

***Rationelle  
Energienutzung  
in Gebäuden***

***Haustechnik für Niedrigenergiehäuser  
Erfahrungen mit kostengünstigen  
Einfamilienhäusern am Steinbruch Dielsdorf***

*Rolf Lüthi, Architekt Regensberg*

*Hans Bertschinger, EMPA Dübendorf*

***im Auftrag des  
Bundesamtes für Energie***

***November 2002***

*Adresse  
der Verfasser* Rolf Lüthi  
Architekturbüro R. Lüthi  
Im Höfli 89  
8158 Regensberg

Hans Bertschinger  
EMPA ZEN  
Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit im Bauwesen  
8600 Dübendorf

Bauherrschaft:  
Lägern Kalksteinbrüche, Regensberg

Architekt:  
Rolf Lüthi, Architekt SIA, Im Höfli 89, 8158 Regensberg  
Energieplaner:  
Th. Baumgartner, Büro für Haustechnik, 8600 Dübendorf

Messungen:  
H. Bertschinger, EMPA-KWH, 8600 Dübendorf  
Hans Mühlebach, EMPA Abteilung Bauphysik, 8600 Dübendorf

Dank  
Dank an Marin Reusser vom Architekturbüro R. Lüthi, welcher jederzeit für  
Fragenbeantwortung und bei der Unterstützung der Messinstallationen zur  
Verfügung stand.

*Impressum* Haustechnik für Niedrigenergiehäuser –  
Erfahrungen mit kostengünstigen Einfamilienhäusern am Steinbruch Dielsdorf

Architekturbüro Lüthi, im Auftrag des Bundesamtes für Energie

Copyright: EMPA ZEN, Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Bezug: EMPA ZEN, CH-Dübendorf (Fax: +041 1 823 40 09, e-mail: zen@empa.ch)

## ***Inhaltsverzeichnis***

1. <i>Einleitung</i>	5
2. <i>Projektbeschreibung</i>	6
3. <i>Messtechnische Überprüfung</i>	12
4. <i>Zusammenfassung</i>	25
5. <i>Vorläufer des Passivhauses</i>	27
6. <i>Thermografieaufnahmen und Fotos</i>	28



# 1. Einleitung

Für Niedrigenergiehäuser ist die Wärmebereitstellung für Heizung und Warmwasser oft ein Problem. Die erforderlichen Leistungen sind gering, die nutzungsbedingten Abweichungen jedoch verhältnismässig gross. Eine korrekte Planung ist wegen der stark schwankenden Sonnenenergiegewinne und des nicht vorhersehbaren Benutzerverhaltens schwierig.

Wenn an wenigen Tagen oder sogar nur wenigen Stunden im Jahr die Komfortbedingungen nicht ganz eingehalten werden müssen, lässt sich einerseits der Planungsaufwand stark reduzieren, andererseits kostet die Technik deutlich weniger.

Am Steinbruch in Dielsdorf wurden von Architekt Rolf Lüthi fünf kostengünstige Niedrigenergiehäuser erstellt und mit einer, dem geringen Heizwärmebedarf angepassten, einfacher Haustechnik ausgerüstet. Die Häuser werden nur mit einem Cheminée-Ofen beheizt. Für die Untersuchung wurden zwei Häuser mit unterschiedlichen Systemen für Lüftung und Warmwasser analysiert:

- **Haus A: Solar**  
Solare Warmwasseraufbereitung (Solkit) mit elektrischer Nachheizung, mechanische Wohnungslüftung mit effizienter Wärmerückgewinnung (Heat Hunter Gegenstromwärmetauscher). Heizung bei tiefen Temperaturen mit dem Cheminéeofen.
- **Haus B: Abluftwärmepumpe**  
Mechanische Wohnungslüftung mit Kombigerät für Lüftung und Warmwasser (Wärmerückgewinnung über Plattenwärmetauscher und Restwärmenutzung mittels Wärmepumpenboiler). Der Wärmepumpenboiler unterstützt die Heizung, indem die Zuluft leicht vorgewärmt wird. Ebenfalls steht hier ein Cheminéeofen als primäres Heizsystem zur Verfügung.

Ziel dieses Projektes war die energetische Untersuchung dieser einfachen Haustechniksysteme und deren Einfluss auf den Komfort. Von besonderem Interesse war der Vergleich der beiden unterschiedlichen Systeme für Lüftung und Warmwasser. Die Messungen sollten zeigen, welche der beiden Strategien, A Solar oder B Wärmepumpe energieeffizienter und umweltfreundlicher ist und/oder das bessere Preis-/Leistungs-Verhältnis ergibt.

## Wichtige Erkenntnisse

Die Einfamilienhäuser haben sich im Prinzip bewährt. Die gut gedämmte Gebäudehülle und die gewählten Haustechnikkomponenten spielen bei beiden gemessenen Häusern gut zusammen. Allerdings ist der Heizaufwand mit den Cheminéeöfen grösser als erwartet. Ein Ofen mit längerem Abbrand und mehr Speichermasse würde ein häufiges Nachlegen reduzieren. Zudem lässt sich die Speicherdecke über dem Obergeschoss praktisch nicht nutzen. Thermisch wirksame Speichermasse müsste im Erdgeschossboden oder in der Decke vorhanden sein. Die niedrigen Belegungsdichten und -zeiten bewirkten zwar einen tiefen Warmwasser- und Elektrizitätsverbrauch, doch fehlen die daraus resultierenden nutzbaren Gewinne. Würden Familien mit Kindern in diesen Häusern wohnen, so wären die internen Gewinne spürbar höher.

Mit den grosszügigen Verglasungen lässt sich die Sonnenenergie gut nutzen. Die Rafflamellen müssen dem Klima entsprechend vorausschauend bedient werden, um im Sommer eine Überhitzung zu vermeiden und im Winter die Gewinne zu optimieren. Eine automatische Steuerung wäre eine Komfortsteigerung.

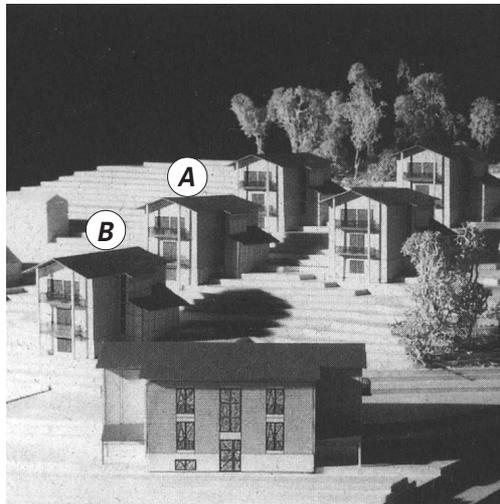
Die Komfortlüftung versorgt alle Räume mit den hygienisch notwendigen Frischluftmengen. Für die Verteilung der vom Cheminéeofen abgegebenen Wärme eignet sie sich nicht, da diese Wärme sofort durch das offene Treppenhaus unter die Obergeschossdecke steigt und dort nicht mehr bewirtschaftet werden kann. Bei den Häusern vom Typ B mit Wärmepumpe kann die Zuluft direkt nachgewärmt werden. Die Raumlufttemperaturen sind daher tendenziell höher.

Die Sonnenkollektoren im Haus A bewähren sich sehr gut. Dank dem sparsamen Wasserverbrauch der Bewohner ist auch der Anteil der solaren Deckung hoch.

## 2. Projektbeschreibung

### Baubeschrieb

Figur 1:  
Die Siedlung Steinbruch besteht aus fünf an einem nach Oste abfallenden Hang gelegenen Einfamilienhäusern und einem Mehrfamilienhaus. Untersucht wurden die Einfamilienhäuser A und B



Die Siedlung beim Steinbruch in Dielsdorf umfasst fünf Einfamilienhäuser gleicher Grösse und Ausrichtung und ein Mehrfamilienhaus. Die Gebäude liegen in einer Bauzone, welche durch das Städtchen Regensberg beeinflusst wird, obwohl kein direkter Sichtkontakt besteht. Das Konzept wurde vom Architekturbüro Rolf Lüthi in Regensberg erarbeitet, welches den fünf Einfamilienhäusern und dem strassenseitig gelegenen Mehrfamilienhaus (Personalhaus des Steinbruchs Dielsdorf) ein eigenständiges Erscheinungsbild verleiht. Gegenstand der Untersuchung waren die fünf Einfamilienhäuser. Das Mehrfamilienhaus weist eine ähnliche Bauweise, aber ein konventionelles Heizsystem auf. Ziel des Auftrags war es, einfache Häuser mit bescheidenem Ausbau- und Installationsstandard zu erstellen, welche inkl. Landanteil zwischen Fr. 600'000.- und Fr. 680'000.- kosten.

Die Einfamilienhäuser sind als 5 1/2-Zimmerwohnungen konzipiert. Alle Häuser sind unterkellert und weisen zwei Vollgeschosse auf. Der Estrich kann wegen der geringen Höhe nicht genutzt werden.

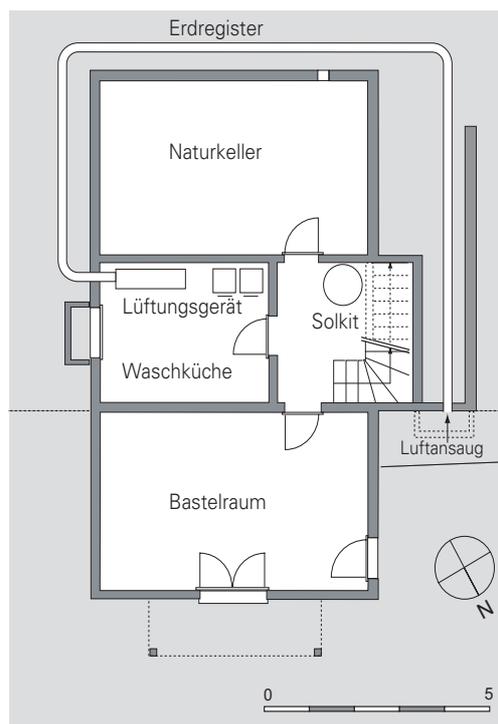
Das Untergeschoss ist in Massivbauweise (Beton/Kalksandstein) erstellt und unbeheizt. Die Gebäudehülle des Erd- und Obergeschosses wurde aus vorfabrizierten Holzelementen erstellt. Einzelne Innenwände wurden aus Kalksandstein und die Decken des Obergeschosses aus Beton erstellt, um thermisch wirksame Speichermasse zu erhalten.

Durch die Wahl von ökologischen Materialien und Techniken können im Vergleich zu ölbeheizten Gebäuden pro Haus und Jahr mehr als fünf Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden. [DIANE-Oeko Bau 1995]

#### Unbeheiztes Untergeschoss

Das unbeheizte Untergeschoss liegt grösstenteils im Erdreich. Die Umfassungswände sind in Beton, die Innenwände in Kalksandstein ausgeführt.

Ein Naturkeller mit unversiegeltem Kiesboden befindet sich auf der Hangseite, Waschküche und Geräte-/Abstellraum mit Betonboden und Zementüberzug auf der Vorderseite (Figur 2). Der talseitig gelegene Teil des Untergeschosses kann zu einem Bastelraum mit Fenster ausgebaut werden. Ein separater Zugang von



Figur 2:  
Grundriss  
Untergeschoss  
Haus A

aussen erschliesst das Untergeschoss. In der hangseitigen Baugrube wurde ein etwa 24 m langes Kunststoffrohr als Luftansaug-Erdegister für die mechanische Lüftung verlegt.

### Erdgeschoss

Der Eingangsbereich dient als Windfang. Gleich daneben liegt das Holzlager für den Cheminéeofen. Beide Räume dienen als unbeheizte Pufferzone. Der Dämmperimeter schliesst diese Räume mit ein.

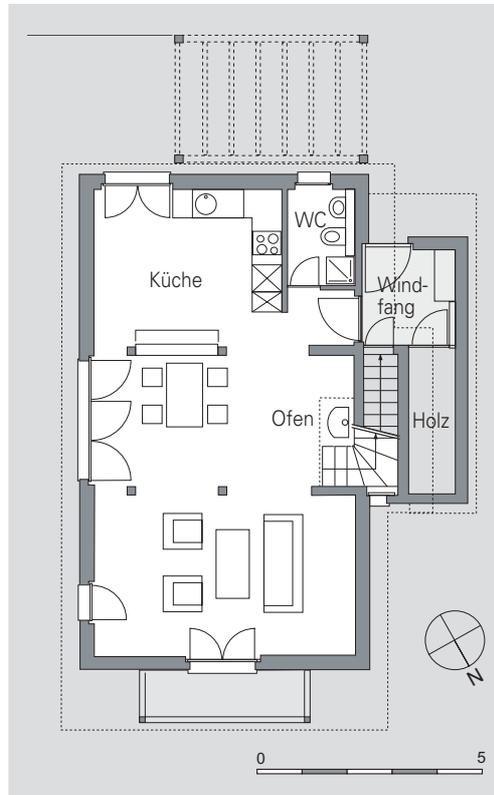
Der Wohnbereich ist offen gestaltet. Der Essbereich liegt zwischen der hangseitig gelegenen Küche und dem Wohnbereich. Die Treppe mit dem Cheminéeofen im Treppenauge markiert die Mitte des Hauses (Figur 3). Eine separate Dusche mit WC grenzt an die Küche und ermöglicht eine einfache Erschliessung mit Wasser, Abwasser und Abluft.

