der drei Testhäuser (Monatswerte), ermittelt aus zwei Heizperioden

Temperaturen in allen bewohnten Wohnungen dieselbe. Das deutet darauf hin, dass das Regelsystem im Haus

Typ 2A nicht zu tieferen Raumtemperaturen führte. Dies heisst nun allerdings nicht, dass das Regelsystem wir-

Tabelle 2. Temperaturen in unbeheizten Räumen

| [°C]        | Typ 0' | Typ 1 | Typ 2A |
|-------------|--------|-------|--------|
| Treppenhaus | 17,2   | 17,9  | 17,4   |
| Estrich     | 8,2    | 8,4   | 9,0    |
| Keller      | 16,4   | 16,0  | -      |

Aussentemperatur für die gleiche Periode: 5,0 °C

kungslos wäre, denn die gleiche Temperatur kann einmal durch eine angepasste Regelung und einmal durch Ablüften von Überschusswärme mit offenen Fenstern erreicht werden. Die Beobachtungen bestätigten auch, dass in den Wohnungen mit dem modularen Regelsystem deutlich weniger oft gelüftet wurde als in den anderen Wohnungen.

## Temperaturen in unbeheizten Räumen

Bei Wärmebedarfsberechnungen treten immer wieder die Probleme auf, welche Temperaturen in den unbeheizten Nebenräumen herrschen. Zu diesem Zweck sind einige Temperaturwerte aus Estrich, Treppenhaus und Keller für die Heizmonate des Jahres 1981 in Tab. 2 zusammengestellt. Diese Messwerte sind natürlich nicht generell übertragbar, doch stellen sie Richtwerte für ähnliche Situationen dar.

Im Haus Typ 2A befinden sich die Dachabsorber der Wärmepumpenanlage. Im Estrich im Haus Typ 2A ist die Temperatur erstaunlicherweise höher als in den Häusern Typ 0 und 1. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass die Dachkonstruktion durch den Einbau des Unterdachabsorbers an Dichtigkeit zugenommen hat, und dass der verringerte Wärmeverlust durch das Dach den Wärmebezug des Absorbers mehr als aufwiegt.

## Gebäudehülle und Wärmeverbrauch

Für den Wärmeverbrauch eines Hauses ist der Zustand der Gebäudehülle eine massgebende Grösse. Am Referenzhaus Typ 0' wurde die Gebäudehülle praktisch nicht verändert. Speziell isoliert wurde nur die Kellerdecke, weil dies wegen dem Einbau von Leitungen später nicht mehr möglich war, die Estrichdecke und die im Dachgeschoss neu eingebauten Zusatzwohnungen. Das normal sanierte Haus (Typ 1) wurde mit neuen dreifach verglasten Fenstern ausgerüstet und im Wohnbereich an der Nordwestfassade im 3. und 4. Obergeschoss zusätzlich isoliert. Beim

Testhaus Typ 2A wurde eine möglichst vollständige und gegenüber dem «Normalhaus» noch leicht verstärkte Isolation verwirklicht. Nur in den Stockwerken, in denen eine Innenisolation angebracht wurde, liess man diese im Bereich der Badezimmer aus Platzgründen weg (vgl. auch Bild 1).

Der Vergleich über den Wärmeverbrauch der verschiedenen Testhäuser wird auf der Stufe der Nutzenergie gezogen. Der durch die verschiedenen Wärmeerzeugungsanlagen bedingte Unterschied im Endenergiebedarf wird hier nicht betrachtet (Tab. 3). Anstelle einer Abstufung von 100% : 89% : 79%, wie sie der ursprünglich beim Projekt berechnete spezifische Wärmebedarf für die Typen 0', 1 und 2 ergab, findet man, dass der gemessene Wärmebedarf bei den normal sanierten Häusern (Typ 1) nur wenig tiefer liegt als beim Typ 0' ohne spezielle energetische Massnahmen. Das Haus Typ 2A mit der Wärmepumpe und dem modularen Regelsystem hingegen verbraucht weniger als die Hälfte der Wärme der beiden anderen Häuser.

