Schlussbericht P+D, Projektnummer 80005, September 2003

Wohnen in Sunny Woods

Zürich Höngg



ausgearbeitet durch:
René Naef, Petra Widmer
naef energietechnik
Jupiterstrasse 26, 8032 Zürich

Inhaltsverzeichnis

1 ZUSAMMENFASSUNG 2

2 EINLEITUNG 4

2.1 ARCHITEKTONISCHES KONZEPT 5

3 KONSTRUKTION DER GEBÄUDEHÜLLE 7

3.1 MINIMIERUNG DER WÄRMEVERLUSTE 7
3.2 FASSADEN 7
3.3 DACH 8
3.4 KELLERDECKE 8
3.5 SCHALLSCHUTZ 8
3.6 BRANDSCHUTZ 9

4 HAUSTECHNIK 10

4.1 HAUSTECHNIK-KONZEPT 10
4.2 MESSKONZEPT 12
4.3 ERDREGISTER MIT BYPASS 13
4.4 SOLARANLAGE 18
4.5 FOTOVOLTAIKANLAGE 20
4.6 L/W-WÄRMEPUMPE 22
4.7 LÜFTUNGSGERÄT / LUFTHEIZUNG 25
4.7.1 Luftführung 25
4.8 ENERGIEBILANZ 28
4.9 SPEICHERFÄHIGKEIT BODEN 34

5 PROBLEMATIKEN 37

5.1 ENERGIEVERLUSTE DER GEBÄUDEHÜLLE 37
5.2 EINGANGSTÜREN MIT VAKUUMISOLATION 41
5.3 REGELUNG SONNENSTOREN 41

6 BEHAGLICHKEIT 42

6.1 RAUMTEMPERATUREN 43

7 ANHANG 44

ANHANG A: GEBÄUDEDATEN UND TECHNISCHE ANGABEN 44
ANHANG B: PROTOKOLLE DER LÜFTUNGSINBETRIEBNAHMEN 45

8 PUBLIKATIONEN 46

1 Zusammenfassung

Das Gebäude "Sunny Woods" mit sechs Maisonette-Wohnungen, an einem Südhang an der Stadtgrenze von Zürich gelegen, wurde im Jahr 2000 / 2001 gebaut und seit Juli 2002 im Rahmen des P+D-Projekts Nr. 80005 in grossem Umfang ausgemessen.

Der viergeschossige Holzbau zeichnet sich durch folgende spezielle Merkmale aus:

- Hohe Wärmedämmung der Fassade, des Dachs und der Fenster. Konsequente Abtrennung der beheizten von den unbeheizten Räumen. Wärmebrücken wurden soweit möglich vermieden.

- Pultdach mit Blechabdeckung und integrierten amorphen Trippelzellen (504 Module mit je 32 Wp Leistung). Die gesamte Dachfläche ist vollständig mit Solarpaneelen belegt. Das Dach ist frei von jeglicher Durchdringung und wird nicht beschattet.

- Ein Lüftungsgerät pro Wohnung mit Plattenwärmetauscher und je ein Erdregister mit Bypass. Luftheizung mit zusätzlicher Umluft. Sonnenkollektoranlage (Vakuum-Röhrenkollektoren) und Luft/Wasser-Wärmepumpe für Warmwasseraufbereitung und Luftheizung.

- Die Luftverteilung erfolgt über Boden- und Deckenauslässe kommend aus dem der Wohnung angegliederten Technikraum. Die Zuluft-Lineargitter am Boden und die Zuluft-Schlitzauslässe in der Decke sind in Fensternähe montiert.

Das Projektziel beinhaltet die Beurteilung der Effizienz des gewählten Energiekonzepts.

Die Erdregister erwärmen die Luft bei Aussentemperaturen maximal von -11 °C auf +3.5 °C. Im Sommer wird die Luft durch die Erdregister von 35 °C Aussentemperatur auf 18 °C abgekühlt. In der Übergangszeit, bei Aussentemperaturen zwischen 7 und 18 °C wird die Luft über den Bypass angesogen. Die Erdregister erfüllen die Erwartungen.

Bei den Solaranlagen wurden grosse Ertragsdifferenzen bei den einzelnen Wohnungen festgestellt, die nicht vollständig erklärt werden können. Insgesamt gesehen erbringen die sechs Anlagen den erwarteten Jahresertrag jedoch.

Die Fotovoltaikanlagen erzeugen in jeder Wohnung gleich viel Strom. Der Jahresertrag liegt 15 % unter dem erwarteten Betrag: Einerseits mussten Ertragseinbussen im Monat Februar wegen einer Schneedecke auf den Zellen in Kauf genommen werden, andererseits kann nicht in jedem Sommer mit einem derart hohen Ertrag gerechnet werden wie im Jahr 2003. Somit dürfte es sich um normale Ertragsschwankungen handeln.

Die L/W-Wärmepumpe wird erst zur Wärmeerzeugung von Heizung und Warmwasser zugeschaltet, wenn die Wärme der Sonnenkollektoren nicht mehr ausreicht. Somit ist die WP häufiger bei sehr kalten Aussentemperaturen in Betrieb und weniger in der Übergangszeit im Vergleich zu einer reinen WP-Heizung ohne solare Komponenten. Dies trägt wesentlich zur schlechten JAZ von 2.4 der WP bei. In der Auslegung wurde für die JAZ ein Wert von 2.3 angenommen.

In der Auslegung wurde berechnet, dass der Ertrag der Fotovoltaikanlage ausreicht, um die Wärmepumpe zu betreiben. Dieses Ziel wurde im letzten Jahr verfehlt. Eine Wohnung brauchte nur knapp mehr Strom für die Wärmepumpe als von den Zellen geliefert wurde. Diese Differenz entsteht aus den erhöhten Raumtemperaturen von 22 – 24 °C, im verminderten passiven Sonnengewinn durch die Sonnenstoren (g-Wert reduziert von 0.6 auf 0.2) und in den erhöhten Lüftungsverlusten durch die undichten Fensterrahmen der Hebe-Schiebefenster.

Für die Lüftungsgeräte konnte ein Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung von 82 % errechnet werden, Herstellerangaben liegen bei 85 – 90 %. Die Abweichung liegt somit im Rahmen.

Im Winter 2001 / 2002 wurden in einer leerstehenden Wohnung die Temperaturen im schwarzen Schifersteinboden aufgezeichnet. Die Wohnung wurde in dieser Zeit nicht aktiv beheizt und die Fühler grenzten an keine beheizten Bauteile / Räume der Nachbarwohnungen. Die Sonnenstoren waren die ganze Zeit über oben und liessen die Sonne ungehindert in den Raum scheinen. Es zeigte sich, dass die Bodentemperaturen auch bei länger anhaltenden Minus-Aussentemperaturen nie unter 19 °C fielen. Somit kann die Wohnung rein durch passiven Sonnengewinn beheizt werden, die Temperatur fällt nur an wenigen Tagen kurzfristig unter 20 °C. Die Regelung der Sonnenstoren erlaubt momentan kein weiteres Steuerkriterium durch die Raum- resp. Fussbodentemperatur. Somit kann in nächster Zeit der passive Sonnengewinn nur durch eine manuelle Steuerung der Storen in der Übergangszeit eingebracht werden.

Bezüglich Behaglichkeit dürften nach Simulationen keine Probleme auftreten. Gespräche mit den Bewohnern bestätigen dies.

Der Umgang mit vakuumisolierten Türen und Fensterrahmen birgt Probleme, einerseits bei der Montage (Anbringen der Schlüssellöcher, Bohrungen), andererseits haben sich die Türen etwas verzogen und müssten neu gerichtet werden.

Das Gebäude wird wegen dem Gesamterscheinungsbild in der Presse und in Fachzeitschriften national und international häufig erwähnt. Die Veranstaltungen im Rahmen des P+D-Projektes wurden von Bau- und Energiefachleuten sehr gut besucht. "Sunny Woods" wurde im Jahr 2002 mit dem Schweizerischen Solarpreis und mit dem Europäischen Solarpreis ausgezeichnet.

2 Einleitung

Am Stadtrand von Zürich, im Rütihofquartier bei Höngg befindet sich das MINERGIE-zertifizierte Mehrfamilienhaus "Sunny Woods". Der Name ist Programm: Das viergeschossige Gebäude wurde vollständig aus Holz gebaut, das Grundstück liegt an einem nach Südwesten orientierten Hang und ist den ganzen Tag besonnt. Die Aussicht reicht über das Limmattal, bei klarem Wetter bis zu den Gipfeln der Berner und Glarner Alpen.

Die Erschliessung mit öffentlichen Verkehrsmitteln ist gut. Die Bushaltestelle liegt ca. 500 m vom Gebäude entfernt. Der Bus erreicht den Zürcher Hauptbahnhof in 20 Minuten und den Bahnhof Zürich-Altstetten in 10 Minuten.

Das Projekt mit sechs Eigentumswohnungen spricht Leute an, die von den Vorzügen eines Einfamilienhauses im Grünen träumen und doch lieber in der Stadt Zürich wohnen bleiben. Auf Abbildung 1 ist ein Situationsplan zu sehen.



Abbildung 1: Situationsplan des Projekts Sunny Woods in Höngg, Zürich.

Das Projekt Sunny Woods realisiert die folgenden Zielsetzungen:

- Jede Wohnung hat die Wohnqualität und Individualität eines grossen Einfamilienhauses.
- Der gesamte Energieverbrauch für Heizung, Lüftung und Warmwasser beträgt nicht mehr als 15 kWh/m^{2}a. Der Verbrauch liegt somit unter dem Passivhausstandard.
- Die benötigte Energie wird mit einer Netzverbund-Fotovoltaikanlage erzeugt. Sunny Woods ist somit ein Null-(Heiz)Energiehaus.
- Der beheizte Wohnteil wurde als reiner Holzbau erstellt. Die beheizten Räume sind konsequent von den nicht beheizten Räumen getrennt.
- Der architektonische Ausdruck ist modern und grosszügig.
- Ökologische und baubiologische Anliegen werden berücksichtigt.

Fünf der sechs Wohnungen wurden im November 2001, die letzte Wohnung wurde im Juli 2002 bezogen.

Das Mehrfamilienhaus Sunny Woods ist wegen dem gelungenen Erscheinungsbild und den diversen baulichen und haustechnischen Innovationen über die Landesgrenzen hinaus bekannt geworden und ist an diversen Informations-Veranstaltungen bei Architekten und Haustechnikplanern auf grosses Interesse gestossen.

Das Projekt Sunny Woods erhielt den Schweizer Solarpreis 2002 in der Kategorie E "Bestintegrierte Anlagen" am 11. Oktober 2002 in Genf sowie den Europäischen Solarpreis 2002, EUROSOLAR, Europäische Vereinigung für Erneuerbare Energien e.V., in der Kategorie e) "Solares Bauen" am 4. Dezember 2002 in Berlin.

Das Messprogramm des Energieverbrauchs wurde per 1. Juli 2002 gestartet. Der vorliegende Bericht bildet den heutigen Stand der Erfolgskontrolle. Er beinhaltet Messresultate, Erfahrungen und allfällige Verbesserungsvorschläge. Beim Bundesamt für Energie BFE wurde im Jahr 2001 zudem ein P+D-Projekt über die Evaluierung der Fotovoltaikanlage auf Sunny Woods bewilligt. Aus diesem Grund wird im vorliegenden Bericht die Fotovoltaikanlage auf Sunny Woods nur am Rand behandelt. Für weitergehende Details wird auf den entsprechenden P+D-Schlussbericht verwiesen.

2.1 Architektonisches Konzept

Das Gebäude besteht aus drei gleichen Teilen mit je zwei übereinander liegenden Maisonettewohnungen. Die verfügbaren Landressourcen wurden sehr haushälterisch genutzt: Die Ausnützungsziffer des Grundstücks (Bruttowohnfläche / Landfläche) beträgt ca. 0.9. Die unteren drei Wohnungen haben einen Garten, während die oberen drei Wohnungen je eine grosszügige Dachterrasse nach Süden sowie eine kleinere nach Norden besitzen. Die sechs 6½ -Zimmer-Wohnungen haben je eine Energiebezugsfläche von 230 m^2. Auf Abbildung 2 ist die Auftrennung der beiden Wohnungen im Schnitt zu sehen.

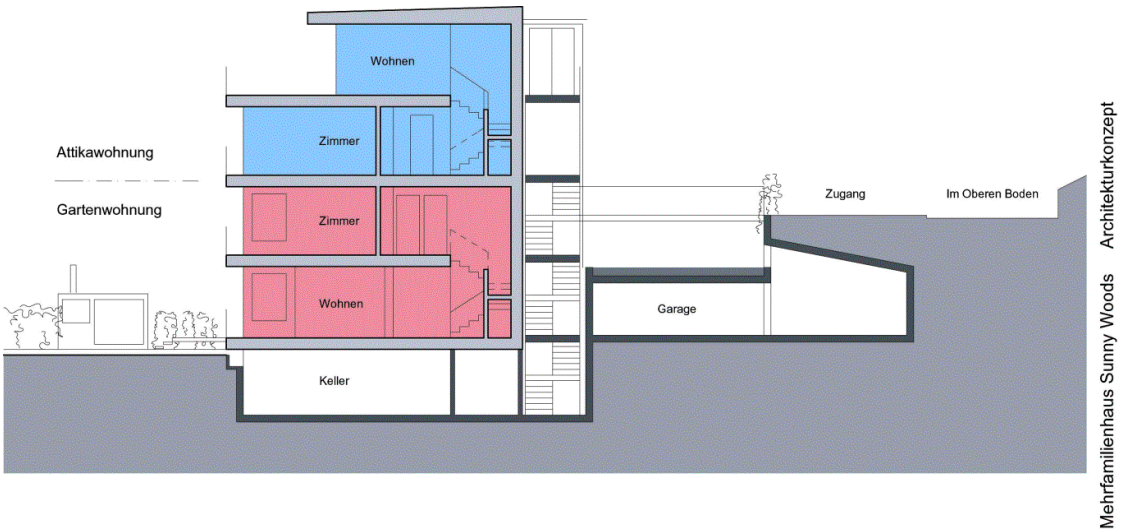


Abbildung 2: Schnitt durch die Garten- und Attikawohnungen.

Die wichtigsten Qualitätsmerkmale der Wohnungen sind:

- Jede Wohnung hat einen eigenen Charakter wie ein Einfamilienhaus. Durch die unterschiedliche Anordnung des Wohn- und des Zimmergeschosses entstehen ganz verschiedene räumliche Situationen. Der direkte Wohnungszugang von aussen gibt auch dem Eingang einen persönlichen Charakter. Aus feuerpolizeilichen Gründen erschliesst jede Treppe nur zwei Wohnungen.

- Die Schalldämmung zwischen den Einheiten erfüllt die nach SIA 181 erhöhten Anforderungen. Die trennenden Bauteile sind gerade und werden nicht von Leitungen durchschnitten.

- Alle Räume der Wohnungen sind gross und flexibel nutzbar, beispielsweise für Wohnen / Arbeiten. Eine grosszügige Treppe verbindet die Geschosse. Ein Rollstuhllift könnte im Treppenraum eingebaut werden. Die Gartenwohnungen können auch in je zwei halbautonome Wohnungen aufgeteilt werden (Stöckli-Prinzip).

- Jede Wohnung hat ihre eigene, autonome Energieversorgung.

Abbildung 3 zeigt den Grundriss einer Gartenwohnung mit Garten- und Erdgeschoss.

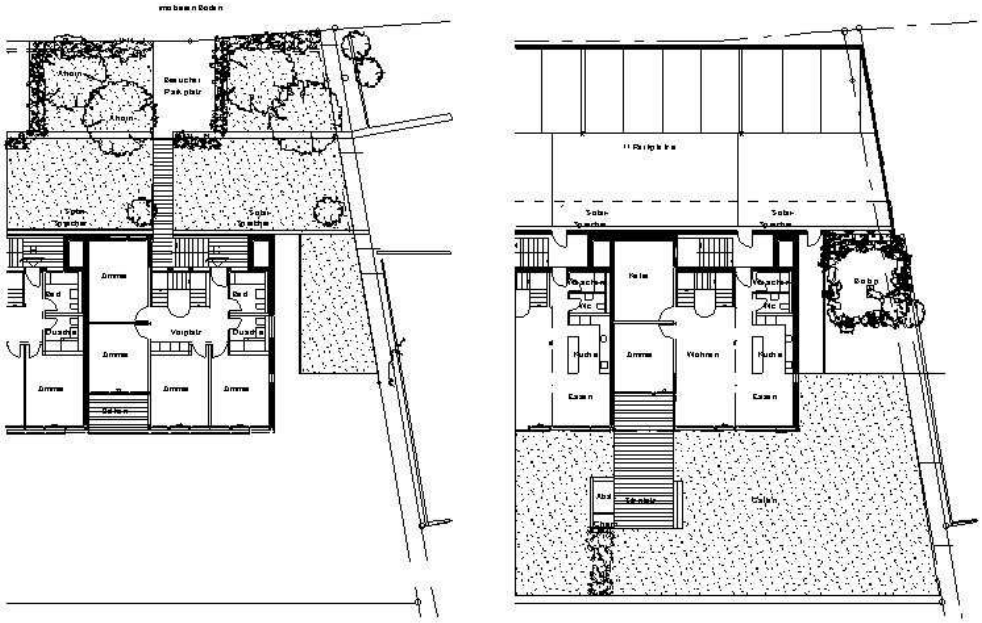


Abbildung 3: Grundriss Gartenwohnung mit Garten- und Erdgeschoss.

3 Konstruktion der Gebäudehülle

Der beheizte Wohnteil des Gebäudes ist als reiner, in der Zimmerei weitgehend vorfabrizierter Holzbau ausgeführt worden. Grundsätzlich wurde in Tafelbauweise geplant mit dem Ziel, mit grossformatigen Elementen von hohem Vorfertigungsgrad sowohl die Qualität wie auch die Montagezeiten zu optimieren. Tiefgarage, Kellerwände und das Treppenhaus für die äussere Erschliessung sind demgegenüber in Beton erstellt. Gemäss feuerpolizeilichen Vorgaben erhielten je eine Garten- und die darüberliegende Attikawohnung ein eigenes Treppenhaus in nicht brennbarer Massivbauweise.

Das Tragwerk bildet ein Schottensystem mit einem Achsmass von 375 cm. Einige Wände sind durch Unterzüge ersetzt, die teilweise in die Decken integriert oder sogar als Überzüge ausgebildet worden sind. Die Deckenelemente sind als Einfeldträger ausgeführt. Um der Konstruktion Steifigkeit zu geben, ist die maximale Durchbiegung der Decken auf 1/600 der Länge (SIA-Norm 1/300) dimensioniert.

Die tragende Struktur besteht aus Blockholzplatten. Diese sind 35 mm stark und auf der Innenseite der Aussenwand angeordnet. Dies ermöglicht praktisch wärmebrückenfreie Konstruktionen. Die Decken liegen ausschliesslich auf diesen 35 mm auf und reduzieren so in keiner Weise die Wärmedämmung der Aussenhülle. Entsprechend der grösseren Belastung haben die Innenwände beidseitig eine Blockholzplatte.

3.1 Minimierung der Wärmeverluste

Die Form des Hauses weist ein günstiges Verhältnis von Volumen zu Oberfläche auf. Der Faktor A/EBF aus der SIA 380/1-Berechnung liegt bei 1.28. Die vorhandenen Rück- und Vorsprünge sind weitgehend baurechtlicher Natur.

Die unbeheizten Räume sind klar von den beheizten getrennt. Das Kellergeschoss und die Garage wurden in Beton ausgeführt und halten somit die Feuchtigkeit von der Holzkonstruktion ab. Diese Gebäudeteile sind kalt. Im kalten Bereich wurden keine Heiz- oder Warmwasserleitungen geführt. Die Decken und Wände zu Keller und Garage sind möglichst gerade, wärmebrückenfrei und werden gleich gut wärmegedämmt wie die Bauteile zur Aussenluft.