### Obergeschoss

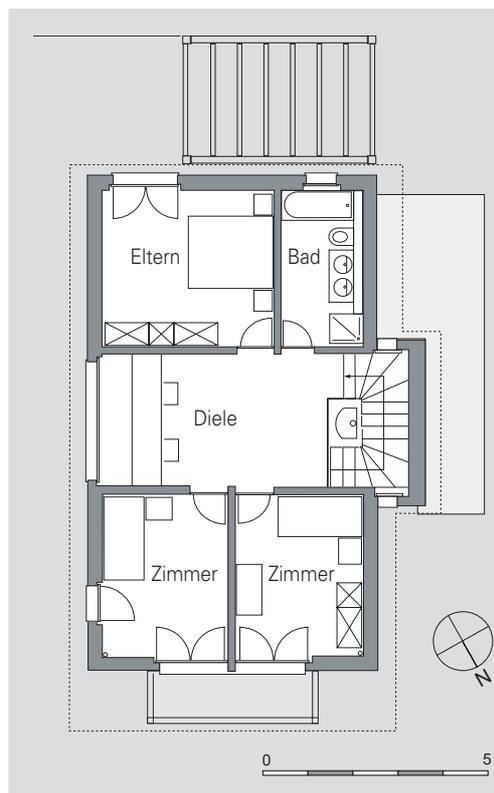
Der Vorraum dient als offene Diele und Zugang zu den Zimmern im Obergeschoss. Dieser Raum ist einerseits zur Treppe, andererseits galerieartig zur Nordwestseite des Essbereiches hin offen (Figur 4). Mit 11 m<sup>2</sup> kann dieser Bereich auch als Arbeitsecke genutzt werden. Südwestlich davon liegt das Schlafzimmer der Eltern (14.4 m<sup>2</sup>). Auf der nordöstlichen Seite liegen zwei Zimmer (je 10.8 m<sup>2</sup>), welche auch als ein grosses Zimmer ohne Trennwand genutzt werden können. Über der Dusche/WC des Erdgeschosses liegt das Bad/WC des Obergeschosses.

### Energiekonzept

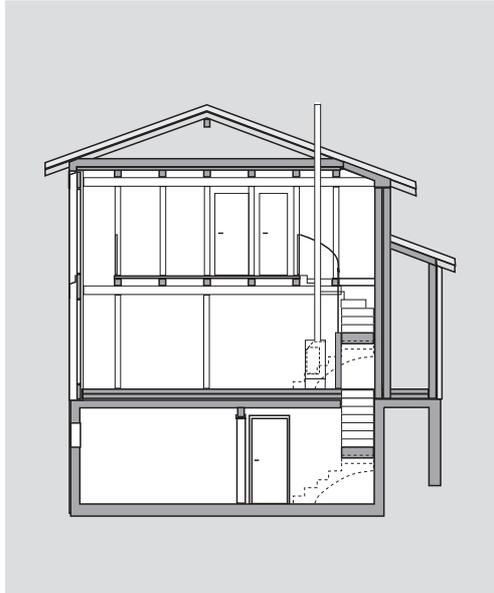
Die Gebäude sind sehr kompakt gestaltet. Ausser dem kleinen Vorsprung des Treppenhauses sind keine Vor- oder Rücksprünge in der Gebäudehülle vorhanden. Die Balkone auf der Nordostseite sind separat abgestützt und sind somit thermisch von der Gebäudehülle getrennt. Die rechteckige Gebäudeform weist ein für Einfamilienhäuser günstiges Oberflächen-/Volumen-Verhältnis von 1.92 auf. Der Grundriss des Erdgeschosses ist offen gestaltet und begünstigt dadurch die Wärmeverteilung im Erdgeschoss. Die Küche im Südwesten ist durch eine halbhohe Frühstücksbar vom restlichen Wohnraum abgetrennt. Der Cheminéeofen im Treppenaug markiert das Wärmezentrum des Gebäudes. Von hier verteilt sich die Wärme im Erd- und Obergeschoss. Warme Luft, die über das Treppenaug ins Obergeschoss aufsteigt, kann als Luftwalze gegenüber durch die Galerieöffnung



Figur 3:  
Grundriss  
Erdgeschoss



Figur 4:  
Grundriss  
Obergeschoss



Figur 5:  
Schnitt  
unbeheiztes Unterge-  
schoss in Massivbau-  
weise, Obergeschoss  
in Holz

wieder ins Erdgeschoss absinken. Der Wärme-transport in das Obergeschoss erfolgt über die warme Luft von Kaminöfen und Kamin und über die Wärmeleitung durch die Geschossdecke (Holzboden).

In jedem Haus gewährleistet eine mechanische Lüftungsanlage den hygienisch notwendigen Luftaustausch. Der Lüftungswärmebedarf ist dank Wärmerückgewinnung gering. Die Lüftungskanäle sind in den unbeheizten Kellerräumen wärmegeklämt.

Der Luftdichtheit der Gebäudehülle wurde grosses Gewicht beigemessen. Die Vorfabrikation der Aussenwände in der Zimmerei ermöglichte einen hohen Qualitätsstandard. Auf der Baustelle mussten nur noch die Elementstösse sauber verklebt werden.

### Wärmeschutz

Die Gebäude sind sehr gut wärmegeklämt. Die U-Werte (früher k-Werte genannt) der opaken Bauteile liegen unter 0.2 W/(m<sup>2</sup>·K). (Tabelle 1)

Bauteil	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Bemerkungen
Boden zu Keller	0.16	Keller unbeheizt
Aussenwände	0.19	hinterlüftete Holzschalung
Wände zu Windfang/Holzlager	0.19	unbeheizte Pufferräume
Decke zu Estrich (Kaltdach)	0.19	
Fenster mit 3-fach-IV	0.98	Rafflamellenstoren aussen Gesamtenergiedurchlassgrad g = 51 % (nur Verglasung)

Tabelle 1:  
U-Werte der Gebäude-  
hülle

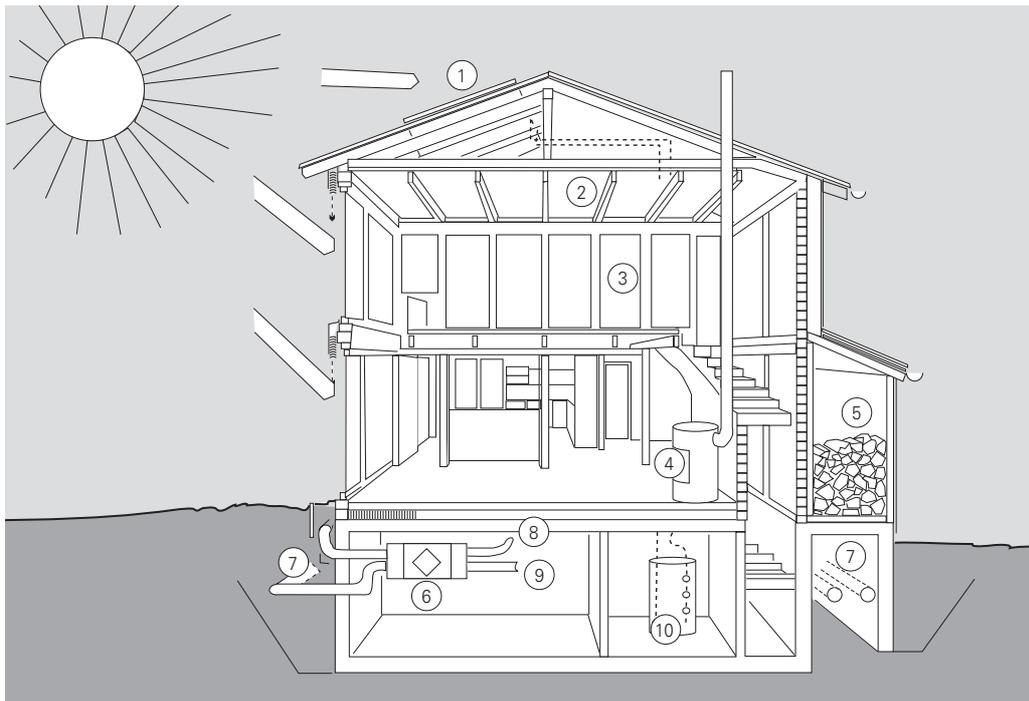
### Solare Gewinne

Auch die U-Werte der verglasten Bauteile sind überdurchschnittlich gut.

Mit einem Fensterflächenanteil von rund 30 % werden während der Heizperiode beachtliche passive Solargewinne angestrebt. Die Tabelle 2 zeigt die Rechenwerte der solaren Gewinne für den Standort Zürich SMA (Daten Meteonorm 85)

Orientierung	Fensterfläche [m <sup>2</sup> ]	Fensterflächenanteil [%]	Gewinne [GJ/Heizperiode]	Gewinnanteil [%]
SO	20.3	47	10.78	54.4
SW	11.0	25	5.14	26.0
NO	12.1	28	3.89	19.6
NW	keine	0	keine	0
alle	43.4	100	19.80	100.0

Tabelle 2:  
Strahlungsgewinne  
durch die Fenster



Figur 6:  
Schnitt durch das Haus A.

- 1 Solare Vorwärmung Warmwasser
- 2 Speicherdecke aus Betonelementen
- 3 Nordwand und Ausfachungen der Zwischenwände als Kalkstein-Speicher
- 4 Cheminéeofen
- 5 Holzvorrat
- 6 Erstatzluftanlage
- 7 Erdregister
- 8 Zuluft Wohnen und Schlafen
- 9 Abluft WC/Bad
- 10 Solarboiler

Die Orientierung der Fensterflächen ist für die gegebene Nordhang-Lage gut gewählt. Die Solargewinne durch die kleineren Südwest-Fenster sind höher als durch die Nordost-Fenster. Am Nachmittag profitieren die Südwest-Fenster oft von der Auflösung des Nebels, welcher am Morgen die Einstrahlung behindert.

Um die solaren Gewinne optimal nutzen zu können, wird eine aktive Bedienung der Rafflamellen durch die Bewohner erwartet. Während der Heizperiode sollten die Storen nachts geschlossen bleiben, um die Abstrahlungsverluste niedrig zu halten. Tagsüber soll das Licht jedoch in die Räume gelangen und mithelfen, die Gebäude zu heizen.

Im Sommer begrenzen die Rafflamellenstoren den Anstieg der Raumlufttemperaturen. Eine Elektrifizierung des Storenantriebes würde die Bedienung sicher komfortabler machen.

## Haustechnik

### Heizung

Dadurch, dass die Gebäude sehr gut gedämmt sind, sind auch die Transmissionsverluste entsprechend niedrig. Ein beachtlicher Teil der Raumheizung wird passiv erbracht. Dazu gehören:

- solare Gewinne durch die Fenster,
- Abwärme von Personen,
- Abwärme der elektrischen Apparate.



Figur 7:  
Cheminéeofen Rüegg Opal mit Nachverbrennungssystem

An sehr kalten Tagen, oder wenn die Wärmege-  
winne ausfallen, steht ein Cheminéeofen zur  
zusätzlichen Deckung zur Verfügung. Der Ofen  
steht neben der Treppe zum Obergeschoss und  
gibt vor allem die Strahlungswärme zum Essbe-  
reich und in den Wohnraum ab. Über einen  
Ventilator unter der Treppe wird zudem warme  
Luft aus der Ummantlung des Ofens direkt  
abgesogen und in den Wohnraum eingeblasen.  
Der Ventilator lässt sich variabel betreiben, so  
dass die Warmluftmenge dem Bedarf ange-  
passt werden kann.

Die aufsteigende Wärme soll sich in einer Luft-  
walze vom Ofen über das Treppenhaus in das  
Obergeschoss ausbreiten und an der gegen-  
überliegenden Fensterfront wieder hinunter zum  
Ofen hin bewegen (Figur 5).

### Mechanische Lüftung mit Luftansaug- Erdregister und Wärmerückgewin- nung

Die Gebäude sind mit einer mechanischen Lüf-  
tungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausge-  
stattet. Den Lüftungsgeräten ist ein Erdregister  
von 24 m Länge vorgelagert, welches die Aus-  
senluft vorkonditioniert. Aus Kostengründen wur-  
de das Luftansaug-Erdregister direkt in die Bau-  
grube verlegt.

Während der Heizperiode wird die Frischluft mit  
Temperaturen über dem Gefrierpunkt dem Lüf-  
tungsgerät zugeführt.

Von den Lüftungsgeräten mit Schalldämpfern in  
der Zu- und Abluft führen dichte Kanäle in die  
Wohn- und Schlafgeschosse. Die Kanäle sind  
unter der Kellerdecke montiert und wärmege-  
dämmt.

