

DEMONSTRATIONSVORHABEN WORMS - VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG
VERSCHIEDENER LÜFTUNGSSYSTEME IN AUSGEFÜHRTEN WOHNBAUTEN

Demonstration Project "Worms"
Comparative Investigations of Air Infiltration and
Ventilation Systems in Existing Buildings

Herbert Rley
Battelle-Institut e.V., P-6000 Frankfurt am Main 90

Abstract The r&d program "Air Infiltration and Ven-
tilation in Buildings" included a demonstration
phase in which three blocks of flats (40-50 units
each) at the outskirts of Worms were equipped with a
mechanical air infiltration and ventilation system
with heat recovery, a mechanical ventilation system
(DIN 18017, Bl.3+4), and a thermal current system
(DIN 18017, Bl.2, 1961), respectively. The investi-
gations included: building description, hygiene (air
quality, air changes, protection from draft, noise
level), energy balance, individual heating costs,
efficiency calculations, planning and installation
experience, user behavior. According to comparative
measurements systems with heat recovery permit a
ca. 15-20 % reduction of heat consumption. User be-
haviour (window ventilation) is dependent on habit.

1 Einleitung

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprogramms "Lüftung im Wohnungsbau" ist eines der drei Demonstrationsvorhaben das hier vorgestellte Projekt: "Demonstrationsvorhaben Worms - Vergleichende Untersuchung verschiedener Lüftungssysteme in ausgeführten Wohnbauten".

Dieses Projekt wurde offiziell im Februar 1982 in Auftrag gegeben, so daß die Untersuchung schwerpunktmäßig im Winter 1982/83 durchgeführt werden konnte. Das Projekt ist bereits abgeschlossen und die Ergebnisse liegen in einer dreibändigen Fassung und einer Zusammenfassung vor.

2 Zielsetzung des Projekts

Die Untersuchung soll praktische Erfahrungen mit verschiedenen Be- und Entlüftungsanlagen in bewohnten Mehrfamilienhäusern dokumentieren und eine objektive Beurteilung der verschiedenen Systeme ermöglichen. Sie soll hauptsächlich Auskunft geben über:

- technische Auslegung und Betrieb einer speziell für den Wohnungsbau entwickelten mechanischen Be- und Entlüftungsanlage,
- Energieverbrauch mit mechanischen Be- und Entlüftungssystemen im Vergleich zu konventionellen Systemen,
- Wirtschaftlichkeit von mechanischen Be- und Entlüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung,
- Lüftungsverhalten der Mieter.

3 Vorgehensweise

Für die Untersuchung wurden 3 Wohnobjekte (Bild 1 - Lageplan) mit entsprechenden lüftungstechnischen Einrichtungen ausgewählt.

- Gebäude 1 (Untersuchungsobjekt 1) mit mechanischer Be- und Entlüftung und Wärmerückgewinnung nach VDI 2088,
- Gebäude 2 (Vergleichsobjekt 1) mit mechanischer Entlüftung nach DIN 18017 Bl. 3+4 und
- Gebäude 3 (Vergleichsobjekt 2) mit Schachtlüftung nach DIN 18017 Bl. 2

Zusätzlich erfüllten sie folgende Voraussetzungen:

- enge Nachbarschaft zueinander (Verteilung auf eine Länge von 250 m)
- gleiche Orientierung

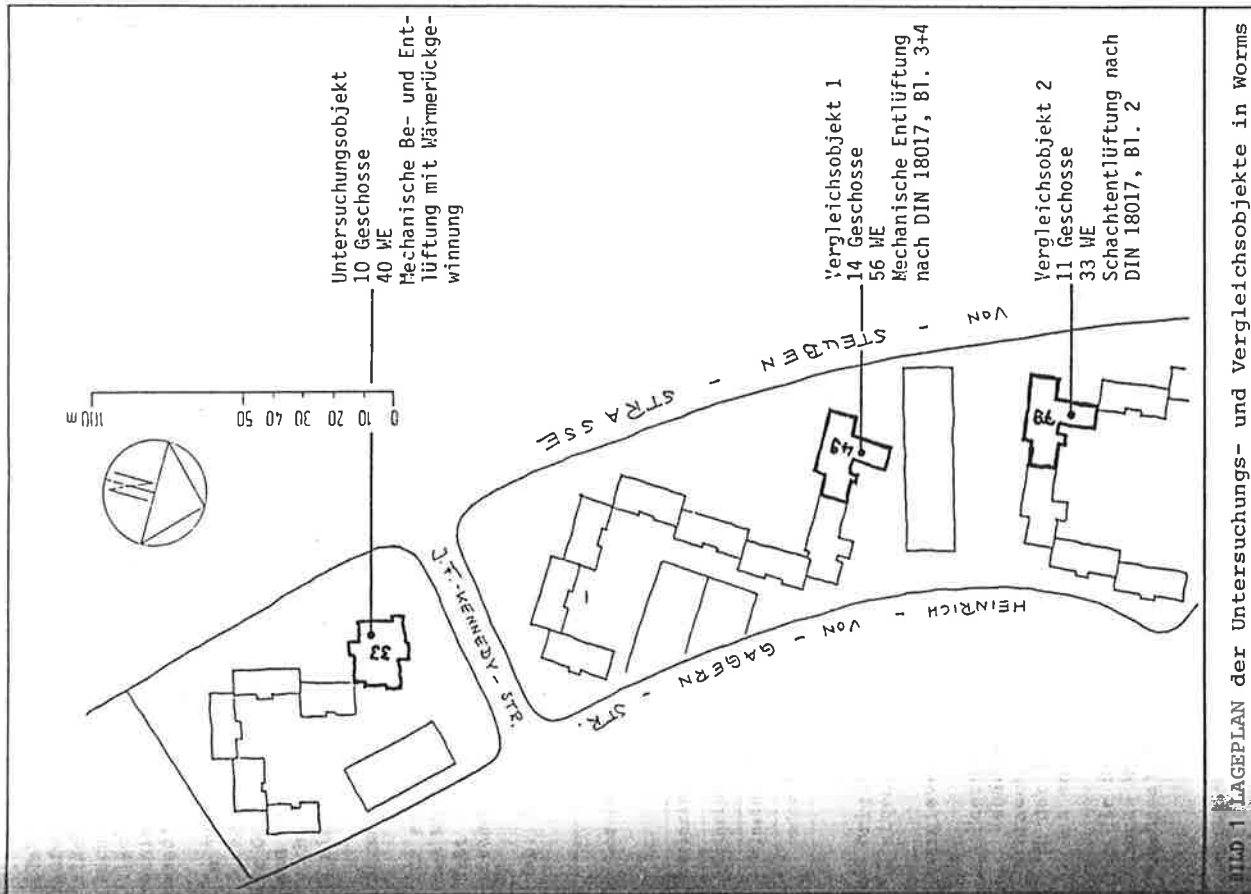


BILD 1 LAGEPLAN der Untersuchungs- und Vergleichsobjekte in Worms

Die Kennwerte der Flächen der Außenbauteile der Gebäude (Tabelle 2) zeigen, daß die drei Gebäude ähnliche Merkmale aufweisen. So bestehen z.B. im Verhältnis von Umhüllungsfläche (A) zu Volumen (V) nur geringfügige Unterschiede. Auch der Fensterflächenanteil an der gesamten Außenwandfläche zeigt nur kleine Abweichungen. Deutliche Unterschiede zeigen sich jedoch bei der Orientierung der Außenwandflächen.

In Tab. 2 sind die Bauteilflächen angegeben, wie sie der Berechnung des A/V-Verhältnisses zugrunde liegen. So ist im Gegensatz zu Berechnungen nach DIN 277 z.B. in Grund- und Dachfläche die Fläche des gesamten Treppenhauses nicht enthalten. Auch das Volumen des Treppenhauses ist in Tab. 2 nicht mitgerechnet.

Wärmebedarf

Für sämtliche untersuchten Gebäude liegen die Berechnungen zum Wärmebedarf nach DIN 4701 (Entwurf) vor. Tabelle 3 fasst die Wärmebedarfswerte der drei betrachteten Gebäude zusammen.

Tab. 3: Vergleich der Wärmebedarfswerte

| Gebäude | Wärmebedarf für | | Wärmebedarf gesamt kW | spezif. Wärme- bedarf W/m ² |
|------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------------|---|
| | Lüftung kW | Trans- mission % | | |
| Heinrich-von-Gagern-Str. 331 | 65 | 31 | 143 | 69 |
| Heinrich-von-Gagern-Str. 332 | 32 | 24 | 100 | 76 |
| Heinrich-von-Gagern-Str. 49 | 89 | 27 | 23R | 73 |
| Theodor-Heuß-Straße 79 | 50 | 19 | 209 | 81 |
| | | | 259 | 79 |

1) Originalberechnung

2) eigene Berechnung

Energieverbrauch vor den Messungen

Die Energieverbräuche liegen jeweils seit Nutzungsbeginn der Gebäude vor. Allerdings sind in den Angaben zum Gasverbrauch nicht nur der Verbrauch für Raumwärme, sondern auch der Energieverbrauch für Warmwasserbereitung und Kochen enthalten.