Die Wärmedämmung der Aussenhülle wurde weit überdurchschnittlich ausgeführt und erreicht mit U-Werten von 0.10 bis 0.16 W/m^2K etwa dreimal bessere Werte als normal. Konstruktiv bedingte Wärmebrücken sind auf ein Minimum reduziert worden.

3.2 Fassaden

Die Fassaden sind den unterschiedlichen Himmelsrichtungen entsprechend unterschiedlich aufgebaut. Die Südfassade ist total verglast. Die Fenster sind dreifachverglast und weisen einen U-Wert von 0.6 W/m^2K für das Glas und 0.7 W/m^2K für den Rahmen auf. Anteile der Fensterrahmen wurden dabei zusätzlich mit einer Vakuum-Wärmedämmung ausgestattet. Der g-Wert der Fenster beträgt 0.6. Um im Sommer die Sonneneinstrahlung zu verringern, sind die Fenster mit 65 cm tiefen Balkonen beschattet. Zudem schirmen halbtransparente Stoffstoren die Sonneneinstrahlung in die Räume ab. Die tiefstehende Wintersonne scheint den ganzen Tag auf die Bodenfläche der Räume (siehe Abbildung 4).

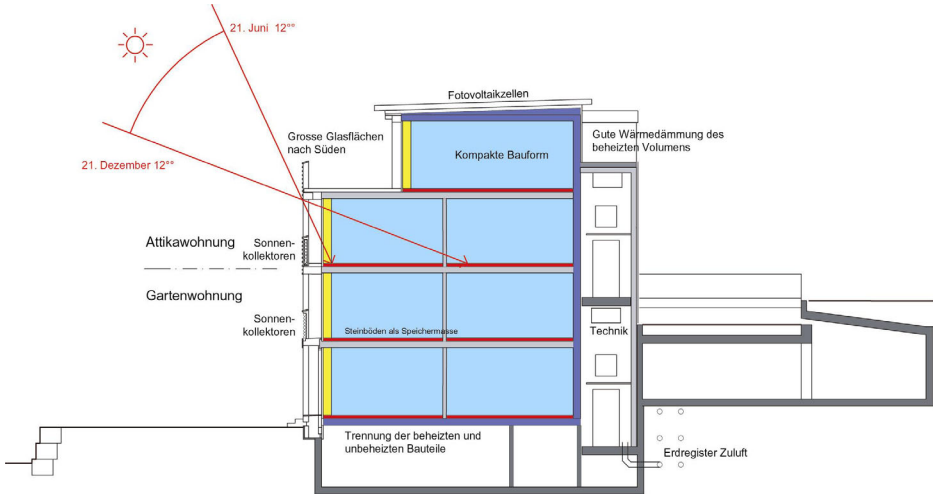


Abbildung 4: Sonneneinstrahlung in die Wohnungen im Sommer und Winter.

Die übrigen Fassaden weisen nur kleine Öffnungen auf, die gezielt die Belichtung der Bäder und Korridore sicherstellen. Der Grund für den Verzicht grosser Fensterflächen an der West- und Ostfassade liegt im minimalen Abstand zu zukünftigen Nachbarbauten. Nur im Dachgeschoss sind grosse Fenster mit Aussicht zum nördlich gelegenen Wald angeordnet. Der U-Wert dieser Fassaden hat einen Wert von 0.12 W/m^{2}K.

3.3 Dach

Das Dach besteht aus einem leicht nach Süden aufgerichteten Pultdach. Die Decken und Dachplatten wurden als Hohlkasten konstruiert und mit Zelluloseflocken ausgefüllt. Darüber bildet eine Mineralwollschicht eine homogene, wärmebrückenfreie Wärmedämmebene im Gefälle. Der Dachbelag wird als Aluminium-Blechdach ausgeführt. Das Euro-Dach "Eurorib" der Firmen Schneider und Flumroc ist massgeblich genau auf die PV-Normpaneele der Firma Unisolar abgestimmt. Der U-Wert des Dachs beträgt 0.10 W/m^{2}K und ist absolut wärmebrückenfrei konstruiert.

3.4 Kellerdecke

Die Kellerdecke wurde wärmebrückenfrei wärmegedämmt und erreicht einen U-Wert von 0.16 W/m^{2}K.

3.5 Schallschutz

Dem Schallschutz wurde sowohl konzeptionell wie in den Details besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Dies gilt für Immissionen von aussen, wie auch den Nachbarschaftslärm und den Tritt- und Raumschall innerhalb der Wohnungen. Das Projekt erfüllt in all diesen Bereichen die erhöhten Anforderungen nach SIA 181.

- Die wohnungstrennenden Wände und Decken haben geometrisch einfache Formen.
- Die Wohnungstrennwände bestehen wie bei einem Reihenhaus aus zwei unabhängigen Schalen.
- Die übereinanderliegenden Wohnungen grenzen mit den Schlafzimmern aneinander, die Wohnbereiche haben somit grössere Distanz.
- In der Geschossdecke zwischen den Wohnungen sind keinerlei Leitungen eingelegt.

- Vertikale Steigzonen innerhalb des bewohnten Raumes sind konsequent vermieden.

- Die wohnungsinternen Treppen sind als selbsttragende Module entworfen worden und wie Möbel ohne Befestigung ins Gebäude gestellt. Die Lagerung auf der Geschossdecke erfolgt nicht punktuell, sondern auf der ganzen Fläche mit einer schweren Zementholzwerkstoffplatte.

- Um eine genügende Masse der Decke zu erreichen, sind sämtliche Decken mit Zementunterlagsboden und Natursteinboden ausgeführt.

- Die wohnungstrennende Decke ist mit einer speziell beschwerten, abgehängten Decke aus Gipskarton versehen. Die am Bau gemessenen Schallschutzwerte von Wohnung zu Wohnung können mit denjenigen von Massivbauten standhalten.

Eine Luftschallmessung der Wohnungstrennwand, durchgeführt zu einem Zeitpunkt, an dem der Bau noch nicht fertig war (26. Juli 2001), ergab eine bewertete Standard-Schallpegeldifferenz (DnT,w) von 59 dB. Die Anforderungen nach SIA 181 liegen bei 52 dB für die Mindestanforderung und bei 57 dB für die erhöhten Anforderungen. Die Anforderungen gelten als erfüllt, wenn der Messwert den betreffenden Zahlenwert erreicht oder überschreitet. Somit wurden bereits im unvollendeten Bau – so fehlten zum Messzeitpunkt beispielsweise die Fenster, die Fugen waren noch offen, der Bodenaufbau war noch unvollständig – die erhöhten Anforderungen erhöht.

Weitere Messungen zum Luftschall der Wohnungstrenndecke sowie zum Trittschall wurden am 18. September 2001 im fertiggestellten Bau durchgeführt. Der DnT,w-Wert beim Luftschall erreichte 63 dB, somit wurden die erhöhten Anforderungen klar erfüllt. Beim Trittschall liegen die Mindestanforderungen bei 55 dB, die erhöhten Anforderungen bei 50 dB. Die Anforderungen gelten als erfüllt, wenn der bewertete Standard-Trittschallpegel (L'nT,w) den betreffenden Zahlenwert erreicht oder unterschreitet. Die Messung ergab einen L'nT,w-Wert von 41 dB, auch hier wurden die erhöhten Anforderungen klar erfüllt.

3.6 Brandschutz

Um einen maximalen Brandschutz zu gewährleisten, wurden bereits in der Konzeptphase Überlegungen zum Brandfall angestellt.

- Dank der Hanglage kann aus drei von vier Geschossen über einen einzigen halbgeschossigen Treppenlauf ins Freie geflüchtet werden. Das oberste Geschoss befindet sich nur 1 ½ Geschosse über dem Hauszugang.

- Jedes Treppenhaus erschliesst nur zwei Wohnungen und ist in Beton ausgeführt.

- Mit der Anordnung des Hauseingangs auf dem Treppenpodest zwischen den Wohnungen wurde erreicht, dass jede Wohnung eine Fluchtwegmöglichkeit für sich alleine hat. Aus der oberen Wohnung flüchtet man hinunter, aus der unteren hinauf.

- Die Umfassungsflächen jeder einzelnen Wohnung wurde raumseitig mit nicht brennbaren Materialien verkleidet.

4 Haustechnik

4.1 Haustechnik-Konzept

Jede Wohnung hat ihr eigenes Energieversorgungssystem. Die solare Energiegewinnung trägt den Hauptanteil zur benötigten Energieversorgung der Haustechnik bei: Die gesamte Südfassade ist verglast, in den Balkongeländern sind Vakuum-Röhrenkollektoren eingebaut, die fotothermisch Energie für Heizung und Warmwasser gewinnen. Die Wärme wird direkt in den Kombispeicher eingespiesen.

Das Dach ist flächendeckend mit Solarzellen belegt. Die Fotovoltaikanlage sollte die nötige Strommenge für Heizung und Warmwasser produzieren. Diese Anlage ist als Netzverbundanlage konzipiert.

Mit Hilfe einer Wärmepumpe wird die restlich benötigte Wärme für Heizung und Warmwasser bereitgestellt. Liefern die Sonnenkollektoren in der Übergangszeit genügend Wärme, bleibt die Wärmepumpe ausser Betrieb. Die Wärmeverteilung für die Raumwärme erfolgt über die Lüftungsanlage.

Über ein Erdregister (mit Bypass) wird die Aussenluft zum Lüftungsgerät im Technikraum der Wohnung geführt. Die benötigte Heizwärme wird vom Kombispeicher bereitgestellt und mit einem Lufterhitzer an die Zuluft abgegeben. Pro Wohnung sind zwei Raumthermostaten im Einsatz, einer für das obere und einer für das untere Geschoss der Wohnung. Wenn die Temperatur im Abluftkanal unter einen Schwellenwert von ca. 20 °C sinkt, wird der Umluftventilator in zwei Stufen freigegeben. Damit wird die Luftmenge, respektive die Wärmeabgabe der Lufterhitzer erhöht. Der Bypass des Plattenwärmetauschers im Lüftungsgerät und der Bypass des Erdregisters werden mit der internen Regelung des Lüftungsgerätes gesteuert.

Der zweigeschossige Technikraum befindet sich direkt neben den Nassräumen. Durch diese Anordnung entstanden kurze Versorgungsleitungen, somit werden die Verteilverluste gering gehalten. Dort sind Energiespeicher (Solar-Kombispeicher mit je zweistufiger Ladung von Kollektoren und Wärmepumpe), Wärmepumpe mit Lufterhitzer und Lüftungsgerät übereinander untergebracht. Wechselrichter und Feldverteiler der PV-Anlage befinden sich ebenfalls im Technikraum.

Die gewählte Lage des Technikraums und die wohnungsweise dezentrale Energieversorgung hat die folgenden Vorteile:

- Die eigene Energiezentrale fördert das Verständnis und die Eigenverantwortlichkeit der Bewohner. Konflikte zwischen den Stockwerkeigentümern werden vermieden und ein haushälterischer Energieverbrauch werden direkt belohnt.
- Der Technikraum braucht sehr wenig Platz und liegt im wärmegedämmten Bereich.
- Die äusserst kurzen Leitungen zu den Verbrauchstellen bewirken sehr kleine Leitungsverluste und kurze Ausstosszeiten.
- Die Anordnung des Technikraums am Rand des bewohnten Grundrisses schliesst Störungen durch Ventilator- und Pumpengeräusche sowie Vibrationen aus.

Abbildung 5 zeigt das Prinzipschema der Lüftungs-, Heizungs- und Kollektoranlage einer Wohnung.

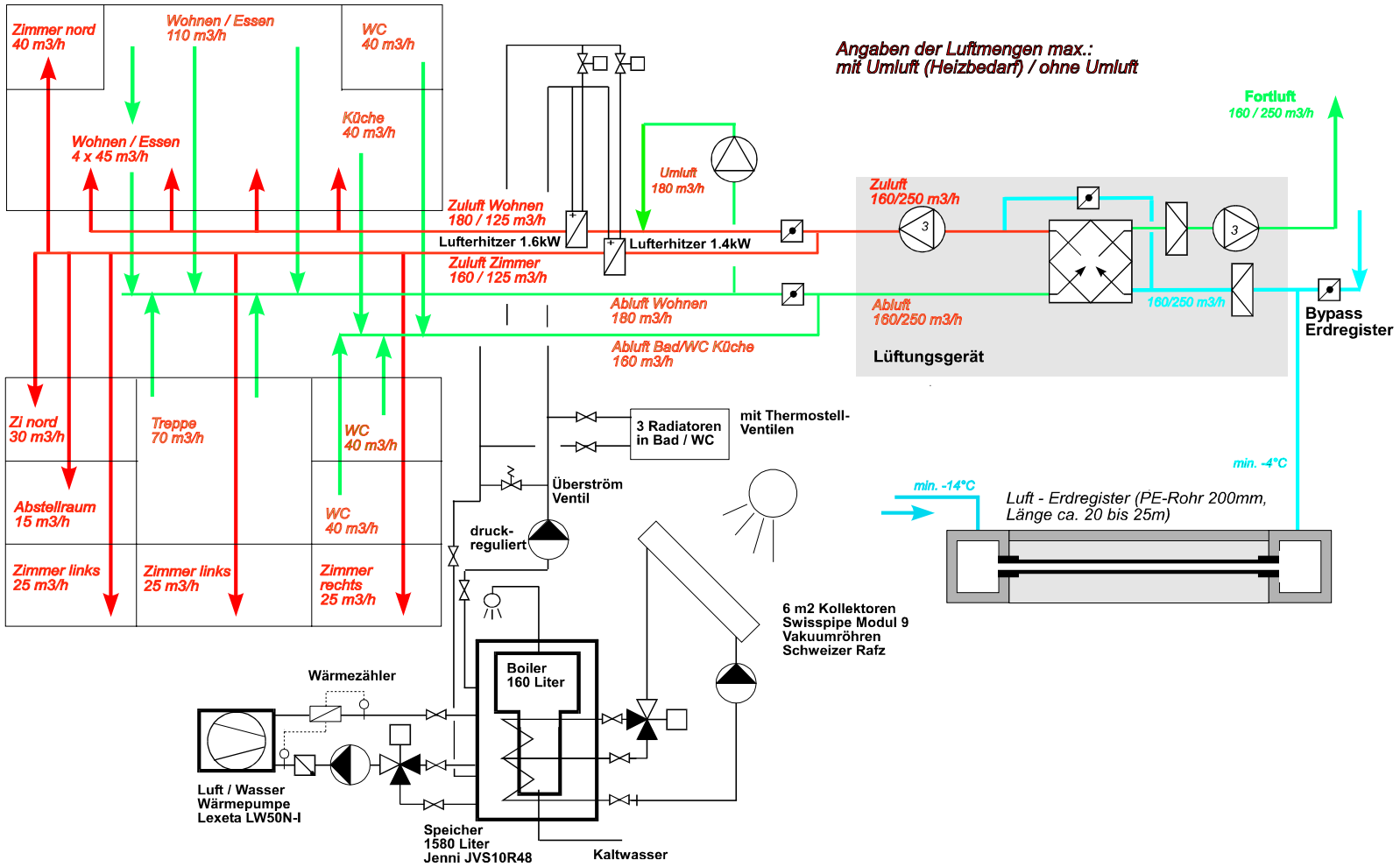


Abbildung 5: Prinzipschema der Lüftungs-, Heizungs- und Kollektoranlage einer Wohnung.

Das angestrebte Ziel des Projekts Sunny Woods, ein "Null-Heizenergiehaus" für Heizung und Warmwasser wird mit Messungen und einer Analyse überprüft. Erfahrungen und Verbesserungsvorschläge sollen mit dem P+D-Projekt formuliert und weitergegeben werden. Die Erfahrungen wurden kontinuierlich an den gut besuchten Veranstaltungen im Rahmen des P+D-Projektes und in Artikeln von Fachzeitschriften an interessierte Architekten und Energiefachleute weitergegeben.

Im P+D-Projekt sollen die folgenden Punkte geprüft und quantifiziert werden:

- Energiekonzept mit Lüftungsanlage in Kombination mit Luftheizung.
- Effizienz des Bypass Erdregister und des Bypass des Plattenwärmetauschers.
- Speicherverhalten des dunklen Schiffersteinbodens.
- Ertrag der Fotovoltaikanlage, der Vakuum-Röhrenkollektoren und der Wärmepumpe.
- Überprüfung der Behaglichkeit in den Wohnräumen.

4.2 Messkonzept

Für das P+D-Projekt wurden die einzelnen Parameter entweder mit Datenlogger aufgezeichnet oder durch manuelle Ablesung von Zählerständen erhoben.

In diversen Wohnungen wurden Raumtemperaturen und Raumfeuchten in Wohn- und Schlafräumen mittels Datenlogger des Typs "Tinytag Ultra H°C/%RH" der Firma Gemini (Messmatic AG) aufgezeichnet.

Die Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten der Aussenluft vor dem Erdregister, der Aussenluft nach dem Erdregister, der Zuluft, der Abluft und der Fortluft des Lüftungsgerätes wurden ebenfalls mit Datenlogger desselben Typs für eine Wohnung aufgezeichnet. Ebenso wurden die Temperaturen des Vorlaufs der Wärmepumpe, der Vorlaufs der Kollektoren und im Kombispeicher aufgenommen.

Ablesungen ab Zähler wurden für den Ertrag der Sonnenkollektoren, für Kaltwassermengen, für den Ertrag und die Rücklieferungsmengen der Fotovoltaikanlagen, für den Strombedarf und die Wärmeproduktion der Wärmepumpe sowie für den Bezug von Elektrizität regelmässig in allen Wohnungen durchgeführt.

Die Messungen der Raumtemperaturen und Feuchte wurden im Dezember 2001 gestartet. Weil die Sonnenkollektoranlage und die Fotovoltaikanlage im Winter 2001 / 2002 noch nicht betriebsbereit war sowie die Zähler der Fotovoltaikanlage erst im Spätsommer 2002 installiert waren, wurden die Zählerablesungen erst im August resp. September 2002 gestartet. Bei den Zählern der Solaranlagen traten verschiedene Probleme auf: So konnte in einer Wohnungen während der ersten drei Monate keine Ablesungen durchgeführt werden, in einer anderen Wohnung ist der Zähler seit Januar 2003 defekt.

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

In der folgenden Tabelle 1 sind die Messpunkte aufgelistet.

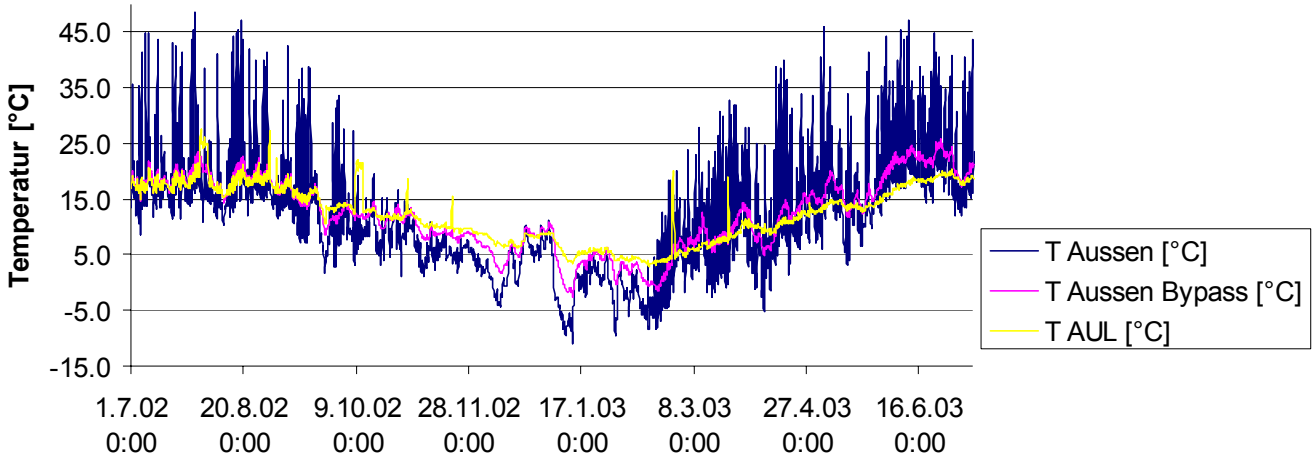
Tabelle 1: Messorte, Messart, Parameter, Zeitdauer und Häufigkeit der aufgenommenen Daten in Sunny Woods.