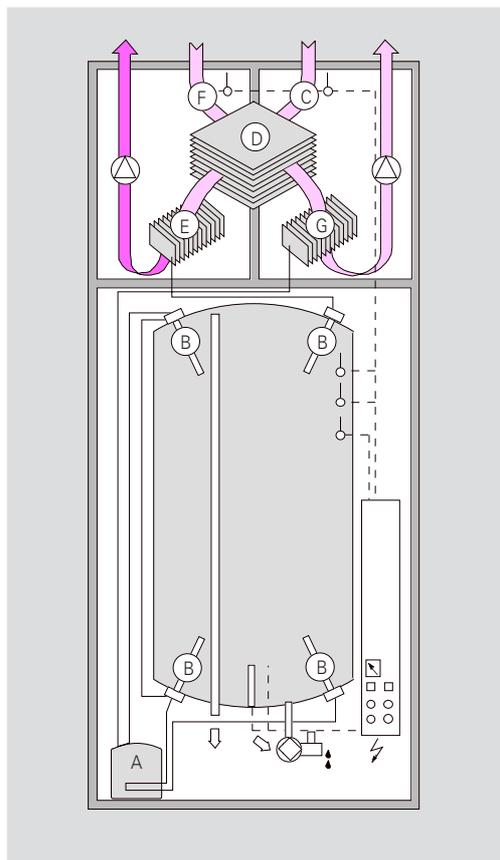
Die Lüftungsgeräte sind jeweils in der Waschküche  
plaziert. Die Luftmengen können an den  
Geräten voreingestellt werden. Es kommen zwei  
Typen von Geräten zum Einsatz:

- Der *Heat-Hunter* als Lüftungsgerät mit Ge-  
genstrom-Wärmetauscher, zwei Ventilatoren  
und einer Steuerung im Gerät. Es sind  
drei Betriebsstufen möglich. Gemäss Her-  
stellerangabe weist das Gerät freiblasend  
einen Luftvolumenstrom von 100, 200 oder  
300 m<sup>3</sup>/h aus. In der ersten Stufe ist das  
Lüftungsgerät akustisch kaum wahrnehm-  
bar, in der zweiten Stufe ist bei allen Zu-  
luftstellen ein leises Rauschen zu verneh-  
men, welches als akzeptabel bezeichnet werden  
kann. Die dritte Stufe ist bereits so laut, dass  
sie störend wirkt. Allerdings ist zu bemer-  
ken, dass diese Stufe nur für eine kurze,  
intensive Lüftung gedacht ist.

Figur 9:  
Im Haus A wurde das  
Lüftungsgerät Heat-  
Hunter mit Gegen-  
stromwärmetauscher  
an der Decke der  
Waschküche montiert.



Figur 9:  
Das Haus B ist mit  
einem METRO-Kombi-  
gerät für Lüftung und  
Warmwasser ausgerüstet  
Im oberen Teil befindet  
sich die Lüftung mit Wär-  
merückgewinnung und  
Nachheizregistern, in der  
Mitte der Speicher und  
unten der Kompressor der  
Wärmepumpe



- Das Kombigerät *Metro 2412 MV* für Lüftung und Warmwasser ist komplexer gebaut. Der Lüftungsteil ist über einem 200 Liter Warmwasserspeicher angeordnet. Die Zuluft wird von einem Ventilator angesogen und durch den Kreuzstrom-Wärmetauscher geführt. Mit einem Heizregister kann die Zuluft weiter erwärmt werden. Die Abluft gelangt zuerst durch den Kreuzstrom-Wärmetauscher und gibt dort Wärme an die Zuluft ab. Ein nachgeschalteter Verdampfer einer Klein-Wärmepumpe kühlt die Abluft nochmals um 5 bis 10 K ab, bevor sie ins Freie geblasen wird (Figur 9).  
Mit der Wärmepumpe wird der Wasserspeicher auf bis max. 60 °C erwärmt. Um genügend Warmwasser bereit stellen zu können, ist deshalb das Lüftungsgerät auch im Sommer in Betrieb. Temperatur, Luftmenge und Nachheizung können am Gerät eingestellt werden.



Fig.: 10:  
Bedienungsfeld des-  
Kombigeräts MV  
2412

### Zu- und Abluft

Die Zuluft wird im Erdgeschoss beim Balkonausgang nordostseitig durch einen Bodenauslass eingeblasen. In den Obergeschossen erfolgt die Zuführung entweder durch Quellluftauslässe in den Ecken (Zimmer nordseitig) oder über einen Deckenauslass (Elternzimmer). Die Abluft wird in den Sanitärräumen des Erdgeschosses und des Obergeschosses gefasst. Dabei wird ein Grossteil der Abluftmenge über einen Wanddurchlass, der Rest über die WC-Schüsseln resp. über die Fallrohre des Spülwassers zu den Kanälen der Abluft geführt. In der Küche ist ein Dampfabzuggerät mit Aktivkohlefilter montiert. Durch den Umluftbetrieb wird das Gleichgewicht der Lüftungsanlage nicht beeinflusst.

### Warmwasser

Für die Wassererwärmung kommen zwei unterschiedliche Systeme zum Einsatz.

- Haus A verfügt über eine 4.2 m<sup>2</sup> Solkit Solaranlage mit einem 260 Liter Warmwasserspeicher und elektrischer Nachwärmung.
- Haus B erwärmt das Wasser mit dem Kombigerät METRO 2412 MV (Figur 9). Es nutzt die Restwärme der Abluft mittels Kleinwärmepumpe. Das Gerät verfügt über einen integrierten 200 Liter Warmwasserspeicher.

Mit den beiden unterschiedlichen System sollte untersucht werden, ob es sinnvoller ist, das Warmwasser solar vorzuwärmen und bei Bedarf elektrisch nachzuheizen oder ob es besser ist, dieses ganzjährig mit einem effizienten Wärmepumpenboiler zu erzeugen.

Der Betrieb ohne Luftansaug-Erdregister ist mit dem Metro 2412 MV auch möglich. Allerdings wird bei Temperaturen unter 0 °C eine elektrische Heizung in der Zuluft vor dem Wärmetauscher zugeschaltet, um diesen eisfrei zu halten. Diese elektrische Heizung wurde bei diesem Messprojekt nicht benötigt.



Figur 11:  
Das Haus A verfügt  
über eine SOLKIT-Solaranlage mit 260 l  
Warmwasserspeicher

### 3. Messtechnische Überprüfung

Die untersuchten Gebäude wurden erst kurz vor Messbeginn verkauft. Bei der Planung ging man von einer Familie mit zwei Erwachsenen und zwei Kindern aus. Entsprechend wurden die internen Lasten und die Verbrauchswerte in die Berechnung miteinbezogen. Effektiv wird nun das Haus A (mit Sonnenkollektor) von zwei – allerdings gantztägig berufstätigen – Personen bewohnt, das Haus B (mit Kombigerät) von einer erwachsenen Person und zwei Katzen.

Tabelle 3:  
Energiekennzahlen,  
wie sie 1995 bestimmt  
wurden und wie sie  
sich bei effektiver Be-  
legung rechnerisch er-  
geben.

Planungswerte [MJ/m <sup>2</sup> a]	SIA 380/1 Standard- Nutzung	Haus A 2 Personen (berechnet)	Haus B 1 Person (berechnet)
Heizenergiebedarf $q_h$	172	133	164
Energiekennzahl $E_{\text{Heizung}}$	202	167	241
Energiekennzahl $E_{\text{WW}}$	66	26	13
Energiekennzahl $E_{\text{Elektrisch}}$	80	57	51
Energiekennzahl $E_{\text{total}}$	348	250	305

Messgrößen Haus A	Gerät	Wert	Periode	Ziel der Messung
<b>Temperaturen</b>				
Erdregister Ansaug	Hamster	° C	momentan	h Erdregister
Wohnzimmer EG	Hamster	° C	momentan	Behaglichkeit
Vorraum OG	Hamster	° C	momentan	Behaglichkeit
Zimmer 2/3 OG	Hamster	° C	momentan	Behaglichkeit
ZL nach Erdregister	Hamster	° C	momentan	h Erdregister
ZL vor WRG	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG
ZL nach WRG	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG
nach ZL-Ventilator	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG, Komfort
AL vor WRG	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG
AL nach WRG	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG
AL nach Ventilator	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG
<b>Solarstrahlung</b>				
Einstrahlung	Squirrel	mV	h-Mittel	h Solkit
<b>Holzmenge</b>				
	Waage	kg	absolut	Anteil an $q_h$
<b>Elektrisch</b>				
Haushalt	EW-Zähler	Monat	absolut	$E_e$
Solkit	h-Zähler	h	absolut	Solarstrahlung
Lüftung	h-Zähler	h	absolut	ETV
<b>Wasser</b>				
Warmwasser	Squirrel	° C	h-mittel	h Solkit
Verbrauch	Messuhr	m <sup>3</sup>	absolut	WW-Verbrauch
<b>Luftmenge</b>				
alle Luftdurchlässe	Flow-Finder	m <sup>3</sup> /h	absolut	Behaglichkeit
ZL Kanalmessung	Anemometer	m <sup>3</sup> /h	absolut	h WRG, allgemein
AL Kanalmessung	Anemometer	m <sup>3</sup> /h	absolut	h WRG

Tabelle 4:  
Messgrößen am  
Haus A mit Sonnen-  
kollektoren

Die Planungswerte wurden mit dem Rechenprogramm D010 ermittelt. Die Randbedingungen wurden anhand der Standardnutzung SIA 380/1 festgelegt. Warmwasserverbrauch und Elektrisch wurden sinngemäss übernommen. Aufgrund der guten Wärmerückgewinnung der Lüftungsgeräte wurde ein kontinuierlicher Lüftungsbetrieb angenommen.

Eines der Ziele der Messungen war es, Aussagen zu erhalten, ob der Betrieb von sehr gut wärmegeämmten, mechanisch belüfteten Gebäuden mit einem einfachen Holzofen ohne wesentliche Komforteinbusse möglich ist. Folgende Fragen sollten beantwortet werden:

- Kann durch eine offene Grundrissgestaltung die Heizenergie des Holzofens in einem Gebäude über die Lüftung und den internen Luftaustausch genügend verteilt werden?
- Treten zu hohe Temperaturschwankungen der Raumluft auf?
- Ist der Aufwand für das Beheizen des Kaminöfens für die Bewohner zumutbar?

Messgrößen Haus B	Gerät	Zeit	Wert	Ziel der Messung
<b>Temperaturen</b>				
Erdregister Ansaug	Hamster	° C	momentan	h Erdregister
Wohnzimmer EG	Hamster	° C	momentan	Behaglichkeit
Vorraum OG	Hamster	° C	momentan	Behaglichkeit
Zimmer 2/3 OG	Hamster	° C	momentan	Behaglichkeit
ZL nach Erdregister	Hamster	° C	momentan	h Erdregister
ZL vor WRG	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG
ZL nach WRG	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG
ZL nach Verdichter	Squirrel	° C	h-Mittel	h WP
ZL nach ZL-Ventilator	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG, Komfort
AL vor WRG	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG
AL nach WRG	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG
AL nach Verdampfer	Squirrel	° C	h-Mittel	h WP
AL nach Ventilator	Squirrel	° C	h-Mittel	h WRG
<b>Holzmenge</b>	Waage	kg	absolut	Anteil an $q_h$
<b>Elektrisch</b>				
Haushalt gesamt	EW-Zähler	Monat	absolut	$E_e$
Metro-Gerät Lüftung	h-Zähler	h	absolut	siehe Solarstrahlung
Metro-Gerät WP	h-Zähler	h	absolut	ETV
Metro-Gerät WP	h-Zähler	h	absolut	ETV
Metro-Gerät WP	h-Zähler	h	absolut	ETV
<b>Wasser</b>				
Warmwassertemp.	Squirrel	° C	h-mittel	h Solkit
Kaltwassertemp.	Squirrel	° C	h-mittel	h Solkit
Verbrauch	Messuhr	m <sup>3</sup>	absolut	WW-Verbrauch
<b>Luftmenge</b>				
alle Luftdurchlässe	Flow-Finder	m <sup>3</sup> /h	absolut	Behaglichkeit
ZL Kanalmessung	Anemometer	m <sup>3</sup> /h	absolut	h WRG, allgemein
AL Kanalmessung	Anemometer	m <sup>3</sup> /h	absolut	h WRG, allgemein

Tabelle 5:  
Messgrößen am  
Haus B mit Kombi-  
system

Die übrigen Messungen befassten sich mit der Wassererwärmung und der Belüftung. Folgende Fragen standen in Vordergrund:

- Welches sind die Vorteile resp. Nachteile der beiden Lüftungs- und Warmwassersysteme?
- Lassen sich zusätzlich wirtschaftliche Unterschiede der beiden System feststellen?
- Welche der Lösungen ist ökologisch sinnvoller: die solare Wassererwärmung mit elektrischer Nachheizung im Winter oder die ganzjährige Wassererwärmung mit Wärmepumpe?

Folgende Daten wurden an beiden Häusern A und B erhoben:

- monatliche Energieverbrauch für Heizung, Warmwasser und Elektrisch,
- effektive Betriebszustände und Kenndaten der Haustechnikkomponenten,
- Raumlufttemperaturen,
- zusätzliche Daten des Gebäudes ( $n_{L,50}$ -Messung, Thermografieaufnahmen).

Die Messungen wurden im Oktober 1996 gestartet und dauerten zwei Heizperioden und eine Sommerperiode. Die Daten wurden mit grossem Engagement der Bewohner erhoben und sind zuverlässig, jedoch nicht über alle Zeiträume vollständig. Aufgrund der Zuverlässigkeit der erhobenen Daten konnte auf die ganze Messperiode zurückgerechnet werden. Wo Datenergänzungen notwendig waren, ist es jeweils vermerkt. Der Übersicht halber wurden die Werte der beiden Heizperioden gemittelt, damit zusammen mit den Werten der Sommerperiode Jahresvergleiche möglich sind.

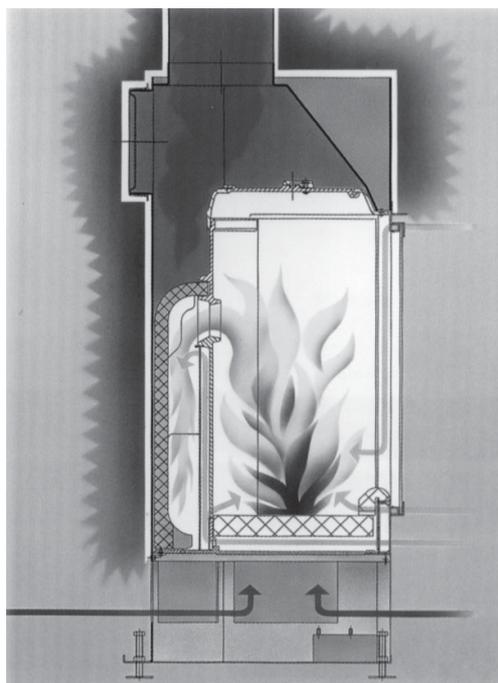
Die Messungen konzentrierten sich im vor allem auf den Vergleich der beiden Konzepte für Lüftung und Warmwasser.