### Analyse des Wärmeverbrauches

Anfänglich scheint es kaum glaubhaft, dass das Haus Typ 2A *weniger als die Hälfte* der Heizwärme der beiden anderen Häuser benötigt. Wenn man die Werte aber in Relation zu den Werten des Rechenprogrammes JAENV [1] für 1981 bei gleichen Randbedingungen und gleichem Benutzerverhalten stellt, findet man folgende Abweichungen des Messwertes vom Rechenwert:

|             |       |
|-------------|-------|
| Haus Typ 0' | + 15% |
| Haus Typ 1  | + 35% |
| Haus Typ 2A | - 24% |

Diese Abweichungen können *vorwiegend als Benutzerverhalten* taxiert werden, das vor allem in der Wahl der Innentemperaturen und den Fensteröffnungszeiten besteht. Eine Untersuchung an gleichartigen Einfamilienhäusern [2] hat gezeigt, dass das Benutzerverhalten im Bereich - 50% bis + 50% liegt, die gefundenen Werte damit sehr wohl möglich sind. Damit kann der Einfluss der verbesserten Isolation des Hauses Typ 1 gegenüber dem Haus Typ 0' zwar rechnerisch ermittelt werden, der experimentelle Nachweis jedoch gelingt wegen der viel grösseren Streuung des Benutzerverhaltens nicht.

Weitere Erkenntnisse können aus der *Energie-Signatur*, d.h. des Wärmebedarfs als Funktion der Aussentemperatur oder des spezifischen Wärmebedarfs pro Heizgradstunde ebenfalls als

Tabelle 3. Gemessener Wärmeverbrauch der 3 Testhäuser

|               | Typ 0' |     | Typ 1 |      | Typ 2A |      |
|---------------|--------|-----|-------|------|--------|------|
|               | [GJ]   | [%] | [GJ]  | [%]  | [GJ]   | [%]  |
| Periode 80/81 | 235    | 100 | 222   | 94,7 | 112    | 47,9 |
| Periode 81/82 | 235    | 100 | 232   | 98,9 | 102    | 43,3 |

Funktion der Aussentemperatur gewonnen werden (Bild 2). Für das Haus Typ 2A ergibt sich für beide Darstellungen (gesamter Wärmebedarf und spezifischer Wärmebedarf) nahezu eine Gerade. Die für tiefere Aussentemperaturen ansteigende Gerade des spezifischen Wärmebedarfes zeigt den stetig kleiner werdenden Anteil der freien Wärme. - Ganz anders ist die Situation bei den Häusern Typ 0' und 1. Bei Aussentemperaturen unterhalb von +2 °C steigt der Wärmebedarf plötzlich nicht mehr weiter an. Der spezifische Wärmebedarf wird plötzlich kleiner. Dieser Effekt lässt sich nur durch eine Änderung des Benutzerverhaltens bei tieferen Aussentemperaturen erklären. Wenn die Luft draussen sehr kalt ist, werden die unnötigen Fensteröffnungszeiten vermieden. In dieser kalten Situation ist auch der spezifische Wärmebedarf des besser isolierten Hauses Typ 1 tiefer als derjenige des Hauses Typ 0'. In wärmeren Situationen überwiegt dann sofort der Benutzereinfluss, und die Werte streuen stark.

### Sparpotential des Regelsystemes

Der Wärmeverbrauch des Hauses Typ 2A liegt 54% unterhalb demjenigen des Hauses Typ 0'. 21% der Einsparung gehen gemäss detaillierten Berechnungen auf das Konto der *verbesserten Isolation*. Die *innenliegenden Heizkörper* beeinflussen den Wärmeverbrauch auf zwei Arten. Einerseits verursachen die aussenliegenden Heizkörper wärmere Zonen an der Aussenwand, die hier wegfallen. Zweitens wird die Thermikströmung über die Fensterscheiben langsamer sein, wenn kein Heizkörper darunter ist. In der Summe dürfte der innenliegende Heizkörper höchstens eine Ersparnis von 3-4% bringen.

Die übrigen 30% Einsparung gehen auf das Konto des *Regelsystems* und des Benutzerverhaltens. Ebenfalls in das Benutzerverhalten einzuschliessen ist ein eventueller Einfluss des Temperaturniveaus des Heizsystems, denn ausser den Verteilverlusten im Keller (die hier nicht ins Gewicht fallen), hat dieses nur via das Komfortempfinden des Benutzers und dessen Reaktion einen Einfluss auf den Wärmebedarf. Die Energieeinsparung durch Regelsystem und

Benutzerverhalten lässt sich nicht mehr weiter aufschlüsseln, da sich beide auf die Ausnützbarkeit der freien Wärme auswirken.

