

Schlussbericht, März 2003

Projekt Öko-Siedlung Melchrüti Wohnpark Balance Wallisellen

**Autoren****René Naef, Corinne Reber, Arthur Huber****Beauftragte Institution****naef energietechnik, Huber Energietechnik****Adresse****Jupiterstrasse 26, 8032 Zürich****Telefon, E-Mail****01 380 36 88, naef@igjzh.com****BFE Verfügungs-Nr.****75166**

Inhaltsverzeichnis:

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Zusammenfassung | 1 |
| 2 | Einleitung | 3 |
| 3 | Bauphase | 4 |
| 4 | Gebäudehülle | 5 |
| 4.1 | Fassade | 5 |
| 4.2 | Wandaufbau | 6 |
| 4.3 | Flachdach | 8 |
| 4.4 | Luftdichtigkeit der Gebäudehülle | 8 |
| 4.5 | Wärmedämmung der Gebäudehülle | 9 |
| 5 | Wohnungslüftung und Luftheizung | 11 |
| 5.1 | Haustechnik - Konzept | 11 |
| 5.2 | Messung | 14 |
| 5.3 | Luft-Erdregister | 15 |
| 5.4 | Lüftungsgerät: | 19 |
| 5.4.1 | Gerätbeschreibung: | 19 |
| 5.4.2 | Hersteller-Angaben zum Gerät Genvex Combi: | 19 |
| 5.4.3 | Ausmessung Lüftungs-Kompaktgerät | 20 |
| 5.4.4 | Temperaturmessungen Lüftung Dezember 2000 – Januar 2001 | 21 |
| 5.4.5 | Zuluft-Temperaturwirkungsgrad der Wärmerückgewinnung (WRG): | 22 |
| 5.4.6 | Berechnung der Wärmepumpenkennziffer „Coefficient of Performance (COP)“: | 25 |
| 5.4.7 | Berechnung des Systemnutzungsgrad (SNG): | 28 |
| 5.4.8 | Berechnung des Heizwärmebedarfs Q_h : | 29 |
| 5.4.9 | Berechnung der Transmissionswärmeverluste: | 29 |
| 5.5 | Energieflussdiagramm (5. 10. 2000 bis 26. 9. 2001) | 32 |
| 6 | Raumluftqualität | 33 |
| 6.1 | Zusammenfassung des Messberichtes | 33 |
| 7 | Umluftbeimischung bei Luftheizungen | 36 |
| 7.1 | Einsatzbereich von Luftheizungen mit Umluftanteil | 36 |
| 7.2 | Dimensionierung des Umluftanteils | 36 |
| 7.3 | Mischelemente | 37 |
| 7.4 | Was ist bei Luftheizungen mit Umluftbetrieb speziell zu beachten | 39 |

| | | |
|-------|---|----|
| 8 | Behaglichkeit | 40 |
| 8.1 | Fenster – U-Werte und Kaltluftabfall | 40 |
| 8.2 | Raumtemperaturen und Luftströmungen | 41 |
| 8.2.1 | Parameter der Wohnung | 41 |
| 8.2.2 | Berechnete Raumtemperaturen | 42 |
| 8.2.3 | Berechnete Luftströmungen | 43 |
| 9 | ANHANG | 45 |
| 9.1 | ANHANG A: Gebäude Daten | 45 |
| 9.2 | ANHANG B: Liste der Messpunkte | 46 |
| 9.3 | ANHANG C: Planung Erdregister | 47 |
| 9.3.1 | Nutzen des Erdregisters | 47 |
| 9.3.2 | Einbettung der Registerrohre | 47 |
| 9.4 | ANHANG D: Thermischer Wirkungsgrad der WRG | 48 |
| 9.5 | ANHANG E: Grundrisse von vier verschiedenen Wohnungen | 49 |
| 10 | Literaturverzeichnis | 51 |
| 11 | Adressverzeichnis | 52 |

1 Zusammenfassung

Das Minergie-Projekt Wohnpark Balance (www.wohnpark-balance.ch) mit 61 Wohnungen auf 13 Gebäude verteilt in der von Zürich angrenzenden Gemeinde Wallisellen wurde mit grossem Interesse von Architekten und Haustechnikern verfolgt. Die Bauherren waren A. Streich, Streich AG und S. Ganz, Ganz Installationen AG. Für die Architektur waren S. Hubacher und Ch. Haerle, sowie die Ausführungsplanung das Atelier am unteren Rain (H. Diener und F. Müller) verantwortlich.

Die Gebäude und Wohnungen zeichnen sich durch folgende Merkmale aus:

- Hohe Wärmedämmung mit Fenster-U-Wert unter 0.85 W/m²K (Glas 0.5W/m²K), Solarfassade mit Kartonwabe und Glas als Aussenschutz.
- Luftheizung mit Erdregister, Plattenwärmemtauscher, Abluftwärmepumpe für Warmwasser und Luftvorheizung, Elektro - Nachwärmer.
- Luftverteilung aus dem Nasszellen-Betonkern ohne Deckeneinlagen (ausser DG). Luftverteilung Aufputz in heruntergehängter Decke im Nasszellenbereich.
- Vorfabrikation der Wandelemente zum grossen Teil vor Ort in einer Bauhütte.
- Flexible Wohnform auf 216.6 m² Energiebezugsfläche pro Standard-Wohnung oder auf 183.6 m² in der Attika-Wohnung mit Betonkern für die Nasszellen, freier Einteilung der Schlaf- und Wohnräume, grosser Terrasse und Umgang.

Das Projektziel beinhaltet die Beurteilung der Effizienz des gewählten Energiekonzeptes mit einer Abluftwärmepumpe für die Luftvorwärmung und das Brauchwarmwasser. Mit den gemessenen Grössen wird das Energieflussdiagramm aufgezeichnet. Als Messobjekt wurde eine Mittelwohnung im 1. OG des Gebäudes N ausgesucht. Die Wohnung ist von einer Familie mit 3 schulpflichtigen Kindern bewohnt.

Es wurde ein Warmwasserverbrauch von 10.8 kWh/m² festgestellt, was leicht unter dem SIA-Wert für EFH von 13.9 kWh/m² liegt.

Der festgestellte Heizwärmebedarf Q_h von 38.4 kWh/m² übertraf den erwarteten Wert von 34.4 kWh/m² um gut 11.6%. Dabei ist aber zu beachten, dass das ursprüngliche Haustechnikkonzept von einer Abluftwärmepumpe ohne Wärmerückgewinnung ausgegangen ist. Die Wärmerückgewinnung liefert einen Beitrag von ca. 13.5 kWh/m². Als Ursache für die festgestellte Abweichung kommen die folgenden Punkte in Frage:

- Die gemessene Winter-Durchschnittstemperatur im Wohnzimmer betrug 22°C statt dem Rechenwert von 20°C. Ähnliche Temperaturen wurden auch schon in diversen, anderen MINERGIE-Bauten mit raumhohen Fenstern festgestellt. Mehrverbrauch ca. 5 kWh/m²
- Die Bauaustrocknung war noch nicht abgeschlossen. Mehrverbrauch 3 – 4 kWh/m²
- Der Ausnutzungsgrad der Freien Wärme betrug 68% gegenüber den ursprünglich prognostizierten 79% (berechnet mit der Norm SIA 380/1, Ausgabe 1988). Die Revision der Norm SIA 380/1, Ausgabe 2001 hat diese Schwachstelle erkannt.
- Die Luftdichtigkeit der Fensteranschlüsse hat zunächst den in SIA 180 geforderten Wert für Standard-Gebäude mit $n_{L50}=0.97 \text{ h}^{-1}$ nur knapp erfüllt (Messung mit Blower-Door-Methode). Eine Nachrichtung der „Fensterverklotzung“ hat die Luftdichtigkeit auf $n_{L50}=0.74 \text{ h}^{-1}$ gesenkt.
- Thermographie-Aufnahmen geben Hinweise auf höher als erwartete Wärmebrücken im Umgangsbereich, im Deckenkranz und unterschiedliche U-Werte (ev. nicht ideale Ausfokussierungen) in den Wandelementen.
- Es besteht eine Unsicherheit bezüglich des Wärmeabflusses zu den Nachbarwohnungen. Künftig sollte deshalb auch die Temperatur in den Nachbarwohnungen gemessen werden.

Die technischen Kennwerte des Herstellers der Abluftwärmepumpenanlage konnten zu einem grossen Teil bestätigt werden. Der gemessene Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung (WRG) ohne Betrieb der Wärmepumpe betrug 70%. Im Jahresschnitt liegt der Wert leicht tiefer bei (ca. 65%), da beim Wärmepumpenbetrieb der Luftdurchsatz im Schnitt leicht höher ist. Der gemessene COP-Wert ohne Berücksichtigung der WRG, der Ventilatoren und der Abtauung liegt mit Werten zwischen 3.06 und 3.3 leicht unter den Herstellerangaben von 3.37. Der Systemnutzungsgrad SNG (definiert im technischen Handbuch „Kostengünstige Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser“ von Afjei et. al, 2000) lag bei **SNG=1.82**. Dieser Wert gibt das Verhältnis von Wärmebezug für Heizung und Warmwasser zu Stromaufnahme wieder. Ohne Warmwasser ist dieser Wert im Heizbetrieb leicht höher. Dieser Wert war tiefer als berechnet, da der Heizwärmeverbrauch Q_h höher als erwartet lag und diese Zusatzenergie nur mit der elektrischen Zusatzheizung allein erbracht werden konnte.

Bei der Warmwasserproduktion konnte im Verlauf der Messperiode eine Änderung beobachtet werden: Am Anfang lag der mit der Abluftwärmepumpe erbrachte Anteil relativ hoch. Ende 2000 sank dieser Anteil schlagartig sehr stark und der Anteil des Elektro-Heizstabes im Zusatzboiler stieg auf über 80%. Dies war auf die Höherstellung des Temperatur-Sollwertes im Zusatz-Wassererwärmer zurückzuführen.

Die in der Planungsphase von Dr. A. Schälin durchgeführten Strömungsberechnungen zur Luftverteilung und Behaglichkeit konnten mit einer Messung weitgehend bestätigt werden. Dies allerdings erst, nachdem die Fenster neu gerichtet wurden und die Luftdichtigkeit dadurch erhöht worden war.

Bei der ersten Geräteleiерung wurden Raumthermostaten mitgeliefert, die nach oben bei ca. 26°C begrenzt waren. Damit konnte zwar problemlos die Temperatur mit der Luftheizung gehalten werden, eine Aufheizung (z.B. nach längerer Fensteröffnung) war damit aber nicht mehr möglich. Zunächst war als Ursache eine zu geringe, installierte Heizleistung vermutet worden. Durch eine Auswechselung der Thermostaten mit höherer Begrenzung konnte dieses Problem aber behoben werden.

Bei den Etagenwohnungen wurden ausserdem Geruchsübertragungen zwischen den Wohnungen festgestellt. Rauchmessungen konnten die Dictheit der Lüftungsrohre nachweisen. Mängel bestanden aber in der Abdichtung (ausserhalb der Lüftungsrohre) der Steigzone. Die unterschiedlichen Druckniveaus der Wohnungslüftungen führten zu einer schnellen Geruchsübertragung, immer von unten nach oben. Nachträgliche Abdichtungen des Steigschachtes konnten das Problem weitgehend beheben.

Auf das sorgfältige Verlegen der Erdregisterrohre sollte in Zukunft besser geachtet werden. Undichte Erdregisterrohre führten zu mit Wasser teilweise vollgelaufenen Rohren. Dadurch sank der Luftdurchsatz und die Verdampfer der Wärmepumpen fielen auf so tiefe Temperaturen, dass sie auf Störung gingen. Die Erdregisterrohr-Sanierungen sind sehr aufwändig.

Ein Verbesserungspotential konnten wir in der Haustechnik bei der Verlegung und Einbettung des Erdregisters, der Geräte-Steuerung, der Luftverteilung und der Gebäude-Luftdichtigkeit feststellen. Als ebenfalls grosses Potential sehen wir das Verhalten des Benutzers und die Detailausführung bei den Fensteranschlüssen, Elektrorohreinführungen und der Wohnungsabdichtungen auf der baulichen Seite. Ausserdem sollte künftig auf grosszügigere Platzverhältnisse für das Haustechnikgerät geachtet werden, damit auch Revisionsarbeiten und künftige Anpassungen mit geringerem Aufwand durchgeführt werden können.

Über das Projekt wurde schon verschiedentlich in Fachzeitschriften berichtet. (Cf [2] Humm, O.; [3] Zulinger, J.; [5] Westermann W.; [6] Palfi M.; [9] Naef, R.)

2 Einleitung

Das Minergie-Projekt Balance ist durch seine diversen baulichen und haustechnischen Innovationen über die Landesgrenzen hinaus bekannt geworden und an verschiedenen Informations-Veranstaltungen bei Architekten und Haustechnikern auf grosses Interesse gestossen.

Die ersten Gebäude der Wohnüberbauung Melchrüti sind im Frühling 2000 fertiggestellt worden. Das Projekt beinhaltet 61 Wohnungen, die auf 13 Gebäude verteilt sind. Die Wohnungen weisen diverse bauliche und haustechnische Innovationen auf. Zum Beispiel liessen sich die durch eine Luftheizungsanlage beheizten Wohnungen durch flexible Zwischenwände vom jeweiligen Besitzer selbst gestalten. (Im Anhang E sind 4 von mehr als 30 verschiedenen Varianten abgebildet.) Oder die bauliche Massnahme des Wohnungsumganges, die gleich mehrere Vorteile aufweist: Der Betonumgang dient als Brandschutzmassnahme zwischen den Stockwerken, als grossflächiger Balkon und als Baugerüst während der Bauphase. Durch solche baulichen Neuerungen konnten Kosten gespart werden, was nun den Käufern der Eigentumswohnungen zugute kommt. Der so zustande gekommene, günstige Preis und die innovative Selbstgestaltung der Wohnung überwogen somit das Argument des Standortes Wallisellen (Die Wohnungen befinden sich in Sichtweite der Kehrichtsverbrennungsanstalt und der Autobahn und sind unmittelbar vom Fluglärm betroffen). Alle Wohnungen waren bereits vor Fertigstellung verkauft und ein Nachfolgeprojekt in Uster wurde bereits bezogen, ein weiteres in Fällanden ist in Ausführung.



Bild 2-1 Wohnzimmer mit Fensterfront

Kosteneffizienz ist das herausragende Merkmal der Siedlung Balance. Dies bezieht sich nicht nur auf die baulichen Massnahmen, sondern auch auf die Energieeinsparungen. Der anzustrebende Minergie-Standard mit $45\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ für Heizung, Warmwasser und Lüftung wurde anhand von Messungen, die über 2 Jahre hindurch vorgenommen worden sind, überprüft. Der vorliegende Bericht bildet nun den heutigen Stand der Erfolgskontrolle. Er beinhaltet Messresultate, Erfahrungen und allfällige Verbesserungsvorschläge.

3 Bauphase

Alle Arbeiten, bis auf die Baumeister- und Stahlarbeiten, wurden nicht wie üblich von einzelnen Baufirmen ausgeführt, sondern von der sogenannten Bauhütte. Die Bauhütte ist keine eigenständige Firma, sondern eine neu zusammengestellte Arbeitsgruppe von selbständigen Handwerkern im Dienst des Generalunternehmers. Sie ist von einem anderen Selbstverständnis geprägt: Zusammenarbeit. Den Bauprozess allerdings diktierte die Taktarbeit. In der Bauhütte herrschte keine stricke berufsständige Trennung, im Gegenteil, die Maler, Plattenleger, Elektriker sind in derselben Firma und arbeiten sich gegenseitig in die Hand. Das bringt eine höhere Auslastungsdichte und hilft Verzögerungen und Pannen zu vermeiden, darüber hinaus ein Zulernen im sich wiederholenden Taktverfahren.

Der Kern und die Geschossdecken wurden vor Ort betoniert. Die übrigen Rohmaterialien wurden in grossen Einheitsmassen angeliefert und im Bauzelt der Bauhütte mit geringstem Verschnitt und Abfall zu Fertigelementen zusammengebaut.

Dank der Bauhütte und den geringen Materialverlusten konnten Kosten gespart werden, die eine industrielle Herstellung mit sich gebracht hätte. Dadurch sind die Kosten von 463 Franken pro Kubikmeter Volumen nach SIA-Norm 116 für ein Gebäude im Minergiestandard im unteren Segment.



Bild 3-1 Bauhütte – Fertigstellung auf der Baustelle in der Zelthalle

4 Gebäudehülle

Der Energieverbrauch des sehr kompakten Gebäudes wurde mit einer hoch wärmedämmende Gebäudehülle minimiert. Fenster mit Glas U-Wert von 0.5 W/(m²K), Aussenwand in Leichtbausystem mit Paralam Holzstützen, TJI-Trägern (OSB verleimte H-Träger), 21.5 cm Cellulose und Solarfassade mit Kartonwabe und eisenarmer Glashaut.

4.1 Fassade

Alle Häuser haben einen Umgang. Dieser Kranz hat verschiedene Funktionen. Er dient als Baugerüst, als Brandschutz sowie als Wetterschutz der Fassade. Ausserdem soll er ein Brechen der Auf- und Abtriebsströmungen an der Fassade bewirken. Das Reinigen von aussen sowie jegliche Wartungen werden durch diesen Rundgang erleichtert.

Die Treppe und der Lift befinden sich ausserhalb des Gebäudes. Sie sind über die Balkone der einzelnen Wohnungen zugänglich.



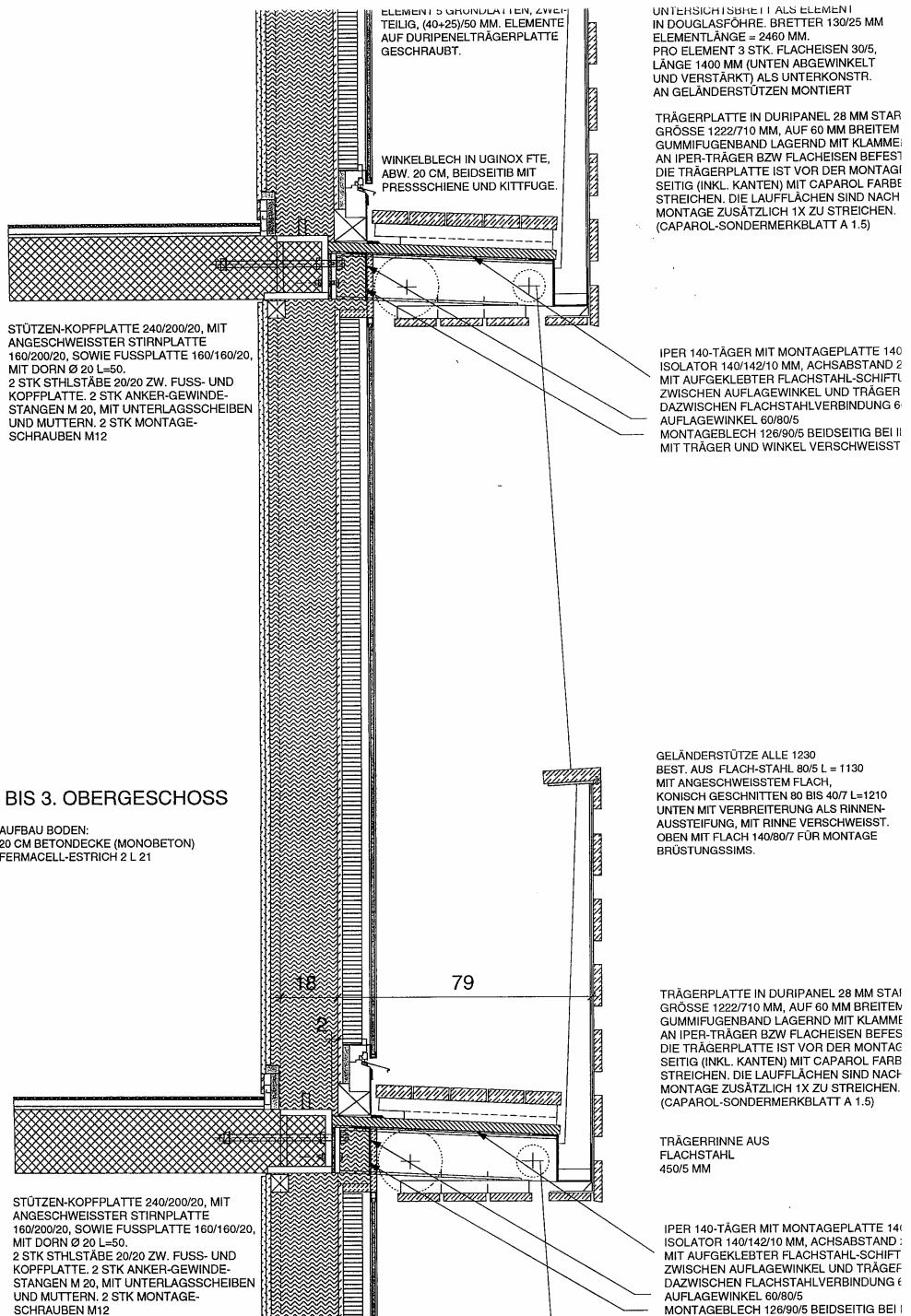
Bild 4-1 Fassade während den Bauarbeiten



Bild 4-2 Fassade mit Umgang

4.2 Wandaufbau

Die Wand besteht aus einer Ständerkonstruktion, die mit 21.5 cm Isofloc wärmegedämmt ist. Davor wurde eine neuartige Kartonwabenkonstruktion gehängt, mit der aktiv die Sonnenenergie in die Fassade gespeichert wird. Als transparenter Wetterschutz ist eine Glasscheibe vor den Kartonwaben installiert worden. Die gesamte Wandkonstruktion erreicht den sehr guten Dämmwert von 0.2 W/(m²K).