## Heizung mit Cheminéeöfen

In allen Häusern sind Cheminéeöfen installiert. Die Bewohner der Messhäuser zeichneten die Holzmenge pro Feuerung auf. Ebenso wurde die Zeit und die Art des Brenngutes erfasst.

Folgende Brennstoffe gelangten zum Einsatz:

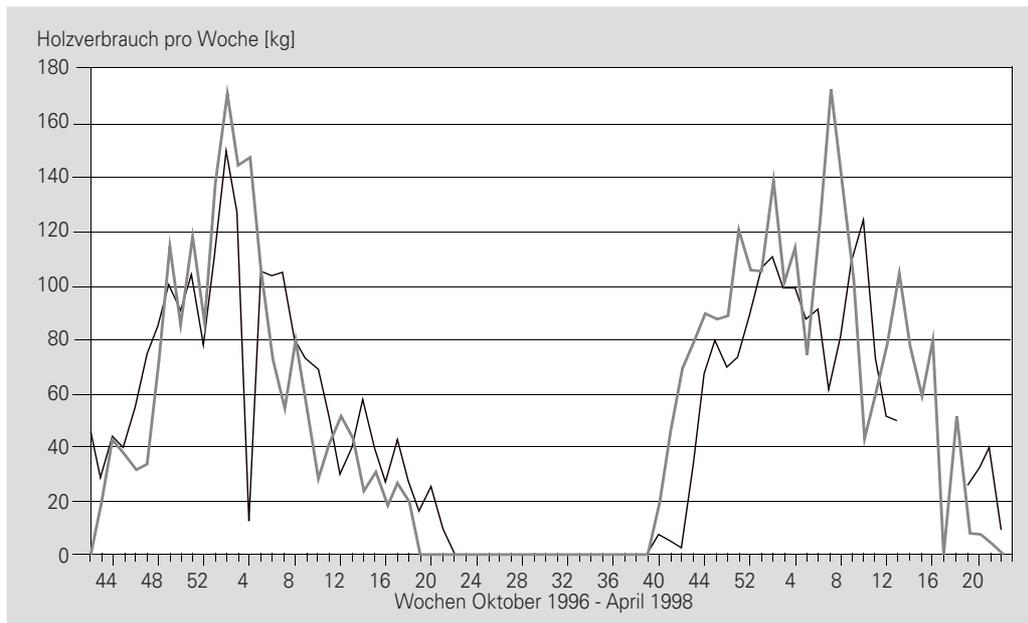
Brennstoff	spez. Gewicht	Heizwert $H_u$
• Tannenholz	0.4-0.6 kg/dm <sup>3</sup>	4.4 kWh/kg
• Buchenholz	0.7-0.9 kg/dm <sup>3</sup>	4.0 kWh/kg
• Holzbriketts	1.1 kg/dm <sup>3</sup>	5.2 kWh/kg
• Rindenbriketts	1.2 kg/dm <sup>3</sup>	5.3 kWh/kg



Figur 12:  
Hauptverbrennung im geschlossenen sichtbaren Feuerraum. Nachverbrennung in der hochisolierten Nachverbrennungskammer (links im Bild) Wärmeleistung 10 kW bei nur 3 kg Holz pro Stunde (Herstellereingabe)

<b>Holzverbrauch Haus A</b> Durchschnitt Winter 96-98	Hartholz 2'110 kg <sup>1)</sup>	Weichholz 80 kg	Energie 8'845 kWh 2457 MJ
<b>Holzverbrauch Haus B</b> Durchschnitt Winter 96-98 <sup>2)</sup>	Hartholz 1'995 kg	Weichholz 13 kg	Energie 8'035 kWh 2232 MJ
1) Holz- und Rindenbriketts sind im Hartholzverbrauch eingerechnet 2) teilweise keine Daten im März 98 von Bewohner erhältlich, Hochrechnung mit Vergleich Nachbarhaus A und Verbrauch der Periode März/April 97			

Tabelle 6:  
Holzverbrauch der beiden Häuser pro Jahr



Figur 13:  
Durchschnittlich pro Woche verfeuerte Holzmenge (kg)

Der spezifische Holzverbrauch (Endenergie) liegt bei:

- Haus A 215 MJ/(m<sup>2</sup>-a) 60 kWh/(m<sup>2</sup>-a)
- Haus B 200 MJ/(m<sup>2</sup>-a) 54 kWh/(m<sup>2</sup>-a)

Die Leistung der Cheminéeöfen beträgt gemäss Hersteller ohne Kaminzug rund 10 kW. Der Wirkungsgrad soll bis zu 80 % betragen. In diesem Wirkungsgrad ist jedoch die Anfeuerungphase und der Ausbrand nicht berücksichtigt. Er kann aufgrund der sehr unterschiedlichen Beschickungsweise nicht genau beziffert werden.

Vermutlich liegt der Wirkungsgrad selten höher als 60 %. Denn im Betrieb wird der Kaminzug recht heiss (150 bis 200 °C). Bei einem Stahlkamin mit einer Länge von 4.2 Metern und einem Rauchrohrdurchmesser von 15 cm ergibt sich eine zusätzliche Heizleistung von 3 bis 4 kW. Der mittlere Gesamtwirkungsgrad inkl. Wärmeabgabe durch das Rauchrohr wurde deshalb in den Berechnungen mit ca. 75 % angenommen.

### Erfahrungen mit Cheminéeöfen

Bezüglich Leistung sind Cheminéeöfen durchaus in der Lage ein gut gedämmtes Einfamilienhaus zu beheizen. Auch der Bedienungsaufwand hält sich in Grenzen.

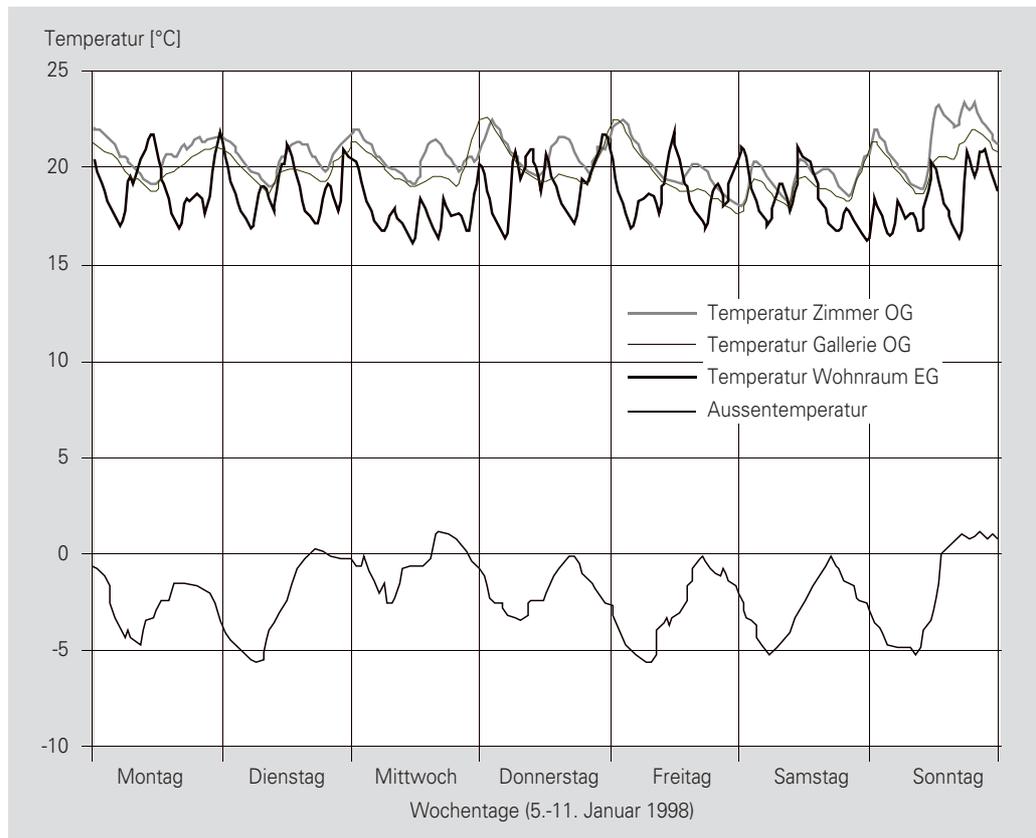
Das grösste Problem der Holzheizung ist die ungleichmässige Wärmeverteilung in den Räumen. Die Luft wird an den Öfen relativ stark erhitzt, wodurch sie rasch zum höchsten Punkt aufsteigt. Das Erdgeschoss profitiert fast nur von der Strahlungswärme, die jedoch mit zunehmender Distanz stark abnimmt. Eine genügende Wärmeverteilung ist nur über eine mechanische Unterstützung erreichbar. Zu empfehlen sind:

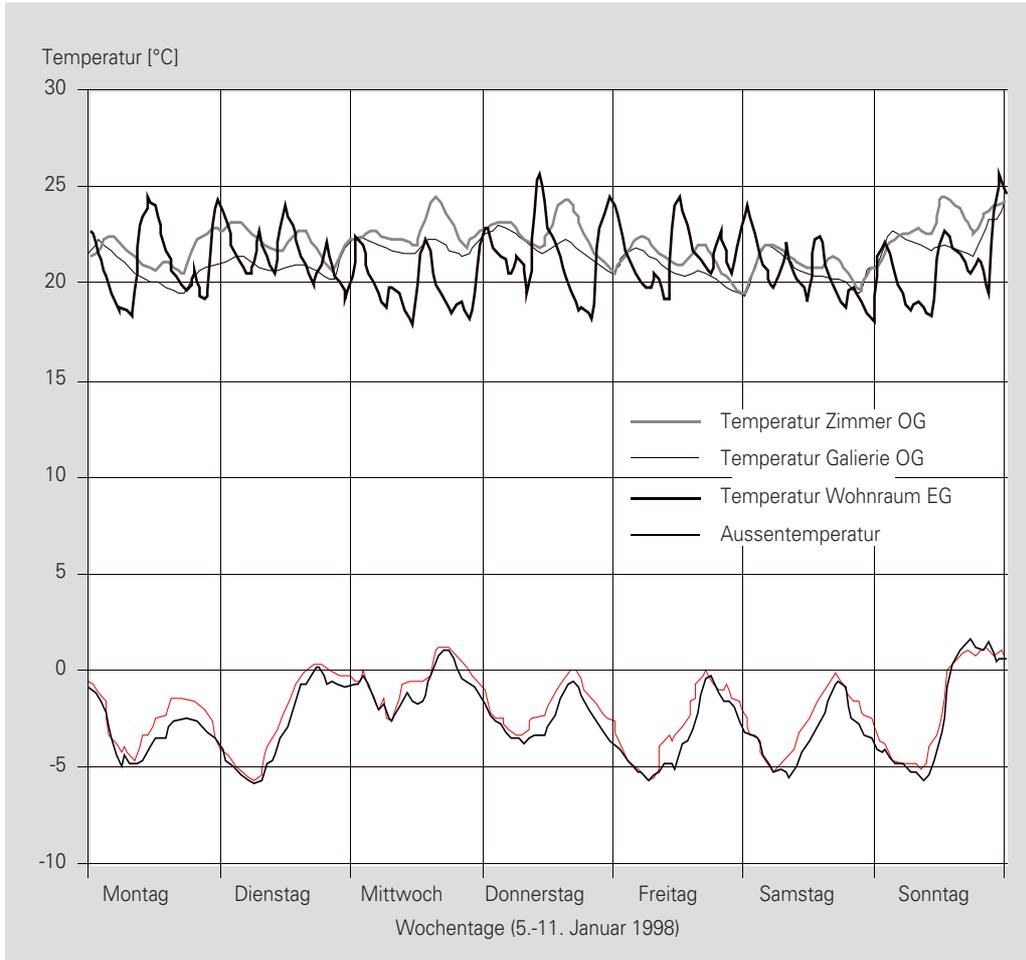
- direkter Absaug der Warmluft aus der Ummantelung und Luftführung durch Hypokaustenwände (die Luft sollte möglichst viel Wärme direkt an wärmespeichernde Bauteile abgeben können),
- Warmluftaustritte in den Raum so tief wie möglich anordnen,
- Luftzirkulation zwischen Ober- und Erdgeschoss mit Deckenventilator unterstützen.

Durch die momentan recht grosse Heizleistung erreicht die erwärmte Luft auch hohe Temperaturen und steigt dadurch rasch zur Decke des Obergeschosses auf. Dadurch kommt es zu einer ungleichmässigen Wärmeverteilung im Haus. Das Obergeschoss erwärmt sich wesentlich rascher als das Erdgeschoss (Figuren 12 und 13).

Zur besseren Wärmeverteilung ist hinten am Ofen ein Rohr angeschlossen, über welches warme Luft aus der Ummantelung abgesaugt werden kann. Diese Warmluft wird über einen Ventilator in Bodennähe in das Wohnzimmer geblasen. Der Ventilator kann mit variabler Drehzahl betrieben werden. Bei hohen Drehzahlen stört jedoch der Lärm und es kommt zu Zugerscheinungen.