Das Regelsystem selbst hat die *folgenden Vorteile*, die zu Energieeinsparungen führen:

- Die vom Bewohner digital vorgeählte Temperatur wird *relativ genau eingehalten*.
- Die *Vorlauftemperatur der Heizung* wird so geregelt, dass die Heizkörperventile im Mittel etwa  $\frac{1}{3}$  geöffnet sind. Damit wird erreicht, dass das ganze Verteilnetz von der Innentemperatur geregelt wird. Bei einer üblichen Regelung mit Thermostatventilen wird nur der Heizkörper geregelt, nicht aber die Wärmeabgabe der Leitungen.

Von der *Benutzerseite* her kann selbst auch ein Unterschied im Verhalten erwartet werden. Die Bewohner der Häuser Typ 0' und 1 sind im Mittel etwa 50 Jahre alt, währenddem die Bewohner im Haus Typ 2 im Mittel etwa 38 Jahre alt sind. Das könnte bedeuten, dass diese von sich aus ein energiebewussteres Verhalten an den Tag gelegt haben. Dieser Einfluss kann nicht weiter quantifiziert werden. Ein grosser Anteil der Energieeinsparung geht wahrscheinlich auf eine *Koppelung zwischen dem Benutzerverhalten und dem Regelsystem* zurück. Als solche Koppelungsvorgänge kann man sich vorstellen:

- Das *digitale Eingeben* einer Solltemperatur erzeugt bei Benutzer trotz elektronischem Gerät eine deutlichere Vorstellung einer Thermostatsfunktion als die Benützung eines Thermostatventils.
- Die mit dem Regelsystem verbundene *individuelle Heizkostenabrechnung* fördert den Sparwillen (es wurde zwar keine eigentliche individuelle Abrechnung durchgeführt, doch wurden an besonders sparsame Bewohner *Prämien* ausbezahlt).
- Die bessere Regelung der gesamten Wärmeabgabe *verhindert Übertemperaturen*, die zu einem übermässigen Öffnen der Fenster und damit doch wieder zu einem zusätzlichen Energieverbrauch führen.

Die hier vorgebrachten Erklärungen über den Problembereich Regelsystem und Benutzerverhalten sind *eher Ver-*



mutungen als Tatsachen. Die Vermutungen liegen nahe, dass damit eine Energieeinsparung von etwa 30% in Verbindung gebracht werden muss. Es ist deshalb sinnvoll, dass dieses Problem in Zukunft Gegenstand weiterer Untersuchungen sein wird.

#### Literatur

[1] Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt: «Heizenergieverbrauch von Wohnbauten, Theoretische Untersuchung anhand von Modellrechnungen». EMPA-Bericht Nr. 39 200, Dübendorf 1980

[2] Mühlebach, H.; Baumgartner, T.; Hartmann, P.: «Messprojekt Mäugwil, Messprogramm und Resultat-Übersicht». Wärmeschutzforschung im Hochbau, 2. Schweizerisches Status-Seminar, EMPA, Dübendorf 1982

## Messwerte des Warmwasserverbrauchs als Planungsgrundlagen

Von Jürg Gass, Dübendorf

In der gesamten Wohnkolonie Limmatstrasse wurden jährlich rund 12 000 m<sup>3</sup> Warmwasser oder täglich rund 52 l pro Person bzw. 129 l pro Wohnung verbraucht. In den zwei Häusern Typ 2A und 2B wurde zusätzlich während 2 Jahren der stündliche Warmwasserverbrauch gemessen. Diese Daten sind des-

halb interessant, da in der nächsten Zeit viele ähnliche Wohnsiedlungen mit einer ähnlichen Bewohnerstruktur saniert werden müssen. Die vorliegenden Warmwasser-Verbrauchsdaten der zwei Testhäuser Typ 2A und 2B können auch auf neue Projekte übertragen werden. Damit dieser Bezug hergestellt werden kann, seien hier die notwendigen Angaben über die Anzahl der Bewohner zusammengestellt:

Motorenstrasse 3: 9 bewohnte Wohnungen, 1 Messwohnung unbewohnt. 18 Erwachsene, 3 Kinder.