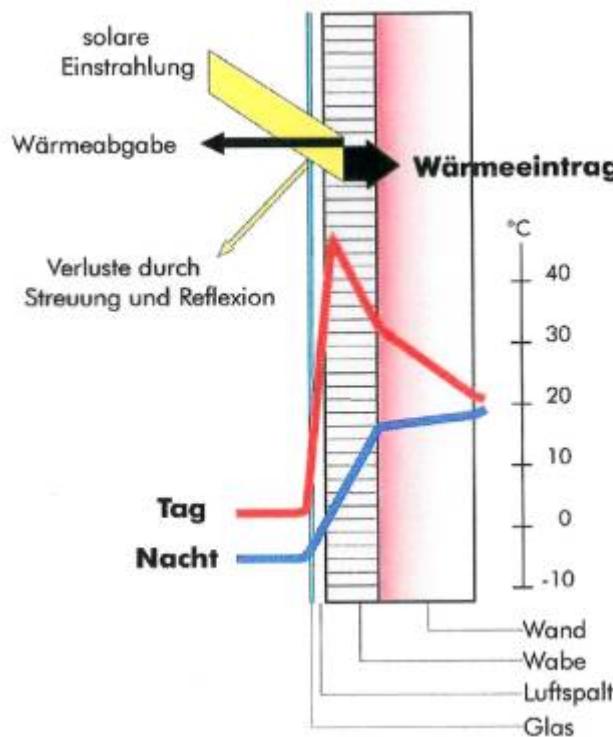


Abbildung 4-2 Schematische Darstellung des Wärmegewinns und des Temperaturverlaufes einer Solarfassade (ESA Energie Systeme Aschauer GmbH)

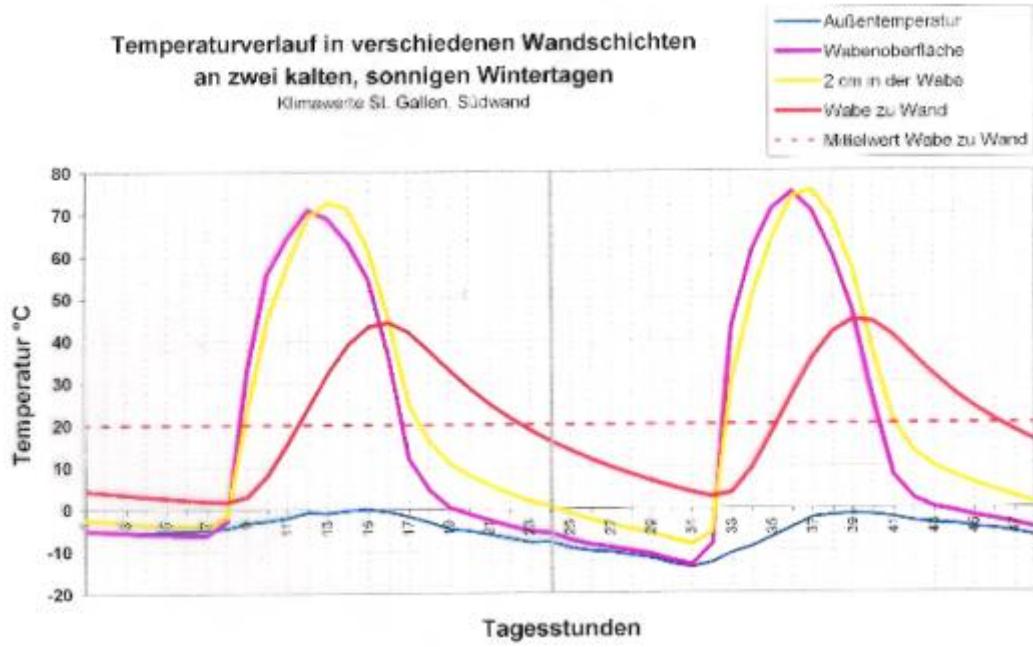


Abbildung 4-3 Diese Grafik zeigt die Temperaturverläufe in den einzelnen Wandschichten. Die Wärme wird gespeichert und erst später (in der Nacht) nach innen abgegeben. (ESA Energie Systeme Aschauer GmbH)

4.3 Flachdach

Die Flachdächer der Siedlung Melchrüti bestehen (von innen nach aussen) aus Stahlbeton und Polyurethan und sind mit einem Kies-Sand-Gemisch bedeckt. Diese Konstruktion weisst einen U-Wert von $0.140 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf.

4.4 Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Die Luftdichtigkeit ist eine wesentliche Voraussetzung für einen kleinen Energieverbrauch und das optimale Funktionieren der Wohnungslüftung und der Luftheizung.

Die Luftdichtheit wurde nach ungenügend verklotzten Fenstern am 10. Januar 2001 gemessen. Mit der zweiten Blower-Door Messung wurde eine Verbesserung der Luftdichtigkeit um knapp 25% festgestellt.



Bild 4-3 Blower-Door-Messung. Durch das Blower-Door-System wird in der Wohnung ein Unterdruck erzeugt, was ein vermehrtes Nachströmen durch Gebäuderitzen und undichte Stellen zur Folge hat. (I&T Bauphysik)

| Luftdichtigkeit Messung | Aussentemperatur | N_{L50} -Wert |
|-------------------------|------------------|--------------------|
| | (°C) | (h ⁻¹) |
| am 10. Januar 2001 | -1°C | 0.97 |
| am 22. Mai 2001 | 18°C | 0.74 |

Tabelle 4-1 Luftdichtigkeitsmessung vom 10. 1. 01 und 22. 5. 01

4.5 Wärmedämmung der Gebäudehülle

Ebenfalls im Januar 2001 wurden Thermografieaufnahmen gemacht. Die Innentemperatur betrug ca. 21°C, die Außentemperatur bei bedecktem Wetter mit zeitweise Schneefall bei -1°C. Diese Aufnahmen zeigen im Fenster-Rahmenbereich und im Schwellenbereich des Fensters die Schwachstellen der Fensterverklotzung und die ungenügende Wärmedämmung im Sockelkanal.



Bild 4-4 Schwellenbereich mit offenem und geschlossenem Schwellendeckel (I&T Bauphysik)

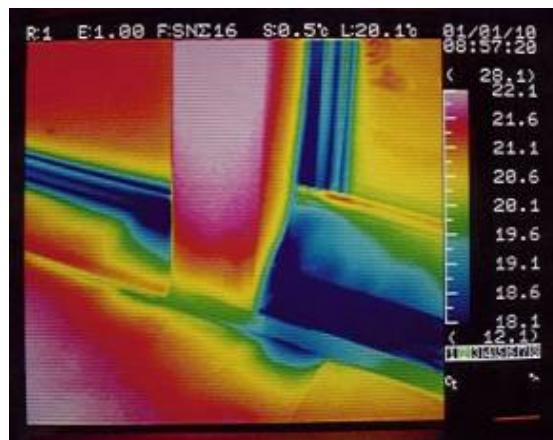


Abbildung 4-4 Thermographieaufnahme von der gleichen Stelle aus, wie Bild 4-4 gemacht wurde. (I&T Bauphysik.)

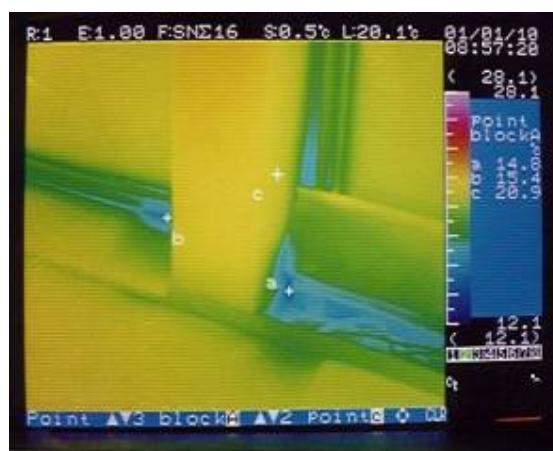


Abbildung 4-5 Thermographie-Aufnahme mit Bezeichnung der tiefsten Temperaturen (I&T Bauphysik)

Dieser kritische Bereich wurde auch vom Büro Wichser Akustik Bauphysik berechnet. Die folgende Abbildung zeigt die theoretische Berechnung im Schwellenhohlraum bei einer Raumtemperatur von 20°C. Die tiefste Temperatur im Schwellenhohlraum liegt etwas unter 19°C.

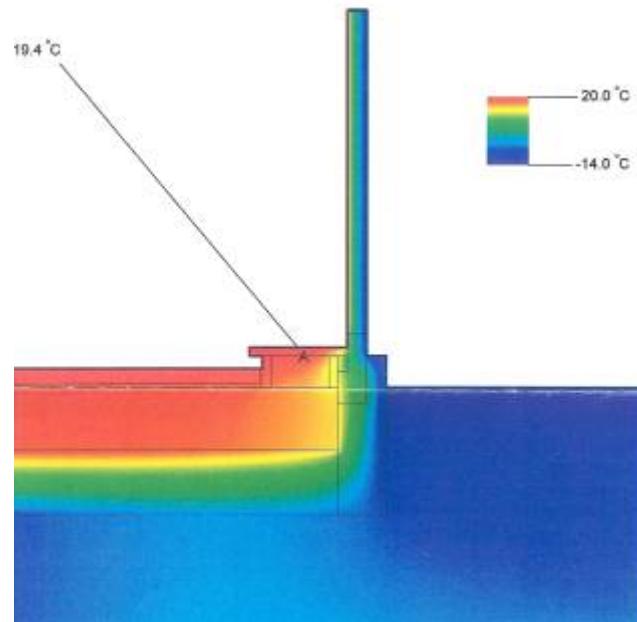


Abbildung 4-6 Theoretische Berechnung der Schwellen-Temperaturen.
(Büro Wichser Akustik & Bauphysik AG)

In dem Vergleich der Thermographieaufnahmen vom 10. Januar zu den Berechnungen des Büros Wichser ist der festgestellte Wert bei der Aussentemperatur von -1°C um ca. 4°C höher als der effektiv gemessene Wert. Bei einer Aussentemperatur von -10°C würde der effektive Wert noch tiefer liegen. Es wurde festgestellt, dass die Luftdichtigkeit im Schwellenbereich nicht "minergietauglich" ausgeführt wurde.

Gegenüber dem Projekt in Uster ist keine Beheizung des Schwellenhohlraumes vorgesehen. Eine Temperaturerhöhung auf 25°C im Schwellenhohlraum würde die Energiebilanz des Gebäudes verschlechtern.

Hochgerechneter Energieverbrauch im Schwellenbereich

| | | |
|--------------------------|------------|------|
| Schwelle geplant | 43.3kWh/a | 100% |
| Schwelle ausgeführt | 99.2kWh/a | 229% |
| Schwelle beheizt (Uster) | 130.2kWh/a | 300% |

Der Energieverbrauch wird sich mit der Temperaturerhöhung auf 25°C in der ausgeführten Variante (ohne zusätzliche Isolation) um 300% erhöhen.

Fazit.

Aus unserer Sicht ist eine dampfdiffusionsdichte Wärmedämmung wie ursprünglich geplant für das Minergie-Gebäude notwendig.

5 Wohnungslüftung und Luftheizung

5.1 Haustechnik - Konzept

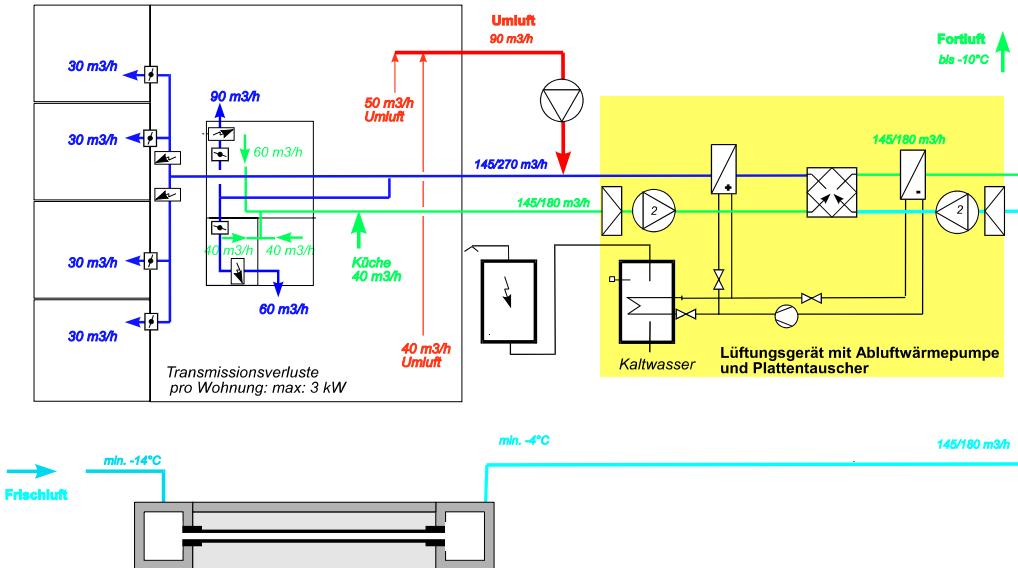


Abbildung 5-1 Das Bild zeigt das Prinzipschema einer Geschosswohnung mit dem Lüftungsgerät und den zusätzlichen elektrischen Nachwärmern für 4 Zonen. (Konzept naef energietechnik, Huber Energietechnik)

Die Aussenluft wird im Hof in einer Höhe von 1.5 m angesogen. In 20-30 m langen Erdregistern wird die Aussenluft bis zum Haus geführt (Siehe 5.3). Jeder Wohnung ist ein eigenes Erdregister-Rohr zugeordnet, das unter dem Haus bis in den Betonkern des Gebäudes und dort in der zentralen Steigzone zu den einzelnen Wohnungen geführt wird.

Jede Wohnung hat ihr eigenes Kompakt-Lüftungsgerät mit Abluftwärmepumpe (Genvex Combi). Das Gerät hat 2 Kondensatoren (je einen um den Brauchwasser-Erwärmer und in der Zuluft). Im Winterbetrieb sind die Kondensatoren hintereinander geschaltet (1. im Warmwasser und 2. in der Zuluft), im Sommerbetrieb ist nur der Warmwasser-Kondensator in Betrieb. Nach dem Filter wird die Luft in den zweistufigen Zuluft-Ventilator geführt.

Die Wärmerückgewinnung (WRG) des Gerätes erfolgt mittels eines Kreuzstrom-Plattentauschers mit einem WRG-Wirkungsgrad von 65-70% (Siehe 5.4.2). Nach dem Wärmetauscher ist der Kondensator in der Zuluft angeordnet. Die Wärmepumpe weist einen COP von ca. 3 auf (Siehe 5.4.3), wobei bei dieser Angabe die Stromaufnahme der Ventilatoren nicht eingerechnet ist.

Reicht die Energie des Kondensators zur Deckung des Heizwärmebedarfs der Wohnung nicht aus, so werden zunächst die Ventilatoren auf die 2. Stufe gestellt. Reicht dies auch noch nicht, so wird mit kurzer, zeitlicher Verzögerung ein Umluftventilator und nach Bedarf die elektrischen Zusatzerhitzer („PTC-Kaltleiter-Heizregister“) zugeschaltet. Mit der Umluftzuschaltung wird erreicht, dass die Zuluft nie wärmer als 50°C wird und es nicht zur Verschwelung des Hausstaubes kommt. Die Umluft wird an der Decke des Wohnzimmers am Betonkern abgesogen.

Jede Wohnung ist in vier Zuluftstränge mit je einem elektrischen Nachwärmer aufgeteilt. Die vier Zonen sind: Küche, Wohnzimmer und zwei Schlafzonen. Jeder dieser vier Nachwärmer wird durch einen eigenen Raumthermostaten gesteuert.

Die Luftpumpe für die Zuluft für die Küche und das Wohnzimmer befinden sich unter der Decke am Betonkern in der Nasszelle. Die Mischluft für die Schlafzimmer wird in den Schrankelementen vor den Zimmern verteilt. Auch diese Luftpumpe befindet sich unter der Decke. Die Abluft aus den Schlafzimmern überströmt passiv als Kaskadenlüftung in den Wohnzimmer- und Küchenbereich. Diese Überströmung verläuft vom Boden der Schlafzimmer über einen Schalldämpfer zur Decke der Wohnzimmer in einem Zwischenteil der Schrankelemente. Dadurch entsteht eine gute Luftzirkulation in den Schlafräumen unter Vermeidung einer Schallübertragung.

Die Fortluftdurchlässe befinden sich an den geruchs- und feuchtebelasteten Orten der Wohnung: In der Küche und in den Nasszellen. Die Fortluft wird zurück zum Genvex Kombigerät geleitet und nach der Wärmerückgewinnung und dem Verdampfer der Abluftwärmepumpe über ein eigenes Rohr pro Wohnung über Dach fortgeführt. Auf diese Weise hat die Fortluft nun eine tiefere Temperatur als die Außenluft.

Beachtet werden muss, dass das gewählte Haustechnikkonzept nur dank dem Erdregister funktioniert: Ohne Erdregister wären die Lufttemperaturen nach der Wärmerückgewinnung so tief, dass sie nicht mehr sinnvoll als Wärmequelle für eine Abluftwärmepumpe genutzt werden könnten.



Bild 5-1 Genvex Combi (Lieferant SM-Heag). In der Mitte des Gerätes befindet sich der quadratische Plattenwärmetauscher, oben sieht man (silbrig) die Frischluft-, die Zuluft-, die Abluft- und die Fortluftrohre. Unten links ist der Kondensator und unten rechts der Verdampfer.



Bild 5-2 Dieses Bild zeigt eine Grossaufnahme des Kondensators. Im Kondensator kondensiert das Frigen aus und überträgt der Frischluft die zurückgewonnene Wärme aus der Abluft.



Bild 5-3 Dieses Bild zeigt in der Mitte den Frischluftventilator (rechts) und den Abluftventilator (links), oberhalb der Ventilatoren befinden sich der Frischluftfilter und der Abluftfilter, die die einströmende Luft reinigen und somit die Lüftungsanlage vor Verschmutzung schützen.

5.2 Messung

Ziel der Messungen ist es, die Wirkungsgrade des Lüftungs-Kompaktgerätes mit Abluftwärmepumpe und die Energiebilanz eines Jahres für eine bewohnte Wohnung zu erfassen.

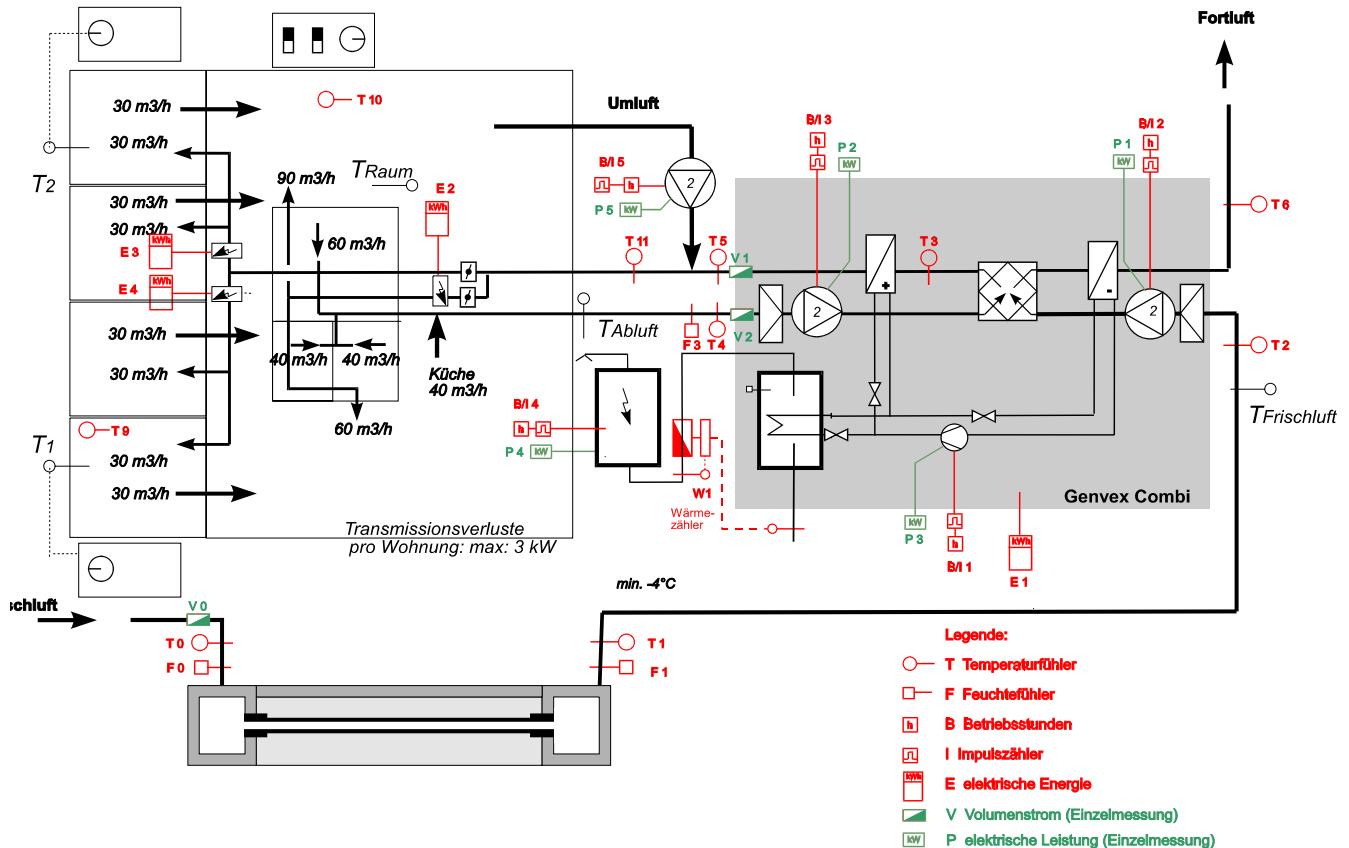


Abbildung 5-2 Diese Schema zeigt den Messstellenplan, nachdem die Messungen durchgeführt worden sind.