Figur 14:  
Temperaturen im Haus A.  
Im Haus A sind während der kalten Tagen die Lufttemperaturen im Erdgeschoss nur mit dem Chemineeofen über 20 °C zu halten. Im Obergeschoss sind die Temperaturen ausgeglichener, der Temperaturanstieg bei Betrieb des Ofens beträgt rund 2 - 3 K.





Figur 15: Temperaturen im Haus B mit Kombi-Lüftungsgerät. Die Temperaturen reagieren ähnlich auf das Einheizen des Cheminéeofens. Sie liegen jedoch fast durchwegs im Komfortbereich

## Elektrisch

In beiden Häusern wurde der gesamte Elektrizitätsverbrauch ermittelt. Zusätzlich wurde beim Haus A der Stromverbrauch des Lüftungsgerätes und vom SOLKIT erfasst.

Beim Haus B wurde der Stromverbrauch des Metro-WP-Boilers allein ermittelt.

Ein direkter Vergleich des Elektrizitätsverbrauchs ist schwierig, da nicht beide Systeme genau die gleichen Leistungen erbrachten. Die Nutzung der beiden Häuser war ungleich und entsprach nicht der Auslegung für 2 Erwachsene und 2 Kinder pro Haus. Das Haus A wurde durch 2 berufstätige Erwachsene und das Haus B nur durch eine Person mit Katzen bewohnt.

Beide Systeme für Warmwasser und Lüftung haben sich jedoch bezüglich Elektrizitätsverbrauch als sparsam erwiesen, wobei ganz klar mit der grosszügig ausgelegten Solaranlage der Stromverbrauch wesentlich stärker gesenkt werden konnte. Eine genauere Analyse wird in den nachfolgenden Abschnitten über Lüftung und Warmwasser vorgenommen.

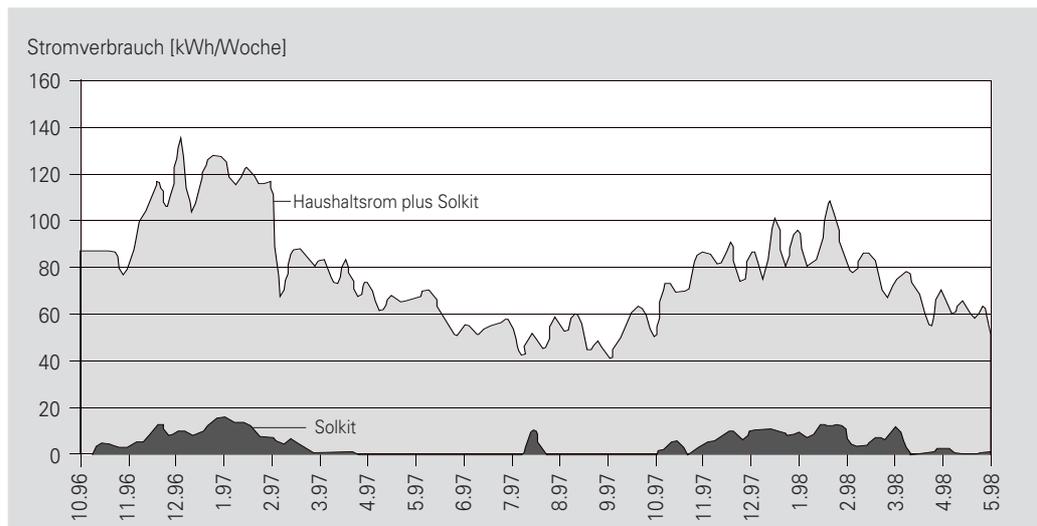
Tabelle 7:  
Gesamter Haushaltstrom  
HT Hochtarif  
NT Niedertarif

Stromverbrauch gesamter Haushalt	Haus A		Haus B	
	kWh HT	kWh NT	kWh HT	kWh NT
Winter 96/97	1'430	1'275	1'792	1'337
Sommer 97	495	689	551	818
Winter 97/98	1'285	1'014	1'810	1'346
Total/Jahr und Haushalt spezifisch	3'686 kWh 90.3 MJ/m <sup>2</sup>		4'512 kWh 110.5 MJ/m <sup>2</sup>	

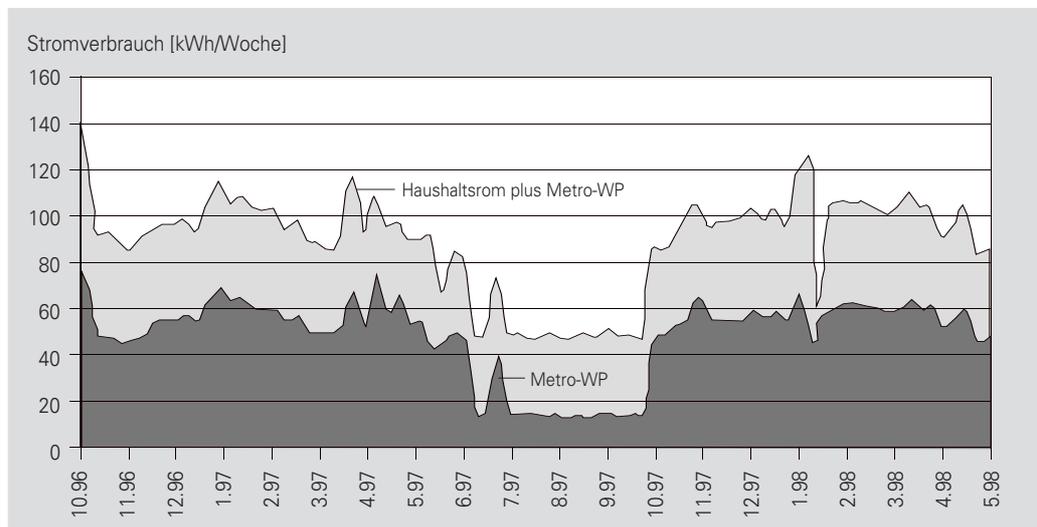
Tabelle 8:  
Stromverbrauch für Warmwasser und Lüftung. Ein direkter Vergleich des Stromverbrauchs ist nicht möglich, da im Haus B rund 50 % mehr Warmwasser konsumiert wurde. Tendenziell ermöglicht die Solaranlage jedoch einen geringeren Stromverbrauch.

Stromverbrauch Warmwasser/Lüftung	Haus A		Haus B	
	Solkit	Heat Hunter	Metro-WP	Metro-Vent
Winter 96/97	160	88	1382	433
Sommer 97	10	-	427	130
Winter 97/98	168	95	1378	441
Total/Jahr spezifisch	269 kWh 6.6 MJ/m <sup>2</sup>		2273 kWh 58 MJ/m <sup>2</sup>	

Figur 16:  
Stromverbrauch des Hauses A mit Solkit (Nachwärmerung durch Heizeinsatz)



Figur 17:  
Stromverbrauch des Hauses B mit Wärmepumpenboiler. Die Werte lassen sich nicht direkt vergleichen. Das Kombigerät lieferte rund 50 % mehr Warmwasser und stellte die Lüftung mit Vorwärmung sicher.



## Mechanische Lüftung

Die Gebäude sind mit einer mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Die Luftmengen können an den Geräten voreingestellt werden.

Im Haus Typ A (Heat-Hunter) liessen die Bewohner im November 96 eine Zeitschaltuhr einbauen. Das Programm schaltete die Lüftung zu folgenden Zeiten ein:

Mo - Fr 21.30 - 07.15  
 Sa, So 12.00 -15.00 und 20.00 - 09.00  
 total 80 h 45 min/Woche

Vom 18.5.97 bis 27.9.97 wurde die Lüftung ganz ausgeschaltet (Sommerpause)

ab 17. 1. 98 wurde das Programm und die Steuerung geändert:

Mo - Fr 23.30 - 0.700  
 Sa, So 22.00 - 08.00  
 total 57 h 30 min/Woche

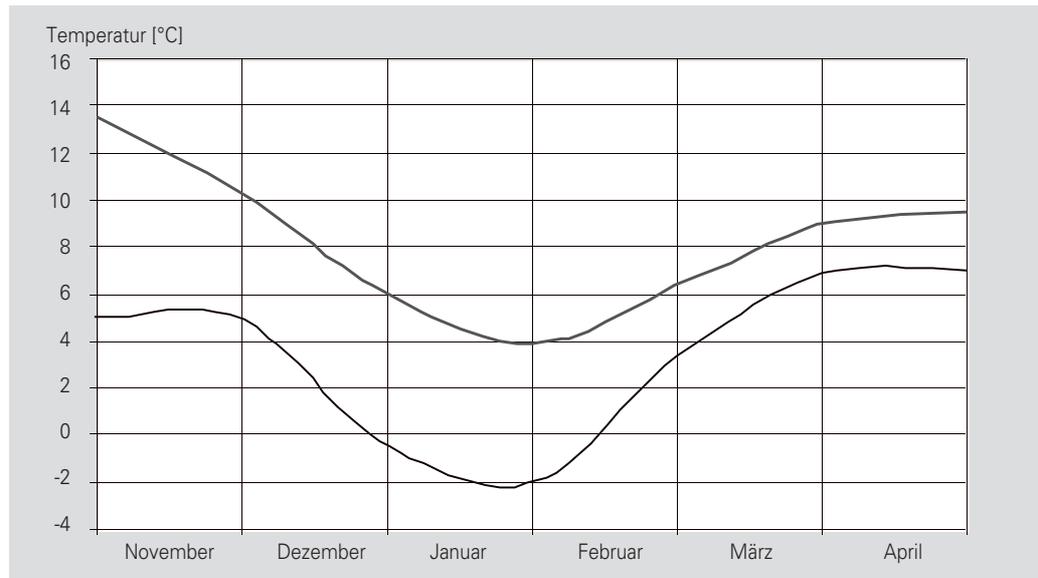
Die Steuerung am Heat-Hunter wurde gewechselt, da auf der ersten Stufe mit 36 m<sup>3</sup>/h weniger als 50 % des Luftvolumenstroms gemäss Herstellerangabe gemessen wurde. Der Luftvolumenstrom wurde in der Folge auf 90 m<sup>3</sup>/h erhöht.

Haus A: Heat Hunter	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Messmethode
Zuluft Wohnen EG	24	58	98	F
Zuluft Zimmer 2+3	7	53	59	Differenz
Zuluft Elternzimmer	5	21	33	F
<b>Total Zuluft</b>	<b>36</b>	<b>132</b>	<b>190</b>	<b>F</b>
Abluft DU/WC EG	20	78	102	F
Abluft DU/WC WC-Schüssel	2	4	5	F
Abluft Bad	13	58	85	F
Abluft Bad WC-Schüssel	2	3	4	F
<b>Total Abluft</b>	<b>37</b>	<b>142</b>	<b>196</b>	<b>F</b>

Tabelle 9:  
 Luftmengen im Haus A, mit Heat-Hunter  
 F = Flow Finder

Haus B: Metro-WP	(nur Stufe 2, da Luftmenge genügend)			
Zuluft Wohnen EG	31			F
Zuluft Zimmer 2+3	34			Differenz
Zuluft Elternzimmer	10			F
<b>Total Zuluft</b>	<b>75</b>			<b>F</b>
Abluft DU/WC EG	40			F
Abluft DU/WC WC-Schüssel	4			F
Abluft Bad	40			F
Abluft Bad WC-Schüssel	3			F
<b>Total Abluft</b>	<b>87</b>			<b>F</b>

Tabelle 10:  
 Luftmengen im Haus B, mit Wärmepumpenboiler  
 F = Flow Finder



Figur 18:  
Lufttemperaturen  
1996/97 (Tagesmittel)  
bei Erdregister:  
– Eintritt  
– Austritt

### Luftansaug-Erdregister

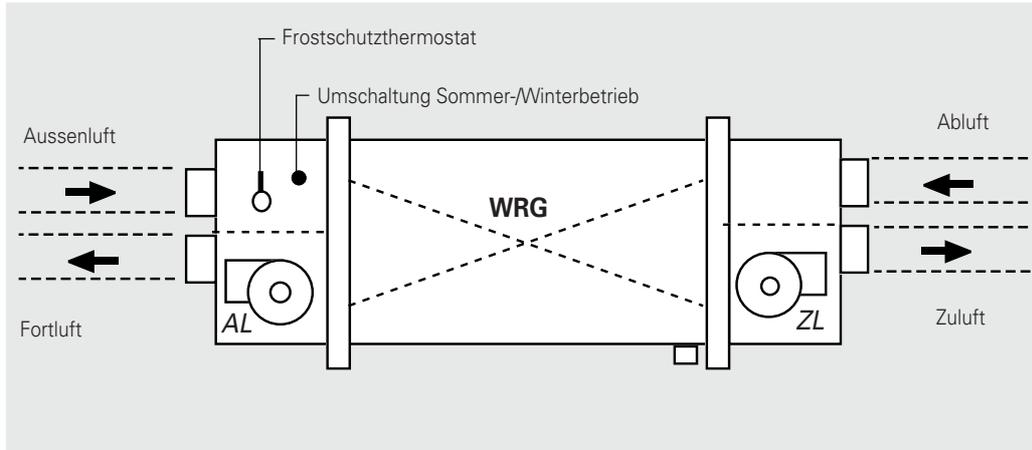
In die Baugrube wurde um das Haus herum ein Kunststoffrohr als Luftansaug-Erdregister eingelegt, welches die Frischluft auf 24 Meter Länge vorkonditioniert (siehe Figur 2: Plan Untergeschoss). Mit dieser Massnahme konnten rund 640 kWh für die Vorwärmung eingespart werden. Im Sommer war die Lüftung im Haus A nicht im Betrieb, im Haus B nur, wenn die Wärmepumpe den Warmwasserspeicher laden musste. Auf eine Kühlung des Gebäudes mit dem Luftansaug-Erdregister wurde verzichtet, obwohl die Möglichkeit dazu bestehen würde.