Messort	Messart	Parameter	Zeitdauer	Häufigkeit
Elektrozähler	Ablesung	Energieverbrauch	Juli 2002 bis Sept. 2003	monatlich
Elektrozähler	Ablesung	Ertrag Fotovoltaik	Sept. 2002 bis Sept. 2003	monatlich
Elektrozähler	Ablesung	Rücklieferung Fotovoltaik	Juli 2002 bis Sept. 2003	monatlich
Wasserzähler	Ablesung	Kaltwassermenge	Juli 2002 bis Sept. 2003	monatlich
Elektrozähler	Ablesung	Sonnenkollektor Energiegewinn, Stundenzähler, Durchflussmenge	Aug. 2002 bis Sept. 2003	monatlich
Elektrozähler	Ablesung	Wärmepumpe Energie, Durchflussmenge	Sept. 2002 bis Sept. 2003	monatlich
Erdregister Luftansaug (vor Erdregister)	Datenlogger	Temperatur, Rel. Feuchte	26.06.02 – 28.06.02 30.06.02 – 10.07.03	½ Std.
Erdregister Bypass-Ansaug	Datenlogger	Temperatur, Rel. Feuchte	26.06.02 – 28.06.02 30.06.02 – 10.07.03	½ Std.
Lüftungsgerät Aussen-luft	Datenlogger	Temperatur, Rel. Feuchte	30.06.02 – 10.07.03	½ Std.
Lüftungsgerät Zuluft	Datenlogger	Temperatur, Rel. Feuchte	30.06.02 – 10.07.03	½ Std.
Lüftungsgerät Abluft	Datenlogger	Temperatur, Rel. Feuchte	30.06.02 – 10.07.03	½ Std.
Lüftungsgerät Fortluft	Datenlogger	Temperatur, Rel. Feuchte	30.06.02 – 10.07.03	½ Std.
Boden T1 (Fühler im Fussboden)	Datenlogger	Temperatur	29.11. – 16.12.2001	½ Std.
Boden T2 (Fühler im Fussboden)	Datenlogger	Temperatur	29.11. – 16.12.2001	½ Std.
Wohnen WG 1	Datenlogger	Temperatur, Rel. Feuchte	30.06.02 – 10.07.03	1 Std.
Schlafen WG 1	Datenlogger	Temperatur, Rel. Feuchte	26.02.03 – 10.07.03	1 Std.
Aussen (Standort Winterthur)	Datenlogger	Temperatur, Direkte Sonneneinstrahlung	Werte verfügbar von der Zürcher Hochschule Winterthur ZHW	10 Min.

4.3 Erdregister mit Bypass

Jede Wohnung bezieht die Frischluft durch ein eigenes Erdregister (Erdwärmetauscher) mit zwei Registerrohren von je 15 cm Durchmesser und einer minimalen Länge von 23 m pro Rohr. Das Erdregister wurde unter der Tiefgarage verlegt. Im Sommer wird die Frischluft gekühlt, im Winter leicht vorgewärmt. Die Luftfassungen befinden sich in der Hausstützmauer beidseitig des Gebäudes auf ca. 200 cm Höhe über Boden. Dieser Standort wird teilweise besonnt. Für die Übergangszeit ist ein Bypass vorgesehen, das heisst, die Luft wird nicht durch das Erdregister, sondern direkt zum Lüftungsgerät geführt. Diese Ansauge befinden sich in der Nordfassade des Gebäudes, im Treppenhaus.

Das Lüftungsgerät ist mit einer Regelung programmiert, welche bei Aussentemperaturen zwischen 7 und 18 °C die Frischluft über den Bypass direkt von aussen bezieht. Ansonsten wird diese Luft über das Erdregister geleitet. Abbildung 6 gibt einen Überblick über die Temperaturen während eines Jahres an den drei Messstellen beim Ansaug vor dem Erdregister, beim Ansaug Bypass sowie im Lüftungsgerät vor der Wärmerückgewinnung.



Legende: T Aussen = Ansaug vor Erdregister (Garagenwand, teilweise besonnt); T Aussen Bypass = Ansaug an Nordfassade; T AUL = Im Lüftungsgerät, vor der Wärmerückgewinnung.

Abbildung 6: Übersicht über die Temperaturen beim Ansaug des Erdregisters, beim Ansaug des Bypasses und im Lüftungsgerät vor der Wärmerückgewinnung über ein Jahr (Juli 2002 bis Juni 2003).

Abbildung 7 zeigt einen Ausschnitt der Temperaturen während der sehr kalten Wintertage vom 11. – 14. Januar 2003. Der Anstieg der gemessenen Werte am 12. Januar 03 vor dem Erdregisteransaug ist auf eine kurze Besonnung zurückzuführen. Es wäre zu erwarten gewesen, dass die Werte für den Erdregisteransaug und den Bypass Erdregister ungefähr dieselben Messwerte ergeben würden. Dies ist jedoch nicht der Fall, die Werte der Bypass-Messung liegen in diesem Abschnitt teilweise bis 7 °C höher, weil der Temperaturfühler des Bypasses durch die gespeicherte Masse der Betonwand und ohne Luftdurchsatz die Aussentemperaturschwankungen verringert und somit nicht die reinen Aussentemperaturwerte anzeigt. Vergleiche mit Messdaten von der Zürcher Hochschule Winterthur (Messstandort Winterthur) bestätigen dies, die Werte entsprechen, mit Ausnahme der kurzfristigen Erwärmung durch direkte Sonneneinstrahlung, der Messung der Temperaturen beim Ansaug Erdregister.

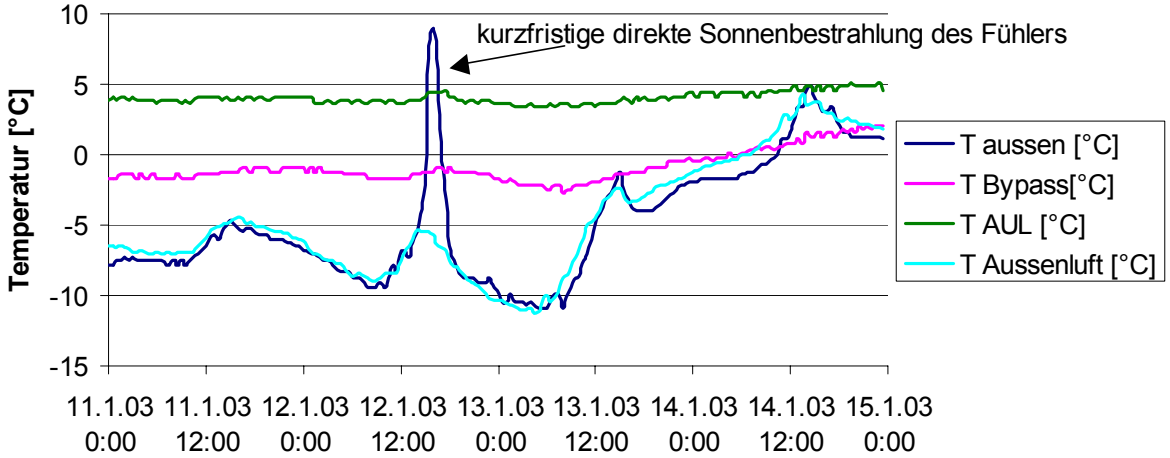


Abbildung 7: Temperaturen Ansaug vor Erdregister, Ansaug Bypass, im Lüftungsgerät vor der Wärmerückgewinnung sowie Aussentemperaturen (Daten von der Zürcher Hochschule Winterthur, Messstandort Winterthur) vom 11. bis 14. Jan. 2003.

Die Temperaturen im Lüftungsgerät fielen auch in dieser Kälteperiode nie unter 3.4 °C (13.01.03, frühmorgens), währenddem die Aussentemperaturen auf –11 °C sanken. In dieser Zeitspanne wurde die Aussenluft durch das

Erdregister angesaugt, die maximale Erwärmung durch das Erdregisters betrug 14.5 °C. Die Leistung des Erdregisters lässt sich mit Hilfe der Formel

$$\dot{Q}_{Erd} = \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot \dot{V} \quad [W] \qquad \text{wobei} \qquad \rho \cdot c_p = 0.32\ \text{Wh/m}^3\text{K}, \qquad \dot{V} = 150\ \text{m}^3\text{/h}$$

berechnen. Für den Luftvolumenstrom wurde ein Wert von 150 m^3/h eingesetzt, dies entspricht dem Durchschnittswert der sechs Wohnungen. Das Lüftungsgerät wird ganzjährig auf der 2. Stufe betrieben. Es ergibt sich folgende Situation (Abbildung 8):

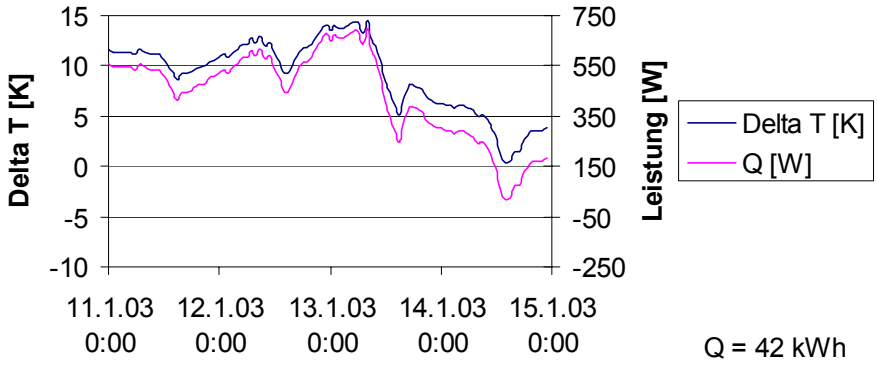


Abbildung 8: Delta T und Leistung des Erdregisters während dem 11. bis 14. Januar 2003.

Der Energiegewinn während dieser vier Tage betrug 41 kWh. Für den ganzen Winter, vom 1. November 2002 bis 31. März 2003 ergibt sich folgendes Temperaturbild (Abbildung 9).

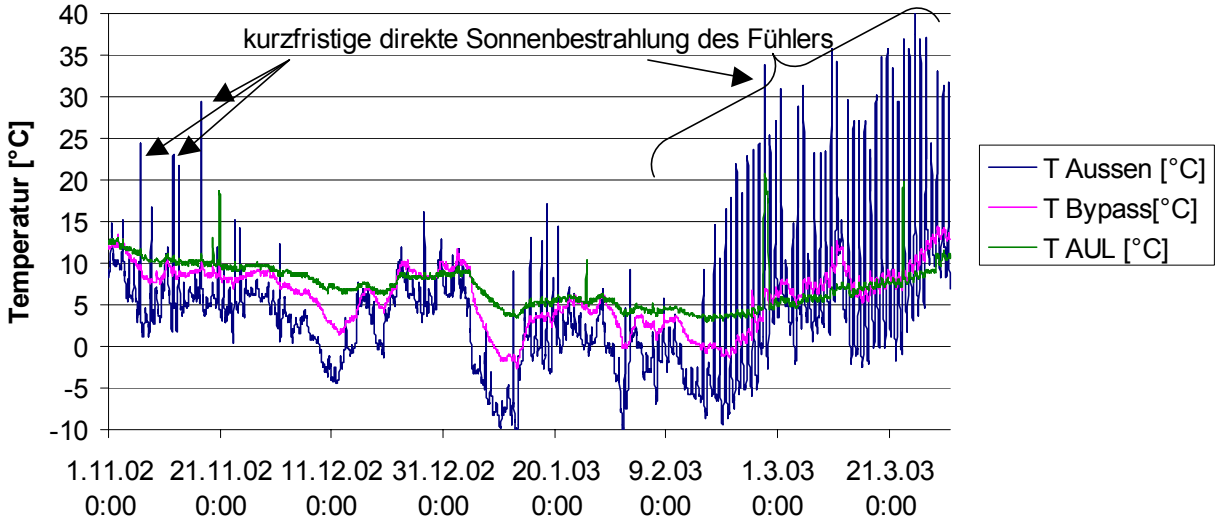


Abbildung 9: Temperaturen vom 1. Nov. 2002 bis 31. März 2003 beim Ansaug vor dem Erdregister, beim Bypass sowie im Lüftungsgerät vor der Wärmerückgewinnung.

Die Spitzen der Aussenlufttemperaturen vor dem Erdregister sind durch direkte Sonneneinstrahlungen verursacht. Abgesehen von diesen kurzfristigen Spitzen entsprechen die Daten beim Ansaug Erdregister den gemessenen Aussentemperaturwerten der Zürcher Hochschule Winterthur (Messstandort Winterthur). Die Leistung des Erdregisters lässt sich aus Abbildung 10 ablesen.

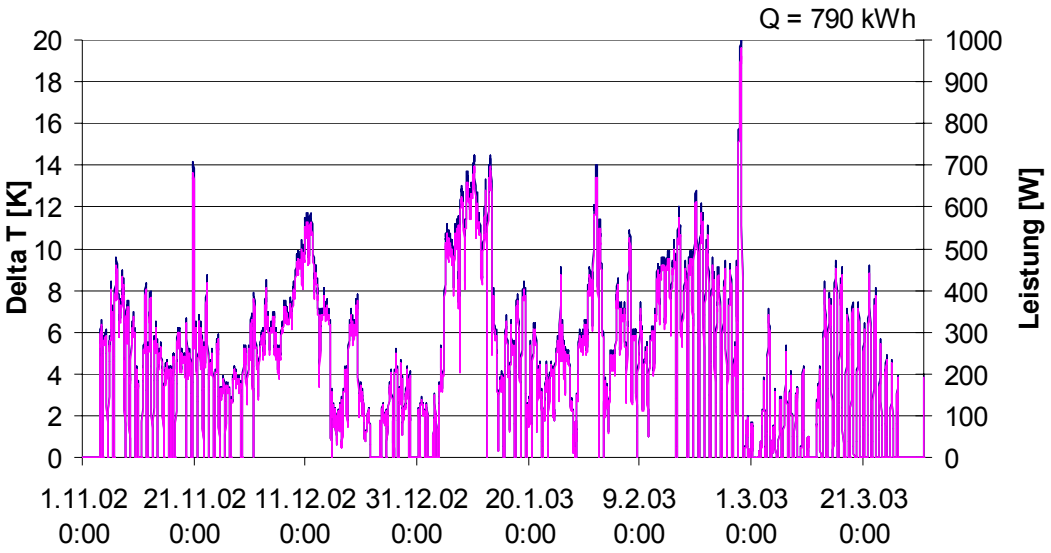


Abbildung 10: Delta T und Leistung des Erdregisters in der Zeit vom 1. Nov. 2002 bis 31. März 2003.

Für die Leistungs- und Energiegewinnberechnung des Erdregisters wurden nur Aussentemperaturwerte von unter 7 °C verwendet, weil bei Temperaturen höher als 7 °C die Luft direkt über den Bypass dem Lüftungsgerät zugeführt wird. Es ergibt sich ein Energiegewinn von 790 kWh in der Zeit vom 1. November 2002 bis 31. März 2003.

Für den Sommerfall wurde exemplarisch die Periode vom 10. bis 14. Juni 2003 ausgewählt. Der Sommer 2003 zeigte sich mit sehr heissen Temperaturen, die Temperaturen stiegen bereits im Mai und es folgte eine Hitzewelle mit Temperaturen, die im Juli und August regelmässig mehr als 30 °C erreichten, fast ohne Unterbruch bis Ende August. Abbildung 11 zeigt den Temperaturverlauf vor dem Ansaug Erdregister, beim Bypass Erdregister, im Lüftungsgerät sowie die Aussentemperaturen, gemessen von der Zürcher Hochschule Winterthur.

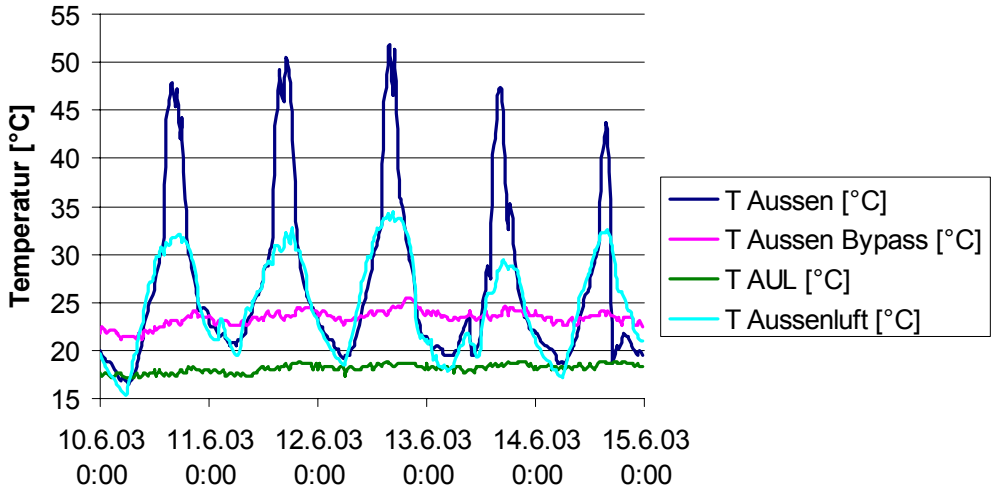


Abbildung 11: Temperaturen des Ansaug Erdregister, Bypass und im Lüftungsgerät vor der WRG sowie Aussentemperaturen (Messort ZHW, Winterthur) vom 10. bis 14. Juni 2003.

Die hohen Werte beim Ansaug Erdregister entstanden durch direkte Sonneneinstrahlung auf den Messfühler. Die Temperatur im Lüftungsgerät blieb auch in dieser Hitzeperiode zwischen 17 und 19 °C. Die Werte beim Bypass liegen im Bereich von 21 bis 25.5 °C. Dies weist darauf hin, dass dem Lüftungsgerät gekühlte Luft (über das Erdregister) zugeführt wurde. Die Innentemperaturen im Wohn- und Schlafbereich lagen in dieser Zeit bei Werten zwischen 21 °C und 25.8 °C (Abbildung 12).

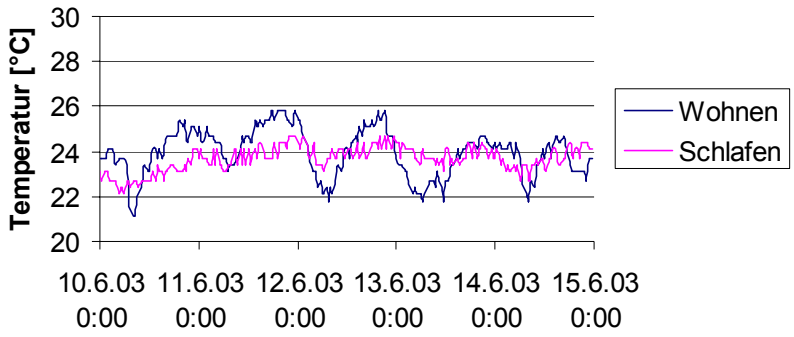


Abbildung 12: Temperaturverlauf im Wohn- und Schlafzimmer vom 10. bis 14. Juni 2003.

Die Leistung und der Energiegewinn des Erdregisters lassen sich wiederum berechnen und darstellen (Abbildung 13). Der Energiegewinn des Erdregisters in diesen fünf Tagen liegt bei 49 kWh.