An den mit T1, T2, ... bezeichneten Stellen wurden Daten-Logger befestigt. Die Daten-Logger haben in vorgegebenen Zeitabständen die Temperatur gemessen. Diese Daten wurden aufgezeichnet und später ausgewertet. Das Selbe gilt für die mit F1, F2, ... bezeichneten Stellen. Diese Logger haben jedoch zusätzlich die relativen Feuchten gemessen. Über die gleiche Periode wurde die elektrische Leistung und die Betriebsstunden der Ventilatoren, des Kompressors und des Boilers gemessen. Ebenso wurde der Luft-Volumenstrom der Frischluft beim Ansaug, der Zuluftvolumenstrom nach dem Lüftungsgerät und der Abluft-Volumenstrom vor der Genvex gemessen. (Eine genaue Liste der Messpunkte, der Perioden und der Messdauer befindet sich im Anhang B)

Anhand der Messergebnisse wurden die Berechnungen in den folgenden Kapiteln angestellt und allfällige Verbesserungen vorgenommen.

5.3 Luft-Erdregister

Das Erdregister einer Wohnung ist ein 20-30m langes PE-Rohr mit einem Durchmesser von 15cm. Es befindet sich 80-100cm unter der Erdoberfläche. Die Erdregisterrohre verlaufen mit einem Gefälle von ca. 3% gegen den Ansaug hin von der Luft-Ansaugstelle im Hof (Bild 5-4) zu den dazugehörigen Häusern und Wohnungen. Dieses Gefälle dient zur Entwässerung von allfälligem Kondenswasser in den PE-Rohren. Bei der Luft-Ansaugstelle wird in einer Höhe von 1.5m Frischluft angesogen. Sie wird im Boden durch die Erdregisterrohre zu den dazugehörigen Wohnungen geführt. Während diesem Transport wird die Luft durch die Erdwärme vorgewärmt. Gleichzeitig werden tägliche Aussentemperaturschwankungen ausgeglichen und abgeschwächt. Die Erwärmung der Zuluft ist die Hauptaufgabe des Erdregisters. Dadurch ermöglicht sie ein einwandfreies Funktionieren der Wärmepumpe.



Bild 5-4+Bild 5-5 Ansaugstelle zugedeckt mit Aluminium-Hut und geöffnet mit den nun sichtbaren PE-Rohren des Erdregisters

Das Erdregister wurde mit dem Programm WKM ausgelegt (Cf [4] Huber, A.). Die Planungswerte mit den Januar DRY Zürich SMA Daten sind mit den Messdaten im Januar 2001 nachfolgender Tabelle verglichen worden. Die Tabelle zeigt in der Messung ein um ca. 2K besseres Ergebnis als erwartet.

| Erdregister-Werte im Januar 2001 | Planung mit WKM Programm | Messung im Januar 2001 |
|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Aussentemperatur in °C | -5°C | -5°C |
| Erdregistertemp. am Ausgang in °C | 0° bis 1°C | 3° bis 3.6°C |

Tabelle 5-1 Vergleich der Auslegungs- und der Messwerte des Erdregisters.

Der Grund für die besser als erwarteten Werte sind das Grundwasser, das teilweise bis an die Oberfläche reicht, die nicht berücksichtigte Abwärme aus den Abwasserrohren und die etwas zu tief angesetzte Erwärmung der Bodenoberfläche (die Jahresdurchschnittstemperatur der Bodenoberfläche ist in der Regel höher als die Jahresdurchschnittstemperatur der Luft).

Die ausgleichende Wirkung des Erdregisters auf die Zulufttemperatur lässt sich aus der Abbildung 5-3 (Winter) und Abbildung 5-4 (Sommer) ablesen. Blau wird die stark schwankende Frischlufttemperatur vor dem Erdregister (Aussentemperatur) dargestellt. In roter Farbe die relativ konstante Zuluft nach der Erd-Erwärmung. Diese wärmere Luft beinhaltet mehr Energie und hat somit eine grössere Leistung. Die Leistungsaufnahme über das Erdregister ist in der Abbildung 5-5 dargestellt.

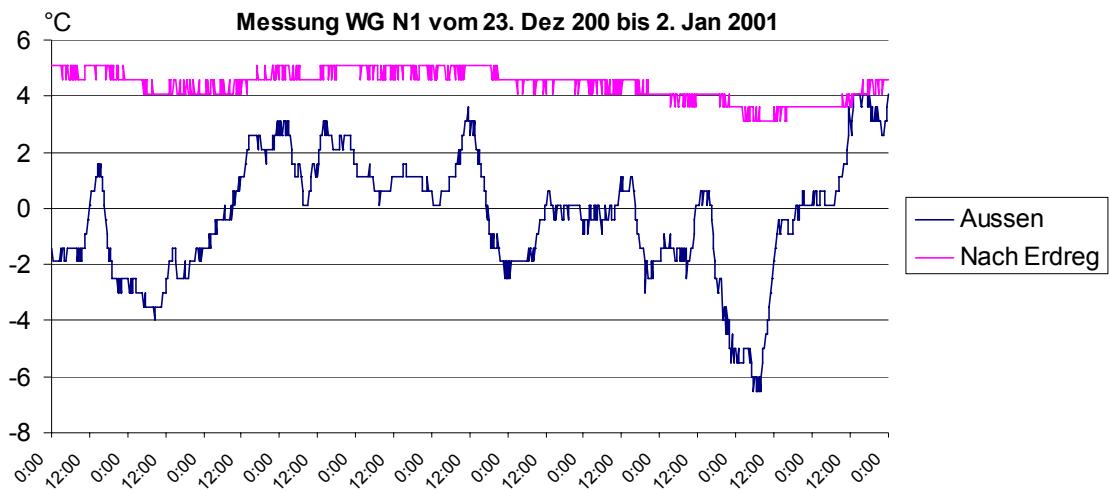


Abbildung 5-3 Das Diagramm zeigt die gemessenen Aussentemperaturen vor dem Erdregister und die Temperatur nach dem Erdregister unter dem Steigschacht in der Kernzone des Gebäudes im Winter 2000 / 2001.

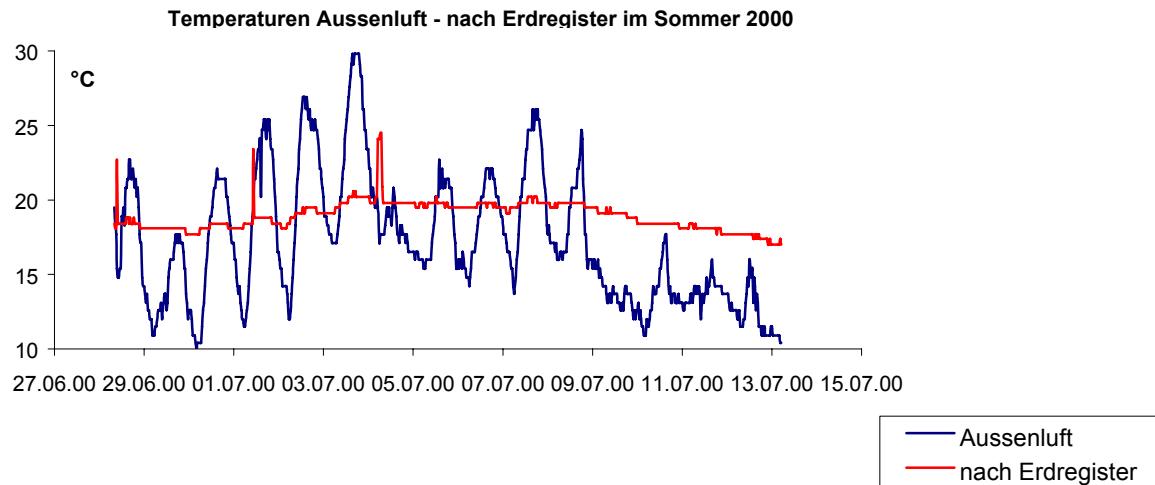


Abbildung 5-4 Das Diagramm zeigt die gemessenen Aussentemperaturen vor dem Erdregister und die Temperatur nach dem Erdregister unter dem Steigschacht in der Kernzone des Gebäudes im Sommermonat Juli 2000.

**Melchrüti N1: Energie Erdregister
Dezember 2000**

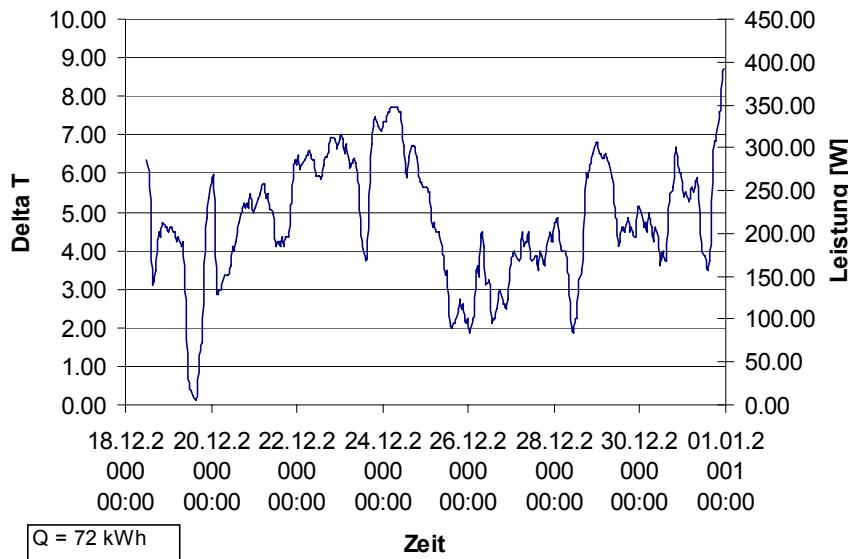


Abbildung 5-5 Das Diagramm zeigt den Verlauf der Erwärmung und die dazugehörige Leistung aus dem Erdregister. Die Daten wurden im Dezember 2000 im Erdregister der Wohnung N1 aufgenommen.

Da bei der Planung der Erdregisterrohre der zeitweise hohe Grundwasserspiegel bekannt war, wurden die folgenden Vorkehrungen zur Vermeidung von Wasser in den Rohren getroffen (cf. Anhang C). Dabei ist es unerheblich, ob das Wasser durch Leckstellen eindringt oder durch Kondensation in den Rohren selbst entsteht:

- Alle Rohre wurden aus einem Stück ohne Zusammensetzungen geplant
- Gegen die Luftansaugung hin wurde ein leichtes Gefälle vorgeschrieben
- Es wurde die Verlegung in einem ausgebneten Sandbett vorgeschrieben.

Der Graben, in den die Rohre verlegt werden, muss gleichmässig flach sein. Bei Unebenheiten können nach der Inbetriebnahme des Erdregisters Wasser-Ansammlungen entstehen, die nicht abfliessen können. Zudem muss darauf geachtet werden, dass der Graben frei von Steinen und anderem Bauschutt ist. Diese

können die Rohre beschädigen und Löcher hinein reissen. Die Bilder, Bild 5-6 und Bild 5-7, zeigen die Verlegung der Rohre der Siedlung Balance. Sie wurde, wie man leider feststellen musste, nicht sehr sorgfältig ausgeführt.



Bild 5-6 Erdregisterrohre während den Verlegungsarbeiten

Die Siedlung Melchrüti ist auf einem Gebiet mit sehr hohem Grundwasserspiegel gebaut. Dies hat zur Folge, dass bei starkem Niederschlag der Grundwasserspiegel so hoch stehen kann, dass das Erdregister vollständig im Grundwasser liegt. Wenn nun, wie bereits beschrieben, Löcher oder andere Undichtheiten im Erdregisterrohr vorhanden sind, kann sich das Erdregister mit Wasser füllen. Durch dieses Wasser in den PE-Rohren kann nicht genügend Luftmenge angesogen werden. Dadurch sinkt die Temperatur im Verdampfer sehr stark, bis dass die Wärmepumpe über den Niederdruck-Pressostat auf Störung geht.

Bei der Auslegung der Erdregister wurde mit dem validierten Programm WKM der Kondenswasseranfall abgeschätzt (cf. Anhang C). Die Rechnung zeigte klar, dass in einem durchschnittlichen Sommer bei der gewählten Auslegung nur mit einem geringfügigen Kondenswasseranfall zu rechnen ist, der in kurzer Zeit wieder austrocknet. Die Rippen im Rohr reichen aus, dass Kondenswasser aufzunehmen. Es wurde deshalb zunächst auf einen Kondenswasser-Ablauf verzichtet. Beim ersten, ausgeführten Haus wurden die Erdregister wie geplant ausgeführt. Bis heute gibt es für dieses Haus keinen Wasserablauf.

Bei den weiteren Erdregistern wurden die Rohre ohne grosse Sorgfalt im Winter (tiefe Temperaturen verändern die Materialeigenschaften von PE!) verlegt und der Graben teilweise mit Bauschutt gefüllt. Auch wurden die ursprünglich genügend langen Rohre bei den Häusern abgeschnitten und nachträglich nicht fachgerecht wieder zusammengesetzt. Die Mehrzahl dieser Rohre war somit undicht und musste nachträglich mit einem Inline-Rohr teuer saniert werden. Präventiv wurden sodann bei allen Luftansaug-Schächten Wasserabflüsse gebaut und in die Abwasserrohre geleitet. Die letzten Erdregister wurden wegen diesen Problemen als massive PVC-Rohre gebaut.

Das Erdregister in Wallisellen besitzt keinen Bypass. Es ist immer in Betrieb. Auch wenn es an gewissen Tagen ohne Erdregister besser wäre. Solche Tage sind zum Beispiel warme Föhntage im Winter. Die eigentlich warme Luft wird durch das kalte Erdreich abgekühlt, obwohl während der winterlichen Heizperiode warme Luft erwünscht wäre. Laut Programm WKM könnte mit einem Bypass der energetische Ertrag des Erdregisters ca. 8-10% gesteigert werden (variiert in verschiedenen Messungen). Dem steht der zusätzliche Druckabfall in der Bypassklappe, eine komplizierte Regelung, ein zusätzlich nötiger Luftansaug mit höheren Baukosten gegenüber. In Kenntnis der Vor und Nachteile wurde der bewusste Entscheid für ein Weglassen der Bypassklappe getroffen.



Bild 5-7 Unsorgfältige Verlegung der Erdregisterrohre.

5.4 Lüftungsgerät:

5.4.1 Gerätbeschreibung:

In der Wohnüberbauung Melchrüti wird jede Wohnung einzeln mit einem Kompaktgerät beheizt und belüftet. Es wurde die Abluftwärmepumpe Combi der Firma Genvex eingesetzt. Das Gerät mit den Massen von 60 x 67 x 210 cm (B x T x H) übernimmt die Grundlastheizung und die Warmwasservorwärmung (im Sommer teilweise 100% Deckung). Darin integriert ist der Frischluft- und der Abluftventilator, der Wärmetauscher, die Abluftwärmepumpe. Die Abluftwärmepumpe besitzt einen Kondensator um den Warmwasserspeicher und einen zweiten Kondensator (nachschaltbar) in der Zuluft. Der Verdampfer ist in der Fortluft, nach dem Wärmetauscher angeordnet. Da das Gerät immer zentral in einer Wohnung steht, bleiben die Verteilverluste in der betreffenden Wohnung.

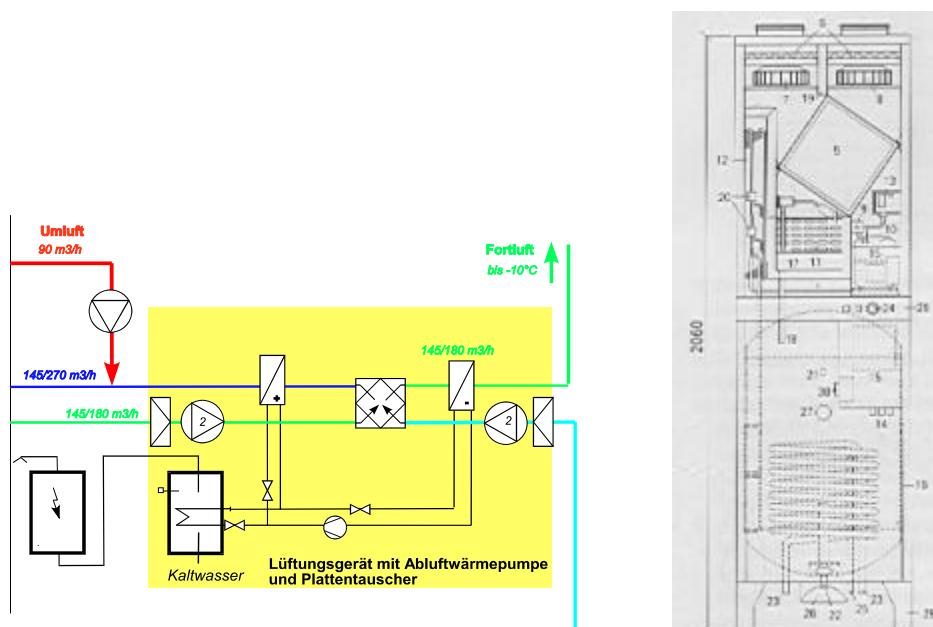


Abbildung 5-6 Diese beiden Abbildungen stellen beide das Lüftungsgerät Genvex Combi dar. Das Schema (Abbildung links) zeigt die Genvex (gelb hinterlegt) mit (hell blau) Frischluft, (blau) Zuluft und (grün) Abluft und Fortluft. In der rechten Abbildung ist das geöffnete Lüftungsgerät mit Plattenwärmetauscher zu sehen.

5.4.2 Hersteller-Angaben zum Gerät Genvex Combi:

| | Heizen im Winter (Winterschnitt) | Warmwasser (Jahresschnitt) |
|--|-------------------------------------|-------------------------------|
| Luftmenge (in m ³ /h) | 150 | 150 |
| Auslegungstemperatur innen [°C] | 20 | 20 |
| Durchschnittliche Außentemperatur [°C] | 4 | 10 |
| Außenluft nach Erdregister [°C] | 6 | 10 |
| Leistung Genvex Combi bei 6°C inkl. WRG [W] | 1750 | |
| Leistung Genvex Combi bei 10°C inkl. WRG [W] | | 1660 |
| Wirkungsgrad des Plattenwärmetauschers (WRG) | 70% | 70% |
| WRG – Leistung [W] | 470 | 335 |
| Leistung Wärmepumpe ohne WRG [W] | 1280 | 1325 |
| Stromaufnahme Ventilatoren [W] | 80 | 80 |
| Stromaufnahme Kompressor [W] | 380 | 395 |
| COP ohne Ventilator | 3.37 | 3.35 |

5.4.3 Ausmessung Lüftungs-Kompaktgerät

Für die Überprüfung des Gerätes und der Herstellerangaben wurden mit Daten-Loggern die folgenden Temperaturen und Feuchten gemessen.



Bild 5-8: Steuerung des Lüftungsgerätes mit Daten-Loggern für die Strommessungen und den Betriebsstundenzählern

| | |
|----------------------|---|
| T-Aussen (T0) | Aussenlufttemperatur gemessen im Erdregister-Ansaug |
| Fe-Aussen (F0) | Aussenluftfeuchte gemessen im Erdregister-Ansaug |
| T-nach Erdreg. (T1) | Aussenlufttemperatur nach dem Erdregister unter dem Erdgeschoss |
| Fe-nach Erdreg. (F1) | Aussenluftfeuchte nach dem Erdregister unter dem Erdgeschoss |
| T-AUL vor Gen (T2) | Aussenlufttemperatur vor dem Lüftungsgerät (nach dem Lüftungs-Steigschacht im Nasszellenkern) |
| T-ZUL vor Kond. (T3) | Zuluft-Temperatur nach Plattenwärmetauscher und vor Kondensator |
| T-ZUL nach Gen. (T5) | Zuluft-Temperatur nach dem Lüftungsgerät |
| T-ZUL Wohn (T11) | Zuluft-Temperatur Wohnen nach dem Lüftungsgerät (vor den Elektrolufterhitzern) |
| T-Wohnen (T10) | Wohnraumtemperatur gemessen an der Außenwand |
| T-Abluft (T4) | Abluft-Temperatur aus dem Nasszellen und Küchenbereich (vor dem Lüftungsgerät) |
| Fe-Abluft (F3) | Abluft-Feuchte aus dem Nasszellen und Küchenbereich (vor dem Lüftungsgerät) |
| T-Fortluft (T6) | Fortluft-Temperatur nach dem Lüftungsgerät (nach WRG und Kondensator der Wärmepumpe) |
| T-Fortluft v. Komp | Fortluft-Temperatur vor dem Kompressor |
| Fe-Fortluft v. Komp | Fortluft-Feuchte vor dem Kompressor |

Dank Erdregister, luftseitigem Plattenwärmetauscher und zusätzlichen Wärmenutzung der Fortluft mittels einer Abluftwärmepumpe wird mit dem Lüftungsgerät eine Zulufttemperatur von ca. 33 bis 37°C erreicht. Die Leistungsabgabe des Lüftungsgerätes liegt bei Temperaturen von 3 bis 6°C nach dem Erdregister (entspricht Aussenlufttemperaturen von -6.5 bis 5°C) bei 1700 bis 1900W. Dies entspricht in etwa den Herstellerangaben, die sich damit bestätigt haben.