### Lüftungsgerät Heat-Hunter

Die Einstellungen der Lüftungsanlage mussten im Haus Typ A korrigiert werden. Das Lüftungsgerät wies einen zu kleinen Volumenstrom bei Stufe 1 auf und die Zu- und Abluftmengen bei den einzelnen Durchlässen wichen zu stark von den Sollwerten ab. Das führte unter anderem dazu, dass die Abluft praktisch nur aus einem direkt neben dem Lüftungsgerät liegenden

Heat-Hunter	Angabe des Herstellers (frei blasend)	Messwert	Bedingung
Luftmengen	ca. 100 m <sup>3</sup> /h ca. 200 m <sup>3</sup> /h ca. 300 m <sup>3</sup> /h	36 140 195	Stufe 1 Stufe 2 Stufe 3
η mittel der WRG	80 - 90 %	85 %	Stufe 1
η maximal der WRG	90 %		
Leistungsaufnahme	2 x 33 W 2 x 56 - 57 W 2 x 75 - 105 W	66 W 162 W 210 W	2 Ventilatoren d. h. Zu- und Abluft

Tabelle 11:  
Leistungen des Heat-Hunter-Lüftungsgeräts



Figur 19:  
Heat-Hunter  
Im Winterbetrieb sind Zuluftventilator (ZL) und Abluftventilator (AL) in Betrieb, im Sommer nur der Abluftventilator.

Durchlass abgesogen wurde. Die dadurch im Winter angesogene kalte Kellerluft konnte die Zuluft nicht vorwärmen. Ein Abnahmeprotokoll mit den Luftmengen pro Auslass wäre nützlich gewesen und hätte die ungewollt fehlerhafte Einstellung sofort erkennen lassen.

Die Lüftung mit dem Heat-Hunter ist nach der Fehlerbehebung komfortabel und dank dem hohen WRG-Wirkungsgrad von gegen 90 % auch energieeffizient. Ideal ist, wenn das Gerät bedarfsabhängig betrieben werden kann, also beispielsweise mit einer Schaltuhr. Die Umstellung der drei Stufen erfolgt am Gerät im Keller, wäre aber auch im Wohnbereich möglich. Die Herstellerfirma hat das Gerät verbessert und liefert neu zwei Versionen aus:

- der Heat-Hunter 300 (entspricht dem gemessenen Gerät)
- eine leistungsstärkere Version: Heat-Hunter 600 mit bis zu 600 m<sup>3</sup>/h.

Neu ist bei beiden Geräten die Niedervoltsteuerung mit werkseitig eingestellten und kontrollierten Luftmengen in nunmehr fünf Stufen.

### Lüftung mit Kombigerät

Das „Drei in Einem“-Gerät Metro MV4212 hat sich ebenfalls bewährt. Das Kombigerät besteht aus drei Geräten: einem Warmwasserspeicher, einem Lüftungsgerät und einer Raumheizung mittels Wärmepumpe.

Das Lüftungsgerät ist über dem 200 Liter fassenden Warmwasserspeicher angeordnet. Vier Kanalanschlüsse von 160 mm Durchmesser sind auf der Geräteoberseite vorhanden: Vorne links tritt die Frischluft ins Gerät und wird über den Kreuzstromwärmetauscher geführt und anschliessend über eine Nachheizfläche geblasen. So kann die erwärmte Luft das Gerät hinten links Richtung beheizte Räume verlassen. Die Nachheizfläche nach dem Wärmetauscher erhält die Wärme aus dem oberen Teil des Warm-

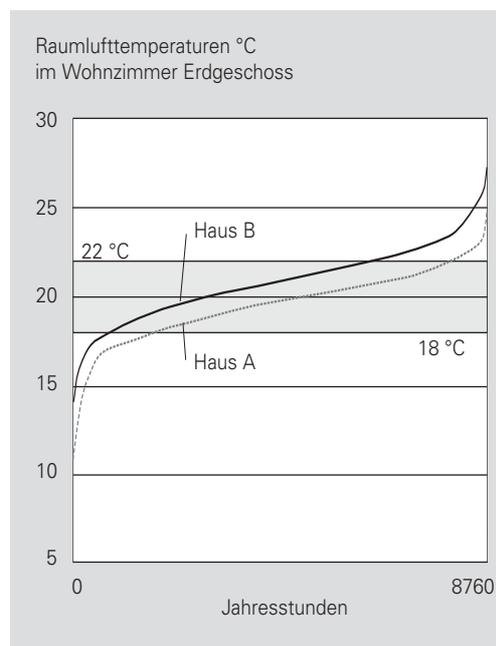
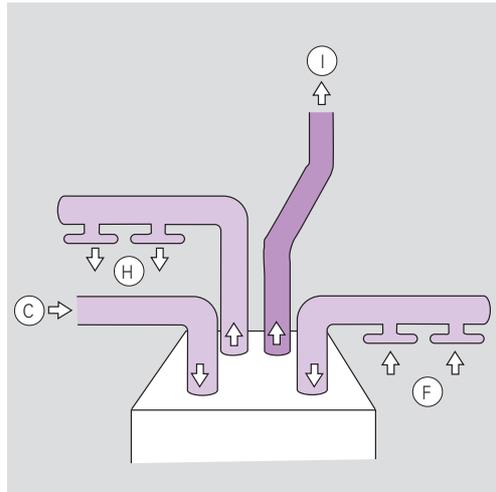
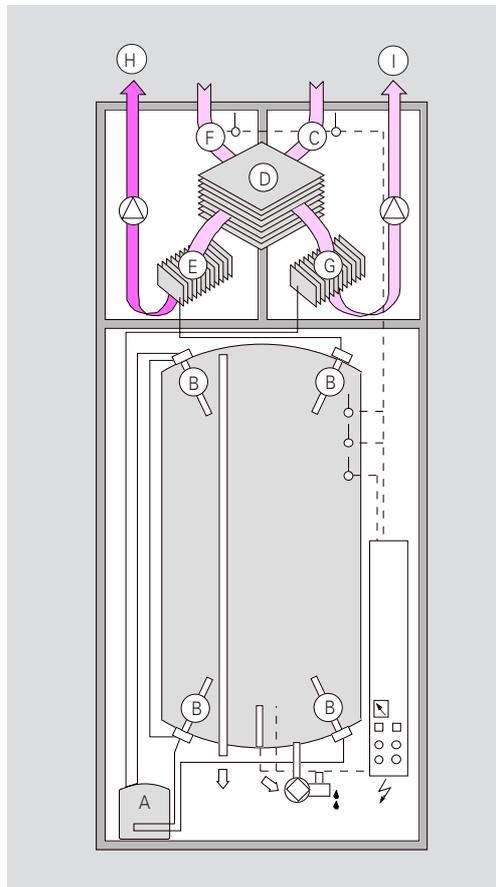


Fig. 20:  
Summenhäufigkeit der Raumlufttemperaturen Haus A und Haus B, Das Lüftungsgerät mit WP im Haus B heizt die Luft nach, der Heat-Hunter im Haus A ist nur mit einer WRG ausgerüstet. Werte unter 15 °C sind während Ferienabwesenheiten aufgetreten.



Figur 21:  
Die Anschlüsse beim  
Metro Kombigerät  
C Aussenluft  
F Abluft vom Raum  
H Zuluft  
I Fortluft kalt



Figur 22:  
Das Haus B ist mit  
einem METRO-Kombi-  
gerät für Lüftung und  
Warmwasser ausgerüstet  
A Kompressor der Klein-  
wärmepumpe  
B Heat Pipes  
C Aussenluft  
D Plattenwärmetauscher  
E Nachwärmer  
F Abluft  
G Verdampfer  
H Zuluft  
I Fortluft kalt

wasserspeichers (Heat-Pipe Prinzip). Bei tiefen Luftansaugtemperaturen kann eine direkte elektrische Nachheizung von 200 bis 600 Watt dazugeschaltet werden. Die verbrauchte Raumluft wird vorne rechts ins Gerät geführt, gelangt über die WRG zum Verdampfer, der die Luft mittels Wärmepumpe nochmals rund 5 – 10 K abkühlt. Hinten rechts verlässt die Fortluft das Gerät. Prinzipiell ist es denkbar, die Zu- und die Fortluft zu vertauschen, so dass im Sommer mit diesem System gekühlt werden kann.

Anfallendes Kondensat wird beim Verdampfer und bei der WRG gesammelt und in die Kanalisation abgeführt.

Die Kanäle sind in den unbeheizten Räumen wärmegeklämmt. Vor dem Gerät sind in der Zu- und Abluft Filter eingebaut, welche das Gerät und besonders die Wärmetauscherflächen vor Verschmutzung schützen.

Das Warmwasser wird bis ca. 55 °C direkt mit der Wärmepumpe erzeugt. Für höhere Temperaturen wird der Heizeinsatz dazugeschaltet.

Ein Niedrigenergiehaus wie in Dielsdorf lässt sich in Kombination mit dem Cheminéeofen problemlos beheizen und belüften. Die Luftmenge an diesem Gerät lässt sich komfortabel einstellen. Ein Dauerbetrieb während den Wintermonaten ist wegen der Wassererwärmung vorzuziehen. Im Sommer sind die Ventilatoren nur in Betrieb, wenn die Wärmepumpe läuft.

Für die Lüftung allein ist ein Kombigerät allerdings weniger effizient als ein reines Lüftungsgerät mit WRG. Währenddem der Heat-Hunter bei vergleichbarem Luftvolumenstrom (80 - 90 m<sup>3</sup>/h) 48 W Ventilatorenleistung benötigt, ist es beim Kombigerät aufgrund der zusätzlichen Widerstände und der komplizierteren Luftführung mit 86 W beinahe das Doppelte.

Dafür ermöglicht das Kombigerät dank der Wärmepumpe eine wesentlich höhere Zulufttemperatur. Sie lag im Winter im Mittel bei 30.5 °C, was einer mittleren Heizleistung von ca. 260 W entspricht, währenddem beim Heat-Hunter eine mittlere Zulufttemperatur von ca. 10.5 °C und damit ein Wärmeverlust von ca. 260 W resultierte.

## Warmwasserverbrauch

Der Warmwasserverbrauch war in beiden gemessenen Gebäuden relativ niedrig.

- Haus A (Solkit): 14 m<sup>3</sup>/a
- Haus B (Kombigerät): 21m<sup>3</sup>/a

Ein durchschnittlicher Warmwasserverbrauch von 30 Litern pro Tag ergäbe für eine 4-Personen-Haushalt einen Verbrauch von 43.4 m<sup>3</sup>/a. Der Verbrauch ist deshalb nicht typisch und die Messergebnisse müssen etwas relativiert werden. Vor allem die solare Wassererwärmung konnte von einer massiven Überdimensionierung profitieren, wodurch die elektrische Nachheizung kaum benötigt wurde.

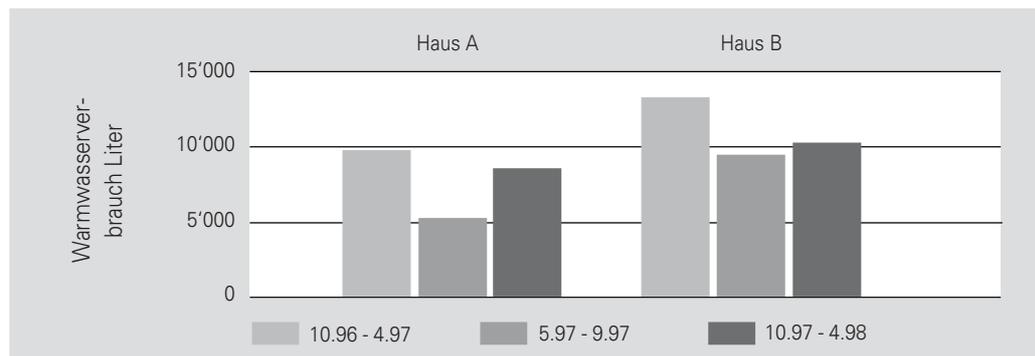
Jahreszeitliche Schwankungen sind beim Warmwasserverbrauch nicht festgestellt worden. Da-

Haus A mit Solkit	2 Personen 45 L (*Messwert)	2 Personenr 80 L	4 Personen 160 L
Warmwasserentnahme kWh	393	732	1282
Speicherverluste kWh	816	665	633
solarer Bruttoertrag kWh	987	1165	1448
solarer Deckungsgrad %	81	83	75
Solkit Nachheizung kWh	220 (203*)	290	470
Solkit Pumpe kWh	64 (56*)	70	86

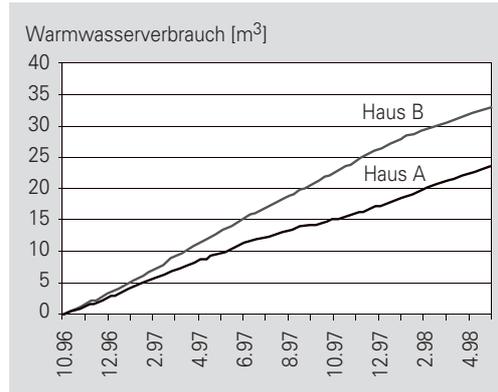
Tab. 12:  
Mit Polysun berechnete Kennwerte der Anlage im Vergleich zu einem 2 resp. 4 Personen Haushalt

Wasserverbrauch	Haus A	Haus B	CH- Ø
Winter 96/97 (Liter)	9'800	13'400	
Winter 97/98 (Liter)	8'500	10'200	
Sommer 97 (Liter)	5'200	9'400	
gesamt (Liter)	23'500	33'000	
Liter pro Person/Tag	22.6	63.6	40 (bei 60 °C)
Solkit (Haus A)	Temp. max. 87 °C, Ø 55.4 °C, min. 34 °C		
Metro (Haus B)	Temp. max. 59 °C, Ø 53.7 °C, min. 35 °C		

Tab. 13:  
Warmwasserverbrauch der beiden gemessenen Gebäude



Figur 23:  
Warmwasserverbrauch der beiden gemessenen Gebäude



Figur 24:  
Summenkurve des  
Warmwasser-Ver-  
brauchs in den Häu-  
sers A und B

für sind die Warmwassertemperaturen recht unterschiedlich. Der Metro-Wärmepumpenboiler weist eine wesentlich ausgeglichene Temperatur auf. Die Durchschnittstemperatur liegt bei beiden System bei etwa 54 °C.