Für die Schätzungen der jeweiligen Anteile des Energieverbrauchs wurde nach einem auf die Gebäude angepaßten Schlüssel vorgegangen, der in Tabelle 4 aufgelistet ist.

- gleiche Witterungseinflüsse, insbesondere der Winde
- ähnliche Grundrisse
- homogene Mieterstruktur

Das Forschungsvorhaben beinhaltet folgende Untersuchungs-
bereiche:

- Gebäudebeschreibung
- Wohnungshygiene
- Bestimmung der Luftqualität
- Bestimmung des Luftwechsels
- Überprüfen der Zugfreiheit im Aufenthaltsbereich
- Schallpegelbestimmung
- Beurteilung der Heizkostenabrechnung
- Wirtschaftlichkeitberechnungen
- Dokumentation der Planungs- und Ausführungserfahrung
- Vergleich der Energieverbräuche
- Beschreibung des Nutzerverhaltens

Band 1

Band 2

Band 3

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Untersuchungsbereiche zusammenfassend dargestellt.

4 Ergebnisse der Untersuchung

4.1 Gebäudebeschreibung

Die auf dem Lageplan (Bild 1) dargestellten Mehrfamilienhäuser sind jeweils eingebunden in eine "Gebäudekette", befinden sich jedoch in einer relativ freien, ungeschützten Lage (Stadttrandgebiet, große Abstände zur Nachbarbebauung).

In Tabelle 1 sind die Gebäudemerkmale dieser drei Gebäude zusammengestellt.

Tab. 1: Gebäudemerkmale

| Merkmale | H.v.Gagern- Straße 33 GEBÄUDE 1 | H.v.Gagern- Straße 49 GPRÄUDF 2 | Theodor- Heuß-Str. 79 GEBÄUDE 3 |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Gebäudetyp | Vier-Spänner | Vier-Spänner | Vier-Spänner |
| Anzahl Geschosse | 10 | 14 | 11 |
| Anzahl Wohnungen | 40 | 56 | 44 |
| Wohnungs- arten | 30 2-Zi. Woh. 10 3-Zi. Woh. | 28 2-Zi. Woh. 28 3-Zi. Woh. | 22 2-Zi. Woh. 22 3-Zi. Woh. |
| Wohnfläche insgesamt | 2.310 | 3.991 | 3.261 |
| Fertigstel- lungs Jahr | 1979 | 1975 | 1976 |
| Pachform | Flachdach | Flachdach | Flachdach |

Tabelle 4: Anteiliger Energieverbrauch je Nutzungsart in % bezogen auf die Gebäude

| Nutzungsart | Gebäude 1 | Gebäude 2 | Gebäude 3 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Raumwärme | 76,4 % | 77,7 % | 76,4 % |
| Warmwasser | 18,6 % | 17,6 % | 18,6 % |
| Kochen | 5,0 % | 4,7 % | 5,0 % |

In Bild 2 sind die auf den Annahmen (Tabelle 4) basierenden Werte für den jeweiligen Raumwärmeverbrauch als absoluter Wert und als umgerechneter Wert, bezogen auf das langjährige Mittel der Heizgradtage, dargestellt.

4.2 Wohnungshygiene

4.2.1 Luftqualität¹⁾

Im April 1983 wurden in drei auf verschiedene Weise gelüfteten Gebäuden in Worms je fünf Wohnungen stichprobenartig mit Hilfe von Passivsammlern auf die Belastung der Wohnraumluft mit Stickstoffdioxid, Formaldehyd und 16 anderen, ausgewählten organischen Verbindungen sowie mit Blei und Cadmium untersucht.

Die Wohnungen sind zum größten Teil als normal belastet einzustufen. Vereinzelt aufgetretene höhere Konzentrationen einiger Verbindungen lassen sich meist erklären (z.B. durch Renovierungsarbeiten) und liegen nicht so hoch, als daß sie nicht durch intensivere Lüftung herabgesetzt werden könnten. Lediglich in zwei Wohnungen wurden unerwartet hohe Werte für sedimentiertes Blei festgestellt, die durch Nachmessungen überprüft werden sollen.

Aus den Ergebnissen der Untersuchung läßt sich nicht ableiten, daß eines der drei in den Gebäuden eingebauten Lüftungssysteme den anderen im Hinblick auf das Erreichen möglichst geringer Konzentrationen an Luftverunreinigungen im Innenraum vorzuziehen wäre. Für die Höhe der verschiedenen Substanz-Konzentrationen im Innenraum scheinen vielmehr die Lebensumstände der Bewohner und das individuelle Lüftungsverhalten ausschlaggebend zu sein.

1) Die Untersuchung wurde durchgeführt vom: Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, R. Seifert/M. Drews/R. Nagel/M. Schöndube/D.Ullrich/K.-F. Prescher

Tab. 2 : Bauteilflächen und Volumen für Berechnung A/V

| Einheit | Gebäude 1 | Gebäude 2 | Gebäude 3 |
|-------------------------------------|----------------|-----------|-----------|
| Bauteilflächen/Volumen | 358 | 807 | 524 |
| Außenwand, Nordorientierung | m ² | 315 | 713 |
| Außenwand, Westorientierung | m ² | 456 | 842 |
| Außenwand, Südorientierung | m ² | 344 | 578 |
| Außenwand, Ostorientierung | m ² | 1.472 | 2.941 |
| Außenwand, Gesamtfläche | m ² | 69 | 100 |
| Fenster, Nordorientierung | m ² | 122 | 145 |
| Fenster, Westorientierung | m ² | 158 | 409 |
| Fenster, Südorientierung | m ² | 96 | 50 |
| Fenster, Ostorientierung | m ² | 445 | 703 |
| Fenster, Gesamtfläche | m ² | 282 | 329 |
| Grundfläche | m ² | 282 | 329 |
| Dachfläche | m ² | 282 | 329 |
| Innenwandfläche (gegen Treppenhaus) | m ² | 784 | 1.292 |
| Hüllfläche A | m ² | 3.265 | 5.595 |
| Volumen V | m ³ | 7.765 | 12.674 |
| Fensterflächenanteil an Außenwand | % | 23,2 | 19,3 |
| | | | 21,6 |

4.2.2 Luftwechsel

Die Berechnungen und Messungen haben gezeigt, daß die reine Fugenlüftung in allen Gebäuden die Anforderungen des hygienischen erforderlichen Luftwechsels nicht erfüllen.

Der errechnete Luftwechsel der fensterbelüfteten Räume infolge der Undichtigkeit der Fugen liegt während des Meßzeitraums im Mittel bei
 Gebäude 1 zwischen 0,2- und 0,3fach pro Stunde,
 Gebäude 2 zwischen 0,3- und 0,6fach pro Stunde,
 Gebäude 3 zwischen 0,1- und 0,3fach pro Stunde.
 Hierbei strömen ca. 6 bis 12 m³ Luft pro Stunde in die durch Fenster belüfteten Wohn- und Aufenthaltsräume, ein Wert, der auch die Forderungen der Lüftrate von 25 m³/h Person nicht erfüllt.

Die natürlichen und mechanischen Entlüftungssysteme in Gebäude 3 und 2 bewirken einen Luftwechsel in den Wohn- und Aufenthaltsräumen von 0,4- bis 0,5fach pro Stunde in Gebäude 3 (Sammelschachanlage) und 0,5fach pro Stunde in Gebäude 2 (mechanische Entlüftung).

Strömt die erforderliche Zuluft über Fenster und Fugen der natürlich belüfteten Räume, dann werden diesen Räumen insgesamt zwischen 45 und 57 m³/h durch die Sammelschachanlage (Gebäude 3) und zwischen 51 und 111 m³/h durch die mechanische Entlüftung (Gebäude 2) an Zuluft zugeführt. Dieser Zuluftvolumenstrom wäre ausreichend, den geforderten Luftwechsel von 0,5fach pro Stunde nach DIN 4701 zu erfüllen. Dies gilt auch für die Lüftrate von 25 m³/h Person für die gesamte Wohnung, wenn sich in der Wohnung je nach Größe durchschnittlich 2 bis 3 Personen aufhalten.

Diese Lüftungssysteme (Gebäude 2 und 3) sorgen noch nicht für einen hygienisch befriedigenden Luftwechsel. Dennoch müssen die Bewohner den erforderlichen Frischluftbedarf durch Öffnen der Fenster decken. Per sich dann in den jeweiligen Räumen einstellende Luftwechsel liegt zwischen 1,8- und 2,5fach pro Stunde und damit auch hinsichtlich der Frischlufttrate erheblich über den Anforderungen.