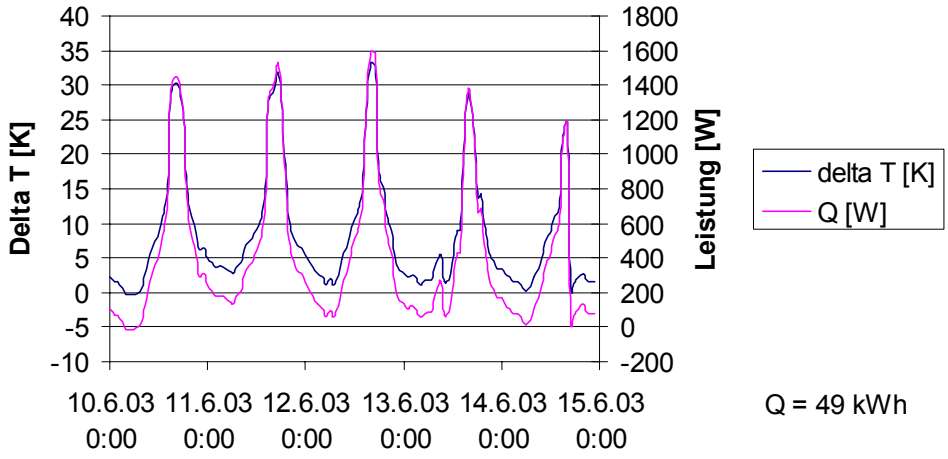


Abbildung 13: Delta T und Leistung des Erdregisters vom 10. bis 14. Juni 2003.

Auf Abbildung 14 sind die gemessenen Temperaturen in der Zeit vom 5. bis 11. September 2002 dargestellt, in der die Luft über den Bypass direkt von aussen dem Lüftungsgerät zugeführt wird. Die Aussentemperaturen liegen in dieser Zeit in einem Bereich von 14.8 bis 19.5 °C.

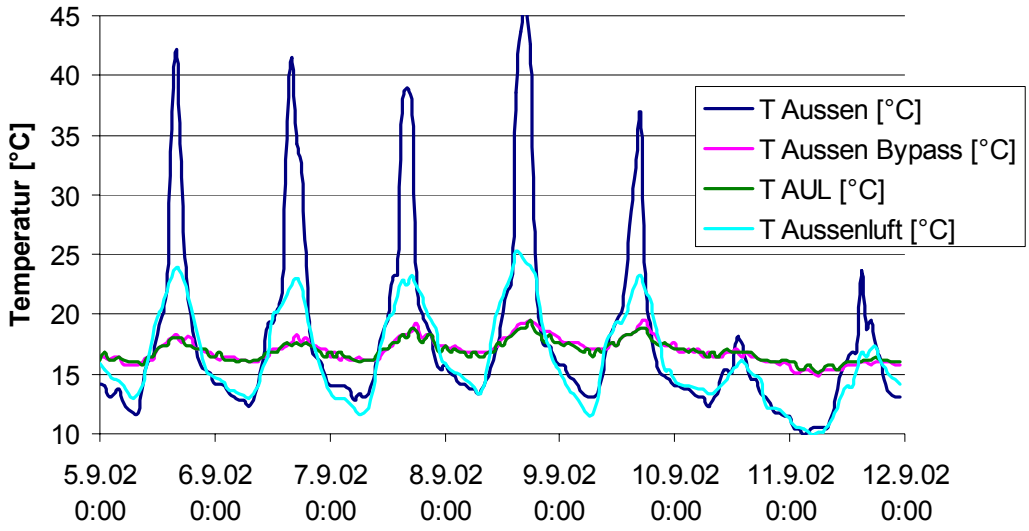


Abbildung 14: Temperaturen beim Ansaug vor dem Erdregister, beim Bypass, im Lüftungsgerät vor der WRG sowie die Aussentemperaturen (Messort ZHW Winterthur) vom 5. bis 11. September 2002.

Die deckungsgleichen Kurven der Temperaturmessungen beim Ansaug Bypass und im Lüftungsgerät deuten darauf hin, dass die Luft über den Bypass dem Lüftungsgerät zugeführt wird.

4.4 Solaranlage

In der Südfassade wurden die Balkongeländer mit vertikal gelegenen Vakuumröhren-Sonnenkollektoren ausgeführt. Diese sollen für Warmwassererwärmung und Heizungsunterstützung genutzt werden. Die vertikale Anordnung der Röhrenkollektoren hat verschiedene Vorzüge. So bringt die vertikale Kollektorposition im Winterhalbjahr einen grösseren Ertrag als eine geneigte Lage. Zudem können die Lamellen in den Röhren optimal ausgerichtet werden. Die Balkonbrüstungen bleiben dabei transparent und lassen die Sonne fast ungehindert den Boden erwärmen. Der Ertrag von Vakuum-Kollektoren liegt um ca. 15 % höher im Vergleich zu Flachkollektoren, ebenso liegt das Temperaturniveau höher bei Vakuum-Kollektoren. Pro Wohnung wurden drei Elemente der Firma Schweizer in Rafz mit einer Absorberfläche von 5.8 m^2 installiert. Die Solarwärme wird in einen Speicher des Typs "Swiss-Tank" der Firma Jenni in Oberburg im Technikraum geführt. Die Ladung des Speichers erfolgt in zwei Schichten: In erster Priorität wird die Wärme auf hohem Temperaturniveau im oberen Teil des Speichers abgegeben. Ist die Ladung für den Warmwasserteil erfolgt, so wird die restliche Wärme im unteren Speicherteil abgegeben.

Erwartet wird ein Gesamtertrag der Solaranlagen von rund 17'350 kWh/a. Abbildung 15 stellt die Erträge wohnungsweise während eines Jahres von August 2002 bis Juli 2003 dar. Der Zähler der Wohnung 1 war vom August bis Oktober 2002 noch nicht angeschlossen, der Zähler der Wohnung 3 ist seit Januar 2003 ausser Betrieb. Im Mai 2003 konnte der Zähler der Wohnung 2 nicht abgelesen werden, somit erscheint im Monat Juni 2003 ein zu hoher Wert (Ertrag vom Mai miteingeschlossen).

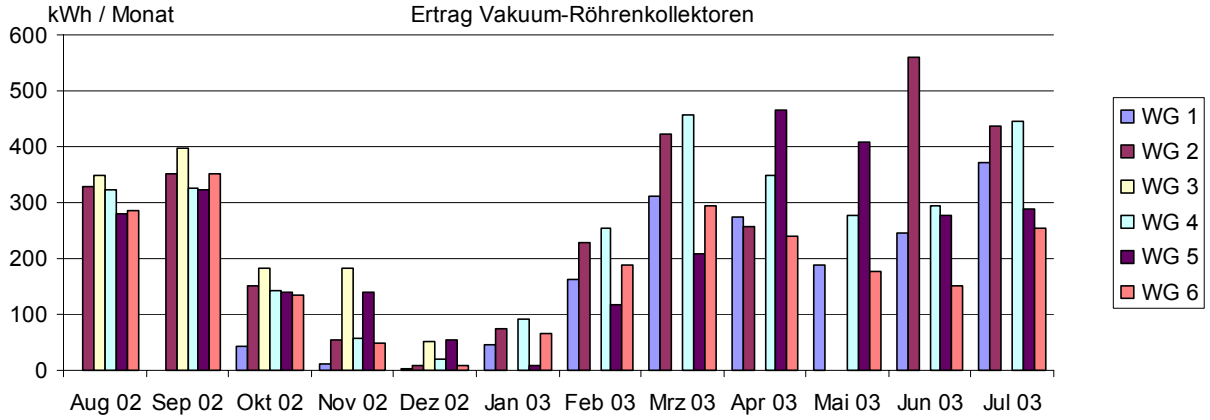


Abbildung 15: Ertrag der Vakuum-Röhrenkollektoren der sechs Wohnungen vom August 2002 bis Juli 2003.

Es sind grosse Schwankungen der Erträge nach Wohnungen vor allem ab Februar 2003 zu erkennen. So liegt im Mai 2003 der Ertrag der Wohnung 6 um 53 % tiefer als der Ertrag der Wohnung 5. Eine mögliche Erklärung zu diesen Differenzen liegt im Warmwasserverbrauch der Wohnungen: Falls die Bewohner relativ wenig Warmwasser beziehen, ist der Boiler fast immer voll geladen. Somit kann die Wärme der Sonnenkollektoren nicht zusätzlich abgegeben werden, der Ertrag der Kollektoren wird entsprechend geringer. Abbildung 16 zeigt den Kaltwasserverbrauch der Wohnungen vom August 2002 bis Juli 2003. Gemäss Literaturangaben wird ca. 30 % des Kaltwassers zu Warmwasser erwärmt.

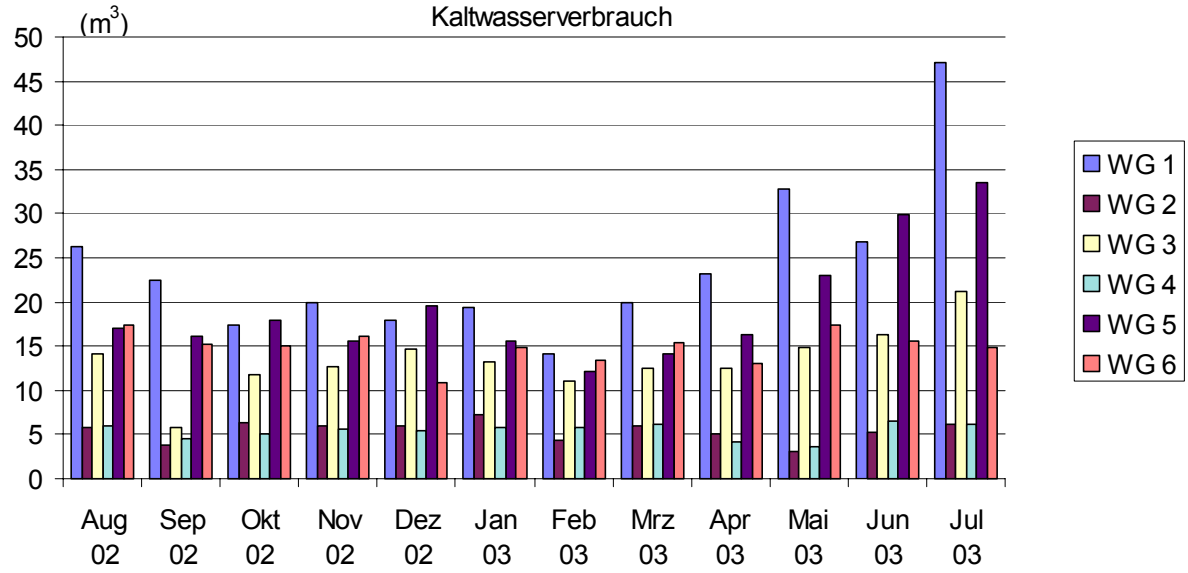


Abbildung 16: Kaltwasserverbrauch der sechs Wohnungen vom August 2002 bis Juli 2003.

Die Theorie kann nicht vollständig bestätigt werden.

Der Wasserverbrauch aller sechs Wohnungen liegt bei rund 990 m^3 pro Jahr. Laut dem "Schweizerischen Energiefachbuch 2003" [Künzler-Bachmann Medien AG, St. Gallen] liegt der durchschnittliche Wasserverbrauch im Haushalt 1997 / 97 bei 162 l pro Einwohner und Tag. In Sunny Woods leben 12 erwachsene Personen und

sechs Kinder / Jugendliche. Somit ergibt sich für die Bewohner von Sunny Woods ein Bedarf von 150 l/E·d; ihr Wasserverbrauch liegt etwas unter dem landesweiten Durchschnitt.

In Tabelle 2 sind die Jahreserträge der Kollektoren der Wohnungen aufgelistet.

Tabelle 2: Jahreserträge der Vakuum-Röhrenkollektoren pro Wohnung.

Wohnung	Ertrag Kollektoren (Juli 2002 – Aug. 2003) [kWh]	Bemerkungen
Whg 1	1662	Drei Monate keine Werte
Whg 2	2872	
Whg 3	1161	Sieben Monate keine Werte
Whg 4	3042	
Whg 5	2713	
Whg 6	2205	
Total	13'655	

Betrachtet man den Mittelwert des Ertrages der vier Wohnungen 2, 4, 5 und 6, lässt sich daraus einen Gesamt-Jahresertrag für alle sechs Wohnungen von rund 16'250 kWh hochrechnen. Dieser Wert liegt nur rund 6 % unter dem erwarteten Wert, somit lässt sich feststellen, dass die Solaranlagen die Erwartungen erfüllen.

4.5 Fotovoltaikanlage

Eine Fotovoltaikanlage bedeckt das 300 m^2 grosse Pultdach flächendeckend. Aus baurechtlichen Gründen konnte das Dach aber nur ganz leicht, um 3 ° nach Süden geneigt werden. Weil die Stromproduktion im Winter ohnehin gering ist, wurde die Anlage auf einen maximalen Jahresertrag ausgelegt. Vergleichsberechnungen zeigten dabei, dass auf der vorhandenen Dachfläche eine vollflächige Anlage mehr Strom erzeugt als eine aufgeständerte Anlage (Verschattung). Die Solarzellen auf dem Dach von Sunny Woods werden von keinen Auf- oder Nachbarbauten beschattet und von keiner Durchdringung durchstossen. Die Herstellung der Dünnschichtzellen von Canon-Unisolar verbraucht zudem nur einen Bruchteil des Rohmaterials von herkömmlichen monokristallinen Zellen, sind also ökologischer.

Die Paneele sind einige Zentimeter von der Dachfläche abgehoben. Durch diese Hinterlüftung steigt die Temperatur der Zellen weniger hoch an. Zudem kann Regenwasser ungehindert unter den Paneelen abfliessen. Elektrische Verbindungen wurden nur gesteckt, damit können einzelne Paneele jederzeit sehr schnell und einfach ersetzt werden. Der Feldverteiler der Anlage wurde wettergeschützt unter dem Pultdach montiert, der Wechselrichter befindet sich im Kellergeschoss im Technikraum neben der Elektro-Hauptverteilung.

Die Dachfläche ist in sechs genau gleich grosse Teilflächen aufgeteilt. Jede der sechs Wohnungen verfügt über eine eigenständige Fotovoltaikanlage mit 84 Unisolar-Baekert Standart-Paneelen à 32 Wp (amorphe Trippel-Dünnfilmzellen, 1/1000 mm dick, auf Chromstahlblech beschichtet). Die installierte Leistung beträgt pro Wohnung 2'688 Wp. Die erwartete Energieproduktion beträgt 930 kWh / 1000 Wp, also ca. 2'500 kWh/a. Die totale Stromproduktion der sechs Anlagen auf dem Dach von Sunny Woods beträgt demnach voraussichtlich 15'000 kWh/a. Abbildung 17 zeigt den Ertrag der Fotovoltaikanlagen vom September 2002 bis August 2003.

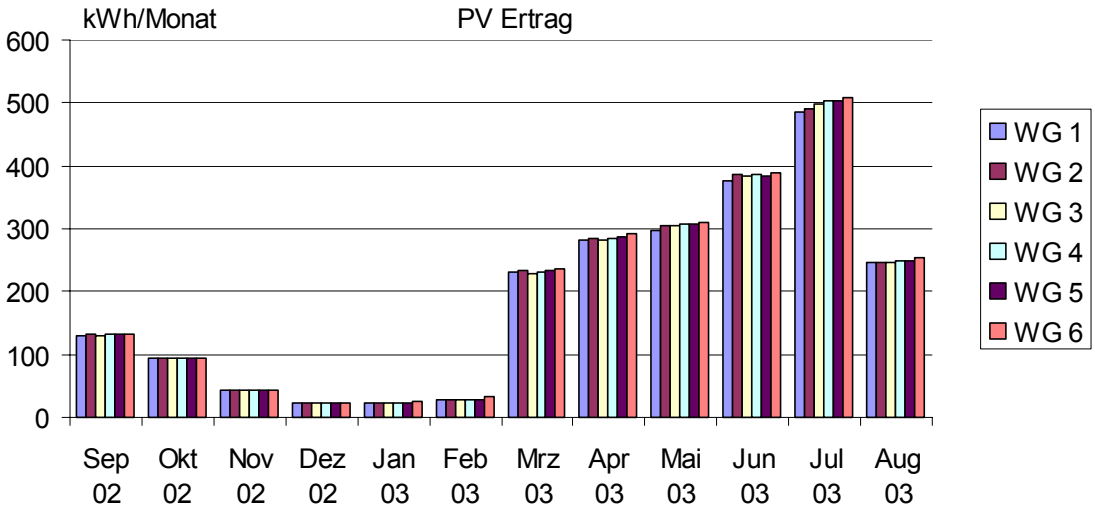


Abbildung 17: Fotovoltaik-Ertrag der sechs Wohnungen vom September 2002 bis August 2003.

Der Mittelwert des Gesamtertrages der sechs Wohnungen beträgt für diese 12 Monate 2300 kWh (Bereich von 2258 kWh – 2342 kWh). Es zeigt sich, dass alle sechs Anlagen ungefähr dieselbe Menge an Solarstrom liefern, was auch erwartet wurde. Im Monat Februar war das Dach vollständig mit Schnee bedeckt, dies trug wesentlich zum geringen Ertrag während dieser Zeit bei. In den Monaten Juni bis August 2003 herrschte extrem schönes und heisses Sommerwetter mit vielen Sonnenstunden. Der Sommerertrag der Anlage dürfte deshalb nicht jedes Jahr in diesem Ausmass zu erwarten sein. Zusammengezählt für alle sechs Wohnungen ergibt sich ein Jahresertrag von 13'800 kWh. Erwartet wurden 16'128 kWh. Dies entspricht einer Differenz von 14 %.

Die rückgelieferte Menge des Solarstromes ins öffentliche Netz ist in Abbildung 18 dargestellt. Hier ergeben sich deutliche Unterschiede in den Anteilen der verschiedenen Wohnungen. Diese resultieren aus den unterschiedlichen Elektrizitätsbedarfe in den Wohnungen (Anzahl elektrische Geräte als auch Zeit, in der der Strom gebraucht wird).

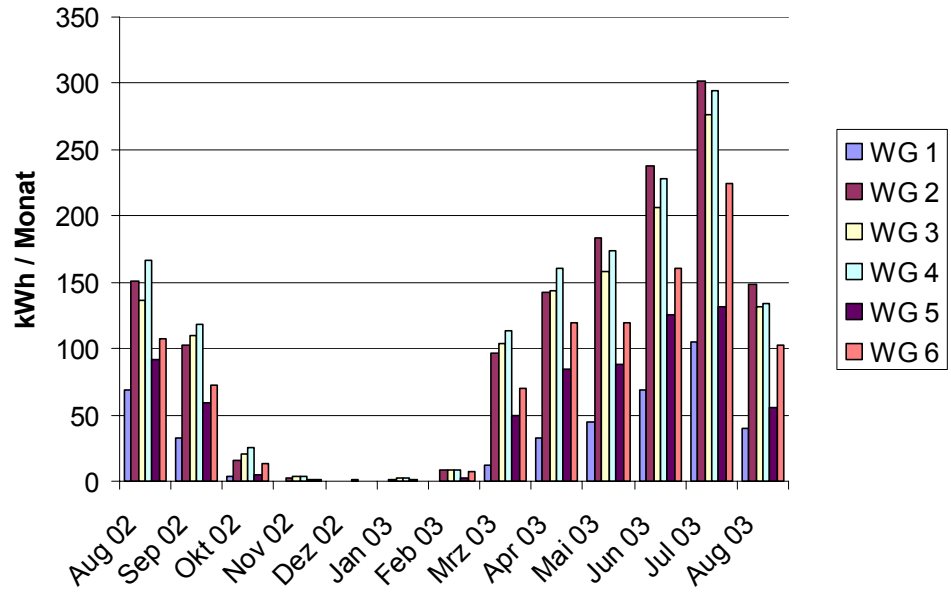


Abbildung 18: Fotovoltaik-Rücklieferung vom August 2002 bis August 2003.

4.6 L/W-Wärmepumpe

Die Wärme für Heizung und Warmwasser wird in erster Priorität von der Solaranlage bereitgestellt. Die restliche Menge an Wärme wird von einer Luft-Wasser Wärmepumpe des Typs LW50N-I der Firma Lexeta geliefert.

Die Kennzahlen der Luft-Wasser Wärmepumpe lauten:

Aussentemperatur / Wassertemperatur [°C]	Leistung [kW]	COP [-]
2 / 50	5.1	2.4
-7 / 45	4.1	2.1
-15 / 50	3.1	1.6

Weil für die Lüftungsanlage und das Warmwasser hohe Temperaturen nötig sind, wurde bei den Berechnungen für die Jahresarbeitszahl JAZ der Wärmepumpe ein tiefer Wert von ca. 2.3 eingesetzt.