### Solkit

Im Haus Typ A wurde für die Unterstützung der Warmwasseraufbereitung eine Kollektoranlage auf dem Dach montiert.

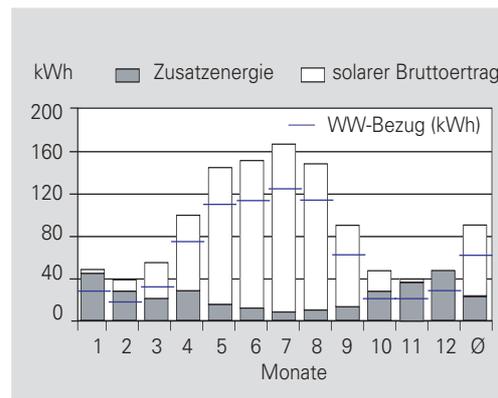
Der Kollektor weist eine Absorberfläche von 4.2 m<sup>2</sup> auf. Die Durchflussmenge ist auf max. 40 Liter pro Stunde ausgelegt und wird der jeweiligen Kollektorleistung angepasst. Die Kollektorfläche muss mindestens 25 ° geneigt sein und der Kollektor muss höher als der Speicher liegen. Diese Bedingungen werden im gemessenen Haus A durch die Anordnung des Speichers im Keller und des Kollektors auf der Südostseite des Satteldaches erfüllt.

Der Warmwasserspeicher mit 260 Liter Inhalt wird im Low-flow-Verfahren geladen. Damit die Speicherverluste gering sind, ist er mit 85 mm gedämmt. Eine elektrische Nachheizung (230 V) mit einer Leistung von 2'000 W stellt sicher, dass auch in sonnenarmen Zeiten warmes Wasser zur Verfügung steht.

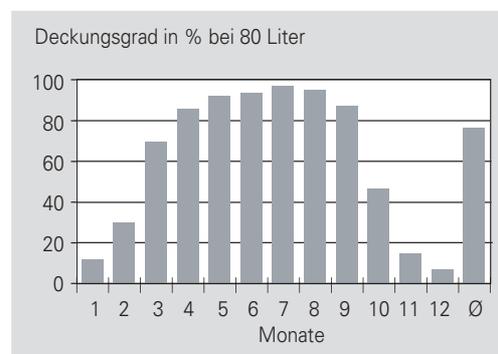
Eine spezielle Verbindungsleitung (Flextube) führt vom Kollektor zum Speicher. Diese Leitung beinhaltet den Kollektorvorlauf, Kollektorrücklauf und ein Fühlerkabel für die Kollektortemperatur.

Die Sonnenkollektoranlage weist einen solaren Deckungsgrad von rund 81% auf. Allerdings werden pro Tag nur rund 45 Liter Warmwasser bei sehr stark schwankenden WW-Temperaturen bezogen. Von Mai bis August wird überhaupt keine Elektrizität für die Nachheizung benötigt. Eine Berechnung mit 80 Litern Warmwasserverbrauch verändert den Deckungsgrad nur unwesentlich, bei 160 Litern Warmwasserbezug sinkt er leicht.

Der 200 Liter Warmwasserspeicher, welcher im gemessenen Haus eine Temperatur von knapp 50 °C aufweist, könnte bei voller Belegung des Hauses (beispielsweise zwei Erwachsene und zwei Kinder) eher knapp bemessen sein. Die elektrische Nachheizung würde sicher stärker beansprucht.



Figur 25:  
Berechneter solarer  
Bruttoertrag und not-  
wendige elektrische  
Nachheizung  
(Polysun 3.3)



Figur 26:  
Berechneter solarer  
Deckungsgrad

### Kombigerät Metro 2412 MV

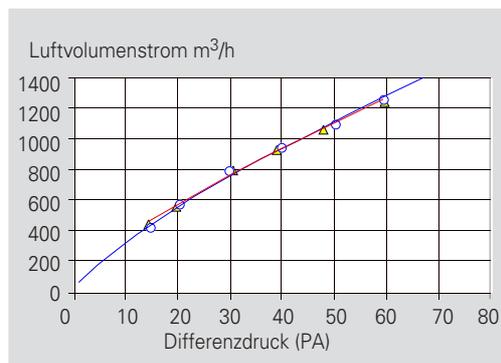
Die Warmwasseraufbereitung im Kombigerät erfolgt mit einer Luft/Wasser Wärmepumpe. Kältemittel ist E 134a. Das Gerät kann konstant oder intermittierend (Sommerbetrieb) betrieben werden. Bei intermittierendem Betrieb laufen die Ventilatoren nur, wenn der Kompressor in Betrieb ist, also, wenn Wärme an den Speicher abgegeben wird. Die Leistungsaufnahme des Kompressors beträgt 0.5 kW. Eine elektrische Nacherwärmung mit 650 W Leistung sichert bei tiefen Temperaturen resp. erhöhtem Warmwasserbedarf die Nacherwärmung.

Dem Warmwasserspeicher wird über Heat-Pipes Energie entzogen und direkt über eine Nachheizfläche der Zuluft abgegeben.

## Luftdichtigkeit

Dank Thermografieaufnahmen während der Luftdichtigkeitsmessung konnten Schwachstellen in der Gebäudehülle eruiert werden. Undichtigkeiten wurden während der Messphase aufgrund von Zugscheinungen durch die Bewohner gleich selber abgedichtet (Kittfugen). Große Leckstellen wurden nach dem Abkleben keine mehr gefunden.

Die Messung der Luftdichtigkeit ergab  $n_{L50}$ -Werte von 3.1 - 3.3. Diese Werte liegen knapp über dem oberen Grenzwert von 3.0 für Neubauten (EFH) mit mechanischer Lüftung. Die Holzbauweise, obwohl mittels Vorfabrikation auf hohem Niveau, ergibt gegenüber massiver Bauweise etwas höhere  $n_{L50}$ -Werte.



Figur 27: Gemessener Luftvolumenstrom in Abhängigkeit der Druckdifferenz, Haus A

## 4. Zusammenfassung

Die gewählte Architektur der freistehenden Einfamilienhäuser nimmt Rücksicht auf den Energiehaushalt: kompakte Form mit Fenstern von Nordosten über Süd bis nach Südwesten. Die Wärmedämmung genügt für den Minergiestandard, jedoch noch nicht für den Passivhausstandard, der U-Werte unter  $0.15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  vorschreibt. Auch die geforderten Fenster-U-Werte von max.  $0.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  werden mit  $0.98 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  nicht ganz erreicht. Die Holzbauweise hat sich prinzipiell bewährt. nicht ganz befriedigen ist die thermische Masse in der Decke des Obergeschosses, wo sie praktisch nicht genutzt werden kann. Die thermisch wirksamen Speichermassen müssen tiefer im Gebäude an-

### Ökologische Betrachtung

Die Häuser A und B verbrauchten während der Messperiode unterschiedlich viel Energie. Im Haus A mit zwei Personen wurden 50 % mehr Haushaltstrom verbraucht, für die Haustechnik jedoch nur 12 % vom Haus B. Werden die Endenergieverbrauchswerte mit den Faktoren 1,01 für Holz und 2,97 für Elektrisch gewichtet (Werte gemäss Passivhaus-Institut), so bietet sich folgendes Bild:

Haus A Primärenergieverbrauch		
Elektirsch Haushalt	67.1	kWh/m <sup>2</sup> ·a
Elektrisch Haustechnik	5.3	Wh/m <sup>2</sup> ·a
Holz	59.1	Wh/m <sup>2</sup> ·a
<b>Primärenergieverbrauch total: 131.5Wh/m<sup>2</sup>·a</b>		

Haus B Primärenergieverbrauch		
Elektirsch Haushalt	44.0	kWh/m <sup>2</sup> ·a
Elektrisch Haustechnik	44.6	Wh/m <sup>2</sup> ·a
Holz	53.7	Wh/m <sup>2</sup> ·a
<b>Primärenergieverbrauch total: 141.3Wh/m<sup>2</sup>·a</b>		

### Kosten des Haustechnikbetriebs

Die Anschaffungskosten der Komponenten für Lüftung, Heizung und Warmwasser der beiden untersuchten Gebäude unterscheiden sich nicht gross. Ins Gewicht fallen jedoch die Verbrauchskosten. Die Geräte wurden nicht nach Hoch- und Niedertraif gemessen, allerdings lassen sich auf Grund der Laufzeiten die Hoch- und Niedertraifstunden ermitteln und die Werte mit folgenden Ansätzen multiplizieren:

Hochtarif 9.9 Rp/kWh, Niedertarif 23.2 Rp/kWh.  
Werte für 2002 inkl. MWST, ohne Grundgebühr ;  
Holzpreise 180.- Fr./Ster Buche, 33 cm frei Haus,  
1 Ster entspricht ca. 700 kg

Kosten pro Jahr für Heizung und Lüftung:

Haus A	
Elektisch	28.80 Fr.
Holz	563.20 Fr.
<b>Total Haus A</b>	<b>592.00 Fr.</b>

Haus B	
Elektrisch	397.20 Fr.
Holz	516.30 Fr.
<b>Total Haus B</b>	<b>913.50 Fr.</b>

geordnet sein, also beispielsweise in der Erdgeschossdecke oder im Erdgeschossboden. Die Holzbauweise weist jedoch selbst bei Vorfabrikation gegenüber Massivbauten eine geringere Luftdichtigkeit auf. Mit aufwändigen Abklebungen können Werte erreicht werden, die dem Passivhausstandard genügen.

Die Komfortlüftung hat sich im Prinzip sehr gut bewährt. Die Zuluftstellen meist in Bodennähe ermöglichen den gewünschten Luftaustausch. Die Luftvolumenströme können im Wohnbereich eingestellt werden. Für die Wärmeverteilung des Cheminéeofens ist die Lüftung jedoch ungeeignet, da die Volumenströme zu gering sind und die warme Luft sofort zur Obergeschossdecke steigt.

Das Luftansaugerregister hat sich bewährt. Mit rund 24 Metern Länge ist es genügend lang. Die Zulufttemperaturen beim Lüftungsgerät lagen selbst bei Aussenlufttemperaturen unter -10° C immer über dem Gefrierpunkt.

Der Cheminéeofen ist als typische Zusatzheizung konzipiert und lässt sich mit vertretbarem Aufwand bedienen. Die Anordnung neben der Treppe soll die Wärme dem Erd- und dem Obergeschoss zuführen. Allerdings wird der konvektive Anteil praktisch nur dem Obergeschoss zugeführt, so dass die Schlaf- und Arbeitsräume im Obergeschoss tendenziell höhere Raumlufttemperaturen aufweisen als das Wohngeschoss. Die Einbindung des Holzofens in ein Hypokaustensystem würde den Komfort im Wohnraum deutlich steigern. Eine höhere Speichermasse des Ofens oder ein grösserer Ofen würde die Häufigkeit des Nachlegens von Brennholz reduzieren.