Befriedigende Ergebnisse hinsichtlich des Luftwechsels konnten trotz der Minderleistungen der Luftvolumenströme in Gebäude 1 mit mechanischer Re- und Entlüftung festgestellt werden, wobei die Tagesmittelwerte zwischen 0,5- und 0,8fach pro Stunde für die Wohn- und Aufenthaltsräume liegen. Nicht ausreichend sind die gemessenen Zuluftvolumenströme hinsichtlich der geforderten Lüftrate je Raum, sofern sich mehr als zwei Personen im Raum befinden. Würde der Planungswert eingehalten und keine Minderung des Zuluftvolumenstroms während bestimmter Zeitabschnitte vorgenommen, so würden die Anforderungen hinsichtlich der Lüftrate erfüllt. Da die Nutzer jedoch keine Kenntnis über das

RAUMWÄRMEVERBRAUCH (ABSOLUT)

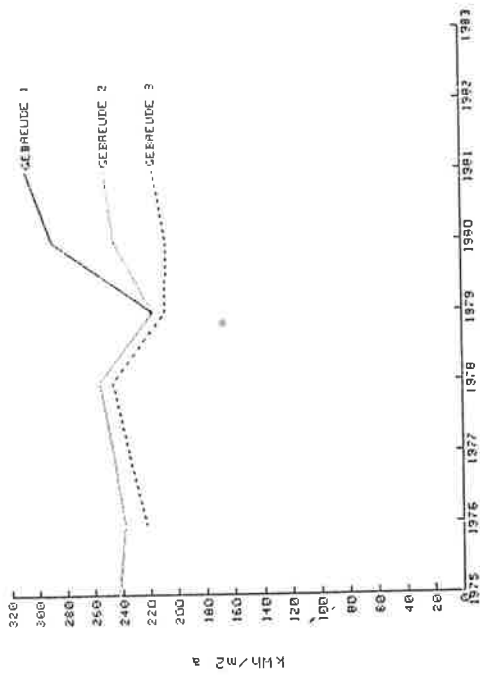


Bild 2A: Spezifischer Raumwärmeverbrauch (absolut)

RAUMWÄRMEVERBRAUCH (UMGERECHNET)

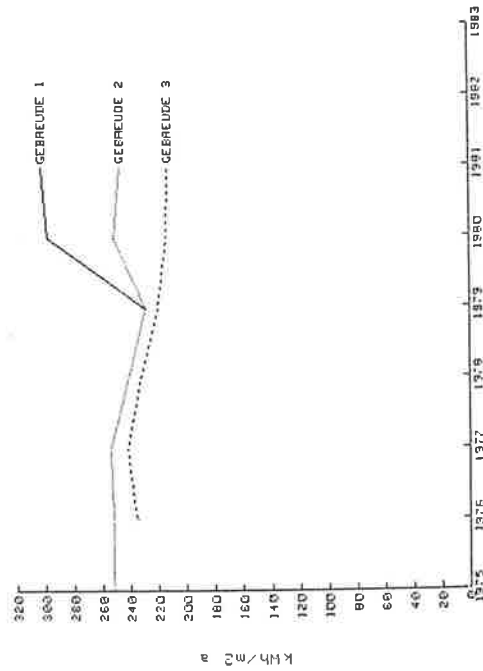


Bild 2B: Spezifischer Raumwärmeverbrauch (umgerechnet)

installierte Lüftungssystem haben, wie die Nutzeruntersuchung zeigt, wird die Fensterlüftung der Gewohnheit entsprechend in Anspruch genommen, was zu unnötigen zusätzlichen Energieverbräuchen führt.

Fs wäre für die Zukunft zu empfehlen:

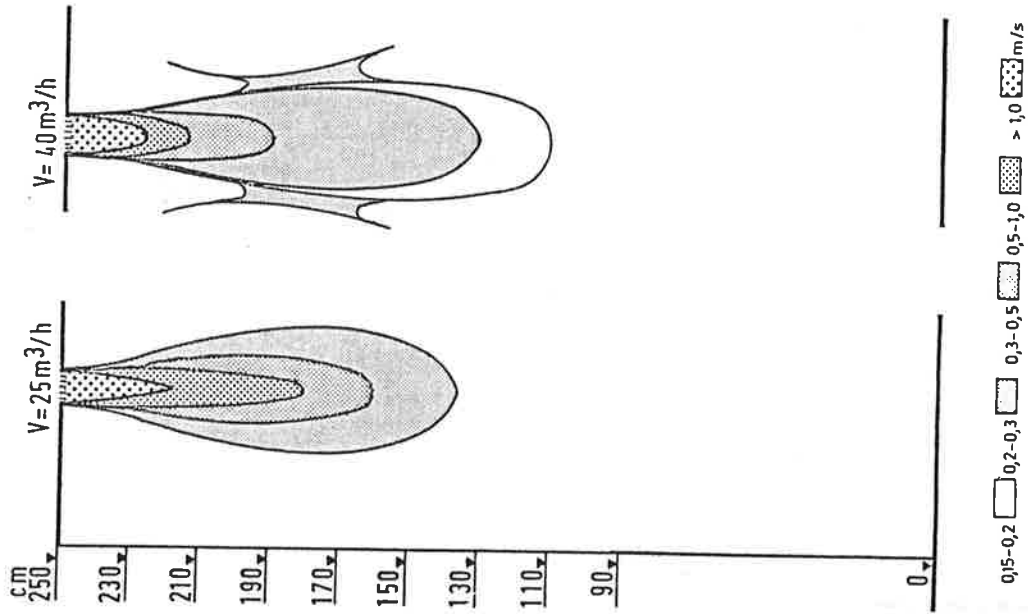
- Der Zuluftvolumenstrom sollte nicht nach dem Luftwechsel, sondern der Luft rate bestimmt werden. Diese sollte anhand einer Mindestbelegung der Wohnung bemessen werden.
- Die Luft rate sollte eine zusätzliche Bemessungsgrundlage für mechanische Entlüftungsanlagen sein. Ferner sollten diese Anlagen eine gesicherte Frischluftzufuhr über die Wohnräume erhalten. Hierfür sind entsprechende Einrichtungen zu entwickeln.
- Bei Einsatz von mechanischen Be- und Entlüftungsanlagen sind die Mieter über die Wirkungsweise und Energieeinsparmöglichkeiten dieser Lüftungssysteme aufzuklären.
- Mechanische Entlüftungsanlagen und Be- und Entlüftungsanlagen sind durch entsprechende Sachverständige abzunehmen.
- In Abständen von z.B. 3 Jahren sind die Anlagen auf ihre Leistung und Finstellung im Rahmen der Wartung zu überprüfen und gegebenenfalls neu einzustellen. Hierfür wären in den Anlagen Messeinrichtungen (z.B. Meßblenden von TROX) mit vertretbarem Aufwand zu installieren, die eine schnelle, stichprobenartige Kontrolle ermöglichen.
- Wartungspersonal und Hausmeister sollten über die Funktionsweise der Anlagen dahingehend aufgeklärt werden, daß nicht nur die reine Funktion der Aggregate gesichert ist sondern auch die Luftvolumenströme.

4.2.3 Zugfreiheit

In den Wohnungen mit mechanischer Be- und Entlüftung und Wärmerückgewinnung (Gebäude 3) erfolgt die Luftzuführung in den Wohn- und Schlafräumen über Deckenauslässe. Die Zuluftauslässe sind in der Decke direkt über den Aufenthaltsbereichen, wie Sitzecken oder Betten (Fußende) angeordnet. Zur Beurteilung dieser Anordnung wurden Luftgeschwindigkeitsmessungen durchgeführt.

Die Messungen wurden entsprechend den Anforderungen nach DIN 1946, Teil 2 - Entwurf, DIN 45667 und VDI-Richtlinie 2079, Blatt 2 - Entwurf - durchgeführt. Den Messungen lag ein durchschnittlicher Zuluftvolumenstrom von $25 \text{ m}^3/\text{h}$ bei