Motorenstrasse 5: 10 bewohnte Wohnungen. 18 Erwachsene, 4 Kinder.

Total: 19 bewohnte Wohnungen, 1 unbewohnte Wohnung. 36 Erwachsene, 7 Kinder.

Die zahlreichen Daten können auch verwendet werden, um statistische Angaben über die Verbrauchsgewohnheiten für Warmwasser zu liefern. Solche Angaben können für die richtige Dimensionierung von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen verwendet werden. Bild 1 zeigt ein wöchentliches Verbrauchsprofil für Sommer und Winter. Der wöchentliche Verbrauch für diese beiden Häuser liegt im Winter mit 13 936 l/Woche fast 20% über dem sommerlichen Verbrauch von 11 791 l/Woche. Auch die einzelnen Wochentage unterscheiden sich deutlich voneinander. Über das Wochenende steigt der Verbrauch stark an, insbesondere im Winter.

Die Verbrauchsprofile in Bild 2 sind auch für die Planung von solaren Wasserwärmungsanlagen wichtig, da die Speicherdimensionierung im wesentlichen vom Zusammenspiel zwischen dem Anfall an Sonnenenergie und dem Verlauf des Bedarfes an Warmwasser abhängt. Die Analyse dieser Verbrauchsprofile zeigt in allen vier Fällen drei Spitzen, nämlich eine Morgen-, eine Mittags- und eine Abendspitze. – Die extremste Morgenspitze findet man am Sonntagmorgen zwischen 9 und 10 Uhr, und zwar praktisch identisch für Sommer und Winter. Im Sommer geht dann der Verbrauch gegen Mittag viel rascher zurück als im Winter, so dass die Mittagsspitze fast verschwindet. Der Sonntagnachmittag im Sommer zeigt im Gegensatz zum Winter ein ausgeprägtes Tal. Der Verlauf am Abend ist dann wieder ähnlich wie an den Wochentagen.

Für die Dimensionierung von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen (Grösse des Speichers und notwendige Wärmeleistung) ist die Information über die auftretenden Bezugsspitzen und deren Häufigkeit notwendig. Diese Information kann direkt aus der Summenhäufigkeitskurve (Bild 3) abgelesen werden. Wird die Anlage z. B. auf etwa 1/3 des mittleren Tagesbedarfes pro Stunde dimensioniert, so wird sie nur während knapp 7 h pro Jahr den Anforderungen nicht genügen.

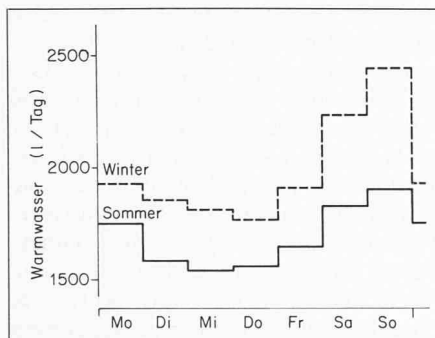


Bild 1. Wochenprofil des Tagesmittelwertes des Warmwasserverbrauchs

Bild 2. Tagesverlauf des stündlichen Warmwasserverbrauchs (Messwerte an 19 Wohnungen über das Winterhalbjahr)

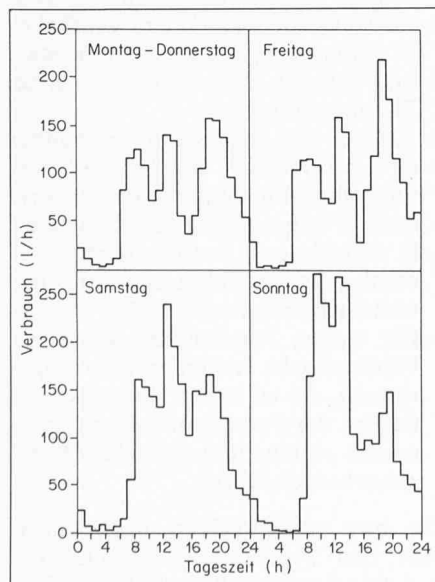


Bild 3. Summenhäufigkeitskurve des stündlichen Warmwasserverbrauchs, resultierend aus dem Verbrauch des Jahres 1981 von 19 Wohnungen (durchschnittlich 1832 l/Tag, max. 784 l/h)