Nach Zählerablesungen über ein Jahr lassen sich nun folgende Werte feststellen und berechnen. Abbildung 19 stellt den Elektrizitätsverbrauch für die Wärmepumpen in der Zeit vom Juli 2002 bis August 2003 dar.

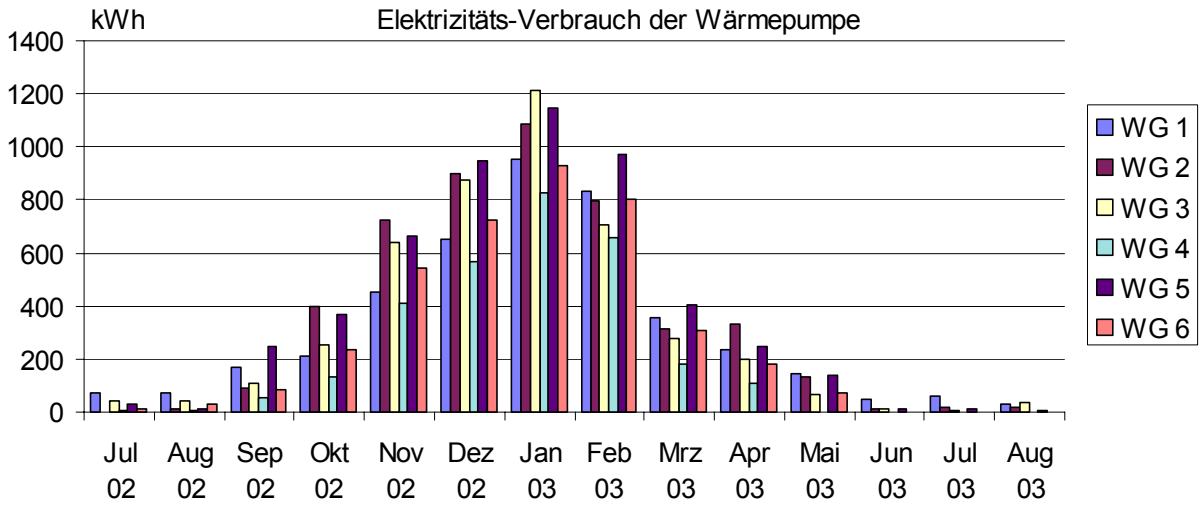


Abbildung 19: Monatlicher Elektrizitätsverbrauch der Wärmepumpen der sechs Wohnungen in der Zeit vom Juli 2002 bis August 2003.

Pro Wohnung und Jahr summieren sich die Verbräuche auf folgende Werte (Abbildung 20):

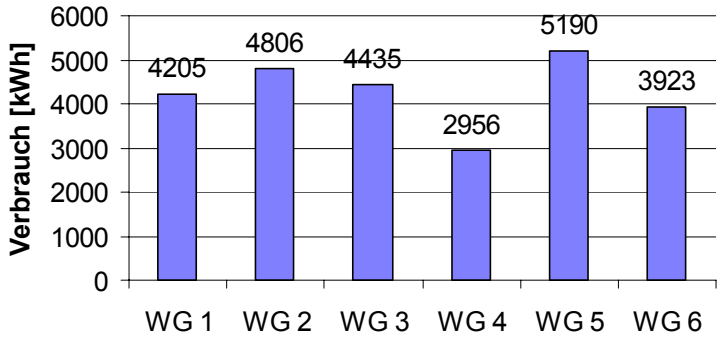


Abbildung 20: Elektrizitätsverbrauch der Wärmepumpen pro Wohnung und Jahr (Juli 2002 bis Juni 2003).

Werden die wohnungsweisen Elektrizitätsverbräuche mit den Daten vom August 2002 bis Juli 2003 oder September 2002 bis August 2003 für je ein Jahr summiert, ergeben sich ein vergleichbare Grafiken und Werte.

Die Wärmeproduktion der Wärmepumpen sieht demgegenüber folgendermassen (Abbildung 21) aus:

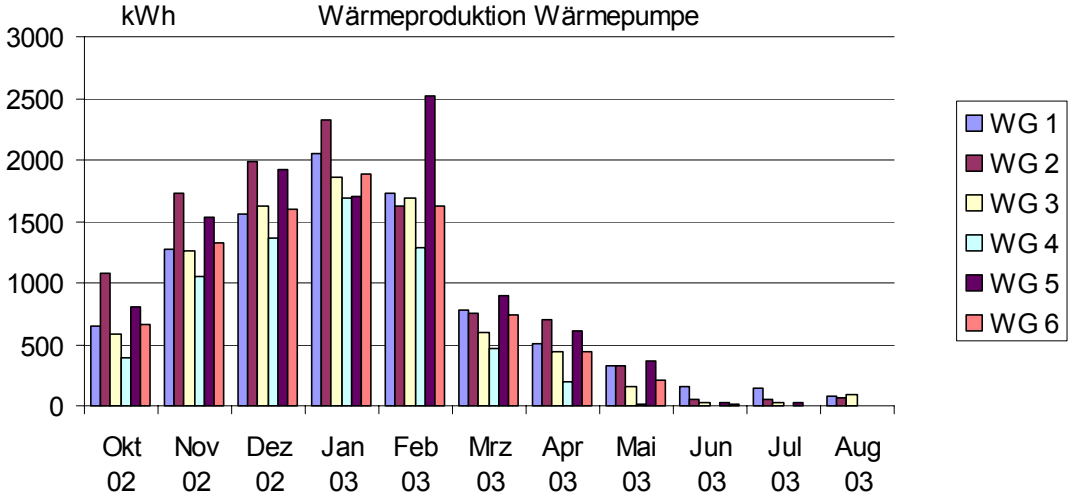


Abbildung 21: Wärmeproduktion der Wärmepumpe in der Zeit vom Oktober 2002 bis August 2003.

Die Ablesungen der Wärmeproduktion wurden erst im Oktober 2002 gestartet, deshalb kann kein ganzes Jahr ausgewertet werden.

Aus diesen Angaben kann der COP der Wärmepumpe berechnet werden. Abbildung 22 zeigt die COP's der Wärmepumpen der verschiedenen Wohnungen von Oktober 2002 bis August 2003.

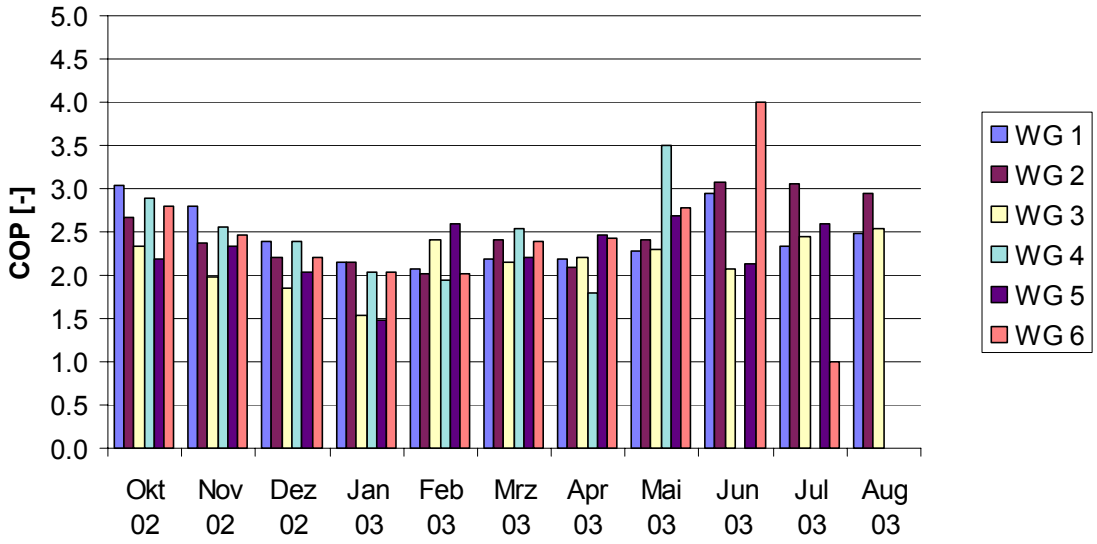


Abbildung 22: COP's der Wärmepumpen vom Oktober 2002 bis Mai 2003.

Die JAZ-Mittelwerte pro Gerät für die Zeit vom Oktober 2002 bis August 2003 liegen im Bereich von 2.16 bis 2.49 (Abbildung 23).

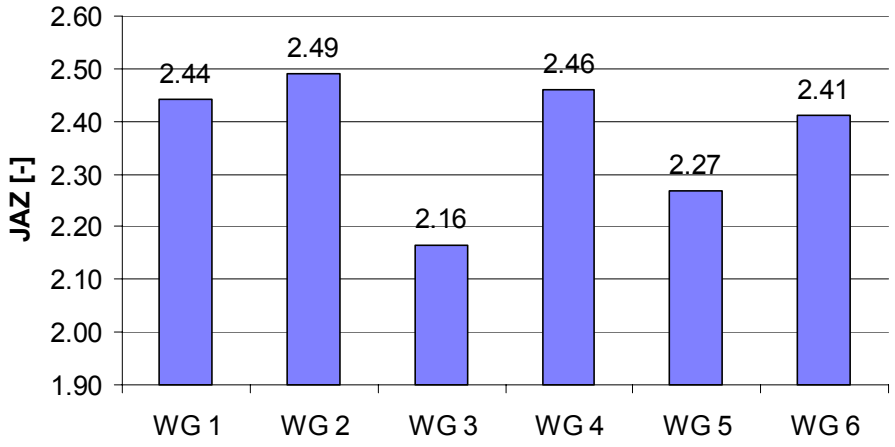


Abbildung 23: JAZ-Mittelwerte pro Gerät in der Zeit vom Oktober 2002 bis August 2003.

Wird aus diesen Werten ein Mittelwert für alle Geräte berechnet, so erreicht die JAZ einen Wert von 2.37. Dies entspricht dem für die SIA 380/1-Berechnungen angenommenen Wert.

Diese tiefen Werte lassen sich durch die Benützung der Wärmepumpen erklären: In erster Priorität wird die Heizwärme und das Warmwasser von den Sonnenkollektoren bereitgestellt. Durch passiven Sonnengewinn werden die Räume zusätzlich erwärmt. Erst wenn dies nicht mehr ausreicht, wird die Wärmepumpe eingeschaltet. Dies bedeutet, dass die Wärmepumpe in der Übergangszeit wenig läuft, dafür hauptsächlich in Zeiten mit sehr kalten Aussentemperaturen und wenig Sonnenschein. Die hohen Temperaturdifferenzen verschlechtern den COP resp. die JAZ beträchtlich.

4.7 Lüftungsgerät / Luftheizung

Jede Wohnung verfügt über ein eigenes Standardlüftungsgerät. Die kontrollierte Lüftung wird mit einem zusätzlichen Umluftventilator und zwei Lufterhitzern für je die beiden Geschosse ergänzt. Wenn der Heizenergiebedarf mit dem für die kontrollierte Lüftung nötigen Luftvolumen nicht ausreicht, schaltet der Umluftventilator ein. Die 170 m^3/h Umluft wird dann mit der frischen Aussenluft zusammen von den beiden Lufterhitzern auf maximal 50 °C erwärmt und als Zuluft in die Räume abgegeben.

Mit dem eingesetzten Lüftungsgerät des Typs G90-300 der Firma Storkair können die Zu- und Abluftmengen separat auf der Fernbedienung stufenlos in Prozenten eingestellt werden. Das Gerät ist mit energiesparenden Gleichstromventilatoren ausgerüstet. Der Wirkungsgrad des Kreuzgegenstromplattentauschers wird vom Hersteller mit 85 - 90 % angegeben. Das eingesetzte Gerät verfügt über einen Bypass des Plattenwärmetauschers. Ist der Kälte- oder Wärmeertrag der Wärmerückgewinnung nicht erwünscht, wird die Bypassklappe mit der internen Steuerung betätigt.

Die zusätzlich benötigte Heizwärme wird im Solarspeicher von den Vakuumkollektoren oder der Wärmepumpe bereitgestellt und mit einem Lufterhitzer an die Zuluft abgegeben. Liefern die Sonnenkollektoren in der Übergangszeit genügend Wärme, so bleibt die Wärmepumpe ausser Betrieb.

4.7.1 Luftführung

Die Zuluft wird separat im Wohn- und in jedem Schlafzimmer eingeblasen. Aus Schallgründen wurden die Lüftungsleitungen (Zu- und Abluft) nur in der mittleren Decke jeder Wohnung (d. h. wohnungsinterne Decke) eingelegt. Das untere Geschoss wird mit Lüftungsschlitzauslässen an der Decke beheizt, das obere Geschoss über Bodengitterauslässe. Die beiden Geschosse können unabhängig mittels Raumthermostaten reguliert werden. Die Zuluftkanäle wurden mit Glaswolle wärme- und schallgedämmt und an den Übergängen abgeklebt. Die Umluft wird in der Korridorzone des Schlafgeschosses abgeführt und im Heizbedarf der Zuluft beigemischt, ansonsten mit der Abluft ausgeblasen. Die Abluft wird im Bereich Küche und in den Nasszellen gefasst und nach dem Plattenwärmetauscher des Lüftungsgerätes als Fortluft ausgeblasen. Das Nachströmen der Luft in die Nasszellen erfolgt über undichte untere Türschlitze.

Auf Abbildung 24 ist das Lüftungsgerät mit den Messstellen schematisch dargestellt.

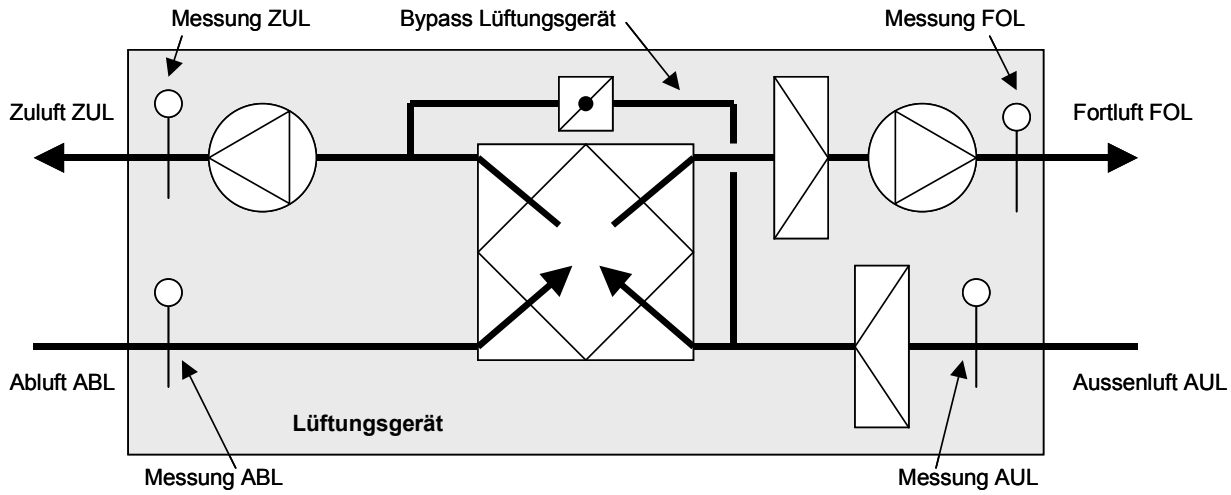
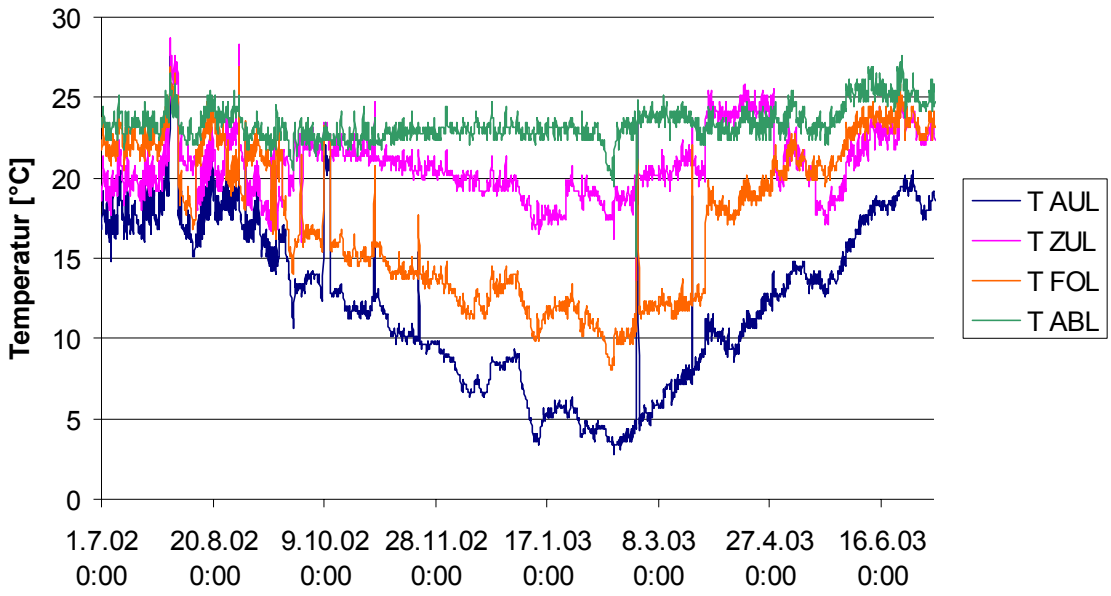


Abbildung 24: Lüftungsgerät mit der Lage der Messfühler.

Einen Überblick über die Temperaturen im Lüftungsgerät während eines Jahres (Juli 2002 bis Mitte Juli 2003) gibt Abbildung 25.



Legende: AUL = Aussenluft, ZUL = Zuluft, FOL = Fortluft, ABL = Abluft

Abbildung 25: Überblick über die Temperaturen im Lüftungsgerät vom 1. Juli 2002 bis 10. Juli 2003.

Für den Sommerfall wurde wiederum die Zeit vom 10. bis 14. Juni 2003 ausgewählt (Abbildung 26). Die Aussentemperaturen (gemessen an der Zürcher Hochschule Winterthur) wurden zusätzlich in das Diagramm eingefügt.

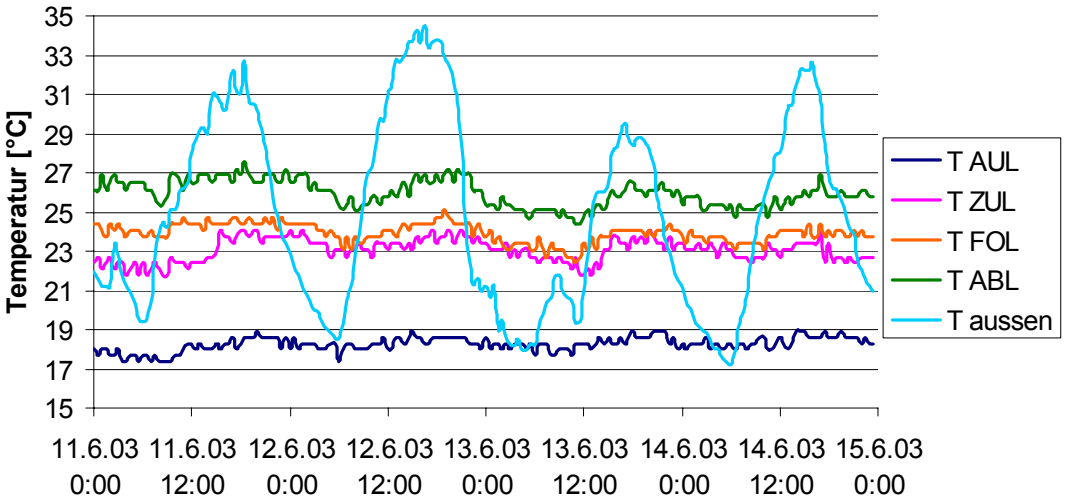


Abbildung 26: Temperaturen im Lüftungsgerät sowie Aussenlufttemperaturen (Messstandort Zürcher Hochschule Winterthur) im Sommer 2003 (10. bis 14. Juni 2003).