Zuluftvolumenstrom



3 Strömungsbild des Luftauslasses bei unterschiedlichen Zuluftvolumenströmen

Tab. 5 : Heizungs- und Lüftungstechnische Kenndaten der Gebäude
Soll-Wert = Planungswert

| Norm-Wärmebedarf (DIN 4701) | Instal. Kesselleistung | Instal. Elektroleistung | Ventilatoren Zuluft | Pumpen | Luftvolumenströme Zuluft | Abluft | Regelung |
|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|--|---|---|---|
| GERÄUDE 1 208 (1321) | 302,4 (4 x 75,6) | 302,4 (4 x 75,6) | 4 KM | 20 Kessel Vorlauf M 300 M 320 M Heizkreis Nord M 320 M Heizkreis Süd M Nachheizter M 40 | II 5,610 Stufe I 2,090 II 3,225 | II 5,610 Stufe I 1,900 II 2,755 | 2 Heizkreise Mittlerungsführte Vorlauftemperaturregelung über Mischer Thermostatventile Konstant-Zulufttemperatur-Regelung Tag: 24 °C Nacht: 20 °C 22,00 Uhr - 6,00 Uhr Stufe I: 9,00-11,00/13,00-18,00/ 20,00-6,00 Uhr Stufe II: 6,00-9,00/11,00-13,00/ 18,00-20,00 Uhr |
| GERÄUDE 2 Gebäude 49+47 327 | 756,0 (10 x 75,6) | 756,0 (10 x 75,6) | 4 x 0,3 KM | 1.500 M | II 5,610 Stufe I 1,555 M2 : 720 M1 : 1.555 M2 : 720 W2(1) : 1.680 W2(2) : 1.260 W1(1) : 600 W2(1) : 600 W1(2) : 900 W2(2) : 900 W3 : 1.105 M4 : 1.085 W2(1) : 1.680 W2(2) : 1.680 W3 : 1.105 M4 : 1.085 | W3 : 1.105 M4 : 1.085 W2(1) : 1.680 W2(2) : 1.680 W3 : 1.105 M4 : 1.085 W2(1) : 1.680 W2(2) : 1.680 W3 : 1.105 M4 : 1.085 W2(1) : 1.680 W2(2) : 1.680 W3 : 1.105 M4 : 1.085 | Mittlerungsführte Vorlauftemperaturregelung über Gaskessel mit atm. Brenner Mittlerungsführte Vorlauftemperaturregelung über Gaskessel mit atm. Brenner 22,00 Uhr - 6,00 Uhr |
| GERÄUDE 3 259 | 302,4 (4 x 75,6) | 302,4 (4 x 75,6) | | 830 M | II 5,610 Stufe I 1,555 M2 : 720 M1 : 1.555 M2 : 720 W2(1) : 1.680 W2(2) : 1.260 W1(1) : 600 W2(1) : 600 W1(2) : 900 W2(2) : 900 W3 : 1.105 M4 : 1.085 W2(1) : 1.680 W2(2) : 1.680 W3 : 1.105 M4 : 1.085 | W3 : 1.105 M4 : 1.085 W2(1) : 1.680 W2(2) : 1.680 W3 : 1.105 M4 : 1.085 W2(1) : 1.680 W2(2) : 1.680 W3 : 1.105 M4 : 1.085 W2(1) : 1.680 W2(2) : 1.680 W3 : 1.105 M4 : 1.085 | Mittlerungsführte Vorlauftemperaturregelung über Gaskessel mit atm. Brenner Mittlerungsführte Vorlauftemperaturregelung über Gaskessel mit atm. Brenner 22,00 Uhr - 6,00 Uhr |

1) eigene Berechnung
2) M = Abluftschacht für Wohninheit (vgl. B1d 1-4)
3) M = Abluftschacht für Wohninheit (vgl. B1d 1-5)
4) Bandbreite
5) Durchschnittswert

Stufe I und 40 m³/h bei Stufe II zugrunde. Das sich aus den Messungen ergebende Strömungsprofil ist in Bild 3 dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, daß ab einer Höhe von ca. 1,10 m über dem Fußboden bei einem Zuluftvolumenstrom von 40 m³/h Zugerscheinungen auftreten. Bei sitzenden Personen ist dies der Kopf- und Schulterbereich.

Zur Vermeidung solcher Mängel wird vorgeschlagen, die vorhandenen Auslaßöffnungen durch Drallventile oder gleichwertiges zu ersetzen. Bei anderen Ventilarten ist hinsichtlich der Ausbildung darauf zu achten, daß sich der Luftstrahl nicht infolge des 'Coanda-Effekts' an die Decke anlegt und damit eine Oberflächenverschmutzung verursacht.

4.2.4 Schallpegelbestimmung¹⁾

Die Messungen ergaben, daß bei beiden mechanischen Entlüftungssystemen in den Betriebszeiten die Richtwerte in den Wohnungen überschritten wurden. Für das Re- und Entlüftungssystem gilt dies nur für die Zeiten, in denen das System in der Betriebsstufe 2 arbeitet. Verbesserungen zur Regulierung des Volumenstroms an Ein- bzw. Austritten und am System sollten angestrebt werden.

Der bauliche Schallschutz wird von den Systemen nicht gemindert. Die Schalldämmung zwischen den Räumen entspricht der aus den Wand- bzw. Deckengewichten errechneten. Die Soll-Werte und -kurven werden in allen drei Fällen gerade erreicht bzw. knapp unterschritten.

Schalltechnische Verbesserungen - insbesondere zur Verminderung der tiefrequenten Geräuschanteile - können an der Anlage selbst (Be- und Entlüftungssystem) z.B. durch Veränderung der Ventilatoranordnung und durch eine elastische Aufstellung erreicht werden.

4.3 Vergleich der Energieverbräuche

Zur Prüfung der Annahme, ob mechanische Re- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung einen Beitrag zur Energieverbrauchsreduzierung leisten, wurden an den bereits ausgeführten Heizungs- und Lüftungstechnischen Anlagen im Zeitraum vom 01.10.82 bis 02.05.83 Messungen zur Bestimmung der Energieverbräuche in den drei Mehrfamilienhäusern in Worms durchgeführt. Zusätzlich wurden jeweils fünf Wohnungen dieser Gebäude für detailliertere Betrachtungen ausgewählt. Die Heizungs- und Lüftungstechnischen Kenndaten sind in Tabelle 5 dargestellt.

1) Vgl. auch Zwischenpräsentation: Wege zur Verringerung der Lüftungswärmeverluste von Gebäuden. Informationsveranstaltung am 25.03.1982 in der KfA Jülich.

Tab. 6 : Aufstellung Meßstellen und Meßgrößen elektronische Datenerfassung Gebäude 1

| Kanal Nr. | Meßstelle/Meßgröße | Speicherintervall Minuten | | Darstellung in Bild | | | |
|-----------|--|---------------------------|----|---------------------|-----|-----|-----|
| | | 10 | 60 | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 |
| 1 | Meteorologische Daten | | | | | | |
| 73 | t 1 Außenlufttemperatur (Dach) | x | x | | x | | |
| 64 | relative Außenluftfeuchtigkeit (Dach) | | | | x | | |
| 65 | Solareinstrahlung | x | x | | | | |
| 66 | Global (Dach) | x | x | | | | |
| 67 | Nordfassade (6. OG) | x | x | | | | |
| 68 | Ostfassade (6. OG) | x | x | | | | |
| | Südfassade (6. OG) | x | x | | | | |
| | Westfassade (6. OG) | x | x | | | | |
| 2 | Heizungstechnische Daten | | | | | | |
| 74 | t 2 Frischlufttemperatur | | x | | x | | |
| | relative Luftfeuchtigkeit Frischluft | | x | | x | | |
| 3 | t 3 Zulufttemperatur (hinter Zuluftventilator) | | x | | x | | |
| 4 | t 4 Zulufttemperatur (hinter Wärmerückgewinnung) | | x | | x | | |
| 5 | t 5 Zulufttemperatur (hinter Nachwärmer) | | x | | x | | |
| 6 | t 6 Ablufttemperatur (gesamt vor Abluftventilator) | | x | | x | | |
| 7 | t 7 Ablufttemperatur (hinter Abluftventilator) | | x | | x | | |
| 75 | rel. Luftfeuchtigkeit (hinter Abluftventilator) | | x | | x | | |
| 8 | t 8 Fortlufttemperatur (nach Wärmerückgewinnung) | | x | | x | | |
| 76 | relative Luftfeuchtigkeit Fortluft | | x | | x | | |
| 9 | Ablufttemperatur in Abluftsträngen | | | | | | |
| 10 | t 9 Strang 7 | | x | | | | |
| 11 | t 10 Strang 9 | | x | | | | |
| 12 | t 11 Strang 12 | | x | | | | |
| 13 | t 12 Strang 6 | | x | | | | |
| 14 | t 13 Strang 5 | | x | | | | |
| 15 | t 14 Strang 4 | | x | | | | |
| 16 | t 15 Strang 1 | | x | | | | |
| 16 | Vor- und Rücklufttemperaturen in Heizkreisen | | | | | | |
| 17 | Nachheizter Zuluft | | x | | x | | |
| 18 | t 16 tv | | x | | x | | |
| 19 | Heizkreis Nord | | x | | x | | |
| 20 | t 17 tr | | x | | x | | |
| 21 | Heizkreis Süd | | x | | x | | |
| 22 | t 18 tv | | x | | x | | |
| 23 | t 19 tr | | x | | x | | |
| 24 | Heizkreis Süd | | x | | x | | |
| 25 | t 20 tv | | x | | x | | |
| 26 | t 21 tr | | x | | x | | |
| 80 | Durchflüßmengen (Rücklauf) | | | | | | |
| 78 | Heizkreis Nord | | x | | x | | |
| 79 | Heizkreis Süd | | x | | x | | |
| 22 | Heizkreis Nachheizter Zuluft | | x | | x | | |
| 23 | Oberflächentemperaturen Außenwand | | | | | | |
| 24 | Nord (Küche W 4 6. OG) | | | | x | | |
| 25 | innen | | | | x | | |
| 26 | außen | | | | x | | |
| 27 | Ost (Schlafraum W 2 6. OG) | | | | x | | |
| 28 | innen | | | | x | | |
| 29 | außen | | | | x | | |
| 30 | Süd (Küche W 2 6. OG) | | | | x | | |
| 31 | innen | | | | x | | |
| 32 | außen | | | | x | | |
| 33 | West (Küche W 3 6. OG) | | | | x | | |
| 34 | innen | | | | x | | |
| 35 | außen | | | | x | | |