Die grosszügigen Verglasungen sind mit ausenliegenden Rafflamellen versehen. Der Aufwand für die Bedienung könnte mit einer automatischen Steuerung reduziert werden. Dabei kann eine optimale Nutzung der Sonnenenergie in der Heizperiode erreicht werden und im Sommer der Überhitzungsschutz gewährleistet sein. Das Gesamtkonzept kommt schon nahe an das

## 5. Vorläufer des Passivhauses

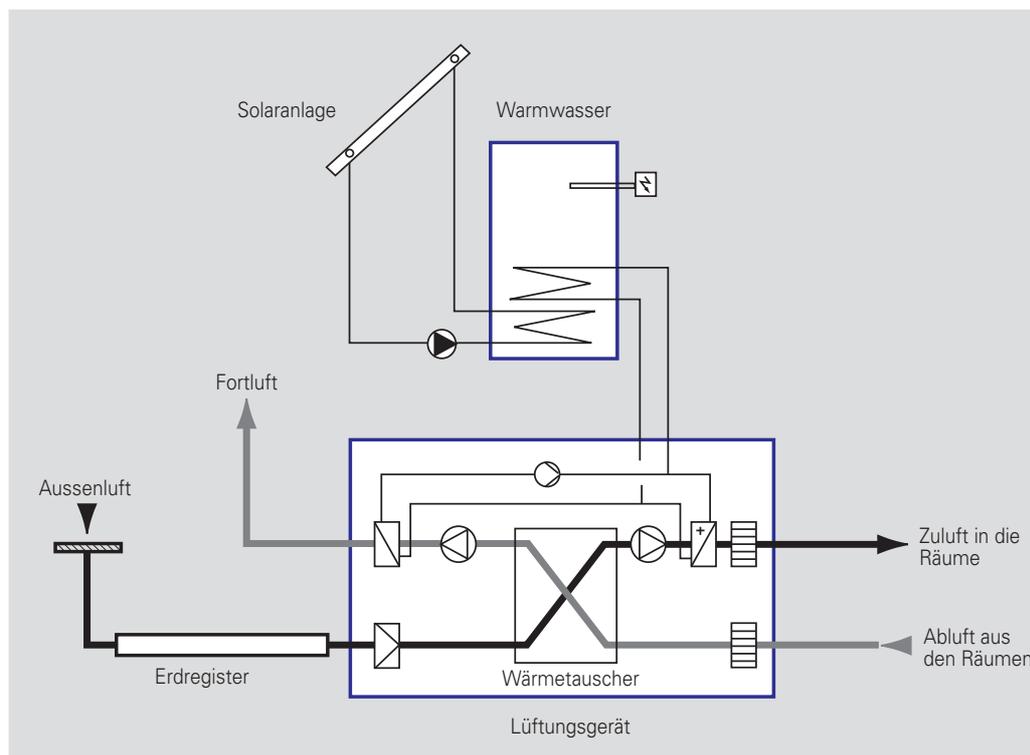
Generell eignen sich die untersuchten Häuser auch als Wohngebäude im Passivhausstandard. Allerdings müssten dann die Gebäudehülle noch besser wärmegeklämt und luftdichter sein. So kann der Heizwärmebedarf auf  $10 \text{ W/m}^2$  sinken. Den solaren Gewinnen durch die Fenster kommt nicht mehr die gleiche Bedeutung zu wie beim Minergiestandard.

Dank der besser gedämmten Gebäudehülle werden die Temperaturschwankungen kleiner ausfallen. Wenn die Komfortlüftung auch als Heizung funktionieren soll, ist beispielsweise eine Wärmepumpe wie im Haus A eine gute Lösung. Allerdings müsste ein Gerät neuester Generation evaluiert werden, da der verwendete Kreuzstromwärmetauscher nicht die erforderlichen 80 % Wärmerückgewinnung aufweist. Der Abgang in den unbeheizten Keller vom Windfang aus kann als eine ideale Lösung bezeichnet werden, da der Dämmperimeter im Erdgeschossboden nicht gestört wird.

Die Luftdichigkeit kann durch planerische Massnahmen und eine bessere Ausführung erhöht werden.

Das typische Passivhaus verwendet eine Kombination der im Haus A und B verwendeten Systeme (Fig. 27):

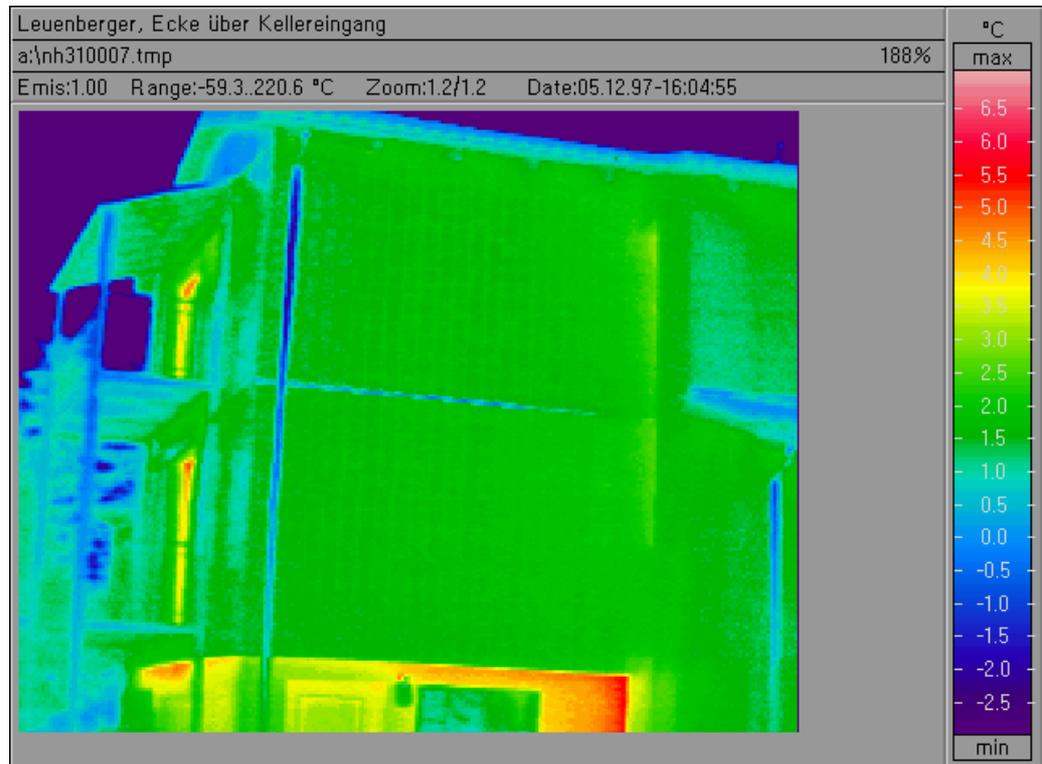
- Ein Kombigerät dient primär der Lüftung und der Luftheizung. Die Wärme aus der Abluft wird mittels Wärmerückgewinnung und Abluftwärmepumpe bestmöglich genutzt. Dank dem Erdregister gelangt die Luft mit über  $0^\circ\text{C}$  zur statischen Wärmerückgewinnung (vorzugsweise Gegenstromwärmetauscher) und hält diesen eisfrei. Die WRG ist weniger effizient. Dieses Manko wird dadurch wettgemacht, dass der nun wärmeren Fortluft mit der Abluftwärmepumpe Energie entzogen wird.
- Holzöfen sind nicht notwendig, da die Wärmepumpe die benötigte geringe Heizleistung auch bei tiefen Aussentemperaturen gewährleistet.
- Eine Kollektoranlage stellt vor allem im Sommer eine effiziente Wassererwärmung sicher. Um Schlechtwetterperioden besser überbrücken zu können, wird in der Regel ein 500 Liter Speicher (Beistellboiler) eingesetzt.



Figur 28:  
Das Grundprinzip der  
Passivhaustechnik

## 6. Thermografieaufnahmen und Fotos

Mittels Thermografieaufnahmen lassen sich unter Umständen thermische Schwachstellen in der Gebäudehülle ausfindig machen. Allerdings genügen die Aufnahmen dazu allein nicht. Für die Interpretation einer Aufnahme werden zusätzliche Grundlagen beigezogen.

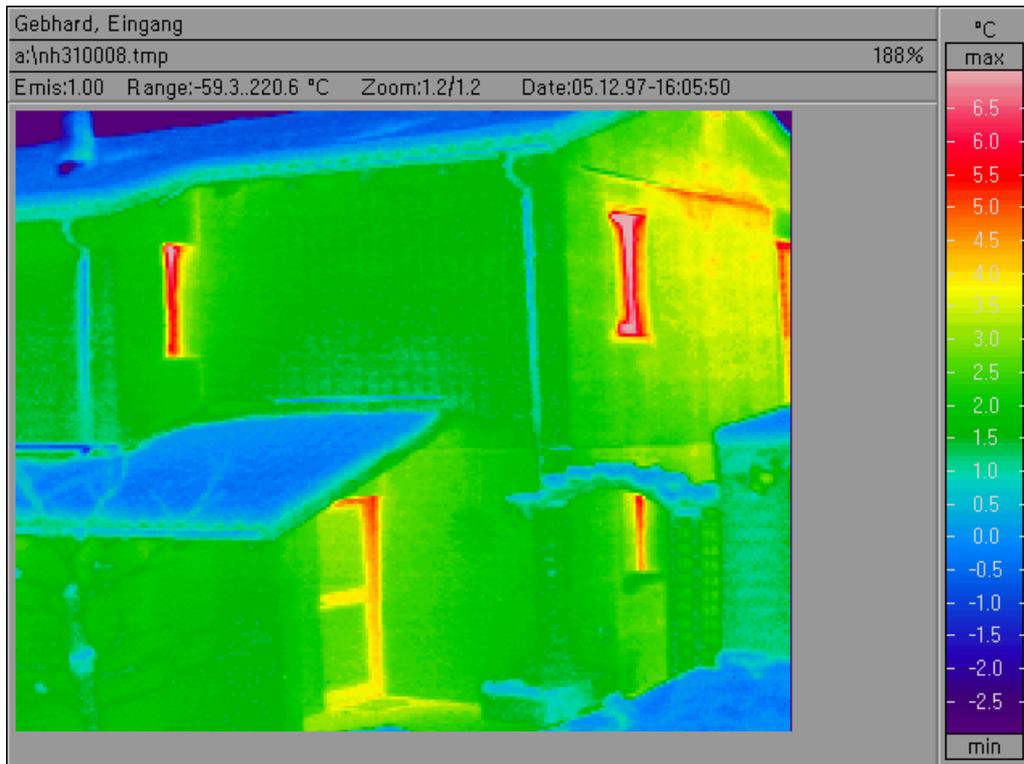


Figur 29:  
Die Sockelpartie erhält Wärme vom unbeheizten Keller, die hinterlüftete Verkleidung weist beinahe Umgebungstemperatur auf



Figur 30:  
Nordansicht mit Eingang zum Keller

Bei der Aussenhülle fallen vor allem die thermischen Schwachstellen der Fenster auf. Die Aluminiumleisten des Glasrandverbundes sind auch bei hochisolierenden Gläsern eine Schwachstelle. Schwachstellen bei hinterlüfteten Fassaden können allerdings nur bedingt thermografisch ausgewertet werden.



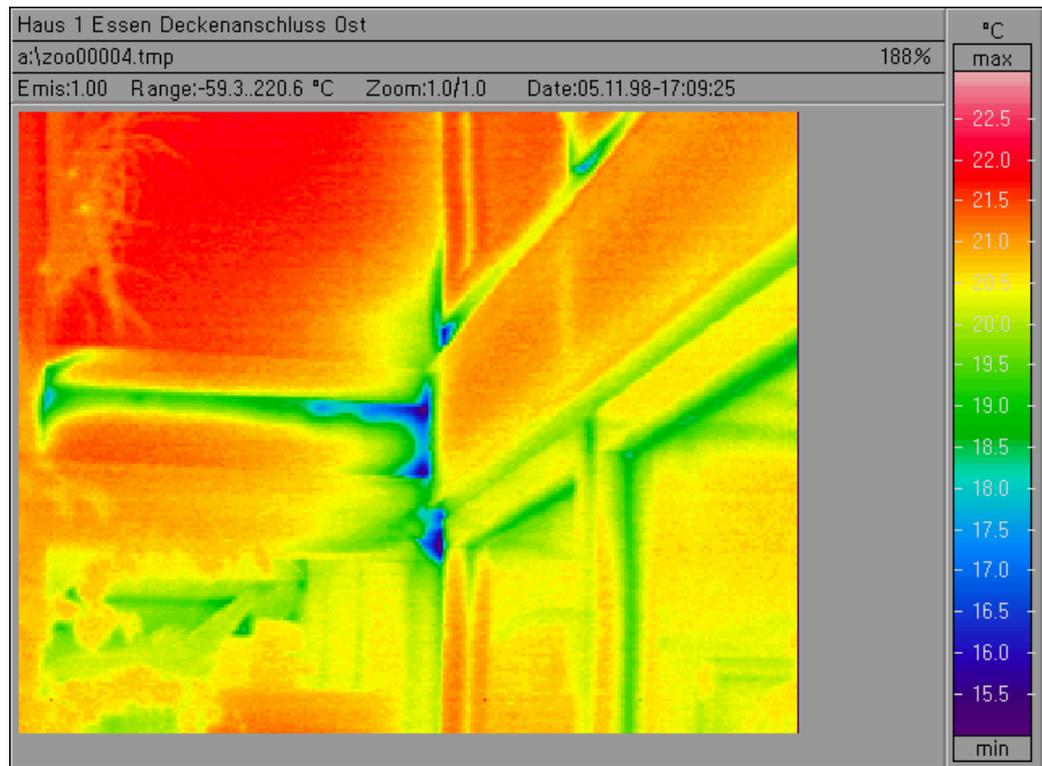
Figur 31:  
Fensterrahmen mit  
Glasrandverbund und  
Hauseingabstüre als  
deutliche Wärmebrücke  
erkennbar



Figur 32:  
Eingang Haus A,  
beim Haus im Hinter-  
grund ist der Schnee  
im Giebelbereich weg-  
geschmolzen, beim  
gemessenen Haus ist  
die Wärmedämmung  
so gut, dass der  
Schnee noch liegt

Mit zwei Thermografieaufnahmen bei unterschiedlichen Drucksituationen lassen sich Luftundichtigkeiten von geometrischen Wärmebrücken unterscheiden. Dabei wird am Computer ein Differenzbild von beiden Aufnahmen erzeugt, so dass die eintretende kalte Luft an der Oberfläche sichtbar wird.

Figur 33:  
Zusammentreffen von  
Tragkonstruktion und  
Fenster ergeben auch  
hier thermische  
Schwachpunkte. Lek-  
kage in der Ecke beim  
Fensteranschlag und  
bei den Durchdringun-  
gen der Balkenköpfe  
in der Aussenwand.



Figur 34:  
Deckenöffnung zur  
Galerie für die Luftzir-  
kulation zwischen Erd-  
geschoss und Oberge-  
schoss