Die durch das Erdregister gekühlte Aussenluft erreicht in dieser Zeit Temperaturwerte zwischen 17 und 19 °C, während die Aussenlufttemperatur zwischen 17 und 34 °C schwankt. Die Zulufttemperatur pendelt zwischen Werten von 22 bis 24 °C, die Fortlufttemperaturen liegen im Durchschnitt 0.9 °C (Bereich –0.3 bis 2.3 °C) höher

als die Zulufttemperaturen. Die Ablufttemperatur liegt im Bereich von 24.5 bis 27.5 °C. Die Raumtemperaturen in der Wohnung (Wohnen und Schlafen) lagen in dieser Zeit zwischen 21 und 25.8 °C (siehe Abbildung 12).

Als Beispiel für den Betrieb im Winter wurde die Zeit vom 11. bis 14. Januar 2003 ausgewählt (Abbildung 27), ebenfalls mit den Aussentemperaturen von Winterthur zum Vergleich.

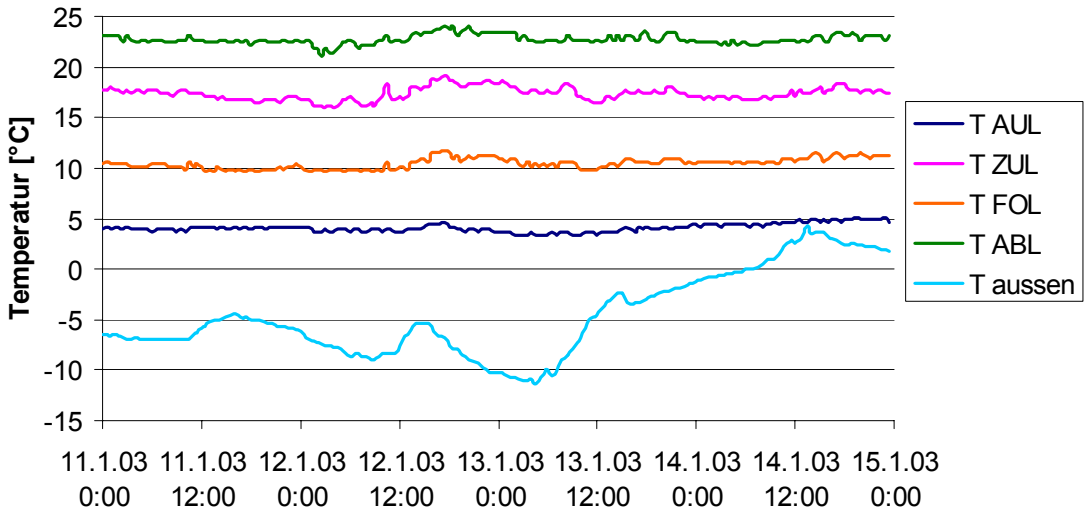


Abbildung 27: Temperaturen im Lüftungsgerät und Aussentemperaturen (Messstandort Zürcher Hochschule Winterthur) im Winter (11. bis 14. Januar 2003).

Die durch das Erdregister vorgewärmte Aussenlufttemperatur erreicht in dieser Zeit Werte zwischen 3.5 und 5 °C, die Aussenlufttemperaturen schwanken zwischen –11 und 4 °C. Die Zulufttemperaturen liegen zwischen 16 und 19 °C, die Ablufttemperaturen zwischen 21 und 24 °C und die Fortlufttemperaturen zwischen 9.5 und 12 °C.

Der Temperaturwirkungsgrad der Zuluft lässt sich anhand der folgenden Formel berechnen:

$$\eta = \frac{T_{ZUL} - T_{AUL}}{T_{ABL} - T_{AUL}} \qquad [-]$$

In der Zeit vom 11. bis 14. Januar 2003 lag der Wirkungsgrad im Mittel bei 71 % mit einem minimalen Wert bei 67 % und einem Maximum bei 77 %.

Die tiefen Wirkungsgrade resultieren aus den tiefen Aussentemperaturen in dieser Zeit (siehe Abbildung 27). Deshalb wurde der Wirkungsgrad zusätzlich während einer weniger kalten Periode berechnet. Abbildung 28 stellt den Temperaturverlauf im Lüftungsgerät sowie die Aussentemperaturen in der Zeit vom 22. bis 30. November 2002 dar.

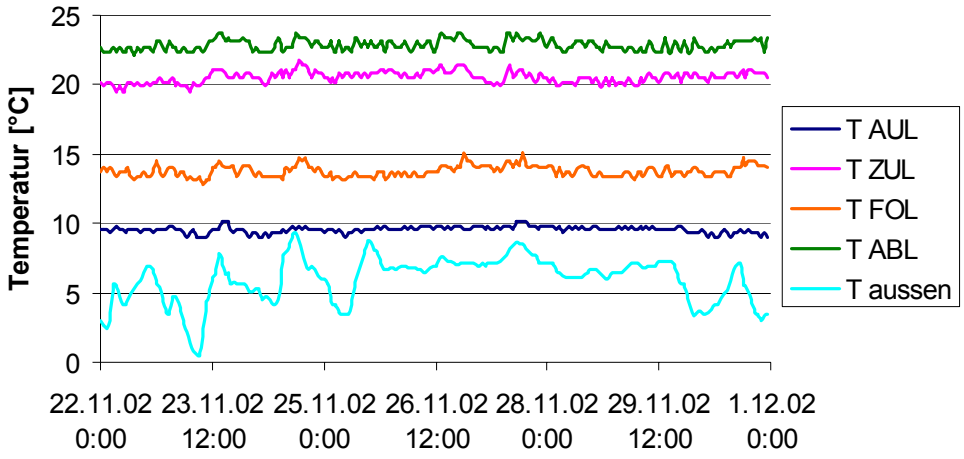


Abbildung 28: Temperaturen im Lüftungsgerät sowie Aussentemperaturen (Messstandort Zürcher Hochschule Winterthur) vom 22. bis 30. November 2002.

Der Mittelwert des Temperaturwirkungsgrades liegt in dieser Zeit bei 83 % (Minimum 76 %, Maximum 88 %). Auf Abbildung 29 ist der Verlauf des Wirkungsgrades dargestellt.

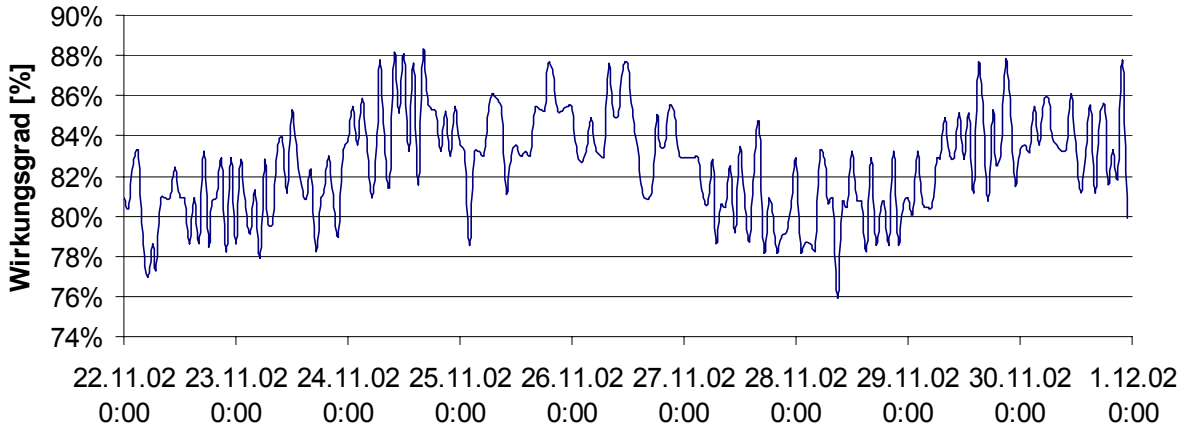


Abbildung 29: Temperaturwirkungsgrad der Zuluft vom 22. bis 30. November 2003.

Anhand der aufgenommenen Daten wurde für die Winterperiode 2002 / 2003 in der Zeit vom 1. Oktober 2002 bis 31. März 2003 ein mittlerer Wirkungsgrad von 82 % für das Lüftungsgerät berechnet. Nach Angaben des Herstellers sollte dieses Gerät einen Wirkungsgrad von 85 – 90 % erreichen, dieser Wert wurde ganz knapp nicht erreicht, ist jedoch sehr zufriedenstellend.

4.8 Energiebilanz

Der Haushaltsstrombezug vom Elektrizitätswerk (ohne Miteinbezug der Produktion und Rücklieferungsmengen der Fotovoltaikanlage) in den sechs Wohnungen ist für die Zeit vom Juli 2002 bis August 2003 in Abbildung 30 dargestellt.

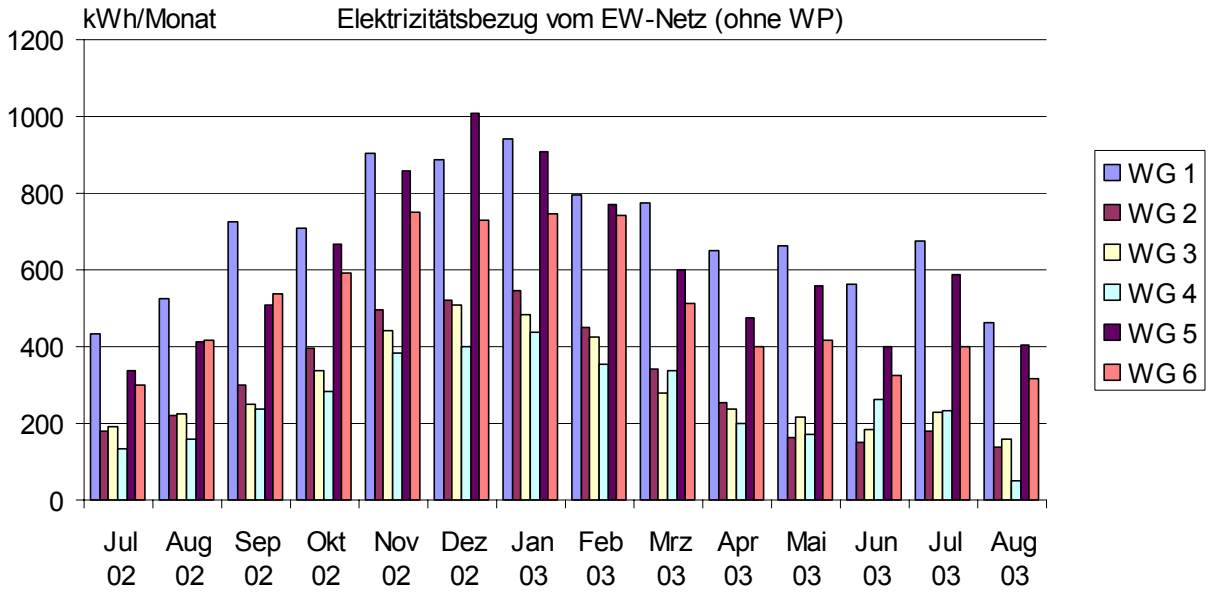


Abbildung 30: Wohnungsweiser Elektrizitätsbezug in der Zeit vom August 2002 bis August 2003 (Haushaltsstrom, ohne Wärmepumpe, ohne Miteinbezug der Produktion und Rücklieferungsmengen der PV-Anlagen).

Pro Jahr ergeben sich die folgenden Haushaltsstrombezüge pro Wohnung (Abbildung 31):

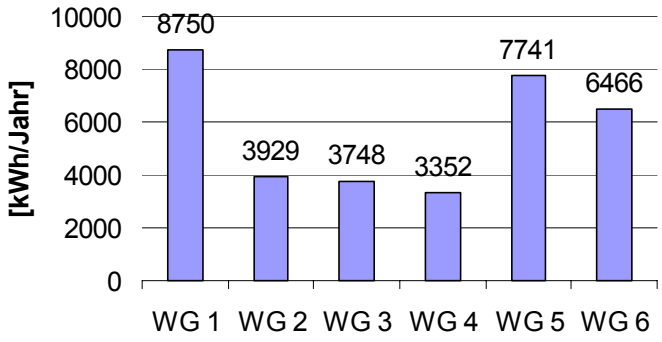


Abbildung 31: Jährlicher Strombezug (Haushalt ohne WP, ohne PV) pro Wohnung vom Juli 2002 bis August 2003.

Der Elektrizitätsverbrauch für die Wärmepumpen wurde separat erfasst. Ein Ziel des Projekts Sunny Woods ist es, den notwendigen Strombedarf der Wärmepumpen vollständig durch die produzierte Strommenge der Fotovoltaikanlagen zu decken, so dass von einem "Null-Heizenergiehaus" gesprochen werden kann. Wird also vom Stromverbrauch der Wärmepumpen die produzierte Strommenge der Fotovoltaikanlagen abgezogen, ergibt sich für die Zeit vom September 2002 bis August 2003 folgendes Bild (Abbildung 32):

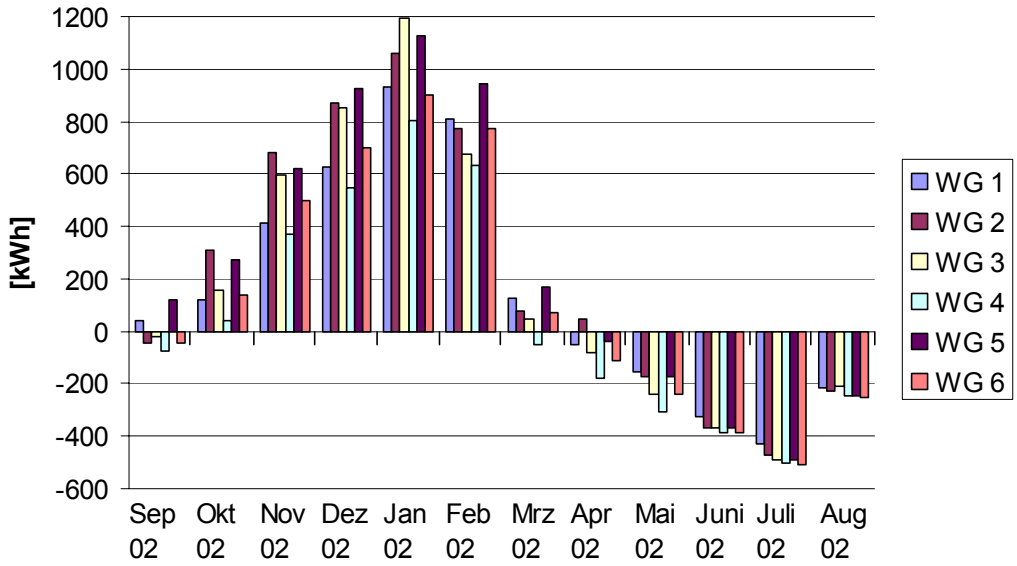


Abbildung 32: Differenz des Elektrizitätsbedarfs der Wärmepumpen – Stromproduktion der Fotovoltaikanlagen (September 2002 bis August 2003).

Aus dieser Abbildung ist ersichtlich, dass im Winter wesentlich weniger Strom von der Fotovoltaikanlage produziert wird als in den Sommermonaten. In den Frühlings- und Sommermonaten hingegen wurde ein "Überschuss" (in Bezug auf den Wärmepumpenbedarf) produziert. Die Unterdeckung im Winter kann einerseits durch den sehr kalten und schneereichen Winter 2002 / 2003 erklärt werden. Im Februar 2003 bedeckte eine Schneeschicht das Dach von Sunny Woods und schmälerte den Ertrag der PV-Anlagen beträchtlich. Abbildung 33 zeigt die Aussentemperaturen und die direkte Sonneneinstrahlung in den beiden Monaten Januar und Februar 2003 (Daten von der Zürcher Hochschule Winterthur ZHW).

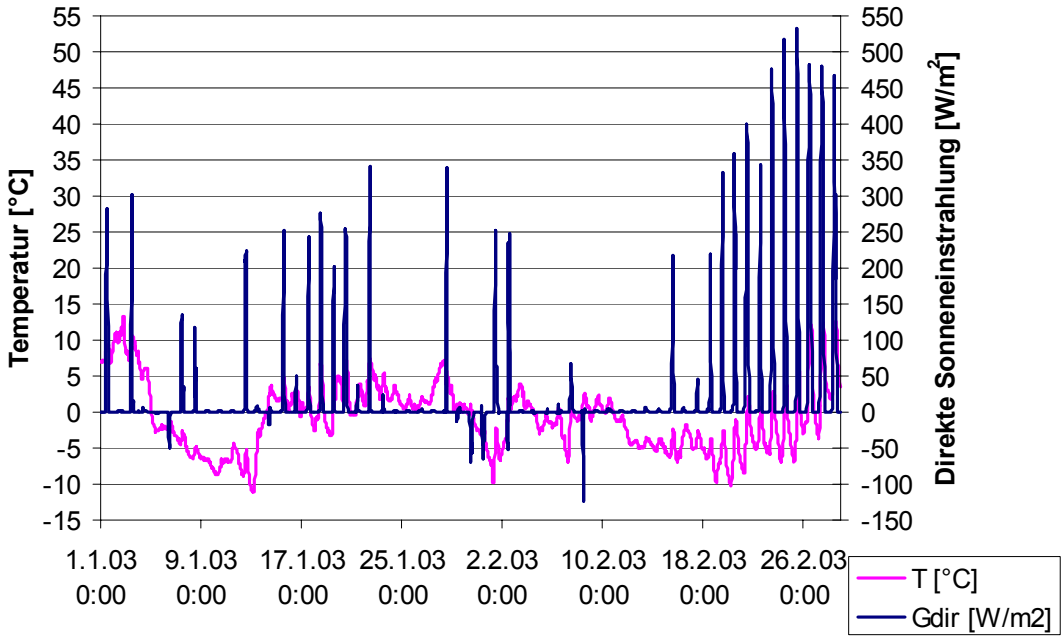


Abbildung 33: Aussentemperaturen und direkte Sonneneinstrahlung in den Monaten Januar und Februar 2003 (Daten und Messort der Zürcher Hochschule Winterthur).

Aus dieser Abbildung ist der markant höhere Anteil der direkten Sonneneinstrahlung im Februar gegenüber dem Januar gut ersichtlich. Diese Sonneneinstrahlung konnte von der PV-Anlage nicht genutzt werden, wegen dem schneebedeckten Dach.

Im weiteren ist in Abbildung 32 auch das unterschiedliche Heizverhalten der Bewohner sichtbar. Wird die Raumtemperatur um zwei Grad erhöht auf 22 °C anstatt 20 °C, ergibt sich entsprechend auch ein höherer Strombedarf der Wärmepumpe. (Bei einer ausgemessenen Wohnung liegt die durchschnittliche Temperatur im Wohnbereich bei 22 °C.) Auf ein Jahr summiert werden die Strombedarfe der Wärmepumpen aus folgenden Anteilen der Fotovoltaikanlagen und aus dem EW-Netz gedeckt (Abbildung 34):

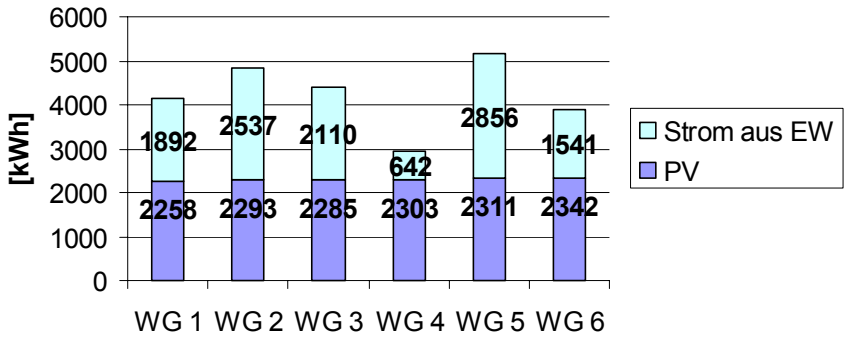


Abbildung 34: Totaler Strombedarf der Wärmepumpen mit Anteilen aus PV und aus EW-Netz pro Jahr und Wohnung.