forts. Tab. 6 : Aufstellung Meßstellen und Meßgrößen elektronische Datenerfassung - Gebäude 1

| Kanal Nr. | Meßstelle/Meßgröße | Speicherintervall Minuten | | Darstellung in Bild | | | |
|-----------|--|---------------------------|----|---------------------|-----|-----|-----|
| | | 10 | 60 | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 |
| | Raumlufttechnische Daten | | | | | | |
| 30-36 | Raumlufttemperaturen Wohnung 2 | x | x | | | | |
| 37-43 | Raumlufttemperaturen Wohnung 2 (s. Bild 1-2) | x | x | | | | |
| 44-45 | Raumlufttemperaturen Wohnung 2 (s. Bild 1-2) | x | x | | | | |
| 51-55 | Raumlufttemperaturen Wohnung 4 | x | x | | | | |
| 56-60 | Raumlufttemperaturen Wohnung 3 | x | x | | | | |
| 61 | Lufttemperatur Treppenhaus | x | x | | | | |
| 62 | Lufttemperatur Treppenhaus | x | x | | | | |
| 63 | Lufttemperatur Treppenhaus | x | x | | | | |
| 69 | Druckdifferenz Innen/Außen | | | | | | |
| 70 | Norden (Küche W 4 6. OG) | | x | | | | |
| 71 | Ost (Schlafraum W 2 6. OG) | | x | | | | |
| | Süd (Küche W 2 6. OG) | | x | | | | |
| 72 | West (Küche W 3 6. OG) | | x | | | | |

- Zur Beurteilung der Energie- und Endenergieverbräuche für Heizzwecke in den drei Gebäuden wurden folgende Meßdaten erfaßt:
- meteorologische Werte (Außenlufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Solareinstrahlung),
 - heizungstechnische Werte (Brennstoffverbrauch, Brennerbetriebsstunden, Wassertemperaturen in den Heizkreisen, Wärmemenge, Lufttemperaturen in den Kanälen u.a.) und
 - raumlufttechnische Werte (Lufttemperaturen in Wohn- und Aufenthaltsräumen, Druckdifferenzen).

Die Meßwerte wurden mit kontinuierlichen Datenerfassungsanlagen während der Meßperiode aufgenommen, und zwar für das Gebäude 1 mit elektronischer Datenerfassung (Tabelle 6) und für die Gebäude 2 und 3 mit 6-Kanal-Linienschreibern (Tabelle 7).

| | |
|---|--|
| Tabelle 7: Mit Schreibern erfaßte Meßgrößen für Gebäude 2 und 3 (Vergleichsobjekte) | |
| Meteorologische Daten | |
| Windgeschwindigkeit und Windrichtung auf freiem Feld in 10 m Höhe über Erdboden | |
| Heizungstechnische Datenerfassung Gebäude 2 (Vergleichsobjekt) | |
| Fin 6-Kanal-Linienschreiber | |
| - Ablufttemperaturen in den jeweiligen vier Abluftschächten | |
| - Vor- und Rücklauftemperatur des Heizungskreises | |
| Heizungstechnische Datenerfassung Gebäude 3 (Vergleichsobjekt) | |
| Zwei 6-Kanal-Linienschreiber, 10 Kanäle belegt | |
| - Ablufttemperaturen in den jeweiligen vier Abluftschächten | |
| - Luftgeschwindigkeit und Strömungsrichtung in den jeweiligen vier Abluftschächten | |
| - Vor- und Rücklauftemperatur des Heizkreises | |

- Folgende Meßgrößen wurden durch wöchentliches Ablesen erfaßt:
- in den Heizzentralen
 - Brennstoffverbräuche (Gas) gemessen mit Gaszählern
 - Finschaltdauer der Brenner (Betriebsstundenzähler)
 - Warmwasserverbrauch (Wasseruhr)

- Wärmeverbrauch des Heizsystems Gebäude 2 und 3 (Wärmemengenzähler)
 - elektrischer Energieverbrauch für Umwälzpumpen, Ventilatoren usw.
- von den 15 ausgewählten Wohnungen in Gebäude 1-3 (5 WF je Gebäude)
- elektrische Energieverbräuche
 - Wärmeverbrauch über Heizkörper (elektronische Meßeinrichtungen der Firma EXATRON an jedem Heizkörper)
 - Raumlufttemperatur in der Wohnung der Gebäude 2 und 3 (1 Thermoschreiber je Wohnung)

Zur Beurteilung einer Heizperiode und des Heizenergieverbrauchs werden allgemein die Gradtage herangezogen. Aus diesem Grunde sind nachfolgend die 20 jährigen Mittelwerte des deutschen Wetterdienstes und die gemessenen Werte gegenübergestellt.

| Daten Wetterdienst Mittel 1951-1971 | | Messungen 1982/83 | |
|-------------------------------------|-------|-------------------|-----------|
| Gt | tm | Gt | tm |
| 293 | 10,1 | 281,8 | (- 3,8 %) |
| 438 | 5,4 | 368,9 | (-15,8 %) |
| 555 | 2,1 | 487,8 | (-12,1 %) |
| 595 | 0,8 | 449,1 | (-24,5 %) |
| 509 | 2,0 | 525,0 | (+ 3,1 %) |
| 443 | 5,7 | 394,9 | (-10,9 %) |
| 282 | 9,9 | 257,9 | (- 8,5 %) |
| Gesamt | 3.115 | 2.765,4 | (-11,2 %) |

Aus diesen Angaben ist zu ersehen, daß es sich bei der betrachteten Heizperiode um einen recht milden Winter mit sehr wenigen Tagen (ca. 18) um bzw. unter 0 °C handelte. Die tiefste gemessene Außentemperatur lag bei -6 °C (am 22.2.1983 zwischen 7.00 und 8.00 und +3 °C zwischen 13.00 und 14.00).

In Tabelle 8 sind als Übersicht zusammenfassend die Endenergie- und Wärmeverbräuche für den gesamten Meßzeitraum vom 04.10.82 bis 02.05.83 aufgezeigt und zusätzlich unterteilt in 2 Meßperioden vom 04.10.82 bis 06.12.82 und 06.12.82 bis 02.05.83.

- Diese Unterteilung war erforderlich, da im Gebäude I folgende Mängel behoben werden mußten:
- Erneuerung von Luftfiltern
 - Reparatur der Umwälzpumpe für die Nacherwärmung der Zuluft
 - Reparatur Regelung Nacherwärmung Zuluft bzw. Konstanthaltung der Zulufttemperatur
 - Korrekturen der Finstellwerte für die Regelung

Eine mangelnde Kenntnis über die Funktionsweise der mechanischen Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung war wohl auch der Grund für die erhöhten Endenergieverbräuche dieses Gebäudes gegenüber den Vergleichsobjekten.

Die Abweichungen des spezifischen Endenergieverbrauchs (kWh/m²) von Gebäude 1 gegenüber Gebäude 2 und 3 betragen in den vorherigen Heizperioden:

1980/81 + 18,7 % gegenüber Gebäude 2
 + 39,3 % gegenüber Gebäude 3

1981/82 + 22,7 % gegenüber Gebäude 2
 + 42,3 % gegenüber Gebäude 3

und über die gesamte gemessene Heizperiode

1982/83 + 3,4 % gegenüber Gebäude 2
 + 7,4 % gegenüber Gebäude 3

Zu Beginn der Messungen im Zeitraum vom 04.10. bis 06.12.1982 betragen die Abweichungen des spezifischen Endenergieverbrauchs (kWh/m³) von Gebäude 1:

+ 27,3 % gegenüber Gebäude 2 und
 + 31,9 % gegenüber Gebäude 3.

Nach der Mängelbeseitigung betrug die Abweichung des spezifischen Endenergieverbrauchs (kWh/m³) des Gebäudes 1 im Zeitraum vom 07.12.1982 bis 02.05.1983:

- 8,1 % gegenüber Gebäude 2 und
 - 1,6 % gegenüber Gebäude 3.

Auch aus der Darstellung des spezifischen Endenergieverbrauchs in Bild 4 ist zu ersehen, daß bis zum 6.12.1983 der Gesamt-Endenergieverbrauch des Gebäudes 1 erheblich über dem der Vergleichsobjekte liegt. Der Endenergieverbrauch für die Wärmeabgabe über Heizkörper ist jedoch während dieses Zeitraums ähnlich dem der Vergleichsobjekte. Aufgrund dieser Ergebnisse könnte man sagen, daß die mechanische Be- und Entlüftung nur zusätzliche Energie benötigt.