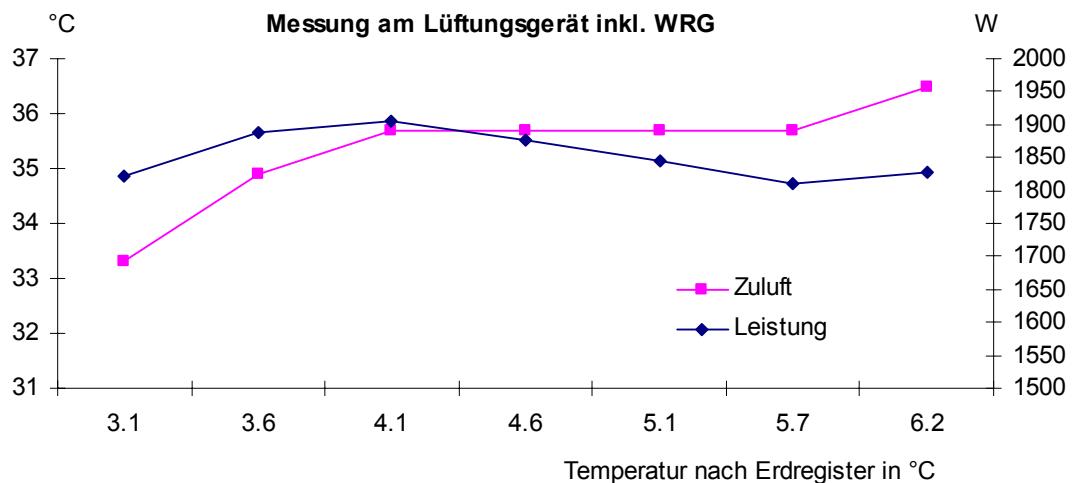


Abbildung 5-7 Das Diagramm zeigt bei gemessenen Temperatur nach dem Erdregister im Januar 2001 (bei Aussentemperaturen von -6.6 bis 5°C) die Zulufttemperatur nach dem Lüftungsgerät (vor den Elektronenwärmetauscheren) und die über die Luftmenge berechnete Wärmeabgabe in Watt.

5.4.4 Temperaturmessungen Lüftung Dezember 2000 – Januar 2001

Die nachfolgenden Auswertungen zeigen die Temperaturverläufe der im Dezember 2000 und Januar 2001 gemessenen Luftströme.

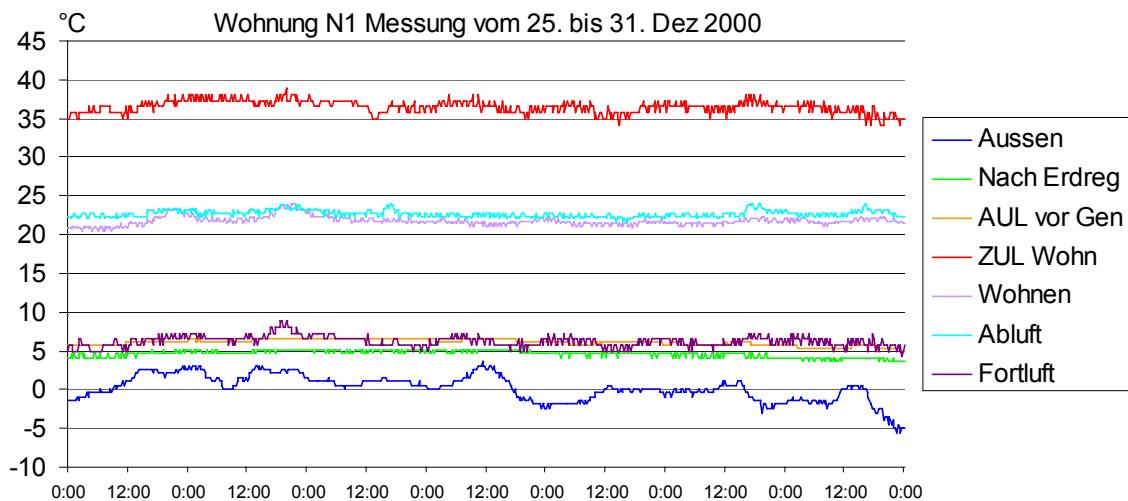


Abbildung 5-8 Temperaturmessungen am Lüftungsgerät, Zuluft-Temperaturen über 35°C bei Aussentemperaturen zwischen -5°C und 4°C und praktisch konstanter Temperatur nach dem Erdregister von 5°C.

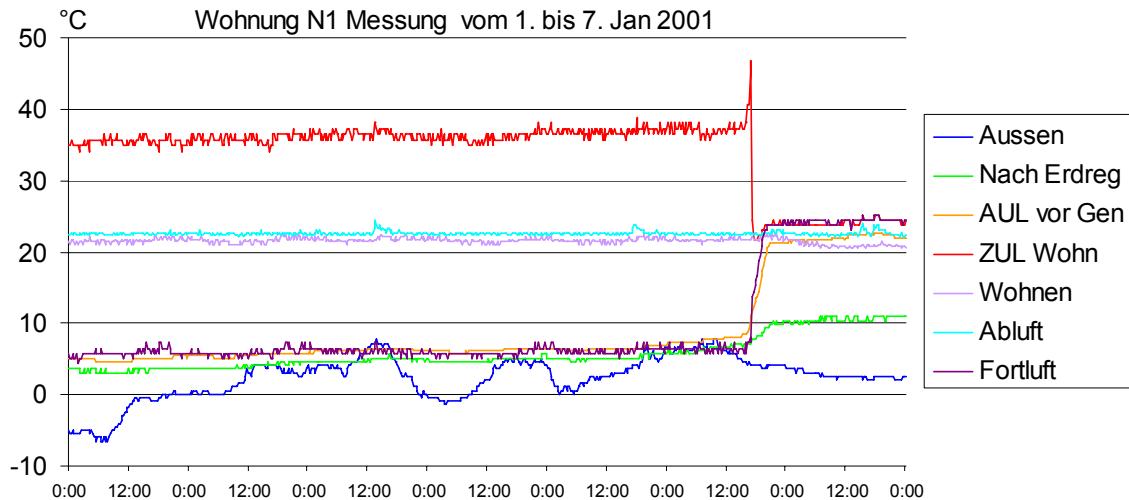


Abbildung 5-9 Wie Abbildung 5-8 mit Anlagenstillstand ab 6. Januar 2001 wegen mit Regenwasser gefülltem Erdregister.

5.4.5 Zuluft-Temperaturwirkungsgrad der Wärmerückgewinnung (WRG):

Während zweier Jahren ist die elektrische Energie, die das gesamte Genvex Gerät, mit Ventilatoren, Kompressor und Warmwasser, verbrauchte mit einem Datenlogger (an der Messstelle E1) aufgenommen und aufgezeichnet worden. Die Auswertung dieser Daten zeigte, wann die Wärmepumpe effektiv gelaufen ist und wann wie viele Ventilatoren auf welcher Stufe gelaufen sind.

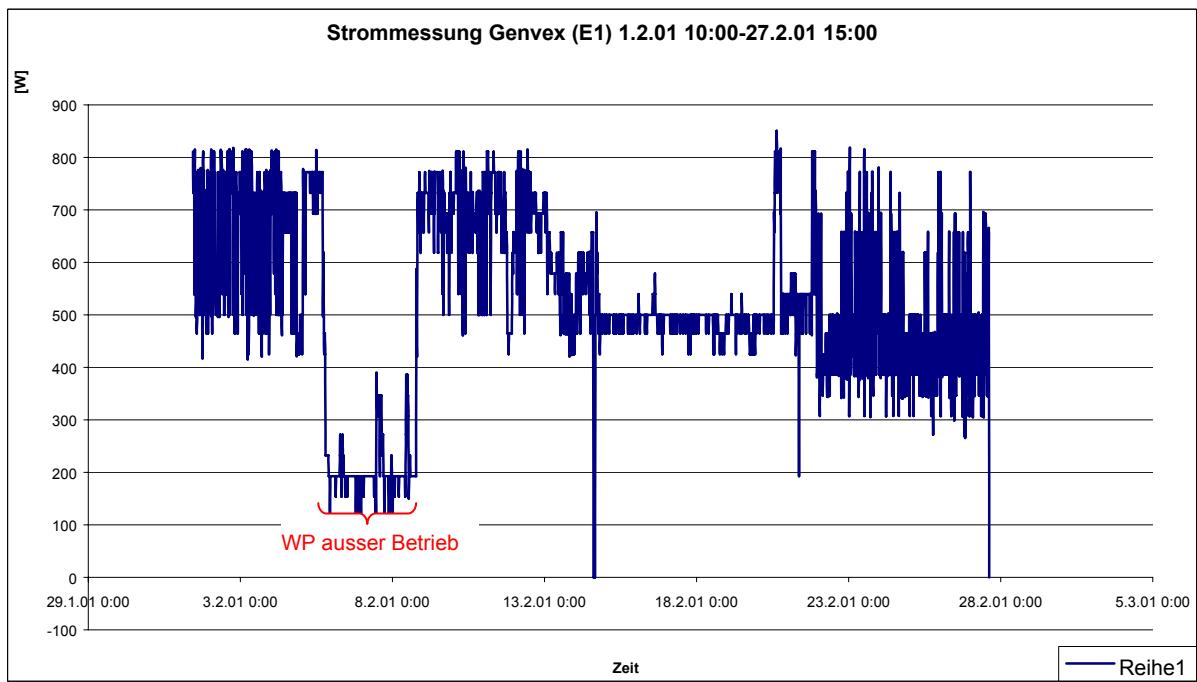


Abbildung 5-10 Strommessung des 1.2.01-27.2.01. In der Grafik ist die Zeitperiode, in der die Wärmepumpe ausser Betrieb war, eingezeichnet.

Die Abbildung 5-10 zeigt die Strommessung vom 1.2.01 bis zum 27.2.01. In der Grafik ist deutlich zu erkennen, dass die Wärmepumpe zwischen dem 6.2.01 und dem 8.2.01 nicht in Betrieb war. Diese Stelle ist die zur WRG-Berechnung relevante Stelle. Zur Berechnung werden die Temperaturen vor und nach dem Plattenwärmetauscher benötigt. Während der Messung konnte aus Platzgründen nur ein Temperaturfühler (T3) direkt nach dem Wärmetauscher befestigt werden. So mussten die restlichen Daten rechnerisch ermittelt werden.

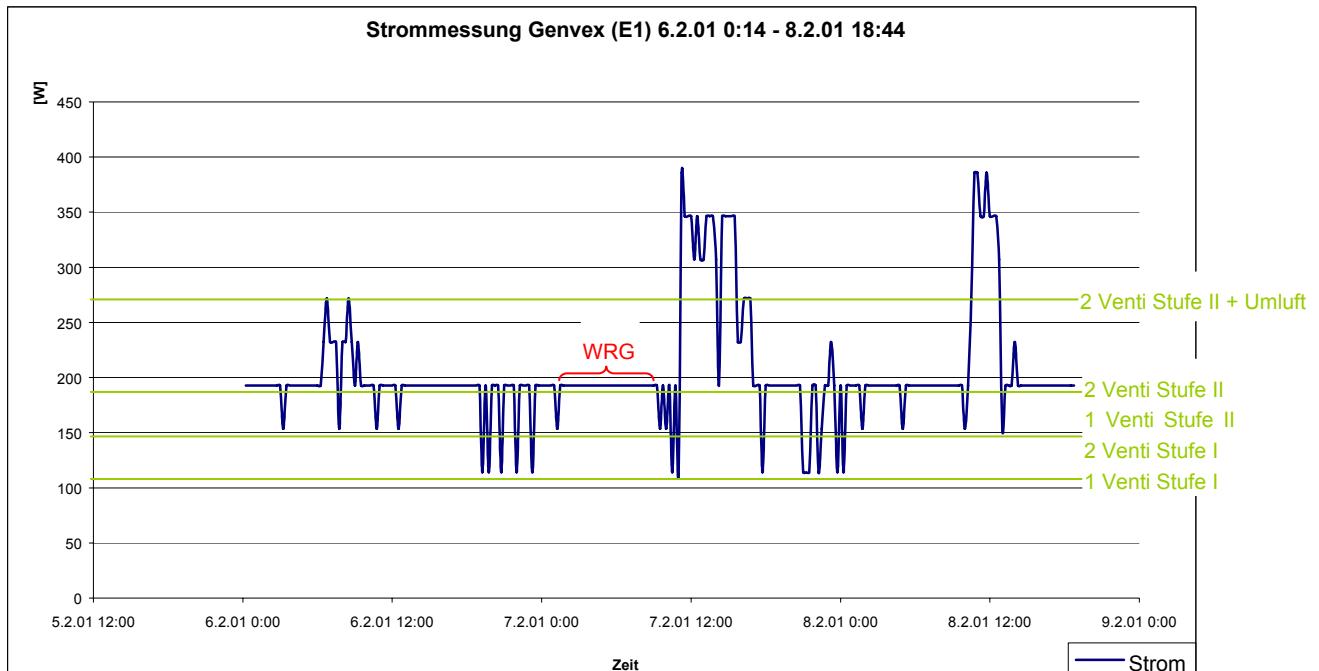


Abbildung 5-11 Diese Grafik stellt den vergrösserten, in Abbildung 5-10 bezeichneten, Abschnitt dar, in dem die Wärmepumpe nicht in Betrieb war. In diesem Diagramm ist der Zeitabschnitt, der zur Berechnung der WRG ausgewählt wurde eingezeichnet. Zudem wurde markiert, wann wie viele Ventilatoren auf welcher Stufe gelaufen sind.

Die für die Berechnung wichtigen Temperaturdaten sind die Frischluft vor dem Tauscher, die Zuluft nach dem Tauscher und die Abluft vor dem Tauscher. Bei der Frischluft und bei der Abluft lagen die Messstellen jeweils vor dem Ventilator, dessen Abwärme rechnerisch mitberücksichtigt wurde. Die Messresultate der Zuluft nach dem Plattenwärmetauscher erwiesen sich als relativ hoch. Daraus wurde auf eine 10%-Leckrate zwischen Zu- und Abluft geschlossen und die Temperaturwerte entsprechend korrigiert.

Während der Auswertung liefen, wie in Abbildung 5-11 zu erkennen ist, sowohl der Frischluft- als auch der Abluftventilator auf Stufe zwei. Die Abwärme der Ventilatoren wurde also bei der Stufe zwei mit einem Durchsatz von $185 \text{ m}^3/\text{h}$ berechnet.

Auswertung der Messung:

7.2.01 1:59 - 7.2.01 9:14

Leistungsaufnahme Ventilator

Stufe II: 77W

Luftmenge 185m³/h

Erwärmung in Ventilator 1.25K

$$\eta = (T3 - T2_{+Venti}) / (T4_{+Venti} - T2_{+Venti})$$

| | T4+Venti | T2+Venti | T3-Leckasche | η |
|-------------|----------|----------|--------------|--------|
| 7.2.01 1:59 | 24.90°C | 12.40°C | 21.0°C | 69% |
| 7.2.01 2:14 | 25.20°C | 12.40°C | 21.0°C | 67% |
| 7.2.01 2:29 | 24.90°C | 12.40°C | 21.0°C | 69% |
| 7.2.01 2:44 | 24.90°C | 12.40°C | 21.5°C | 72% |
| 7.2.01 2:59 | 25.20°C | 12.40°C | 21.4°C | 71% |
| 7.2.01 3:14 | 25.20°C | 12.40°C | 21.0°C | 67% |
| 7.2.01 3:29 | 24.90°C | 12.40°C | 21.5°C | 72% |
| 7.2.01 3:44 | 25.20°C | 12.40°C | 21.4°C | 71% |
| 7.2.01 3:59 | 24.90°C | 12.40°C | 21.5°C | 72% |

Gemittelter η_{WRG} : 70%

Tabelle 5-2 Teil der Temperaturdaten und der dazugehörenden Wirkungsgrade. Die vollständige Tabelle mit allen, für die Berechnung der WRG verwendeten Daten, befindet sich im Anhang D.

Der resultierende Zuluft-Temperaturwirkungsgrad der Wärmerückgewinnung von 70% ist eher etwas zu hoch, da die Wärmestrahlung, die auf den Messfühler an der Messstelle T3 einwirkte, nicht berücksichtigt wurde. Doch im wesentlichen konnte die Herstellerangabe für den Wirkungsgrad des Plattenwärmetauschers (70%) verifiziert werden.

5.4.6 Berechnung der Wärmepumpenkennziffer „Coefficient of Performance (COP)“:

Für die Berechnung des COP wurde von der selben Strommessung ausgegangen wie bei der WRG-Berechnung. Doch für den COP wurden nun die Zeitabschnitte verwendet, in denen die Wärmepumpe mit Sicherheit in Betrieb war.

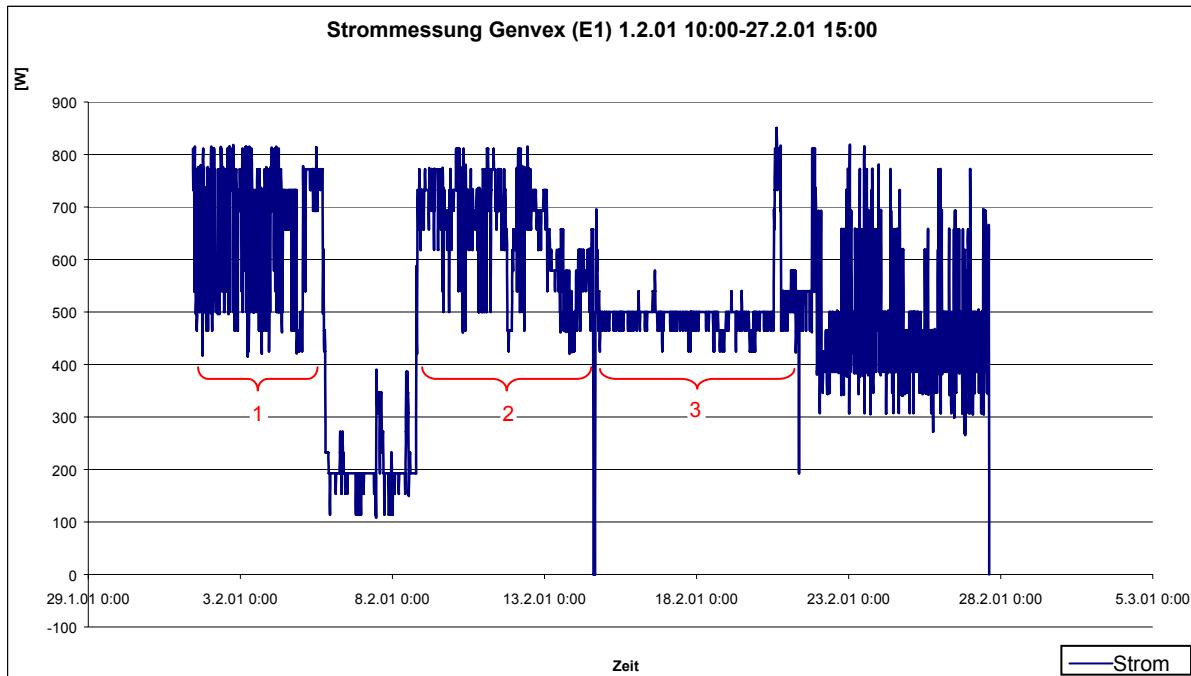


Abbildung 5-12 Strommessung vom 1.2.01 bis 27.2.01. In die Grafik eingezeichnet sind die drei, für die Berechnungen verwendeten Zeitabschnitte.

Bei der COP-Berechnung stellte sich erneut heraus, dass die im Messpunkt T3 aufgenommenen Werte zu hoch sind. Um die Messabweichung, verursacht durch die Leckrate und die Wärmestrahlung zu umgehen, wurden die Temperaturdaten rechnerisch von den Daten aus Messpunkt T2 hergeleitet.

$$T2 + \text{Ventilatorabwärme} + 70\% \text{ WRG} = T3$$

In den betreffenden Zeitabschnitten sind beide Ventilatorstufen in Betrieb gewesen, weshalb mit dem durchschnittlichen Durchsatz, der durchschnittlichen Leistung und der durchschnittlichen Wärmeabgabe gerechnet wurde.