Einzig die Panels der Wohnung 4 produzierten annähernd genügend Strom für den Betrieb der Wärmepumpe.

Als Gründe für die Unterdeckung der PV-Anlage resp. den zu grossen Elektrizitätsbezug für die Wärmepumpe können folgende Punkte aufgeführt werden: Der Lüftungsverlust durch die undichten Fenster darf nicht unterschätzt werden. Der Winter 2002 / 2003 war sehr kalt und schneereich. Deshalb stieg einerseits der Wärmebedarf in den Wohnungen an, die Wärmepumpe war vermehrt in Betrieb und lief mit grossen Temperaturdifferenzen (mit Auswirkung auf den COP), andererseits verhinderte eine Schneeschicht auf den Fotovoltaikzellen die Elektrizitätsproduktion. Im weiteren wurden die Räume nicht durch direkte Sonneneinstrahlung passiv erwärmt, weil die Sonnenstoren in der Regel geschlossen waren. Die Erhöhung der Raumtemperaturen von 20 °C, wie nach SIA 380/1 ausgelegt, auf 22 – 24 °C bedeutet einen beträchtlichen Mehrbedarf an Energie.

Könnte der COP der Wärmepumpen von durchschnittlich 2.3 auf 3.5 erhöht werden, würde sich folgendes Bild ergeben (Abbildung 35):

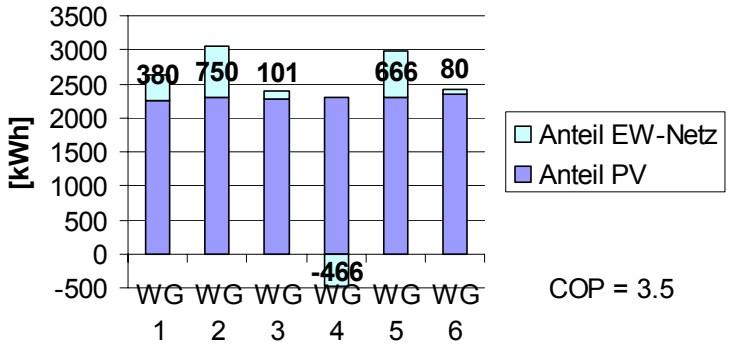


Abbildung 35: Totaler Strombedarf der Wärmepumpen bei gleichbleibendem Energiebedarf bei einem COP der Wärmepumpen von 3.5, aufgeteilt nach Bezug von PV-Anlage und EW-Netz (pro Wohnung und Jahr).

Bei einem durchschnittlichen COP der Wärmepumpen von 3.5 würde die PV-Anlage der Wohnung 4 rund 470 kWh "zuviel" Strom produzieren als für den Betrieb der WP notwendig wäre. Bei den anderen Wohnungen müsste nur noch ein kleiner Anteil Strom aus dem Elektrizitätswerk bezogen werden.

Der totale Heiz- und Warmwasserbedarf für alle sechs Wohnungen erreicht laut den Messungen einen Wert von 71'550 kWh pro Jahr und setzt sich aus folgenden Anteilen Wärmelieferung von den Sonnenkollektoren und Anteil Wärme von den Wärmepumpen, davon Strom von den PV-Anlagen sowie Strom aus dem Elektrizitätsnetz zusammen (Tabelle 3):

Tabelle 3: Totaler Heiz- und Warmwasserbedarf sowie Anteile Wärme aus Kollektoren und Wärmepumpen. Der Strombedarf der WP wird gedeckt von den Fotovoltaikanlagen sowie aus dem EW-Netz.

		Resultate Messung
Wärme Kollektoren	[kWh/a]	16'250
Wärme WP		55'300
Qh+ww		**71'550**
Strombedarf WP		25'370
Anteil PV		13'380
Anteil EW-Netz		11'570 *

* berechneter Wert

Wie bereits erwähnt, wirken sich eine Erhöhung der Raumtemperaturen sowie eine Verschlechterung des g-Wertes der Fenster durch die Stoffstoren erhöhend auf den Heizwärmebedarf aus. Werden die COP-Werte der Wärmepumpen bei 2.3 belassen und dafür die Raumtemperaturen und der g-Wert der Fenster variiert, können folgende Werte berechnet werden (Tabelle 4):

Tabelle 4: Strombedarf und Deckungszusammensetzung für den Wärmepumpenbetrieb bei einer Raumtemperatur von 20 °C (nach SIA 380/1-Norm), bei einer Raumtemperatur von 22 °C, sowie bei einer Raumtemperatur von 22 °C und vermindertem g-Wert der Fenster (Berechnung).

		Raumtemperatur 20 °C	Raumtemperatur 22 °C	Raumtemperatur 22 °C, g-Wert = 0.2
Qh	[kWh/a]	13'870	17'723	32'363
Qww		28'896	28'896	28'896
Qh+ww		**42'766**	**46'619**	**61'259**
Wärme Kollektoren *		16'250	16'250	16'250
Qh+ww – Wärme Kollektoren		26'516	30'369	15'009
Notwendiger Strombedarf WP		**11'529**	**13'204**	**19'569**
Strom aus PV *		13'800	13'800	13'800
Strom aus EW-Netz		-	-	5'769

* Effektiv gemessene Werte

Nach Angaben des Herstellers der Sonnenstoren (Griesser AG, Dietlikon) liegt der g-Wert der Sonnenstoren und der Fenster bei einem Wert von 0.15.

Ein weiterer Anteil des erhöhten gemessenen Wärmebedarfs im Vergleich zum berechneten Bedarf nach SIA 380/1 liegt in den erhöhten Lüftungsverlusten (siehe auch Abschnitt 5): Nach Messungen mit der Blow Door Methode und thermographischen Aufnahmen der Gebäudehülle liegt die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bei einem n_{L50}-Wert zwischen 2.3 bis 2.6. Dies ist der Luftwechsel pro Stunde bei einem Differenzdruck von 50 Pa und geschlossenen Fenstern. Normalerweise sollte dieser Wert bei Passivhausneubauten bei 0.6 zu liegen kommen. Die erhöhten Lüftungsverluste resultieren vor allem durch Probleme mit den vakuumisolierten Fensterrahmen. Für die weiteren Berechnungen wurde für den Ist-Zustand von n_{L50} ein Wert von 2.0 eingesetzt.

Laut "element 29: Wärmeschutz und Energie im Hochbau" [Schweizerische Ziegelindustrie, 1990, Zürich] liegt das Verhältnis n_{L50} / n_L etwa im Bereich von 7 bis 15. Nach Angaben der Expertin I. Tzinoglou der Firma I & T Bauphysik, Mühlethal liegt dieses Verhältnis eher bei 10 bis 20. Die Wärmeverluste infolge Luftwechsel können mit Hilfe der folgenden Formel berechnet werden:

$$Q_L = n \cdot V \cdot \rho \cdot c_p \cdot HGT \cdot \frac{24}{1000}$$ [kWh] wobei $\rho \cdot c_p =$ 0.32 Wh/m^{3}K V_{netto} = 3217 m^3

HGT = 2771 Kd

Das Gebäudevolumen umfasst netto 3217 m^3, die Heizgradtage HGT wurden für eine Raumtemperatur von 20 °C und einer Heizgrenze von 12 °C mit den Aussentemperaturdaten der Zürcher Hochschule Winterthur für den Winter 2002 / 2003 berechnet.

Die berechneten Werte von n_L soll und n_L ist sowie Q_L soll und Q_L ist sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Berechneter Soll- und Ist-Zustand für den Luftwechsel n_L und den Wärmebedarf für Lüftung Q_L.

	Soll-Zustand	Ist-Zustand
n_{L50} [h^{-1}]	0.6	2.0
n_L [h^{-1}]	0.04 – 0.09	0.13 – 0.29
Q_L [kWh]	2740 - 5870	9130 – 19'560

Die Differenz zwischen Soll- und Ist-Zustand liegt für den Lüftungswärmebedarf im Bereich zwischen 3'500 bis 16'500 kWh. Laut Tabelle 3 liegt der berechnete Strombezug aus dem Elektrizitätswerk bei 11'500 kWh, gemäss Tabelle 4 wurden bei einer Raumtemperatur von 22 °C und dem Einsatz der Sonnenstoren rund 5'800 kWh Strom aus dem EW-Netz bezogen. Die restliche Differenz von rund 6'000 kWh kann dem erhöhten Luftwechsel zugeschrieben werden (Tabelle 6).

Tabelle 6: Zusätzlich benötigter Strombedarf aus dem EW-Netz sowie die zusätzlich benötigten Bedarfe wegen erhöhter Raumtemperaturen, Benutzung der Sonnenstoren sowie den erhöhten Lüftungsverlusten.

	[kWh]
Anteil EW-Netz (berechnet, nach den Messungen, Tabelle 3)	11'570
22 °C Raumtemperatur, Fenster g-Wert = 0.2 (Anteil EW-Netz, Tabelle 4)	5'770
Differenz erhöhter Lüftungswärmebedarf (Tabelle 5)	3'500 – 16'500

Von den Zählerablesungen Haushaltsstrombezug, WP-Strombezug, Produktion der PV-Anlage sowie rückgelieferte Menge der PV-Anlage ans EW-Netz der PV-Anlage lässt sich eine Gesamtbilanz für die Zeit vom September 2002 bis 2003 erstellen: Haushaltsstrombezug + Wärmepumpenstrombezug + Produktion PV - Rücklieferung (Abbildung 36).

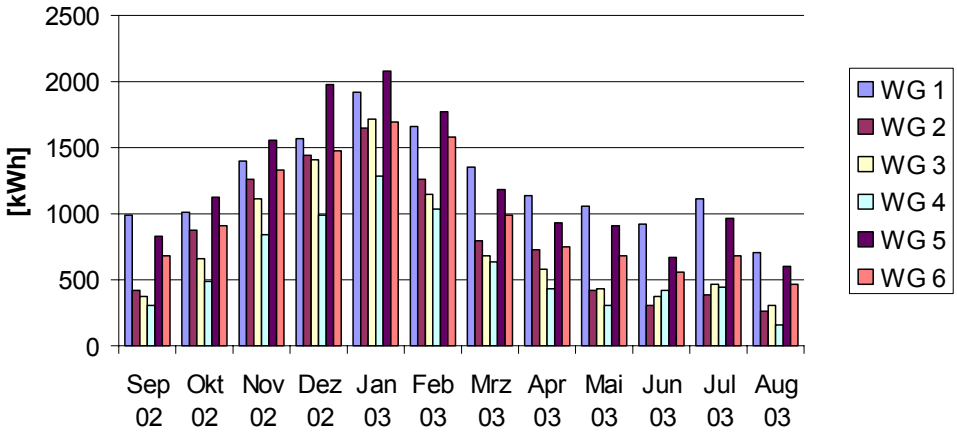


Abbildung 36: Gesamtbilanz Strombedarf vom September 2002 bis August 2003: Strombezug Haushalt + Strombezug WP + Produktion PV – Rücklieferung.

Aufsummiert auf ein Jahr ergeben sich folgende Netto-Strombedarfe in den sechs Wohnungen (Abbildung 37):

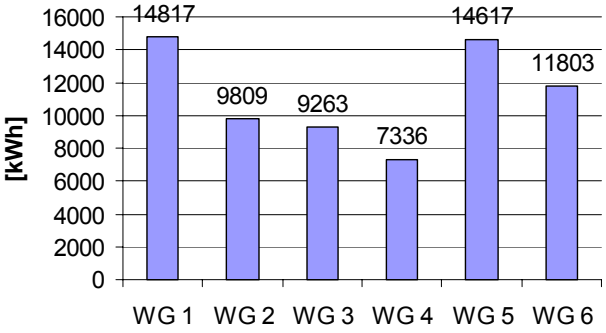


Abbildung 37: Nettostrombedarf pro Wohnung und Jahr.

Der jährliche Strombedarf ergibt für alle sechs Wohnungen zusammen eine Menge von rund 67'650 kWh. Auch in der Nettobilanz sind die Bedarfe der sechs Wohnungen sehr unterschiedlich und die verschiedenen "Zusammensetzungen" und "Stromverbrauch-Eigenschaften" der Bewohnerinnen und Bewohner sind dadurch ersichtlich.

4.9 Speicherfähigkeit Boden

Die mittlere Attikawohnung wurde erst im Juli 2002 bezogen, wurde also während der Kälteperiode 2001 / 2002 nicht aktiv beheizt. Mit Hilfe von Temperaturmessungen im Fussboden können Aussagen über das Speicherverhalten des schwarzen Schiefersteinbodens gemacht werden. Die Sonnenstoren waren in dieser Zeit noch nicht in Betrieb, das heisst, die Sonne konnte ungehindert in die Wohnung und auf den Fussboden scheinen.

Im Unterlagsboden des oberen Geschosses wurden zwei Temperaturfühler montiert (siehe Abbildung 38). Der Fühler T1 befindet sich in einer Höhe von 15 mm im 80 mm dicken Zementunterlagsboden. Der Fühler T2 liegt auf dem Zementunterlagsboden auf und wird direkt von den Schifersteinplatten bedeckt.

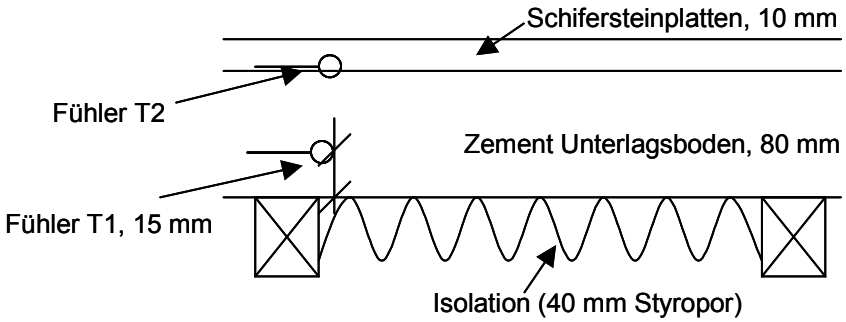


Abbildung 38: Lage der Temperaturfühler T1 und T2 im Fussboden.

Die Wohnungen links und rechts sowie unterhalb dieser Wohnung waren im Winter 2001 / 2002 bereits bewohnt. Die Fühler grenzen jedoch von keiner Seite her direkt an aktiv beheizte Flächen. Abbildung 39 stellt den Temperaturverlauf der Fühler T1 und T2 sowie der Aussentemperatur und direkten Sonneneinstrahlung vom 29. November bis 16. Dezember 2001 dar.

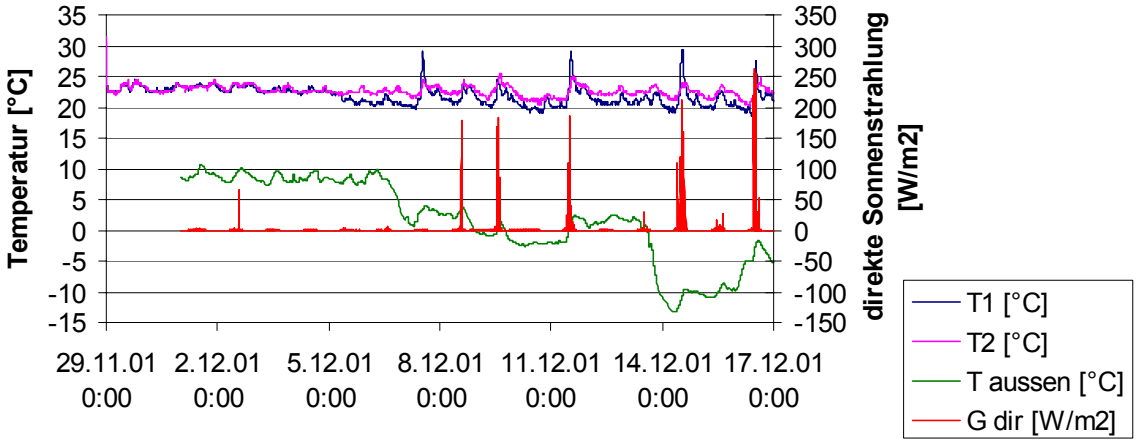


Abbildung 39: Temperaturverlauf der beiden Fühler T1 und T2 sowie Aussentemperatur und direkte Sonneneinstrahlung vom 29. 11. bis 16. 12. 2001 (Daten Aussentemperatur und direkte Sonneneinstrahlung von der Zürcher Hochschule Winterthur, Messort Winterthur).

Es lässt sich sehr gut erkennen, dass bei direkter Sonneneinstrahlung die Temperaturen kurzfristig steigen, sich der Boden also mit kurzer Zeitverzögerung erwärmt. Auch wenn die Aussentemperaturen während längerer Zeit weit unter 0 °C fallen (vom 13. Dez. bis Ende Messperiode, T_{min} = -13 °C), bleibt die Fussbodentemperatur immer über 19 °C, und dies ohne Heizung!

Hiermit zeigt sich, dass die Wohnung rein durch passiven Sonnengewinn geheizt werden kann, die Temperatur fällt nur an wenigen Tagen kurzfristig unter 20 °C.

Somit ist es wertvoll, wenn der Boden vor allem in der Übergangszeit Herbst / Winter durch einfallende Sonnenstrahlen erwärmt wird und der Boden diese Wärme speichern kann. Momentan verhindert jedoch die Regelung der Sonnenstoren diesen Eintrag, weil die Storen bei geringer direkter Strahlung automatisch heruntergefahren werden. Bei der gewählten Funksteuerung der Storen lässt sich bis heute noch kein Raumtemperaturfühler aufschalten, es handelt sich um ein technisches Problem. Das Problem könnte momentan nur durch die manuelle Betreibung der Storen während der Übergangszeit gelöst werden, um somit die Speicherfähigkeit des Bodens besser auszunutzen.

5 Problematiken

5.1 Energieverluste der Gebäudehülle

Am 26. Februar 2003 wurden Messungen zur Kontrolle der Gebäudehülle mittels Thermographie und Blower Door in zwei Wohnungen durchgeführt. Daraus konnte eine allgemeine Zustandserfassung bezüglich Energieverluste der gesamten Gebäudehülle erhoben werden. Die Firma "I & T Bauphysik", Mühlethal führte die Messungen durch. Die Messungen begannen um 7.30 Uhr und dauerte ca. drei Stunden. Die Innentemperatur betrug ca. 22 °C, die Aussentemperatur lag bei ca. 6 °C. Es war klar, sonnig, trocken und windstill.

Anhand der Blower-Door-Messung können die Parameter n_{L50} und $v_{a,4,max}$ ermittelt werden. Die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle wird durch den n_{L50}-Wert charakterisiert. Dieser Wert entspricht dem Luftwechsel pro Stunde bei einem Differenzdruck von 50 Pa und geschlossenen Fenstern. Bei einem Neubau im Passivhausstandart sollte dieser Wert bei max. 0.6 liegen (bei Minergiebauten liegt der Zielwert bei 1.0). Als Kennwert für die Gesamt-Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle kann der auf die Hüllenfläche bezogene Volumenstrom bei Referenzbedingungen von 4 Pa Druckdifferenz mit dem $v_{a,4,max}$-Wert verwendet werden. Beim $v_{a,4,max}$-Wert liegt der Grenzwert bei 0.75, der Zielwert bei 0.5. Bei Bauten mit mechanischer Zu- und Abluftanlage sind die Zielwerte einzuhalten. Das Gerät System Blower Door wurde in der Eingangsöffnung im EG installiert. Die Lüftungsanlage wurde ausgeschaltet und die Zu- und Abluftkanäle abgehängt und abgeklebt. Die Zugangstüre zum Technikraum blieb während der Messung geschlossen. Die Messungen ergaben für beide Parameter in beiden Wohnungen zu hohe Werte, wie in Tabelle 7 aufgeführt ist.

Tabelle 7: Ergebnisse der Blower Door Messungen vom 26. Februar 2003 in zwei Wohnungen.