Vergleicht man die Werte der Tabelle 8 für Gebäude 1 miteinander, so ist festzustellen, daß der spezifische Endenergieverbrauch (Wh/Gt m²) insgesamt um 30 % und der spezifische Wärmeverbrauch (Wh/Gtm²) um 56 % gesenkt werden konnte.

Die verminderte Auswirkung des gesenkten spezifischen Wärmeverbrauchs auf den spezifischen Endenergieverbrauch ist auf den schlechten Wirkungsgrad der Heizungsanlagen zurückzuführen.

Tabelle 8: Überblick der Endenergie- und Wärmeverbräuche während der Messperiode

| Verbrauch | Endenergieverbrauch kWh/m ² | Wärmeverbrauch kWh/m ² | Spezifischer Endenergieverbrauch Wh/Gtm ² | Spezifischer Wärmeverbrauch Wh/Gtm ² |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
| gesamter Meßzeitraum 04.10.82 - 02.05.83 | 215 H 187 L 28 | 104 H 89 L 15 | 78,0 H 67,9 L 10,2 | 37,7 H 32,4 L 5,3 |
| Gebäude 1 | 208 | 139,5 | 75,6 | 50,6 |
| Gebäude 2 | 200 | 153 | 72,6 | 55,6 |
| Gebäude 3 | 80,7 H 56,6 L 15,2 | 46,2 H 36,5 L 9,8 | 99,7 H 78,6 L 21,1 | 64,2 H 50,7 L 13,6 |
| Meßperiode 1 04.10.82 - 06.12.82 | 52,6 | 36,1 | 73,1 | 50,2 |
| Gebäude 1 | 54,6 | 41,4 | 75,9 | 57,5 |
| Gebäude 2 | 142,3 H 129,6 L 12,7 | 58,1 H 52,4 L 5,6 | 70,2 H 64,0 L 6,3 | 28,2 H 25,9 L 2,3 |
| Gebäude 3 | 145,3 | 111,8 | 71,4 | 54,9 |
| Meßperiode 2 06.12.82 - 02.05.83 | 155,7 | 103,3 | 76,5 | 50,8 |

Gebäude 1: H = Heizung, L = Nachwärmer Lüfter

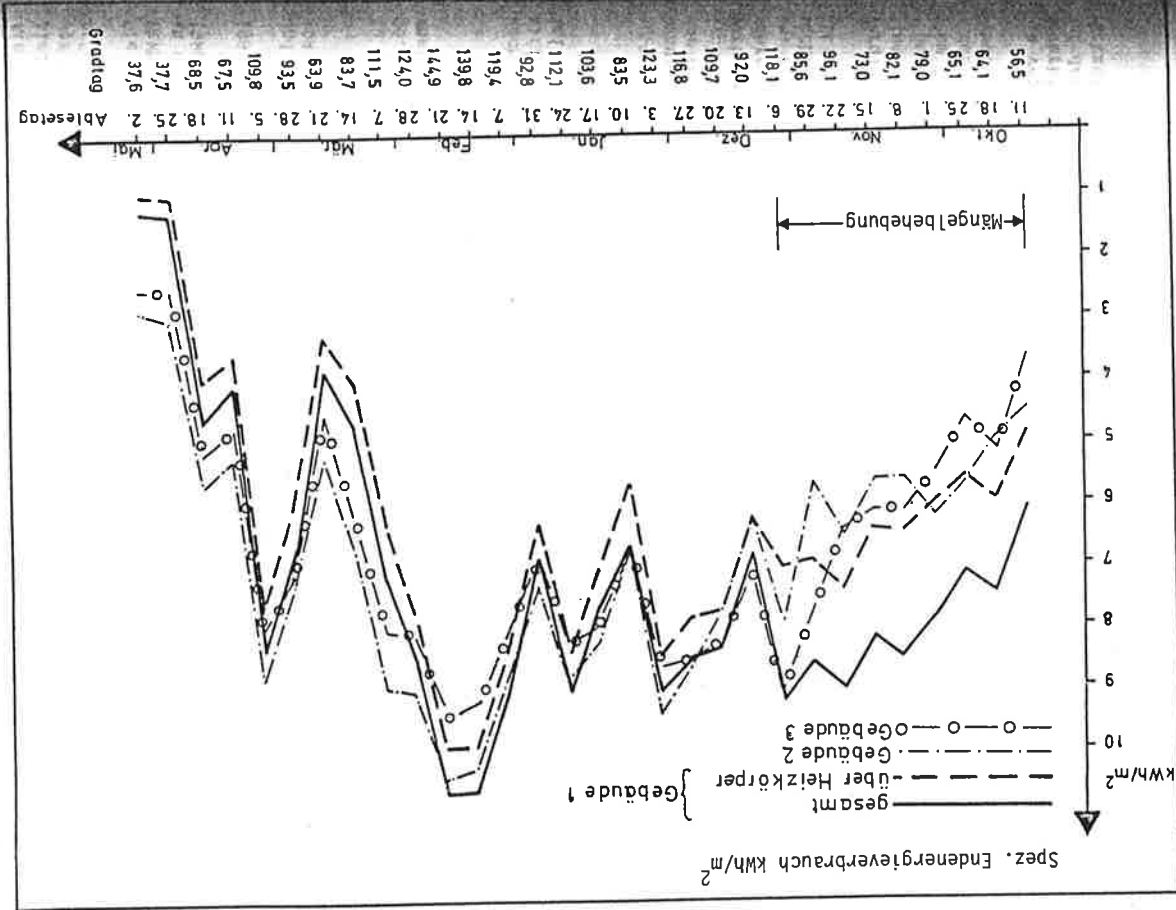


Bild 4 : Wöchentlicher spez. Endenergieverbrauch der Mehrfamilienhäuser in Worms während des Meßzeitraums vom 04.10.82 bis 02.05.83

Dabei wurde
 - der spezifische Endenergieverbrauch (Wh/Gtm²) für die Wärmeabgabe über Heizkörper um 19 % und für die Nachwärmung der Zuluft um 70 % und
 - der spezifische Wärmeverbrauch (Wh/Gtm²) Raumwärme um 49 % und für die Nachwärmung der Zuluft um 83 % verringert.

Vergleicht man die Gebäude untereinander, so ist festzustellen, daß nach der Mängelbeseitigung alle Werte des Gebäudes 1 - sogar die Endenergieverbrauchswerte - unter denen der Vergleichsobjekte liegen.

Zur weiteren Beurteilung der Energieverbräuche in den Gebäuden wurden die durchschnittlichen 'Nutzungsstunden' ermittelt. Diese Nutzungsstunden sind als Quotient aus Wärmeverbrauch und Norm-Wärmebedarf wie folgt definiert:

$$\frac{Q}{Q_N} = b \quad (h)$$

- Q = Wärmeverbrauch (kWh)
- Q_N = Norm-Wärmebedarf (kW)
- b = Nutzungsstunden

Den Berechnungen wurden folgende Werte für den Norm-Wärmebedarf zugrunde gelegt:

Tabelle 9: Wärmebedarfswerte

| | Gebäude 1 | Gebäude 2 | Gebäude 3 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Norm-Wärmebedarf Q kW | 132 | 327 | 259 |
| Spezifischer Normwärmebedarf Q spez W/m ² | 57 | 82 | 79 |

Da bei dieser Berechnung auch der unterschiedliche Norm-Wärmebedarf der Gebäude berücksichtigt wird, kann der Wert der 'Nutzungsstunden' für eine hinreichend objektive Beurteilung herangezogen werden. Aus diesem Grunde wurden auch nur die Nutzungsstunden für den Wärmebedarf ermittelt, um die Einflüsse der Anlagenwirkungsgrade auszuschließen, die Parametern unterliegen, die hauptsächlich von Wartung und Einstellung abhängig sind und entsprechend dieser errechneten Werte wurde zusätzlich ein spezieller Wert (Nutzungsstunden je Gradtag) ermittelt, der die Witterungsbedingungen anhand der gemessenen Gradtage berücksichtigt. Dadurch lassen sich die Werte der verschiedenen Perioden auch miteinander vergleichen.

Die errechneten Nutzungsstunden betragen in der Zeit vom 4.10. bis 6.12.1982:

Tabelle 10: Vergleich Nutzungsstunden für die Meßzeit vom 4.10. bis 6.12.1982

| | Gebäude 1 | Gebäude 2 | Gebäude 3 |
|----------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| Nutzungsstunden h | 811,1 H 639,8 L 171,3 | 440,7 | 523,8 |
| Spez. Nutzungsstunden h/Gt | 1,13 H 0,89 L 0,24 | 0,61 | 0,73 |

H = Heizung
L = Nacherwärmer Zuluft

Tabelle 11: Vergleich der errechneten Nutzungsstunden für die Meßzeit vom 6.12.1982 bis 02.05.1983

| | Gebäude 1 | Gebäude 2 | Gebäude 3 |
|----------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|
| Nutzungsstunden h | 1.018,9 H 639,5 L 379,4 | 1.260,1 | 1.414,8 |
| Spez. Nutzungsstunden h/Gt | 0,50 H 0,45 L 0,05 | 0,62 | 0,70 |

H = Heizung
L = Nacherwärmer Zuluft

Auch diese Gegenüberstellung zeigt, daß nach der Mängelbe-seitigung das Gebäude 1 mit mechanischer Re- und Entlüf-tung mit Wärmerückgewinnung die günstigsten Werte auf-weist. Sie liegen 19 % unter denen des Gebäudes 2 und so-gar 28 % unter denen des Gebäudes 3. Analog würde dies be-deuten, daß die tatsächliche Energieeinsparung zwischen 19 % und 28 % liegen könnte, wenn ein Gebäude mit einer derartigen Lüftungstechnischen Anlage ausgestattet ist.