COP-Berechnung

1.2.01 10:00 - 27.2.01 15:00

Venti Stufe I 150m³/h Venti im Durchschnitt 168m³/h = 0.05 m³/s

Leistungsaufnahme 39.5W 58W

Erwärmung im Venti 0.79K 1.02K

Venti Stufe II 185m³/h

Leistungsaufnahme 77W

Erwärmung im Venti 1.25K

WRG-Wirkungsgrad 70%

Wärmeabgabe der Wärmepumpe: $[(T_5 - T_3) * m * cp = (T_5 - T_3) * V * \rho * cp]$

Durchschnittliche Wärmeabgabe der Wärmepumpe: 1.152kW

Durchschnittliche Wärmeabgabe des Warmwassers: 0.116W

Wärmeabgabe: 1.268 kW => 162.0 kWh

Strom:

Kompressor: Betriebsstunden: 127.7 h

P Ventilator: 0.058 kW

P Kondensator: 0.385 kW

P Strom: 0.443 kW

Strom= 56.62 kWh

COP= 2.86

COP ohne Ventilator = 3.30

1

| COP ohne Ventilator | |
|---------------------|------------------|
| Messresultat | Herstellerangabe |
| 3.30 | 3.37 |

Durchschnittliche Wärmeabgabe der Wärmepumpe: 1.114kW
 Durchschnittliche Wärmeabgabe an das Warmwassers: 0.116W
 Wärmeabgabe: 1.230 kW => 168.5 kWh

Strom:

Kompressor: Betriebsstunden: 137 h
 P Ventilator: 0.058 kW
 P Kondensator: 0.385 kW
 P Strom: 0.443 kW

Strom= 60.73 kWh

COP= 2.78

COP ohne Ventilator= 3.19

2

COP ohne Ventilator

| Messresultat | Herstellerangabe |
|--------------|------------------|
| 3.19 | 3.37 |

Durchschnittliche Wärmeabgabe der Wärmepumpe: 1.063kW
 Durchschnittliche Wärmeabgabe an das Warmwassers: 0.116W
 Wärmeabgabe: 1.179 kW => 182.2 kWh

Strom:

Kompressor: Betriebsstunden: 154.5 h
 P Ventilator: 0.058 kW
 P Kondensator: 0.385 kW
 P Strom: 0.443 kW

Strom= 68.48 kWh

3

COP ohne Ventilator

| Messresultat | Herstellerangabe |
|--------------|------------------|
| 3.06 | 3.37 |

COP= 2.66

COP ohne Ventilator= 3.06

Die Auswertung zeigt also, dass der gemessene COP ca. 5-10% tiefer liegt als die Angaben des Herstellers. Zu beachten ist dabei, dass es sich um Momentaufnahmen handelt und dass weder die Ventilatoren, noch der Anfahrprozess oder der Abtauprozess in dieser Berechnung mitberücksichtigt wurde.

5.4.7 Berechnung des Systemnutzungsgrad (SNG):

Der Systemnutzungsgrad SNG ermöglicht die energetische Beurteilung des gesamten Haustechniksystems (Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung, Lüftung). Beim SNG wird die Wärmerückgewinnung (WRG) zur Haustechnik gezählt, da in diesem Kombigerät die WRG fest in das Wärmeerzeugungsmodul integriert ist. Bei Systemvergleichen mit dem SNG haben Systeme mit dem grössten SNG immer den geringsten Strombedarf (cf [1] Afjei, Th. et. al.).

Der SNG wird aus den Daten eines Jahres (in diesem Fall vom 5.10.00 bis am 26.9.01) bestimmt. Da jedoch Messlücken bestanden, mussten die fehlenden Daten anhand der Heizgradtage der SMA Zürich hochgerechnet werden.

| Monatswerte der Heizgradtage SMA Zürich, 556 m.ü.M. | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|
| Jahr | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
| 2000 | 618 | 458 | 421 | 253 | 79 | 9 | 37 | 0 | 17 | 283 | 419 | 500 |
| 2001 | 568 | 458 | 399 | 363 | 48 | 55 | 0 | 0 | 164 | 47 | 512 | 624 |

Tabelle 5-3 Heizgradtage. Gelb vorhandene Daten, Orange fehlende Daten.

Entsprechend dem Energieflussdiagramm in Kapitel 5.5 und der Definition nach ([1] Afjei et al.) berechnet sich der SNG gemäss der folgenden Formel:

$$\frac{Q_{WP} + Q_{g,Venti} + E_{Uml} + (E_{Venti2} - Q_{Venti,Sommer}) + Q_{Erd,AUL} + E_{Zusatzeizung} + (E_{WW} - Q_{SP}) + Q_{WRG}}{E_{WP} + E_{Venti} + E_{Uml} + E_{Zusatzeizung} + E_{WW}} = \underline{\underline{SNG}}$$

Nimmt man die Messresultate der Messperiode vom Oktober 2000 bis zum September 2001 (cf Kapitel 5..5), so kann damit der SNG wie folgt berechnet werden:

$$\frac{4'694kWh + 265kWh + 99kWh + 155kWh + 75kWh + 3'405kWh + 2'169kWh + 3'640kWh}{1'502kWh + 700kWh + 99kWh + 3'405kWh + 2'263kWh} = \underline{\underline{1.82}}$$

Dies bedeutet also, dass mit 1 kWh Strom ein Wärmebedarf (Gebäude und Warmwasser) von 1.82 kWh gedeckt werden konnte.

5.4.8 Berechnung des Heizwärmebedarfs Q_h :

Der Heizwärmebedarf Q_h nach der Definition SIA 380/1 wurde gemäss dem Energieflussdiagramm von Kapitel 5.5 aus den folgenden Grössen bilanziert:

$$Q_{WP} + Q_{g,Venti} + E_{Uml} + (E_{Venti2} - Q_{Venti,Sommer}) + Q_{Erd,AUL} + E_{Zusatzeheizung} + (E_{WW} - Q_{SP}) - Q_W = \underline{\underline{Q_h}}$$

$$4694 \text{ kWh} + 265 \text{ kWh} + 99 \text{ kWh} + 155 \text{ kWh} + 75 \text{ kWh} + 3405 \text{ kWh} + 2169 \text{ kWh} - 2545 \text{ kWh} = \underline{\underline{8317 \text{ kWh}}}$$

Dies ergibt den spezifischen Heizwärmebedarf von

$$\frac{8317 \text{ kWh}}{216.6 \text{ m}^2} = \underline{\underline{38.4 \text{ kWh/m}^2}}$$

5.4.9 Berechnung der Transmissionswärmeverluste:

Rechenwert nach SIA 380/1 (Ausgabe 1988) bei 20°C

Raumtemperatur : 98 MJ/m²

Rechenwert nach SIA 380/1 (Ausgabe 2001) bei 20°C

Raumtemperatur / mit erhöhten Wärmebrücken von 10 MJ/m²: 133 MJ/m² => 8'002 kWh

Rechenwert nach SIA 380/1 (Ausgabe 2001) bei 22°C

Raumtemperatur / mit erhöhten Wärmebrücken: 149.6 MJ/m² => 9'002 kWh

Für die Energiebilanz in Kapitel 5.5 wurde der Wert von 9'002 kWh eingesetzt.

Nachfolgend ist die gemessene Raumlufstemperatur in der ausgemessenen Wohnung dargestellt. Diese liegt im Schnitt bei 22°C.

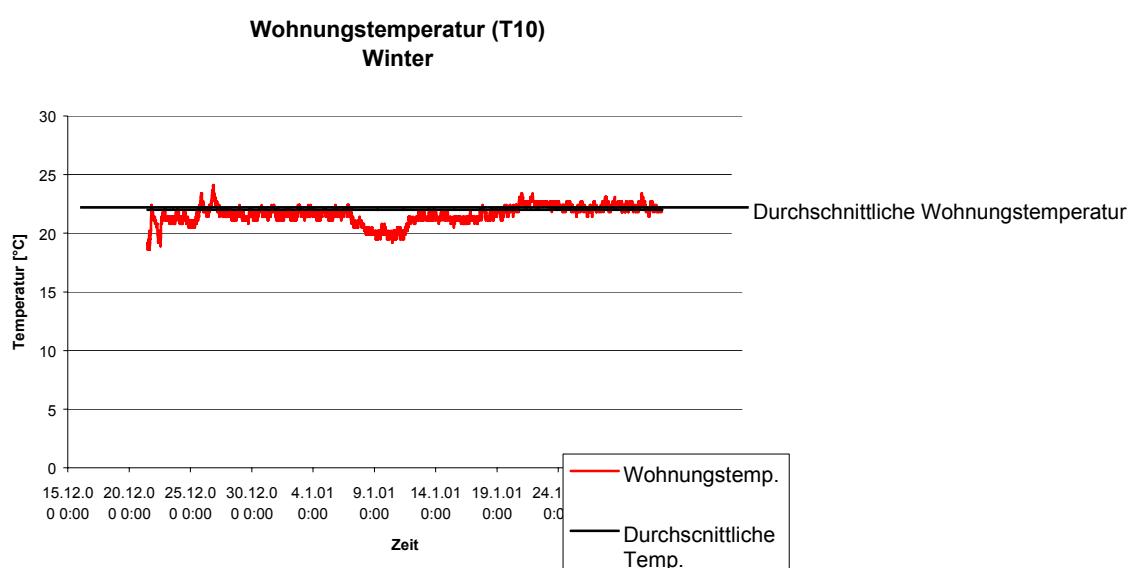


Abbildung 5-13 Wohnzimmertemperatur gemessen im Winter 2000 in der Wohnung N1.

Um den Wärmebrücken auf die Spur zu kommen (die mit ca. 600 kWh in die Bilanz eingesetzt sind), wurden von der Firma I&T Bauphysik Thermographie-Aufnahmen gemacht.

Die Wärmeverluste sind in den Thermographiebildern (Abbildung 5-14 und Abbildung 5-15) deutlich erkennbar.

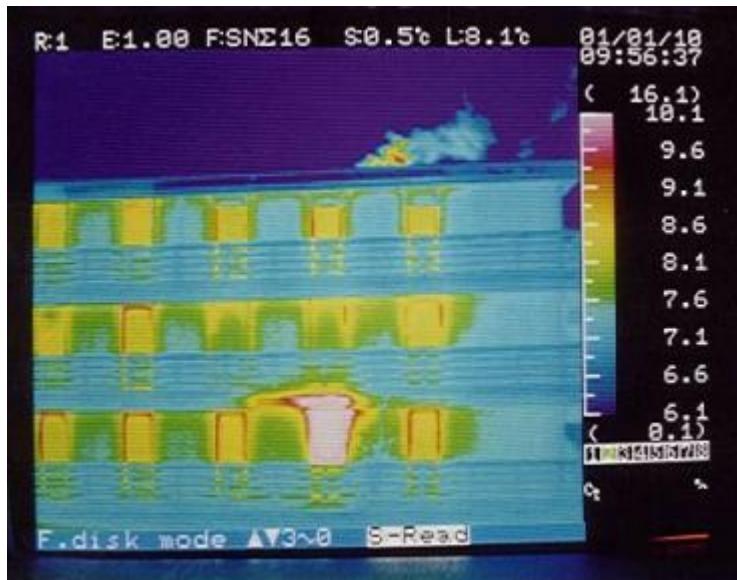


Abbildung 5-14 Höhere Oberflächentemperaturen im Bereich der Fensteranschläge und der Fassade zwischen den Fenstern. Ein Fenster unten hinter geschlossenen Storen ist geöffnet. (I&T Bauphysik)



Bild 5-9 Normalbild zu Abbildung 5-14 (I&T Bauphysik)

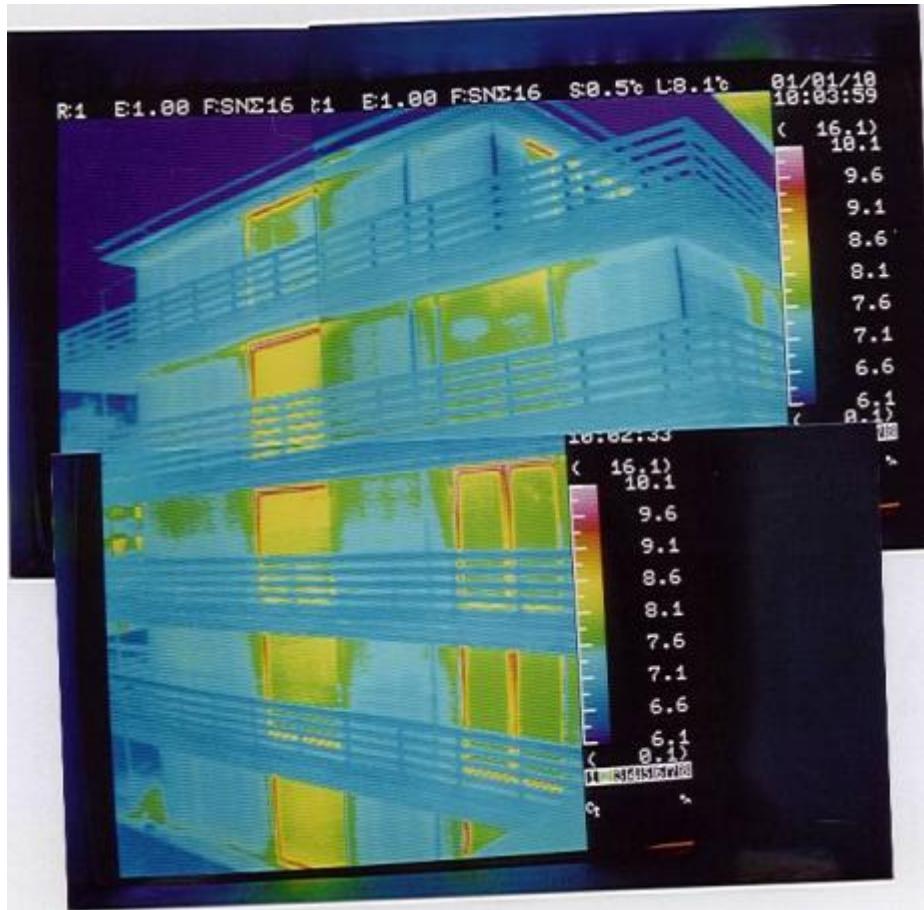


Abbildung 5-15 Südostfassade des Hauses K. Auch hier finden sich höhere Oberflächentemperaturen im Bereich der Fensteranschläge und im oberen Teil der Fassade zwischen den Fenstern. Keine auffälligen Stellen im Bereich der Dachunterseite oder im Bereich des Sockels. (I&T Bauphysik)



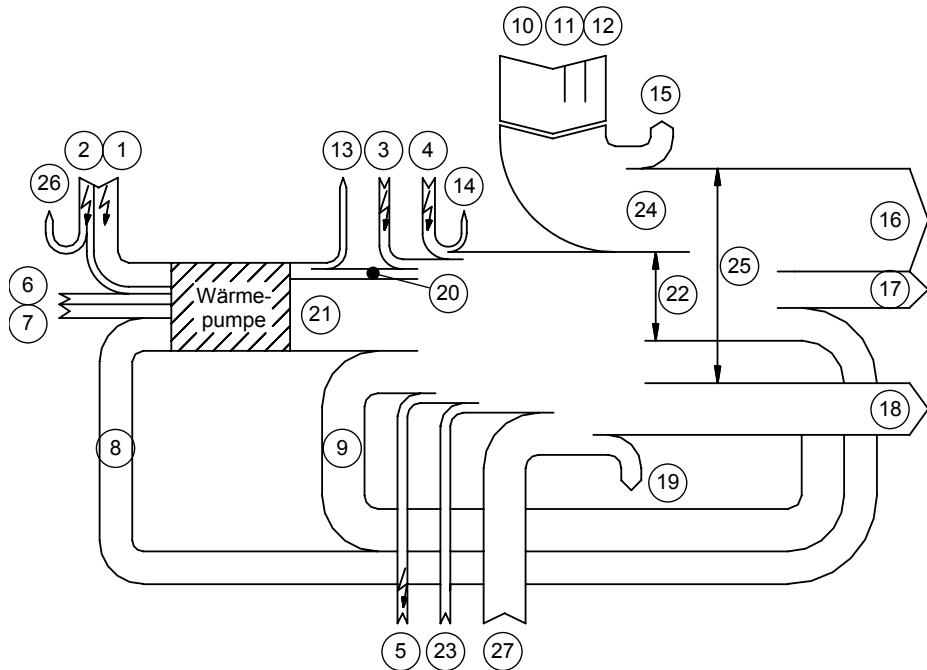
Bild 5-10 Normalbild zu Abbildung 5-15
(I&T Bauphysik)

Die gefundenen Wärmeverluste können durch mehrere Umstände verursacht werden:

1. Es bestehen Undichtheiten im Übergang von Fenster und Fassade, so dass Luft zirkulieren kann.
2. Es bestehen mehr und grössere Wärmebrücken als ursprünglich berechnet und angenommen.
3. Cellulose nicht regelmässig eingesblasen. Möglicherweise zu lockere Verteilung im oberen Bereich.

Es kann nicht mit Bestimmtheit gesagt werden, welches die ausschlaggebende Ursache ist. So könnte es zum Beispiel die Dämmung sein, die nicht schön bis oben hin eingefüllt worden ist. Dies würde die zu hohe Temperatur im oberen Fassadenbereich zwischen den Fenstern erklären. Es könnten aber eben so gut unterschätzte Wärmebrücken oder Undichtheiten sein.

5.5 Energieflussdiagramm (5. 10. 2000 bis 26. 9. 2001)



| Nr. | Abk. | [kWh]. | Bezeichnung |
|-----|----------------------------|--------|---|
| 1 | E _{WP} | 1'502 | Strombedarf Kompressor |
| 2 | E _{Venti1} | 315 | Strombedarf Zu- und Abluftventilatoren bei Betrieb der Wärmepumpe |
| 3 | E _{Uml} | 99 | Strombedarf Umluftventilator |
| 4 | E _{Venti2} | 385 | Strombedarf Zu- und Abluftventilatoren bei Stillstand der Wärmepumpe |
| 5 | E _{Zusatzheizung} | 3'405 | Strombedarf Elektro – Luftherziter („Toaster“) |
| 6 | Q _{Erd} | 778 | Zusätzlicher Wärmegewinn durch Erdwärme für Wärmepumpe (nur Zusatzgewinn zur WRG) |
| 7 | Q _{AUL} | 704 | Aussenluftwärme für Wärmepumpe |
| 8 | Q _{ABL} | 1'823 | Abluftwärme, genutzt für Wärmepumpe |
| 9 | Q _{WRG} | 2'925 | Wärmerückgewinnung an Heiztagen, real (ohne Berücksichtigung Erdregister), 65% |
| 10 | Q _S | 3'840 | passiver Solargewinn an Heiztagen |
| 11 | Q _{Pers} | 1'037 | Personenabwärme an Heiztagen (nach SIA 380/1 für 5 Personen / Nutzungszeit 12h) |
| 12 | Q _{Haushalt} | 1'950 | Abwärme aus Haushaltstrom (3'251 kWh) mit Reduktionsfaktor Elektro fe=60% |
| 13 | Q _{Abtau} | 112 | direkte Abtauverluste Wärmepumpe (ohne Lüftungsanteil) |
| 14 | Q _{Venti,Sommer} | 230 | Nicht nutzbare Wärme der Ventilatoren im Sommer bei Stillstand der Wärmepumpe |
| 15 | Q _{g,Verl} | 2'199 | Nicht nutzbare freie Wärme (bei fg = 50%) |
| 16 | Q _T | 9'002 | Transmissionswärmeverluste (berechnet nach SIA 380/1, Ausgabe 2001, bei 22°C) |
| 17 | Q _V | 2'120 | Lüftungswärmeverluste (natürlicher Luftwechselanteil 890 kWh, Blower-Door-Messresultat) |
| 18 | Q _w | 2'545 | Wärmebedarf für Warmwasser |
| 19 | Q _{SP} | 94 | Wärmeverlust der Speicher Warmwasser im Sommer |
| 20 | Q _{g,Venti} | 265 | Nutzbare Abwärme Ventilatoren bei Betrieb Wärmepumpe |
| 21 | Q _{WP} | 4'694 | Wärmeabgabe der Wärmepumpe (exkl. Abtauverluste) |
| 22 | Q _h | 8'317 | Heizwärmebedarf Qh |
| 23 | Q _{Erd,AUL} | 75 | Zusätzliche Erdreichwärme in Aussenluft an Heiztagen, direkt genutzt (nur Zusatzgewinn zur WRG) |
| 24 | Q _{ug} | 4'628 | freie Wärme, genutzt an Heiztagen kWh |
| 25 | Q _{h,G} | 15'870 | Gebäudewärmebedarf |
| 26 | Q _{Q,Verl} | 50 | Nicht nutzbare Abwärme der Zu- und Abluftventilatoren bei Betrieb der Wärmepumpe im Sommer |
| 27 | E _{ww} | 2'263 | Strombedarf Elektroheizstäbe Warmwasser |

6 Raumluftqualität

Nach dem in der Zeitschrift "Beobachter" erschienenen Artikel mit dem Titel "Tücken der Technik rauben Mieter den Schlaf" wurden Rauchversuche durchgeführt und Raumluftmessungen in Auftrag gegeben. Bewohner des Hauses L der Siedlung Melchrüti beschwerten sich über Essensdüfte und Zigarettenrauch aus anderen Wohnungen. Zudem litten sie an Kopfschmerzen, Schwindel, Müdigkeit und trockenen Schleimhäuten.

Die Gerüche aus den anderen Wohnungen konnten in Rauchversuchen durch die ungenügende Abdichtung zwischen den Wohnungen erklärt werden.