	Wohnung A		Wohnung B	
	Messung	erfüllt	Messung	erfüllt
n_{L50}	2.3 / 2.5 *	Nein	2.6	Nein
$v_{a,4,max}$	0.55 / 0.8 *	Nein	0.9	Nein

* Die Messungen wurden am 12. Mai 2003 in Wohnung A wiederholt um Messfehler auszuschliessen.

Die Luftdurchlässigkeit wurde im weiteren mittels Infrarotkamerabilder nachgewiesen. Es wurden Innenaufnahmen mit Unterdruck gemacht. "Mit Unterdruck" bedeutet, dass während der Infrarot-Messung in den jeweils gemessenen Räumen ein Unterdruck von ca. 50 Pa herrschte. An anfälligen undichten Stellen in der Gebäudehülle wird somit die kalte Aussenluft nach innen dringen. Dieser Vorgang wird mit der Infrarotkamera innen im Gebäude visualisiert. Die folgenden Abbildungen zeigen eine Auswahl an Thermographiebildern (aufgenommen von I & T Bauphysik):

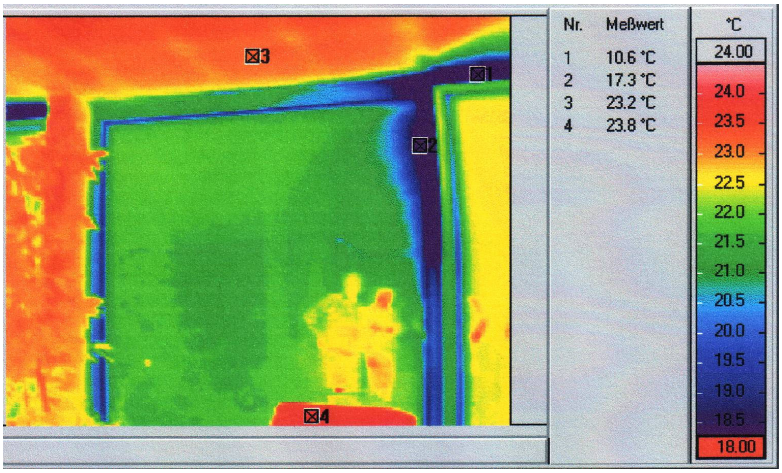


Abbildung 40: Thermographische Aufnahme im DG, Südfassade, Wohnbereich (Aufnahme I & T Bauphysik, 26.02.03). Der bewegliche Flügel ist massiv undicht.

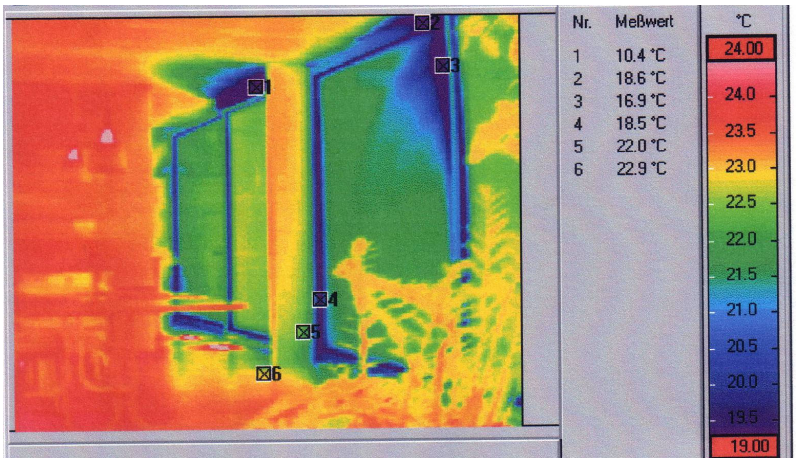


Abbildung 41: Thermographische Aufnahme im DG, Südfassade, Bereich Essen und Küche (Aufnahme I & T Bauphysik, 26.02.03). Die beweglichen Flügel sind v. a. im oberen Bereich sehr undicht.



Abbildung 42: Foto zu Abbildung 41.

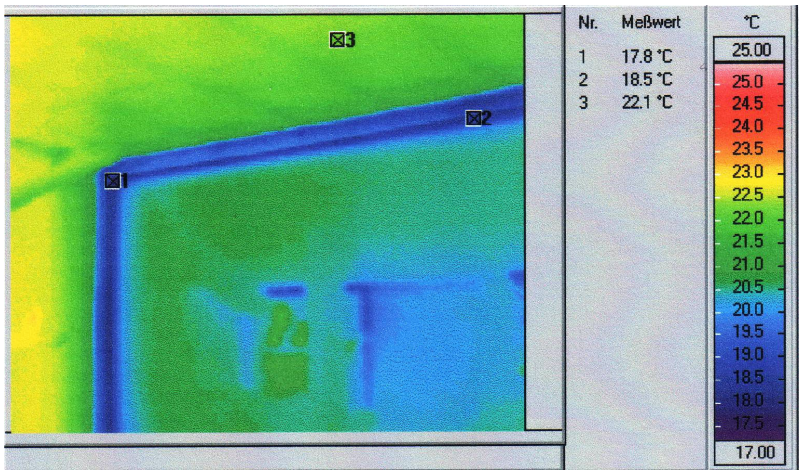


Abbildung 43: Thermographische Aufnahme im OG / DG, Nordfassade, Treppe, Festverglasung oben (Aufnahme I & T Bauphysik, 26.02.03). Keine Undichtigkeiten.

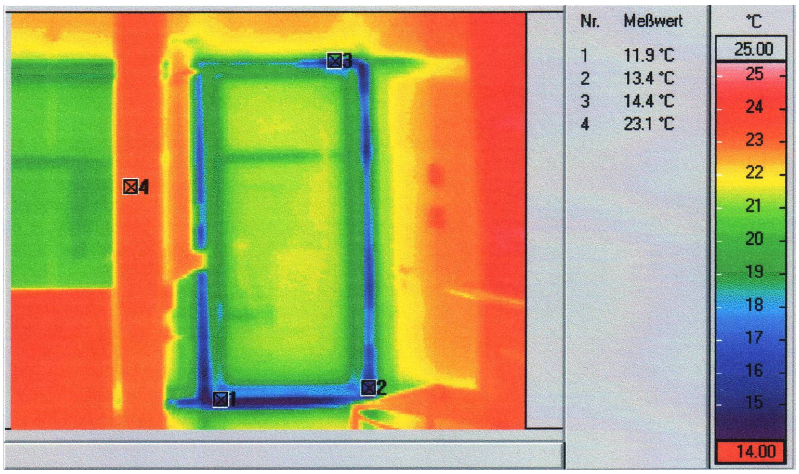


Abbildung 44: Thermographische Aufnahme im DG, Nordfassade, Fenstertüre zu Balkon (Aufnahme I & T Bauphysik, 26.02.03). Weil v. a. die Eckpunkte undicht sind, scheint die Fenstertüre ein wenig verzogen zu sein.



Abbildung 45: Foto zu Abbildung 44.

Aufgrund dieser thermographischen Aufnahmen konnte festgestellt werden, dass der bewegliche Flügel der Hebe-Schiebefenster im oberen Bereich jeweils massiv, in den unteren und seitlichen Bereichen teilweise undicht ist. Die Drehflügel und Festverglasungen sind generell dicht. Einige Flügel müssten neu gerichtet werden, weil sie teilweise nicht dicht schliessen. Die Glasfront bei der Treppe weist vor allem seitlich und unten Undichtigkeiten auf. Bei den Elektroanschlüssen wurde teilweise massiv Zugluft geortet. Diese konnte jedoch nicht thermographisch festgehalten werden, weil es sich um warme Luft handelte. Es wird vermutet, dass eine gebäudeinterne Undichtigkeit besteht, die auch massgebend dazubeigetragen hat, dass der n_{L50}-Wert so hoch ausgefallen ist.

Zur Senkung des n_{L50}-Wertes resp. des $v_{a,4,max}$-Wertes müssten die Hebe-Schiebefenster und die Elektroanschlüsse neu abgedichtet und die restliche Verglasung müsste neu eingestellt werden.

5.2 Eingangstüren mit Vakuumisolation

Im Gebäude Sunny Woods wurde auf einen sehr guten Wärmedämmwert bei den Eingangstüren geachtet. Zwischen den Türblättern der Eingangstüren befindet sich eine Vakuumschicht, welche für die gesamte Türe einen U-Wert von 0.6 W/m^{2}K ergibt. Bei der Handhabung mit dieser Vakuumisolation muss daran gedacht werden, dass keinerlei Löcher in die Schicht gebohrt werden dürfen. Dies muss beispielsweise bei, resp. vor der Anbringung der Türfallen und Schlösser berücksichtigt werden.

Bei den Thermographieaufnahmen konnte folgende Situation aufgenommen werden (Abbildung 46):

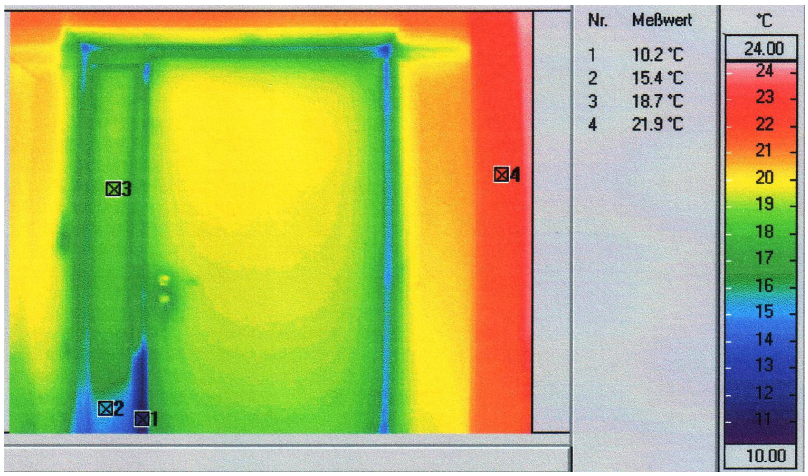


Abbildung 46: Thermographische Aufnahme im UG, Eingangstüre (Aufnahme I & T Bauphysik, 26.02.03). Die Türe ist im unteren Detail massiv undicht. Oben hingegen schliesst sie dicht.

Die Aufnahme lässt darauf schliessen, dass die Türen undicht geworden sind, weil sie sich verzogen haben. Eine Ausrichtung der Türen kann diesen Wärmeverlust aufheben.

5.3 Regelung Sonnenstoren

Wie bereits in Kapitel 4.9 beschrieben wurde, verhindert die automatische Regelung der Sonnenstoren den passiven Sonnengewinn, der vor allem in der Übergangszeit einen wichtigen Beitrag zur Wärmespeicherung im Boden und somit zur Erwärmung des Raumes bringen würde. Es ist technisch momentan noch nicht möglich, diese Regelung zu erweitern und einen Temperaturfühler miteinzubeziehen. Somit kann dieser passive Sonnengewinn bis auf weiteres nur genutzt werden, wenn die Sonnenstoren (während der Übergangszeit) manuell betrieben werden.

6 Behaglichkeit

Die Lüftungsverteilung erfolgt wie in Abschnitt 4.7.1 bereits beschrieben aus dem Zwischengeschoss jeder Wohnung. Somit gelangt die Luft durch Luftschlitzauslässe aus der Decke in die unteren Räume, und durch Bodengitterauslässe in die oberen Räume. Strömungssimulationen der Firma Air Flow Consulting, Zürich, ergaben, dass weder bezüglich Temperaturverteilung noch Luftzug unbehagliche Zustände entstehen. Abbildung 47 zeigt die Simulation der Temperaturen in der vertikalen Ebene im Wohnzimmer des Gartengeschosses.

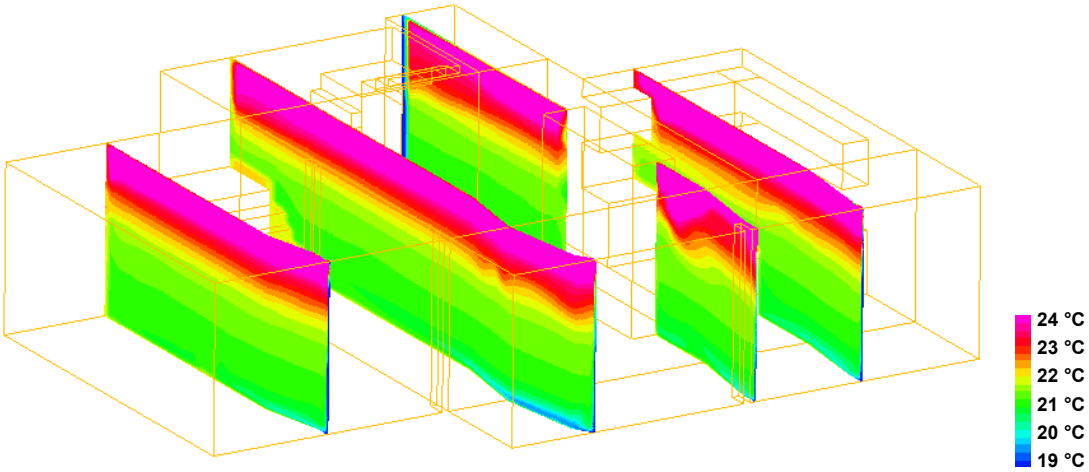


Abbildung 47: Temperaturen in der vertikalen Ebene im Wohnzimmer im Gartengeschoss.

Die Luftströmungen auf 10 cm Höhe über Boden verhalten sich dabei wie folgt (Abbildung 48):

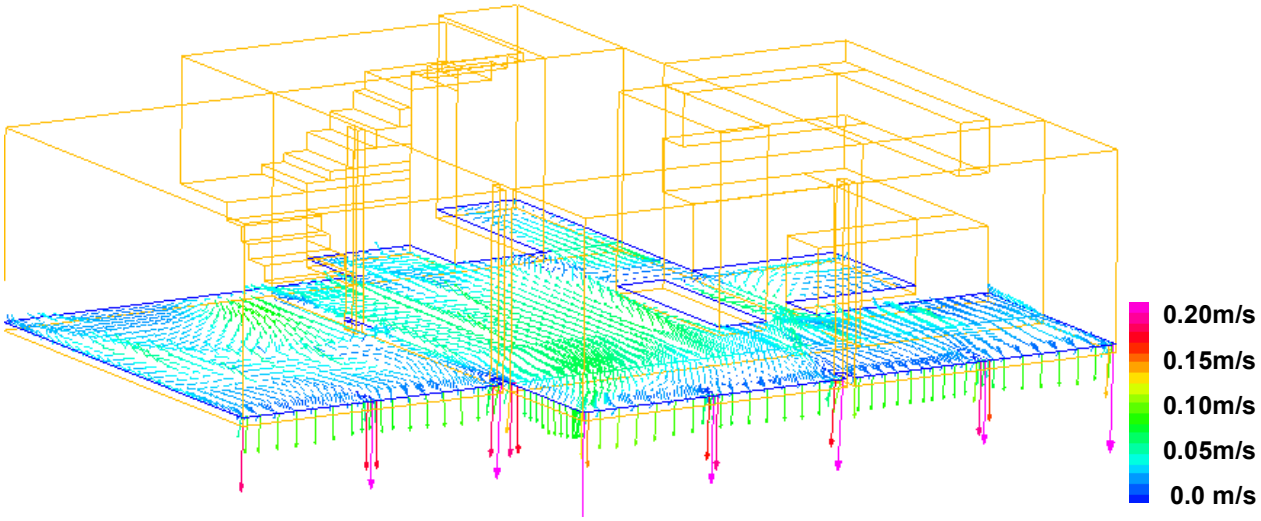


Abbildung 48: Luftströmung in 0.1 m Höhe über Boden (Wohnzimmer im Gartengeschoss).

Auch in Gesprächen mit den Bewohnern wurden keine Behaglichkeitsprobleme erwähnt.

6.1 Raumtemperaturen

In der Zeit vom Februar bis Juli 2003 wurden die Temperaturen in einer Wohnung im Wohnzimmer als auch im Schlafzimmer mit einem Datenlogger aufgezeichnet (Abbildung 49).

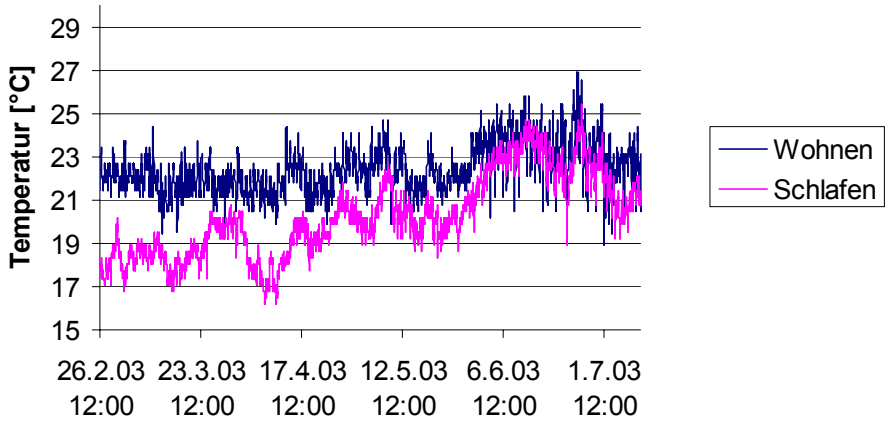


Abbildung 49: Raumtemperaturen vom 26. Februar bis 10. Juli 2003 im Wohn- und im Schlafbereich.

Im Wohnbereich liegt die durchschnittliche Temperatur während dieser Zeit bei 22.5 °C, im Schlafzimmer liegt sie durchschnittlich bei 20.3 °C.

7 Anhang

Anhang A: Gebäudedaten und Technische Angaben

Gebäude

Baujahr	2000 / 2001
Anzahl Wohnungen	6 Maisonette-Wohnungen à 6 ½ Zimmer
Standort	Zürich Höngg
Höhe über Meer	520 m
Energiebezugsfläche	1387 m^2
Volumen SIA (beheizt)	4900 m^3
Volumen SIA (unbeheizt)	2800 m^3
Fensterfläche Süd	55 m^2

Energie (Angaben je Wohnung)

Leistung Wärmepumpe	4.1 kW (-7 °C / 45 °C)
JAZ Wärmepumpe	2.3
Lüftungsanlage	120 m^3/h
Fläche Sonnenkollektoren	6.5 m^2 (Vakuumröhren)
Fläche Fotovoltaik	48 m^2
Leistung Fotovoltaik	2.7 kW_p

Energiekenndaten

Wärmeleistungsbedarf	16.7 kW (entspricht 12 W/m^2)
Heizenergiebedarf Qh	5.8 kWh/m^2a
Energiekennzahl Wärme	14.4 kWh/m^2a
Energiekennzahl Heizung	6.3 kW/m^2a
Energiekennzahl Warmwasser	8.4 kW/m^2a

Anhang B: Protokolle der Lüftungsinbetriebnahmen

8 Publikationen

[1] Schmid, F. (2002): "Das Passivhaus wird schick". Gebäudetechnik, Nr. 1/02, Aarau.

[2] Kämpfen, B., Naef, R. (2002): "Sunny Woods – ein Nullheizenergiehaus am Stadtrand von Zürich". Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit im Bauwesen, EMPA ZEN, 12. Schweizerisches Statusseminar 2002, Dübendorf.

[3] Bogusch, W. (2002): "Ein Holzbau: urban, mehrgeschossig und energieautark". Schweizer Holzbau, Nr. 1/2002, Zürich.

[4] Schweizer Solarpreis (2002): "Sechsfamilienhaus 'Sunny Woods', Zürich". Stiftung Solar Agentur Schweiz, August 2002, Zürich.

[5] Hönig, R. [2003]: "Luxuswohnungen im Solarhaus". NZZ-Folio, Nr. 7/2003, Zürich.

[6] Niederhäusern, A. [2003]: "Ein Spagat". Erneuerbare Energien, Nr. 4/2003. Schweizerische Vereinigung für Sonnenenergie SSES, Bern.

[7] Kämpfen, B. [2003]: "A New Synthesis of Architecture and Energy". Home Energy Magazine, September / October 2003, Volume 20.5, Berkeley, USA.

Publikationen in diversen Zeitungen (Tages-Anzeiger, Züri-Express).