Diese Aussage wäre dann genau zutreffend, wenn in allen drei verglichenen Gebäuden gleiche Nutzungsgewohnheiten bestünden. Aufgrund der großen Anzahl der betrachteten Wohneinheiten, ihrer Ähnlichkeit hinsichtlich Größe und Verteilung und der gleichen Mietstrukturen kann man an-hand dieser Tendenz wohl sagen, daß in einem Gebäude, aus-gerüstet mit einem mechanischen Re- und Entlüftungssystem mit Wärmerückgewinnung, die Energieeinsparung bei 15 bis 20 % liegen wird.

4.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Messungen ergaben, daß in dem Gebäude mit mechanischer Re- und Entlüftung ca. 20 % des Wärmeverbrauchs eingespart werden können. Abschätzungen, bezogen auf das statistische Jahr entsprechend der Gradtagzahlen nach VDI 2067, ergaben eine Einsparung von ca. 16 %. Da aber nicht nur dieser Beitrag zur Energieeinsparung von Bedeutung ist, sondern für den Nutzer hauptsächlich die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme entscheidend ist, wurde mittels eines dynamischen Rechenprogramms die Amortisationsdauer in Jahren auf Basis folgender Daten ermittelt:

- Investitionen: 45.000 DM (1.125 DM/WF)

- Hierbei wurden nur die zusätzlichen Aufwendungen für die Belüftung inkl. Wärmetauscher, Nacherwärmer, Regelung usw. berücksichtigt.

- Eigenkapitalverzinsung: 5 % p.a.

- Wirtschaftliche Lebensdauer: 15 Jahre

- Energieeinsparung:

| | | | |
|------|-----|------|------------|
| 20 % | ges | 70 % | 75.700 kWh |
| 20 % | ges | 80 % | 66.250 kWh |
| 15 % | ges | 70 % | 56.750 kWh |
| 15 % | ges | 80 % | 49.650 kWh |
| 10 % | ges | 70 % | 37.850 kWh |
| 10 % | ges | 80 % | 33.100 kWh |

- Energiepreisteigerung: 7 % p.a.

- Laufende Kosten: 1.000 DM p.a.

- Steigerung der lfd. Kosten: 5 % p.a.

- Kosten für Zusatzenergie: 800 DM p.a.

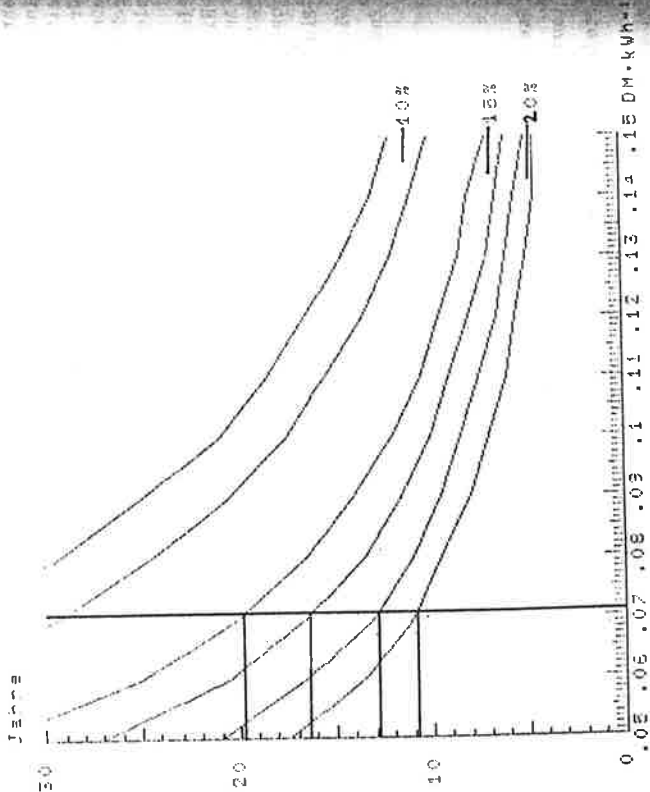
- Es wurden entsprechend der Messungen nur die elektrischen Antriebskosten luftseitig berücksichtigt.

- Preissteigerung der Zusatzenergie: 7 % p.a.

Die unterschiedlichen Energieeinsparungen (10 %, 15 % und 20 %) mit den beiden verschiedenen angenommenen Jahres-energiegraden der Gesamtanlage sind die entsprechenden Kurven in Bild 5 dargestellt. In dieser Darstellung ist die Abszisse der Energiepreis und auf der Ordinate die Amortisationszeit aufgetragen. Geht man von einem bestimmten Energiepreis aus, kann die Amortisationszeit als Ordina-tionswert des Punktes auf einer Kurve abgelesen werden.

Bei einem derzeitigen Preis von 0,071 DM/kWh H₀ für Gas in der Anlage würde sich eine derartige Anlage nach ca. 11 bis 13 Jahren amortisieren, wenn 20 % des Wärmeverbrauchs eingespart werden.

AMORTISATIONSDAUER MIT ZINSEN



WORMS

MECH. BE--ENTL. MIT WÄRMERÜCKGEW.

© Estelle-Institut e.V., Bau- und Energieberatung

Bild 5 : Amortisationsdauer

4.5 Ausführungserfahrung

Die Zuluftleitungen der mechanischen Re- und Entlüftungsanlage sind in Gebäude 1 in der Decke verlegt. Hierdurch wurde zwar vermieden, den Flurbereich abzuhängen, aber die Zugänglichkeit erheblich erschwert. So sind neben den üblichen Problemen der Koordination am Bauwerk und dem mangelnden Platz für derartige Installationen folgende Hinweise für die Planung und Ausführung zu geben:

- Die Planung sollte streng nach den Regeln der Technik erfolgen, wobei "Angstzuschläge" zu vermeiden sind, um eine wirtschaftliche Betriebsweise zu ermöglichen.
- Der Planer sollte auch mit der Ausführung bzw. mit der Bauaufsicht und Leistungsabnahme beauftragt werden.
- In jedem Fall sollte eine lufttechnische Abnahme entsprechend der VDI 2079 oder gleichwertigem von Sachverständigen durchgeführt werden.
- Der Brandschutz ist entsprechend der Landesbauordnungen und entsprechenden Richtlinien zu berücksichtigen.
- Die Luftdurchlässe (Luftein- und -auslässe) sollten manipulationsicher sein.
- Die Luftverteilung sollte leicht zugänglich sein, um eine Einregulierung und auch spätere Nachregulierungen ohne Belästigung der Bewohner zu ermöglichen.

Der Betreiber bzw. Betreuer der Anlage sollte seitens des Planers und der beteiligten Firmen eine gründliche Einführung in die Betriebsweise der Anlagen erhalten.

4.6 Beurteilung möglicher Heizkostenabrechnungen bei den untersuchten Gebäuden

Untersucht wird der Finfluß unterschiedlicher Umlagemerkmale auf die Höhe der vom Mieter zu entrichtenden Heizkosten. Betrachtet werden drei Fälle:

- 1) das derzeitige Abrechnungssystem, nach dem (bei geringen Abweichungen) 100 % der Heizkosten über Wohnfläche verteilt werden,
- 2) eine Verteilung von 50 % nach Verbrauch und 50 % nach Wohnfläche,
- 3) eine Verteilung von 100 % nach Verbrauch.

Am Beispiel der Wohnungen im Erdgeschoss, im 6. Obergeschoss und im obersten Geschoss (9. OG) werden diese drei Fälle berechnet.

Bedingt durch geringfügige Unterschiede in der Umlagenhöhe für Raumwärme, ergeben sich schon beim derzeitigen Abrechnungssystem unterschiedliche Belastungen. So betragen die spezifischen Kosten in Wohnung B 1,46 DM/m² und Monat und in Wohnung C 1,59 DM/m² und Monat. Eine Differenzierung nach Stockwerkslage findet jedoch nicht statt.