Die Raumluftmessungen wurden von der Firma Bau- und Umweltchemie aus Zürich durchgeführt und anschliessend in einem Bericht dokumentiert. Nachfolgend finden Sie die Zusammenfassung dieses Berichtes. (Cf [7] Ganz, R.; Heiss, U)

6.1 Zusammenfassung des Messberichtes

Insbesondere bei 2 Familien im Haus L traten verschiedene Beschwerden auf, die mit der Raumluftqualität in den neu bezogenen Wohnungen in Zusammenhang gebracht werden mussten. Deshalb wurden Messungen auf Luftschadstoffe ausgeführt. Die gemessenen Innenraumluftqualitäten in den Wohnungen der beiden betroffenen Familien entspricht allen bekannten Richtlinien für Luftschadstoffe in Innenräumen. Wie die Abbildungen 1 und 2 zeigen, wird der bestehende Richtwert für Formaldehyd sowie der Vorsorge- und Zielwert für TVOC deutlich unterschritten. Beide gemessenen Werte liegen auch unterhalb durchschnittlich in Wohnräumen gefundener Formaldehyd- bzw., TVOC-Konzentrationen. Die gemessenen Einzelschadstoffkonzentrationen liegen ebenfalls in einem sehr niedrigen Bereich. Bezuglich der gemessenen chemischen Inhaltstoffe in der Raumluft beider Wohnungen kann man von einer sehr guten Raumluftqualität ausgehen.

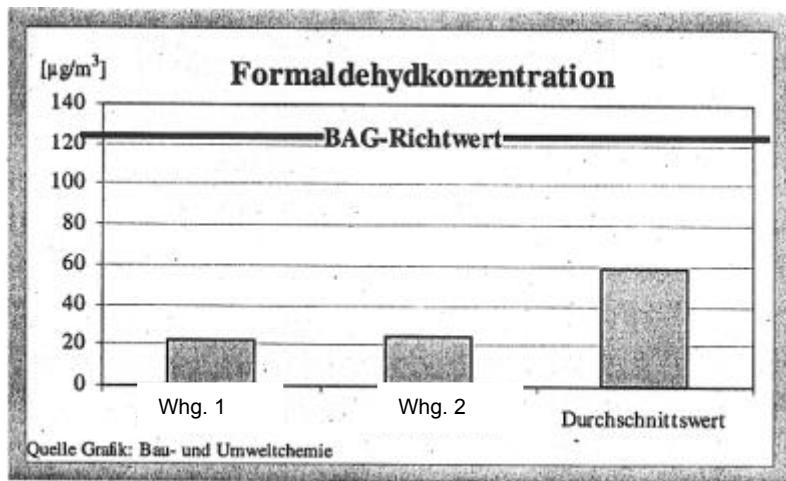


Abbildung 6-1: In beiden Wohnungen gemessene Formaldehydkonzentrationen dargestellt zusammen mit dem BAG Richtwert für Formaldehyd und für Formaldehyd und durchschnittlich gemessenen Werten in Wohnräumen

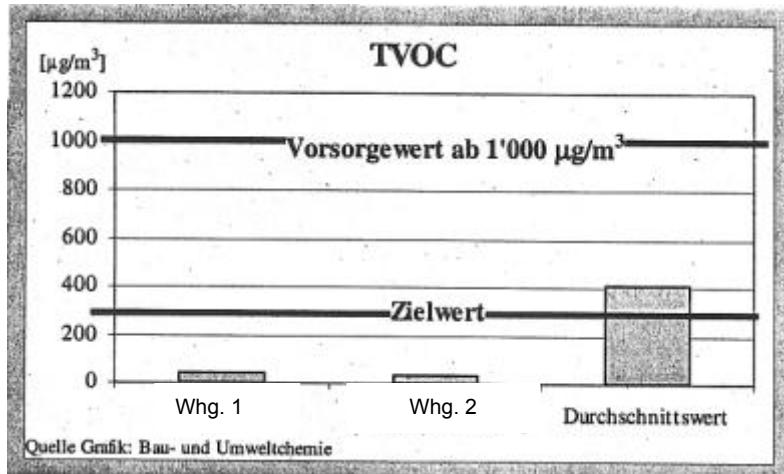


Abbildung 6-2: TVOC Konzentration in beiden Wohnungen dargestellt zusammen mit dem Vorsorgewert und Zielwert für TVOC sowie durchschnittlich gemessenen Werten in Wohnräumen

Bei der Luftkeimmessung am 6. September 2001 wurden in der Zuluft aus der Belüftungsanlage in beiden Wohnungen eine Bakterienkonzentration von mehr als $10000 \text{ KBE}/\text{m}^3$ Luft festgestellt. Dementsprechend lag auch die Bakterienkonzentration in den Wohnungen in einem sehr hohen Bereich. Es ist nicht auszuschliessen, dass diese hohen Bakterienkonzentrationen eine Mitursache für die Beschwerden der Bewohner waren.

Nach Modifikationen der Lüftungsanlage, durch die Gefahr stehenden Wassers in der Anlage ausgeschlossen wurde, ergab eine Nachmessung eine deutlich niedrigere Bakterienkonzentration in der Frischluftzufuhr zu den Wohnungen. Bei ähnlicher Bakterienkonzentration in der Aussenluft sank bei der Messung am 7. Februar 2002 die Keimkonzentration in der Frischluftzufuhr um einen Faktor grösser als 45 gegenüber der Keimmessung am 6. September 2001. Allerdings liegt die Bakterienkonzentration in den Wohnungen immer noch in einem mittleren (Whg. 1) bzw. hohen (Whg. 2) Bereich. Die Ursache hierfür könnte in einem für die Wohnungsbelegung zu niedrigem Luftaustausch liegen, der durch intensiveres Lüftungsverhalten der Bewohner verbessert werden könnte. Es wird empfohlen zur Kontrolle eine CO_2 -Ganglinie über einen längeren Zeitraum (1 bis 2 Wochen) aufzunehmen.

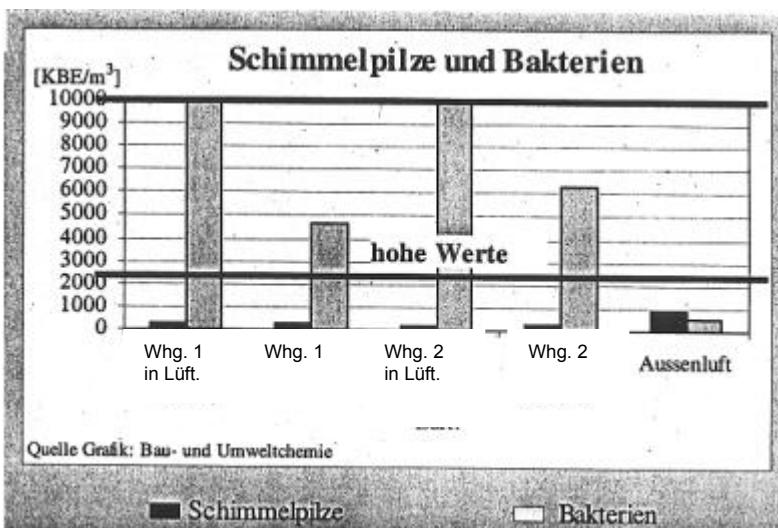


Abbildung 6-3: Schimmelpilz- und Bakterienkonzentration gemessen am 6. September 2001

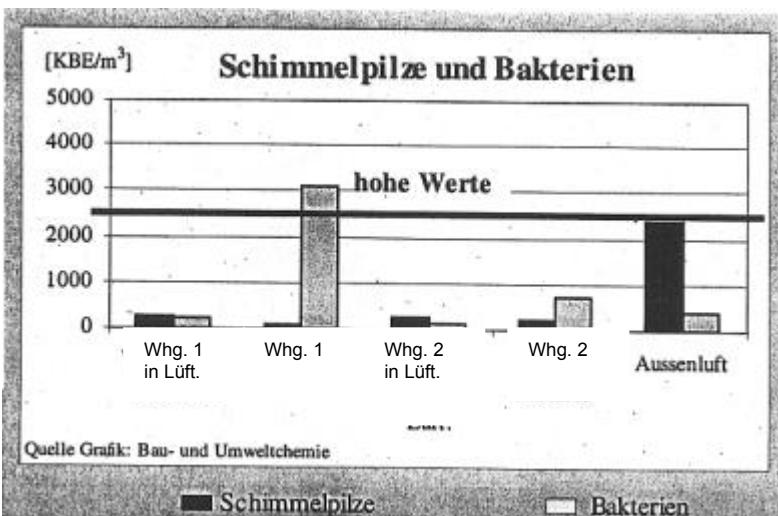


Abbildung 6-4: Schimmelpilz- und Bakterienkonzentrationen gemessen am 7. Februar 2002

Als Reaktion auf den Bericht wurden nach dem morgendlichen Aufstehen der Bewohner die CO₂-Werte in den Schlafzimmer gemessen. Die Werte überschritten ohne aktive Fensterlüftung während der Nacht oder am Morgen die Grenzwerte nicht. Somit ist die hohe Bakterienkonzentration nicht ein Fehler der Lüftungsanlage. Sie basiert auf dem Verhalten der Bewohner. Auch mit einer Lüftungsanlage muss bei überdurchschnittlicher Geruchs- und Luftbelastung (wie z.B. starkes Rauchen oder geruchintensives Kochen) zusätzlich mit dem Fenster gelüftet werden.

7 Umluftbeimischung bei Luftheizungen

7.1 Einsatzbereich von Luftheizungen mit Umluftanteil

Luftheizungen sind nur bei genügend kleinem Heizleistungsbedarf und richtig angeordneten Zuluftauslässen zu empfehlen. Ist die Bedarfs-Aussenluftmenge zu gering um die Heizleistung des Gebäudes zu decken, kann das Zuluftvolumen mit einem Umluftanteil erhöht werden. Dabei soll eine möglichst unbelastete Raumluft gefasst und an geeigneter Stelle eingeblasen werden. Insbesondere soll die Umluft nicht den Schlafzimmern zugeführt werden.

7.2 Dimensionierung des Umluftanteils

Um bei einer Luftheizung die geforderte Heizleistung erbringen zu können, muss entweder die Lufttemperatur oder die Luftmenge dem Bedarf angepasst werden können. Als obere Grenze für die Lufttemperatur wird im allgemeinen 50°C angegeben. Darüber ist mit einer Verschweitung der Staubpartikel und einer entsprechenden Geruchsimmission zu rechnen. Reicht diese Leistung nicht aus, so muss die Luftmenge über die reine Bedarfsluftmenge angehoben werden. Dies kann z.B. über einen Umluftanteil geschehen. Wie gross die Gesamtluftmenge sein muss, ist der Abbildung 7-1 zu entnehmen.

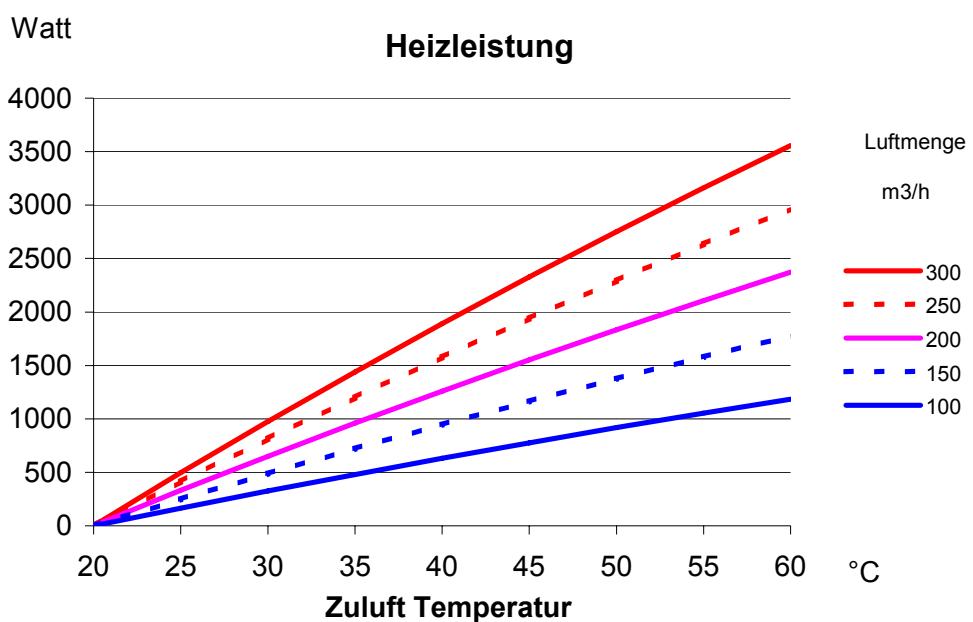


Abbildung 7-1 Heizleistung bei verschiedenen Luftmengen in Funktion der Zulufttemperatur

7.3 Mischelemente

Ein spezielles Augenmerk ist auf die Ausgestaltung der Umluftbeimischung zu richten. Versuche der Firma Ganz Installationen AG haben gezeigt, dass die in der Wohnungslüftung teilweise eingesetzten Mischboxen für eine Umluftbeimischung nur unter Beachtung der nachfolgenden Grundsätze geeignet sind:

Ein erster Versuch, die vom offenen Wohnzimmer und Korridor gefasste Umluft über eine Zuluft-Verteilbox einzublasen, zeigt keine zufriedenstellende Lösung. Die Mischung der frischen Zuluft vom Lüftungsgerät mit der Umluft wird nur sehr ungenügend erreicht. Dadurch erhalten die verschiedenen Räume einen unterschiedlichen Frischluftanteil in der Zuluft.

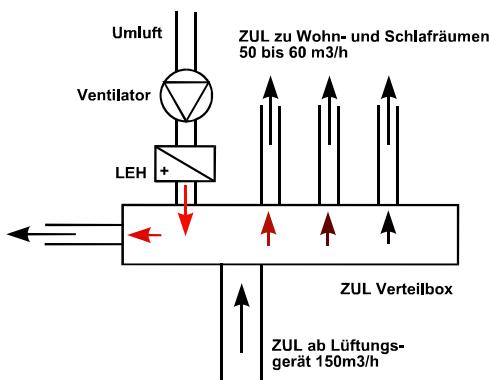


Abbildung 7-2 Schematische Darstellung des Versuchs mit der Umluftbeimischung in die Zuluft-Verteilbox

Auf dem ersten Foto mit dem Rauchversuch ist deutlich zu erkennen, dass sich die Umluft kaum mit der frischen Zuluft vom Lüftungsgerät mischt und direkt durch die zwei nahe der Umluft (links und rechts der Umluft) liegenden Zuluftabgänge geblasen wird.



Bild 7-1 Rauchversuch mit Umluftbeimischung in Zuluftbox (Umluft links oben, Zuluft ab Lüftungsgerät unten)

Das zweite Foto mit dem an der Umluft angehängten Lochschlauch zeigt eine klar bessere Verteilung der Umluft auf die Zuluftabgänge. Diese Variante ist nur anzuwenden, wenn die Umluft nicht belastet ist. Wird im Wohnzimmer geraucht, dann strömt bei dieser Anordnung belastete Luft in die Schlafräume.



Bild 7-2 Rauchversuch mit Umluftbeimischung in Zuluftbox mit Lochschlauch

Diverse Versuche mit Leitblechen in der Verteilbox und Drallauslässen bei der Umlufteinführung haben keine bessere Luftdurchmischung als der Lochschlauch ergeben.

Wegen der Probleme der Verteilung von geruchsbelasteter Luft ist dieses Konzept mit der Umluftbeimischung in eine Verteilbox ohnehin nicht zu empfehlen.

Trennt man die Zuluft der Schlafräume und des Wohnzimmers nach dem Lüftungsgerät, kann man die Umluft speziell der Zuluft des Wohnzimmers beimischen. Die Schlafräume werden nur mit Frischluft vom Lüftungsgerät und nicht mit Umluft versorgt. Das Wohnzimmer wird hingegen mit der weniger frischen Zuluft beschickt. Von der Luftqualität her gesehen entspricht dieses Konzept einer klassischen Kaskadenlüftung.

Bei den heute üblichen Wohnungs-Lüftungskonzepten mit Überströmung und einer Umluftfassung im Korridor gemäss der nachfolgenden Abbildung ist die Mischung unproblematisch. Eine gute Durchmischung der Zuluft mit der Umluft erfolgt bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 3m/s nach ca. 3m Rohrlänge.

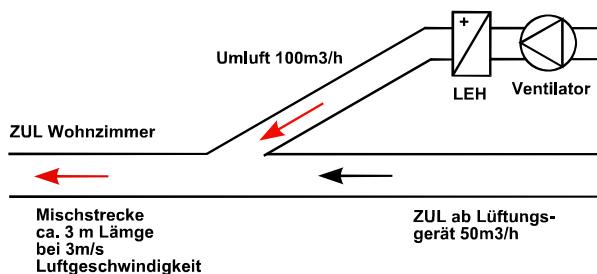


Abbildung 7-3 Schematische Darstellung der Umluftbeimischung in die Zuluftleitung des Wohnzimmers

7.4 Was ist bei Luftheizungen mit Umluftbetrieb speziell zu beachten

- Luftheizungen sollten nur bei Gebäuden mit sehr guter Wärmedämmung realisiert werden.
- Wenn möglich die Umluft nicht der Zuluft von Schlafräume beimischen (Problem bei Rauchern). Auf diese Weise ist auch bei Luftheizungen das Kaskaden-Lüftungsprinzip realisierbar.
- Der Umluftventilator muss schallbrückenfrei installiert werden. Wenn möglich in Bad oder in einem schallgedämmten Schrank. Nicht im Wohn- oder Schlafzimmer !
- Nach dem Umluftventilator sollte ein Schalldämpfer eingebaut werden. Das Schallproblem bei Lüftungsanlagen im Wohnbereich muss minuziös gelöst werden [9].
- Eine Strömungssimulation ist zu empfehlen, wenn die Zuluftauslässe nicht unten in Fensternähe realisiert werden können.
- Die berechneten Luftmengen müssen am Auslass mit einem Strömungsmessgerät (z.B. mit dem Flow Finder) auf ca. 15% der berechneten Werte eingestellt werden.
- Wenn ein wassergeführter Heizkreislauf für den Luftherzter oder Badzimmerradiatoren bereits vorhanden ist, sollte der Verzicht der Umluftheizung geprüft werden. Die restliche, sehr geringe Wärmeleistung kann mit einem zusätzlichen Radiator oder einer geringen Fläche einer Wandheizung oft an geeigneten Orten im Wohnbereich oder im Büro effizienter abgegeben werden.

8 Behaglichkeit

8.1 Fenster – U-Werte und Kaltluftabfall

Raumhohe Fenster scheinen heutzutage im architektonischen Trend zu liegen. Obwohl heutige Fenster in ihrer Energiebilanz positiv sind (d.h. mehr Energiegewinn durch Einstrahlung als Energieverluste durch Transmission), so erhöhen sie doch den Heizleistungsbedarf und können bezüglich der Behaglichkeit kritisch sein. Bei der Behaglichkeit sind 2 Punkte zu beachten:

- Die Strahlungsfläche: Die verglichen mit einer Wand tieferen Oberflächentemperatur muss für ein behagliches Raumempfinden durch eine höhere Raumlufttemperatur kompensiert werden.
- Der Kaltluftabfall: Hohe Fenster mit tiefer Oberflächentemperatur führen zu einem grösseren Kaltluftabfall. Dieser darf gemäss Norm SIA 180 im Aufenthaltsbereich zu keinen Zuglufterscheinungen führen. (Der untere Fensterrand gehört allerdings nach der gängigen Auslegung der Norm nicht zum Aufenthaltsbereich.)

Sowohl für den Strahlungsaustausch, als auch für den Kaltluftabfall sind die Oberflächentemperaturen die entscheidende Grösse. Diese werden primär durch den Fenster-U-Wert festgelegt. Ein behagliches Raumklima setzt bei raumhohen Fenstern zwingend einen sehr tiefen U-Wert voraus (cf. [11])

Da man sich dieser Problematik bewusst war, wurde bereits bei der Planung der Überbauung Melchrüti den Fenstern ein grosses Gewicht gegeben. Die eingebauten Fenster haben einen U-Wert von 0.87 W/m²K (Dörig-Fenster mit Glas-U-Wert 0.5, 3-fach-Verglasung). Die Fenster sind also thermisch extrem gut. Handelsübliche gute, neue Fenster haben heute typischerweise einen U-Wert von 1.3 - 1.5 W/m²K.

Die Behaglichkeit des Fensters wurde in der Planungsphase bei Aussentemperaturen von -10°C von Hr. Adrian Schlumpf, dipl. Architekt HTL, Firma Dörig, überprüft. Die nachfolgende Abbildung von Hr. Schlumpf zeigt die Isotherme bei -10°C Aussentemperatur und 20°C Innentemperatur. Der eingezeichnete Isothermenabstand beträgt 5°C. Auf dem Bild ist klar ersichtlich, dass die Glas-Oberflächentemperatur deutlich über 15°C liegt. Nach dem Urteil von A. Schlumpf ein sehr guter Wert, der alle Normen erfüllt.

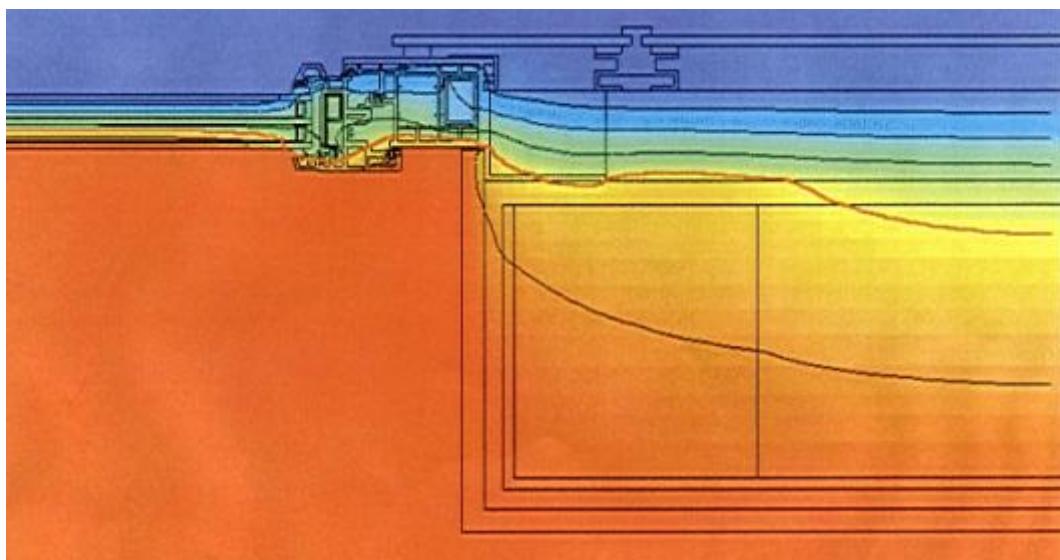


Abbildung 8-1 Temperaturberechnung des Fensters. (A. Schlumpf, Dörig Fenster)

Die trotzdem aufgetretenen Klagen über Zuglufterscheinungen konnten nachträglich auf undichte Fenster zurückgeführt werden (cf. Kapitel 4.4). Das Problem ist zwischenzeitlich behoben.

8.2 Raumtemperaturen und Luftströmungen

In der Planungsphase war nicht sicher, ob mit dem gewählten Lüftungssystem eine behagliche Raumtemperatur erzeugt werden kann. Die Warmluftperturzüsse befinden sich alle direkt unter der Decke in der Mitte der Wohnung (im Beton-Kern). Es wäre somit möglich gewesen, dass sich die warme Luft ausschliesslich an der Decke befindet und die Luft in Bodennähe kalt bleibt. Deshalb wurde an Herrn Dr. A. Schälin, Firma Schälin Air Flow Consulting Zürich, der Auftrag zur Überprüfung der Temperatur- und Zugserscheinung in Aufenthaltsbereich erteilt. Dr. Schälin ist einer der wenigen Fachexperten auf Raumluftströmung und Luftgeschwindigkeit in der Schweiz und hat die folgenden Berechnungen durchgeführt. Von 4 verschiedenen Raumdispositionen, die berechnet wurden, ist nachfolgend eine abgebildet:

8.2.1 Parameter der Wohnung

Lüftung

Zuluft Küche $40 \text{ m}^3/\text{h}$, 50°C , Wärmeeintrag 400 W

Überströmung Schlafzimmer $2 * 20 \text{ m}^3/\text{h}$, 20°C

Abzug oben in Wand $40 \text{ m}^3/\text{h}$

Abzug Nasszelle $50 \text{ m}^3/\text{h}$

Wärmeströme

Fenster, ca. 14 m^2 -20 W/m^2 ($0.8 \text{ W/m}^2\text{K} * \text{DT25}$), total -270 W

Aussenwände, ca. 22 m^2 -5.5 W/m^2 ($0.22 \text{ W/m}^2\text{K} * \text{DT25}$), total -138 W (mit Nischen)

Decke, ca. 36 m^2 Mittelwert -1 W/m^2 , -100 W

Boden, ca. 36 m^2 Mittelwert $+1 \text{ W/m}^2$, $+100 \text{ W}$

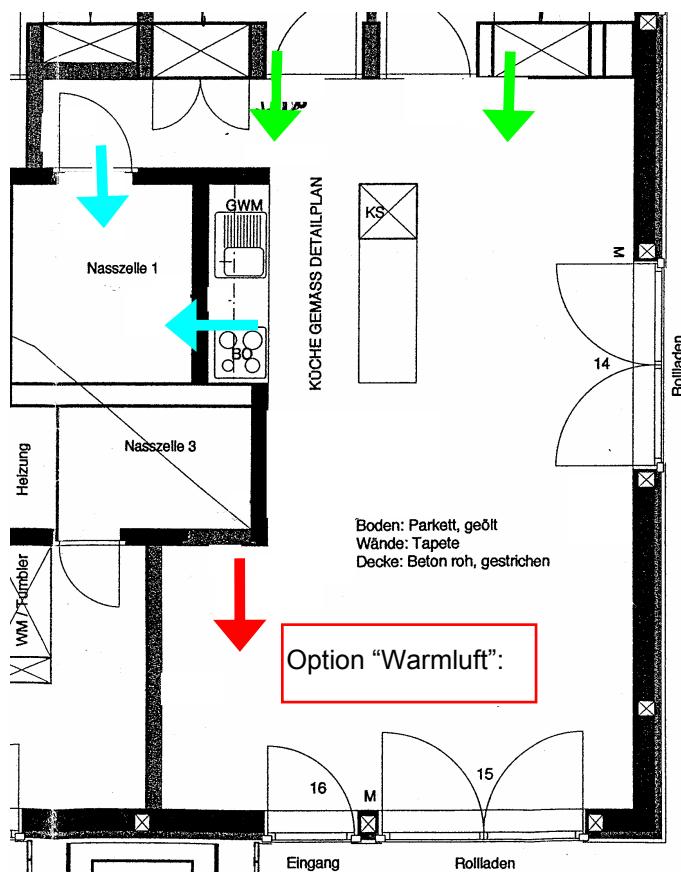


Abbildung 8-2 Grundriss der Wohnung (Firma Schälin Air Flow Consulting)

8.2.2 Berechnete Raumtemperaturen

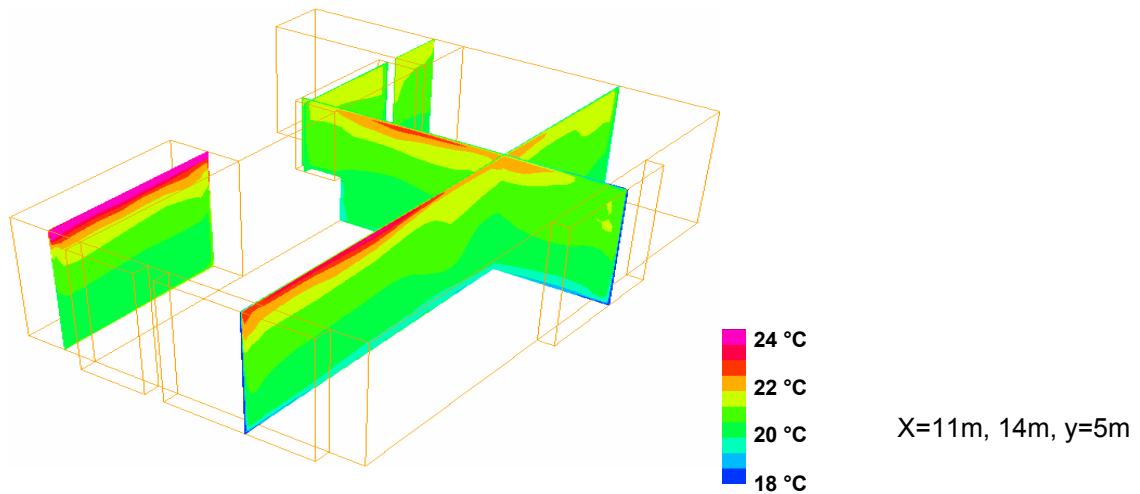


Abbildung 8-3 Raumtemperaturberechnung quer durch den Raum verlaufend (Firma Schälin Air Flow Consulting)

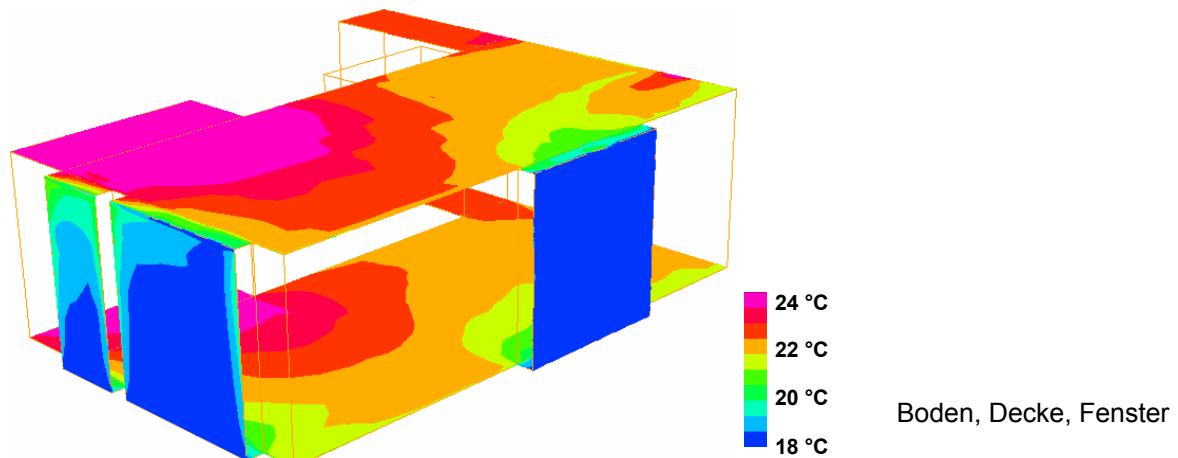


Abbildung 8-4 Raumtemperaturberechnung für Boden, Decke und Fenster (Firma Schälin Air Flow Consulting)

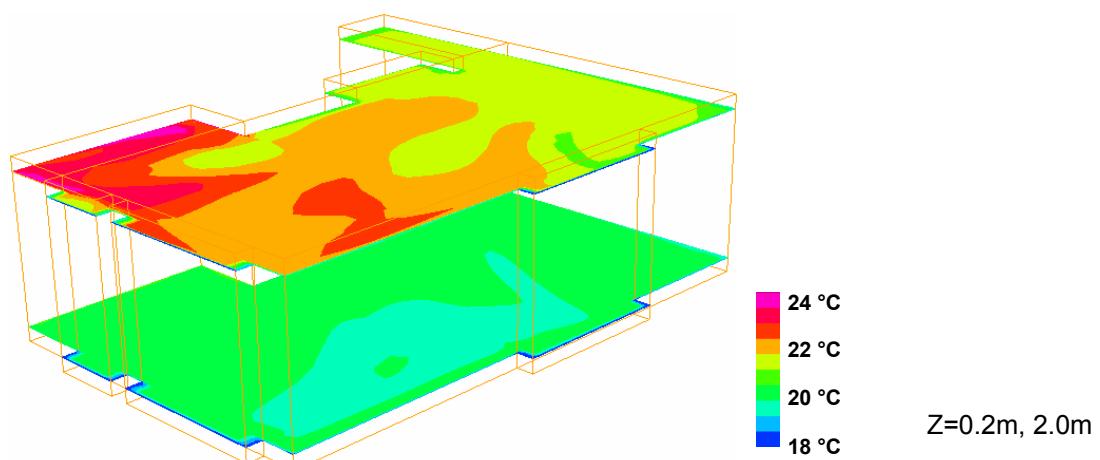


Abbildung 8-5 Raumtemperaturberechnung 2m über dem Boden und 2m unter der Decke (Firma Schälin Air Flow Consulting)

8.2.3 Berechnete Luftströmungen

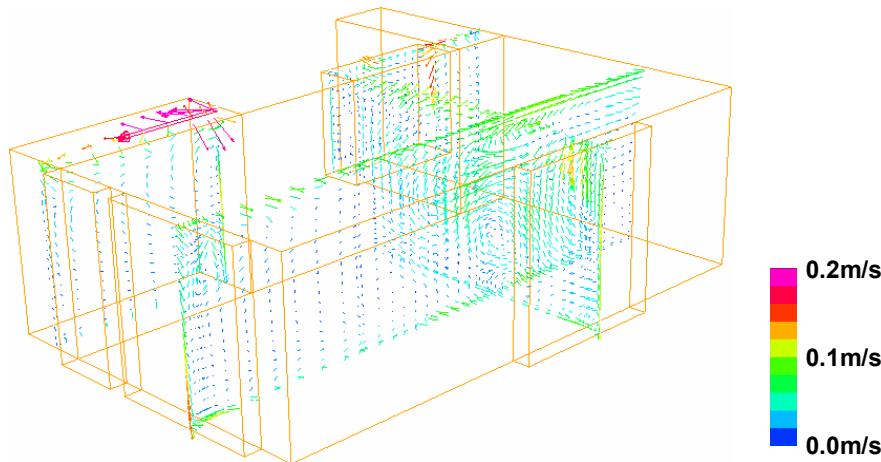


Abbildung 8-6 Luftströmungsberechnung (Firma Schälin Air Flow Consulting)

Die Untersuchung kommt klar zum Schluss, dass die Behaglichkeit im Aufenthaltsbereich problemlos gegeben ist, vorausgesetzt die Wärmedämmwerte werden wie geplant ausgeführt und die hohe Luftdichtigkeit des Gebäudes wird gemäss Standard für Niedrigenergiehäuser ausgeführt.



Bild 8-1 Dieses Bild zeigt die Rauchmaschine und den Ansaug, in den sie gelassen wird.

Es wurde festgestellt, dass die Fenster nicht sauber verklebt wurden. Sie waren im Anschluss- und Rahmenbereich undicht. Diverse Fenster mussten neu gerichtet und verklebt werden. Nach diesen Arbeiten wurde ein zweiter Rauchversuch durchgeführt. Dieser Versuch zeigte weitgehend die von Dr. Schälin berechneten Luftströmungen auf. Seit der Neuverklebung der Fenster kamen keine Beschwerden mehr und das Raumklima in den Wohnungen ist behaglich. Einzig die Erdgeschosswohnung ist noch kritisch, da der ungeheizte Fußboden das Wohnklima negativ beeinflusst.

Nachdem die Bewohner jedoch eingezogen waren, kamen die ersten Beschwerden, dass sie wohl einen warmen Kopf, aber kalte Füsse hätten. Daraufhin wurde ein Rauchversuch durchgeführt. Es wurde eine Rauchmaschine in den Ansaug hineingelassen. Der Rauch verteilte sich über die Warmluftdurchlässe in der Wohnung und zeigte so die Luftströmungen auf.



Bild 8-2 Deutlich zu erkennen ist, wie der Rauch aus den Warmluftdurchlässen strömt und sich entlang der Decke verteilt.

Nach der Beendigung der Bauarbeiten und nach dem Bezug der Wohnungen wurde das Raumklima in der Wohnung N1 der Familie von Bühren gemessen. Die Messungen wurden an der Aussenwand an einer ausgesuchten Stelle durchgeführt. Wie Abbildung 8-7 zeigt sind die Temperaturwerte unproblematisch. Sie schwanken zwischen 28°C und 19°C. Auch die Feuchtigkeit ist nicht problematisch, sie liegt zwischen 30 und 60%.

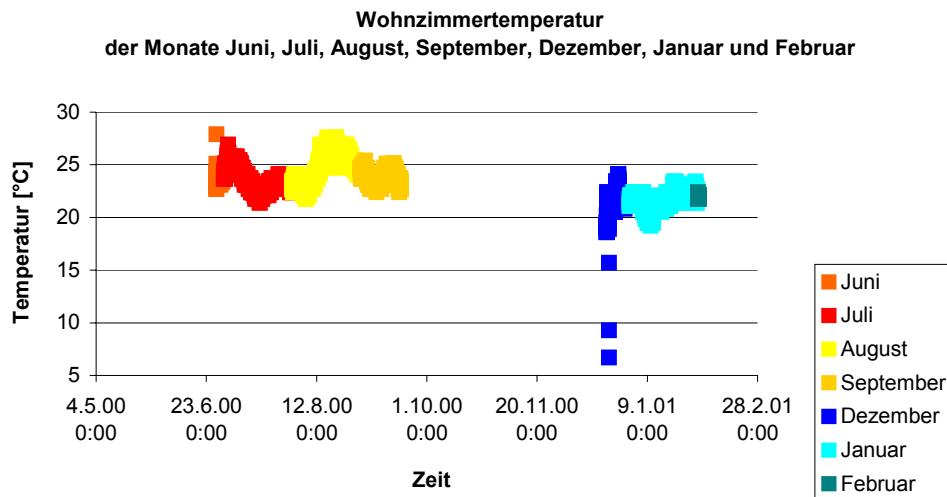


Abbildung 8-7 Wohnungs-Temperaturmessung im Sommer 2000 an der Aussenwand der Wohnung der Fam. von Bühren

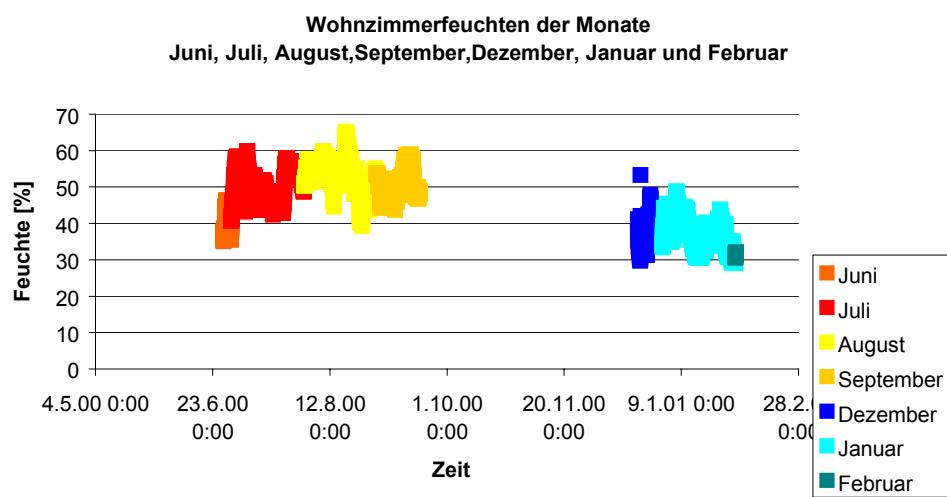


Abbildung 8-8 Wohnungs-Temperaturmessung im Winter 2000 an der Aussenwand der Wohnung der Fam. von Bühren

Die Nachkontrolle bei Dr. A. Schälin und der Herstellerangaben zeigen, dass der Grenzwert der Luftgeschwindigkeit von 0.15m/s im Raum mit 0.6m/s unterschritten ist.

9 ANHANG

9.1 ANHANG A: Gebäude Daten

| | |
|--|--------------|
| Anzahl Gebäude | 13 |
| Anzahl Wohnungen | 61 |
| Anzahl 4-geschossige Bauten | 4 |
| Anzahl 5-geschossige Bauten | 9 |
| Volumen (SIA 116) | 50'500m3 |
| Bruttogeschossfläche | 12'900m2 |
| Oberfläche / Volumen | 0.44m2/m3 |
| Kosten für BKP2 (inkl. Honorare): | |
| Bruttogeschossfläche | 1'813Fr./m2 |
| Volumen (SIA 116) | 463Fr./m3 |
| Gebäude 5-geschossig: | |
| Beheiztes Volumen netto | 2274m3 |
| Fensterfläche zu EBF | 0.33 |
| Oberfläche zu EBF | 1.12 |
| Oberfläche zu Volumen | 0.44m2/m3 |
| Normalgeschoss (EBF) | 216.6m2 |
| Attikageschoss (EBF) | 183.6m2 |
| Materialverbrauch für 61 Wohnungen: | |
| Glas | 4'400m2 |
| Beton | 4'380m3 |
| Kartonwabe | 4'100m2 |
| Zellulose | 900m3 |
| Konstruktionsholz tragend | 108m3 |
| Konstruktionsholz nicht tragend | 40m3 |
| Stahlkonstruktion | 350to |
| Gipskartonplatte Fassade | 14'400m2 |
| Gipskartonplatte Innenwand | 5'300m2 |
| Isolationsplatte Dach/Boden | 1'080m3 |
| U-Werte: | |
| Opake Aussenwand | |
| - im ungestörten Bereich | 0.15W/m2K |
| - im Bereich der TJI- Träger | 0.22W/m2K |
| - im Bereich der Stützen | 0.29w/m2K |
| - Gesamtkonstruktionen | 0.17W/m2K |
| Deckenstirnen (Sturz) | 0.32W/m2K |
| Fenster | 0.8-0.9W/m2K |
| Boden und Decke | 0.16W/m2K |

9.2 ANHANG B: Liste der Messpunkte

| | | Messungen/Messstellen | | | | | |
|----------------------------|---|-----------------------|------------|-----------|------------------------|------|--|
| Beschreibung | Anz. | Ort | Periode | Messdauer | Bemerkungen | Dim | |
| Erdregister | | | | | | | |
| Temperaturen | 2 | T0,T1 | 30 Min | 52 Wo | mit Logger | °C | |
| Feuchte | 2 | F0,F1 | 30 Min | 52 Wo | mit Logger | %rF | |
| Ziel: | Auskondensation und Validierung Berechnung | | | | | | |
| Genvex | | | | | | | |
| Temperaturen | 5 | T2,T3,T4,T5,T6 | 1Min/30Min | 52 Wo | mit Logger | °C | |
| Feuchte | 1 | F3 | 30 Min | 52 Wo | mit Logger | %rF | |
| Betriebsstunden Ventilator | 2 | B/I2,B/I3 | | 52 Wo | Hand-Ablesung | h | |
| Betriebsstunden WP | 1 | B/I1 | | 52 Wo | Hand-Ablesung | h | |
| Energie Genvex | 1 | E1 | | 52 Wo | Hand-Ablesung | kWh | |
| Energie WW, Wärmezähler | 1 | W1 | | 52 Wo | Hand-Ablesung | kWh | |
| Ziel: | Energiebilanz der Heizung und des Warmwassers erfassen. | | | | | | |
| | Messungen der Abluftwärmepumpe: JAZ, WP, WW, ETV und Optimierung Anlage | | | | | | |
| Umluft | | | | | | | |
| Temperatur | 1 | T11 | 1Min/30Min | 52 Wo | mit Logger | °C | |
| Betriebsstunden Ventilator | 1 | B/I5 | | 52 Wo | Hand-Ablesung | h | |
| Ziel: | Energiebedarf Umluft (in Relation mit Temperaturverteilung in den Räumen) | | | | | | |
| Heizstab Luft | | | | | | | |
| Energie Elektro | 3 | E2,E3,E4 | | 52 Wo | Hand-Ablesung | kWh | |
| Ziele: | Zusatzwärmeverbrauch bestimmen | | | | | | |
| Heizstab Warmwasser | | | | | | | |
| Betriebsstunden Warmwasser | 1 | B/I4 | | 52 Wo | Hand-Ablesung | h | |
| Ziel: | Zusatzwärmeverbrauch bestimmen | | | | | | |
| Wohnbereich | | | | | | | |
| Temperaturen Nord/Süd | 2 | T9,T10 | 1Min/30Min | 10 Wo | mit Logger | °C | |
| Ziel: | Temperaturausgleich Nord/Süd und Luftqualität prüfen. | | | | | | |
| Aussenwandelemente | | | | | | | |
| Temperaturen | 4 | | 1Min/30Min | 10 Wo | mit Logger | °C | |
| Feuchte | 4 | | 1Min/30Min | 10 Wo | mit Logger | %rF | |
| Ziel: | 3 verschiedene Wandelemente mit unterschiedlicher Masse ausmessen. | | | | | | |
| Einzelmessungen | | | | | | | |
| Volumenstrommessung | | V0,V1,V2 | | | (drei Leistungsstufen) | m3/s | |
| el. Leistung | | P1,P2,P3,P4,P5 | | | | kW | |

9.3 ANHANG C: Planung Erdregister

Nachfolgend ist die Auslegung und Planung der Erdregister beschrieben. In der ersten Bauetappe wurde die Verlegung der Erdregisterrohre nicht genügend sorgfältig ausgeführt, dass die meisten Rohre undicht waren und saniert werden mussten (cf. Kapitel 5.3). Undichte Rohre zwangen die Bauherrschaft ausserdem zur Erstellung von Wasserabläufen in den Ansaugschächten.