Werden die Kosten für Raumwärme nach dem Schlüssel "50 % nach Wohnfläche und 50 % nach Verbrauch" verteilt, so ergeben sich Veränderungen in der spezifischen Belastung durch Raumwärmekosten: Die monatlichen Belastungen steigen z.B. in Wohnung A (EG) von 1,54 DM/m² auf 1,84 DM/m², sinken jedoch in Wohnung B (6. OG) von 1,46 DM/m² auf 1,39 DM/m². Auch im obersten Geschoss nehmen die spezifischen Raumwärmekosten zu. 1)

Werden die Raumwärmekosten ausschließlich nach dem jeweiligen Verbrauch verteilt (nach der Heizkosten-Verordnung vom 23.02.1981 wäre dies dann möglich, wenn alle Nutzer zustimmen), so sind die Veränderungen in der spezifischen Belastung noch deutlicher: Der Nutzer der Wohnung A im EG müßte gegenüber dem jetzigen Verteilungssystem jährlich 408,- DM mehr bezahlen (ca. + 41 %), der Nutzer der Wohnung B im 6. OG könnte 204,- DM einsparen (ca. - 15 %).

Das Ergebnis zeigt, daß bei einer verbrauchsabhängigen Heizkostenverteilung die Einsparungen vieler Nutzer "relativ" gering, die Mehrbelastungen einiger weniger Nutzer dafür relativ hoch sind. Je mehr Geschosse ein Gebäude aufweist, um so krasser wird dieses Verhältnis.

Abb. 4-4 verdeutlicht, daß die Veränderungen bei den Wohnungen in Mittellage nur geringfügig sind. Deutliche Auswirkungen werden im Erd- und Dachgeschoss ersichtlich.

Beim untersuchten Gebäude wären bei einer Änderung im Abrechnungssystem demnach 32 Wohnungen in nur geringem Umfang betroffen, während in 8 Wohnungen aufgrund des höheren Wärmebedarfs die Umlagen für Heizkosten deutlich erhöht werden müßten.

- 1) Auswirkungen aus dem Nutzerverhalten können bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt werden.

Um die "bevorzugte" Behandlung von nur 20 % der Wohnungen im Gebäude aufheben zu können, müßte also eine Verbrauchserfassung eingeführt werden. Im vorliegenden Fall ist es fraglich, ob allein hierfür der damit verbundene Aufwand, der sich ja auch auf die Kosten auswirkt, gerechtfertigt ist.

Demgegenüber steht allerdings, daß der einzelne Mieter nun weiterhin keinen Anreiz hätte, sorgsam mit Energie umzugehen, also sparsam und rationell zu heizen.

Als Mindestanforderung ist die getrennte Erfassung des Energieverbrauchs für das Gesamtgebäude nach

- (a) Raumwärme, (b) Warmwasser und
- (c) Kochzwecken zu nennen.

Eine weitergehende, wohnungsweise Verbrauchserfassung, die den vollen Auflagen der Heizkostenverordnung entspricht, würde allerdings, zumindest bei (b) und (c), zu einem relativ hohen Aufwand führen.

Um eine völlig korrekte Aufteilung der Energiekosten zu erreichen, sollten die Kosten für die mechanische Re- und Entlüftung gesondert erfaßt und abgerechnet werden. Hierzu sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Zähler für Stromabnehmer (Ventilatoren, Umwälzpumpe für Nacherhitzer),
- Wärmemengenzähler für Nacherwärmer-Zuluft.

Die Wartungskosten für die Lüftung sowie die anteiligen Heizungskosten (anteilige Wärmemenge für Nacherwärmer) und Heizwartungskosten sind wohnungsweise umzulegen. Finer Abrechnung der Gesamtkosten für die mechanische Re- und Entlüftung sollte als Verteilungsmaßstab der jeweilige Zuluftvolumenstrom der einzelnen Wohnung zugrunde liegen.

4.7 Nutzerverhalten

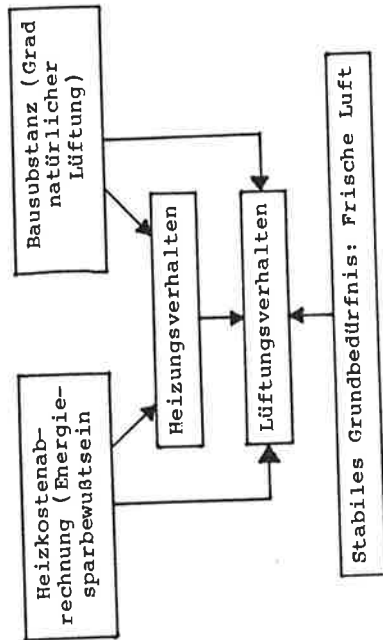
Die Ergebnisse der Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Einführung einer "Zwangslüftungsanlage" (automatische Zu- und Abluft; Nacherhitzung) in private Wohngebäude geht nicht notwendigerweise mit einer Reduzierung der Dauer des Fensterlüftens einher. Vielmehr scheint "Fensterlüften" ein stark durch Gewohnheit geprägtes Verhalten zu sein, das im Rahmen des Alltagslebens ein u.T. unbewußtes Grundbedürfnis nach "frischer Luft" widerspiegelt. (Keine Bestätigung der o.g. Arbeitshypothese a; Bestätigung der Arbeitshypothese b)

Ein signifikanter Einfluß objektiv erfassbarer Sozialdaten (z.B. Lebenszyklus) auf das Fensterlüftungsverhalten läßt sich nicht nachweisen.

3. Im Gegensatz zu Lüftungsanlage und Sozialdaten scheinen die Rausubstanz (z.B. "natürliche Lüftung" durch undichte Fenster) und die Heizkostenabrechnung (z.B. verbrauchsorientierte Abrechnung) einen direkten und signifikanten Einfluß auf das Fensterlüftungsverhalten auszuüben.

Zusammenfassend lassen sich diese Zusammenhänge der wichtigsten beobachteten Variablen wie folgt darstellen:



Auf diesen primären Zusammenhang scheint die Art der installierten Lüftungsanlage keinen signifikanten Einfluß auszuüben.

In der hier installierten technischen Auslegung der mechanischen Be- und Entlüftung wird nicht berücksichtigt, daß ein nicht unerheblicher Anteil von Bewohnern einen Teil der Wohnräume üblicherweise nicht beheizen will. Dies gilt insbesondere für die Schlafräume. Da die zugeführte Luft vorgewärmt wird, viele Bewohner aber das Schlafzimmer nicht beheizen und zugleich dauerlüften, kann ein nicht unbeträchtlicher Teil des durch die Wärmerückgewinnung theoretisch erreichbaren Energieeinsparpotentials praktisch aufgrund dieser mangelnden Abstimmung mit den Bedürfnissen und Gewohnheiten der Nutzer nicht ausgeschöpft werden.

Will man über eine Lüftungsanlage, die mit automatischer Luftzufuhr und -abfuhr arbeitet, eine Reduzierung des Fensterlüftens und damit des Heizenergieverbrauchs erreichen, so müssen vermutlich mindestens folgende Bedingungen gegeben sein:

- o Information der Betroffenen über die Technik und ihre Funktionsweise vor allem über die Implikationen der Anlage für die Notwendigkeit des Fensterlüftens aus Sicht der Techniker (z.B. Abzug schlechter Luft, Zufuhr frischer Luft)
- o Abstimmung des Teilsystems "Lüftungsanlage" mit anderen Teilsystemen die auf Temperatur, Lüftung und Wohlbefinden der Zimmerbewohner Einfluß nehmen (z.B. Heizkörperregelung; Heizkostenabrechnung)
- o Abstimmung der Funktionsweise der Lüftungsanlage mit der Breite menschlicher Bedürfnisse und Verhaltensweisen (z.B. leicht bedienbare Anlage; kein Lärm, Gerüche, Zugluft durch die Anlage)

Diese Bedingungen, die im Falle des untersuchten Gebäudes Nr. 33 nicht gegeben waren, können als notwendige Bedingungen der "erfolgreichen" (d.h. den Erwartungen der Techniker und der Betroffenen entsprechenden) Einführung von "Zwangslüftungsanlagen" angesehen werden. Damit ist jedoch nicht sichergestellt, ob diese Bedingungen auch "hinreichend" sind. Die starke Verwurzelung des Fensteröffnungsverhaltens in funktionalen Alltagsabläufen (z.B. Bettenlüften; Küchengerüche entfernen; Schlafen bei offenem Fenster) und stabilen Grundbedürfnissen (z.B. "frische Luft") steht der Substitution dieses Verhaltens durch eine technische Anlage stark entgegen.

In weiterführenden Untersuchungen ist insbesondere eingehender zu prüfen, inwieweit das Bedürfnis nach frischer Luft durch mechanische Lüftungsanlagen zu befriedigen ist, d.h., inwieweit das Fensterlüften völlig durch mechanische Anlagen substituierbar ist. Möglicherweise weicht die damit zugeführte Luft in ihren objektiven und subjektiv empfundenen Eigenschaften so sehr von der natürlichen Luft ab, insbesondere wenn sie vorgewärmt ist (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftpartikel etc.), daß sie von den Nutzern nicht als qualitativ gleichwertig erlebt wird (zumindest in den Gebieten, in denen die Luftverschmutzung nicht bereits die 'natürliche Luft' zu sehr verändert hat).