9.3.1 Nutzen des Erdregisters

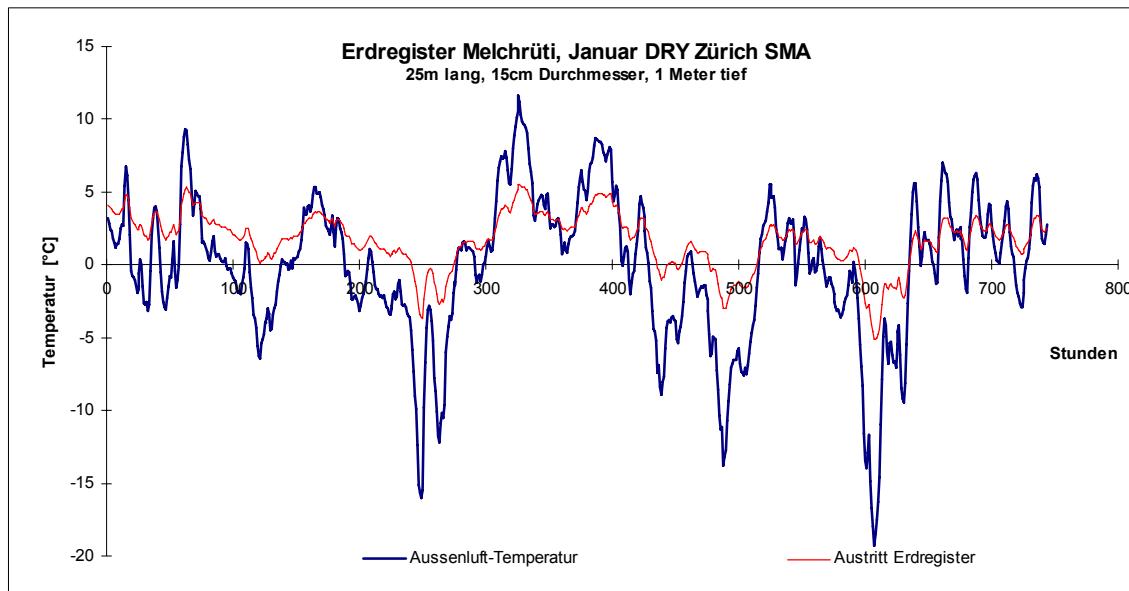
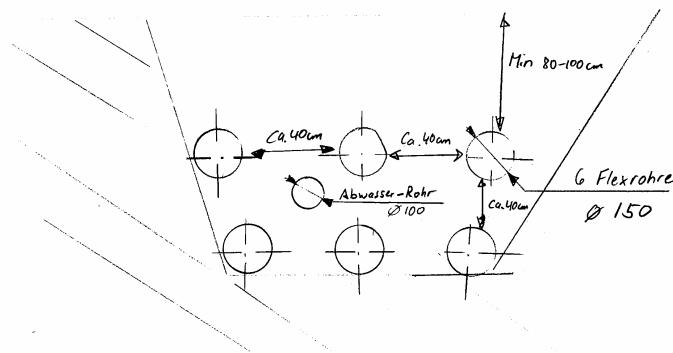


Abbildung 9-1 Berechnung mit WKM-Programm zur Auslegung von Erdregistern. (Huber Energietechnik)

9.3.2 Einbettung der Registerrohre

Jede Wohnung erhält seine eigene Luftzufuhr, die 25m durch das Erdreich geführt wird. Als Rohre sollen Flexrohre, Durchmesser 150mm genommen werden. Diese müssen aus Dichtheitsgründen **aus einem Stück sein**. Die Rohre haben 1 - 3 % Gefälle gegen die Ansaugung hin. Es werden pro Haus 6 Rohre verlegt (ein Blindrohr, Redundanz), die in einer Tiefe von mindestens 80 - 100cm verlegt sein müssen. Die Rohre können 2-schichtig, mit ca. 40cm Zwischenraum, verlegt werden (3 Rohre pro Schicht). Nach der Durchführung durch die Bodenplatte werden die Flexrohre in gedämmte, vertikale Spirorohre mit Durchmesser 160mm und Feuerwiderstand F60 überführt.



9.4 ANHANG D: Thermischer Wirkungsgrad der WRG

Berechnung des Zuluft-Temperatur-Wirkungsgrads der Wärmerückgewinnung (WRG)

Es wurden die Messresultate vom 7.2.2001 bis am 7.2.2001 ausgewertet. In dieser Zeitspanne ist das Kombigerät auf der Ventilatorstufe II gelaufen. Der Ventilator selbst produziert Abwärme. Diese Abwärme wurde mittels Leistung und Durchsatz des Ventilators berechnet und die Temperaturen, die zur Berechnung der WRG benötigt wurden, entsprechend korrigiert. (Bezeichnungen vergl. 5.2 Messung)

Ventilator Stufe II: 77W
 185m3/h
 1.25K

$$\eta = (T3 - T2_{+Venti}) / (T4_{+Venti} - T2_{+Venti})$$

| | T4+Venti | T2+Venti | T3-Leckasche | η |
|-------------|----------|----------|--------------|--------|
| 7.2.01 1:59 | 24.90°C | 12.40°C | 21.0°C | 69% |
| 7.2.01 2:14 | 25.20°C | 12.40°C | 21.0°C | 67% |
| 7.2.01 2:29 | 24.90°C | 12.40°C | 21.0°C | 69% |
| 7.2.01 2:44 | 24.90°C | 12.40°C | 21.5°C | 72% |
| 7.2.01 2:59 | 25.20°C | 12.40°C | 21.4°C | 71% |
| 7.2.01 3:14 | 25.20°C | 12.40°C | 21.0°C | 67% |
| 7.2.01 3:29 | 24.90°C | 12.40°C | 21.5°C | 72% |
| 7.2.01 3:44 | 25.20°C | 12.40°C | 21.4°C | 71% |
| 7.2.01 3:59 | 24.90°C | 12.40°C | 21.5°C | 72% |
| 7.2.01 4:14 | 24.90°C | 12.40°C | 20.7°C | 66% |
| 7.2.01 4:29 | 24.90°C | 12.40°C | 20.7°C | 66% |
| 7.2.01 4:44 | 25.20°C | 12.40°C | 21.4°C | 71% |
| 7.2.01 4:59 | 25.20°C | 12.40°C | 21.0°C | 67% |
| 7.2.01 5:14 | 24.90°C | 12.00°C | 21.0°C | 70% |
| 7.2.01 5:29 | 25.20°C | 12.40°C | 21.4°C | 71% |
| 7.2.01 5:44 | 25.20°C | 12.40°C | 21.4°C | 71% |
| 7.2.01 5:59 | 25.20°C | 12.00°C | 21.0°C | 68% |
| 7.2.01 6:14 | 24.90°C | 12.00°C | 21.5°C | 73% |
| 7.2.01 6:29 | 24.90°C | 12.40°C | 21.0°C | 69% |
| 7.2.01 6:44 | 24.90°C | 12.40°C | 21.0°C | 69% |
| 7.2.01 6:59 | 25.20°C | 12.40°C | 21.0°C | 67% |
| 7.2.01 7:14 | 24.60°C | 12.00°C | 21.0°C | 72% |
| 7.2.01 7:29 | 24.90°C | 12.00°C | 21.0°C | 70% |
| 7.2.01 7:44 | 24.90°C | 12.00°C | 21.5°C | 73% |
| 7.2.01 7:59 | 24.90°C | 12.00°C | 21.5°C | 73% |
| 7.2.01 8:14 | 24.90°C | 12.00°C | 21.5°C | 73% |
| 7.2.01 8:29 | 24.90°C | 12.40°C | 21.5°C | 72% |
| 7.2.01 8:44 | 24.60°C | 12.40°C | 21.8°C | 77% |
| 7.2.01 8:59 | 24.90°C | 12.40°C | 21.5°C | 72% |
| 7.2.01 9:14 | 24.90°C | 12.40°C | 21.5°C | 72% |

Gemittelte WRG: 70%

9.5 ANHANG E: Grundrisse von vier verschiedenen Wohnungen

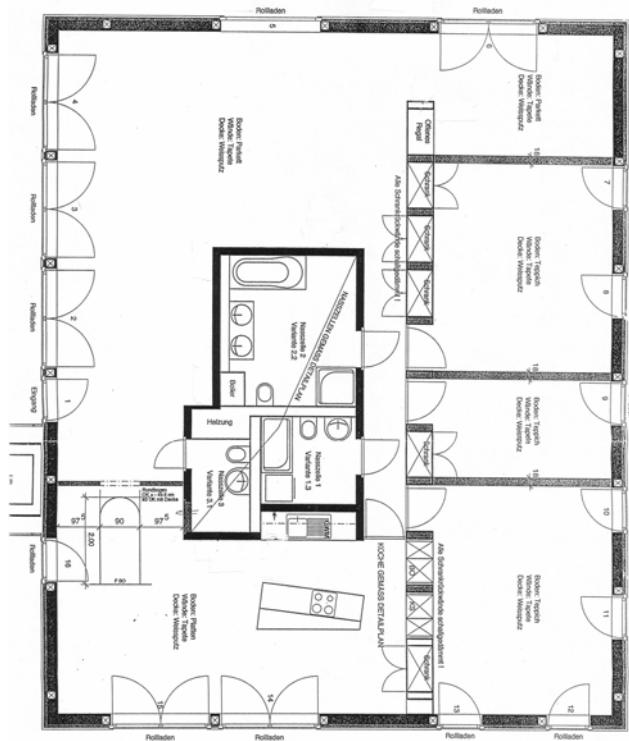


Abbildung 9-2 Erdgeschoss des Hauses G. Die Bewohner entschlossen sich die Küche sowie drei Zimmer abzutrennen.

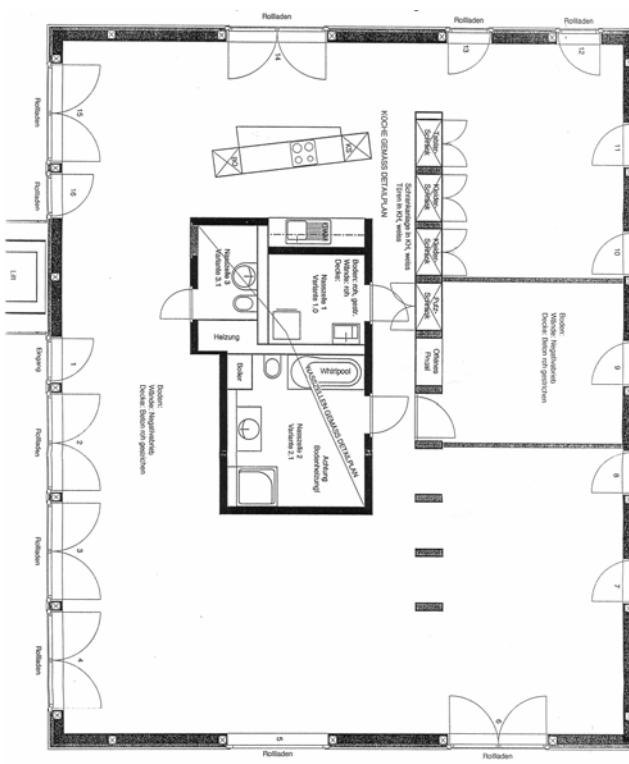


Abbildung 9-3 Zweites Geschoss des Hauses K. Die Bewohner entschlossen sich blass ein Zimmer abzutrennen.

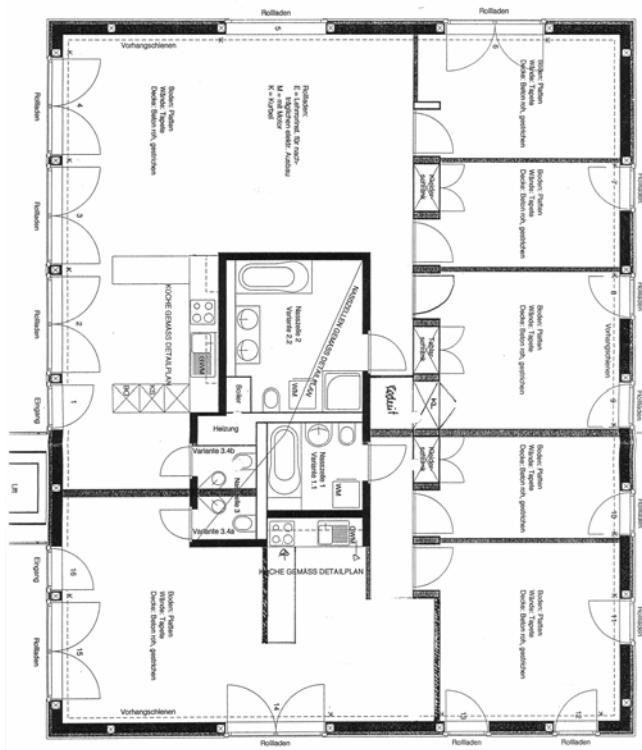


Abbildung 9-4 Drittes Geschoss des Hauses G. Die Bewohner entschlossen sich für zwei eigenständige Wohnungen mit zwei bzw. drei Zimmern.

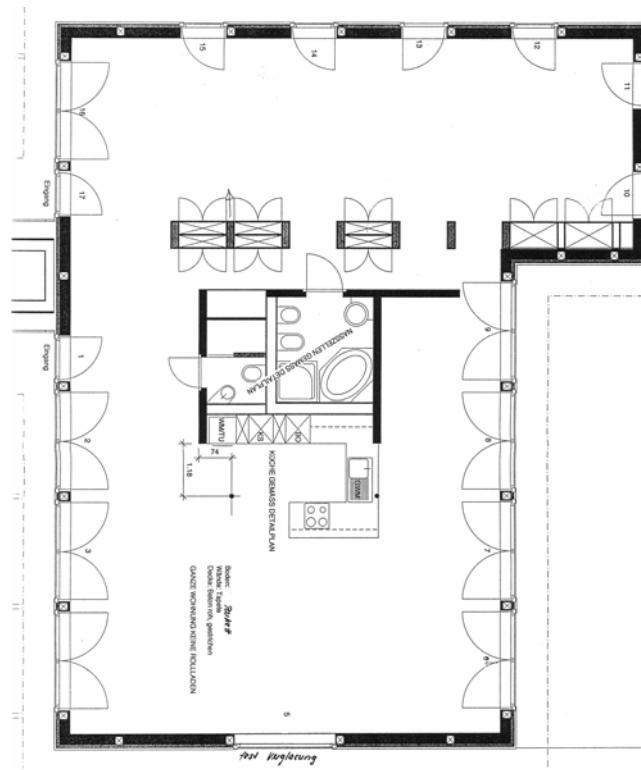


Abbildung 9-5 Attika Wohnung des Hauses K. Die Bewohner entschlossen sich, keine Abtrennung vorzunehmen.

10 Literaturverzeichnis

- [1] **Afjei, Th.; Bühring, A.; Dürig, M.; Huber, A.; Keller, P.; Shafai, E.; Widmer, P.; Zweifel, G.:** Kostengünstige Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser. Technisches Handbuch: Grundlagen, Planungsvorgehen und Praxisbeispiele. Forschungsprogramm, Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW), Bundesamt für Energie (BFE), Bern, CH, 2000
- [2] **Humm, O.:** Gebäudetechnik, Ausgabe 3/2000, Seite 52, Bungalows in Stapelbauweise
- [3] **Zulliger, J.:** Hoch Parterre, Ausgabe 10/2000, Seite 10, Der Zeitgemässen Agglotyp, Erfinden, Bauen, Kaufen
- [4] **Huber, A.:** WKM, PC-Rechenprogramm für Luft-Erdregister, Benutzerhandbuch, Februar 2000
- [5] **Westermann, W.:** Beobachter, Ausgabe 9/2001, Seite 32, Siedlung, Tücken der Technik rauben Miatern den Schlaf
- [6] **Palfi, M.:** Die neue quadriga, Fachmagazin für den Holzbau, Ausgabe 5/2000, Wohnanlage BLANCE Wallisellen / Zürich
- [7] **Ganz, R.; Heinss, U.:** Raumluftmessung im Wohnpark Balance in Wallisellen, Bau- und Umweltchemie, Reto Coutalides, Zürich, CH, 2002
- [8] **Feist, W.; Baffia, E.; Schnieders, J.; Pfluger, R.; Kah, O.:** Passivhaus Projektierungspaket 2002, PHPP 2002, www.passivhaus-institut.de
- [9] **Naef, R.:** Umluftbeimischung bei Luftheizungen. Zeitschrift Gebäudetechnik 6 / 02, 2002
- [10] **MINERGIE Agentur Bau:** Minergie, Standard-Lüftungssysteme, Juli 2002, www.minergie.ch
- [11] **Brunner, C. U. et. al.:** SIA Merkblatt 2021: Gebäude mit hohem Glasanteil – Behaglichkeit und Energieeffizienz, Zürich 2002

11 Adressverzeichnis

Bauherr, Generalunternehmer

Streich AG

Herr A. Streich
Zürichstrasse 21b
CH-8306 Brüttisellen

Bauherr, Planung und Installation HLS

Ganz Installationen AG

Herr Stefan Ganz
Claridenweg 18
CH-8604 Volketswil

Architekten

Sabina Hubacher, Christoph Haerle

Zollikerstr. 208
CH-8008 Zürich

Ausführungsplanung und Architektur

Atelier am unteren Rain

Architektur u. Gestaltung
Diener Hans u. Müller Franz A.
Unterer Rain 3
CH-8117 Fällanden

Konzept der Haustechnik

naef energietechnik

Herr R. Naef
Jupiterstrasse 26
CH-8032 Zürich

Konzept der Haustechnik

Huber Energietechnik

Ingenieur- und Planungsbüro SIA
Herr A. Huber
Jupiterstrasse 26
CH-8032 Zürich

Bauphysik

Wichser Akustik & Bauphysik AG

Schaffauserstr. 550
Postfach
CH-8052 Zürich

Raumtemperatur und Strömungsberechnung

AFC Air Flow Consulting

Dr. A. Schälin
Langmaurstrasse 109
CH-8006 Zürich

Thermographieaufnahmen und Blowerdoor-Test

I&T Bauphysik

Frau I. Tzinoglou Wolf
Wannengut 13
CH-4812 Mühlethal

Luftqualitäts-Messungen

Bau- und Umweltchemie

Reto Coudalides
Leutholdstrasse 12
CH-8037 Zürich

Lieferant Lüftungs-Kombigerät

SM-Heag Klimatechnik AG

Rikonerstr. 28
CH-8307 Effretikon

Lieferant der Kartonwaben

ESA Energie Systeme Aschauer GmbH

Schererstrasse 18
A-4020 Linz

Lieferant der Fenster

Dörig Fenster

Fenster, Türen Läden
Max Högger-Str. 2
CH-8048 Zürich