

## **Erfahrungen aus 25 Jahren Betrieb der Siedlung „Boller“ in Wädenswil - vom Null-Heizenergie-Demonstrationsprojekt zu MINERGIE**

von Ruedi Kriesi

Im Auftrag der Abteilung Energie  
des Amts für Abfall, Wasser, Energie und Luft, AWEL,  
Zürich, Juni 2016



**Inhalt :**

|                                                                             | Seite |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. Einleitung                                                               | 3     |
| 2. Technische Prinzipien und Energieverbrauch, Darstellung 1990             | 4     |
| 2.1. 1990 geplante Verbrauchszahlen gegenüber damaligen Vorschriften        | 4     |
| 2.2. Gemessene Verbrauchsentwicklung pro Haus für Elektrizität und Wärme    | 5     |
| 3. Realisiertes Projekt, Vergleich mit dem Neubaustandard der MuKE 2014     | 6     |
| 3.1. Haushaltstromverbrauch in Haus 3                                       | 7     |
| 3.2. Kompaktere Bauform durch Doppelhaus und Keller-Aussendämmung           | 8     |
| 3.3. Kleiner Fensteranteil                                                  | 10    |
| 3.4. Raumtemperatur 22 statt 24°C                                           | 10    |
| 3.5. Kein Überheizen dank grosser thermischer Masse gegenüber Fensterfläche | 11    |
| 3.6. Keine Wärmebrücken, dichte Hülle                                       | 17    |
| 3.7. Maximale Dämmung 1990 gegenüber MuKE 2014                              | 19    |
| 3.8. Lüftung mit Wärmerückgewinnung                                         | 20    |
| 3.9. Raumheizung mit Fassaden Sonnenkollektor, Kurz- und –Langzeitspeicher  | 21    |
| 3.10. Warmwasserbereitung mit Fassadenkollektor und Langzeitspeicher        | 27    |
| 3.11. Abwasser-Wärmerückgewinnung                                           | 28    |
| 3.12. Holzofen mit Wärmetauscher für die Wasserbereitung                    | 29    |
| 4. Erneuerungskonzept 2015                                                  | 30    |
| 5. Energierückzahlfrist                                                     | 34    |
| 6. Zusatznutzen der energie-effizienten Bauweise, Erfolgsbasis von Minergie | 35    |
| 7. Zusammenfassung der wichtigsten Erfahrungen                              | 38    |
| Literaturverzeichnis, Bildnachweis                                          | 40    |

## 1. Einleitung

Das Projekt « Im Boller » in Wädenswil mit 5 Doppelhäusern wurde 1990 als Pilot- und Demonstrationsprojekt gebaut. Damit sollten die technischen Möglichkeiten der damals verfügbaren energieeffizientesten Produkte breit dargestellt werden, nachdem der durchschnittliche Neubau immer noch bei etwa 120kWh/m<sup>2</sup>a lag, also um einen Faktor 3 über den aktuellen Mustervorschriften der Kantone [5]. Initiative und technisches Konzept stammten vom Autor. Realisiert hat er die Siedlung mit dem Architekten Ruedi Fraefel und zehn damals jungen Familien aus Wädenswil.

Um die Mehrkosten in Grenzen zu halten, wurden nur zwei Doppelhäuser für fast null Heizenergie konzipiert, deren Ziel nicht maximale Wirtschaftlichkeit, sondern minimaler Verbrauch und üblicher Komfort bei vertretbaren Mehrkosten war. Näher am wirtschaftlich vertretbaren Mass lagen die drei Niedrigenergie-Doppelhäuser. In diesen wurden die gleichen Massnahmen zur Reduktion des Verbrauchs, aber nur kleine Solaranlagen eingesetzt. Deren Restbedarf wurde durch eine gemeinsame Wärme-Kraft-Kopplung gedeckt.

Die zehn Bauten wurden 1990 mit einem Beitrag von insgesamt 350'000 Franken als Pilotprojekt des Kantons Zürich unterstützt. Im ersten Betriebsjahr haben deren vier Null-Heizenergiehäuser einen Beitrag des Bundesamts für Energie von insgesamt 60'000 Franken für die Sanierung der lecken Speicher erhalten.

Zur Minimierung der Kosten trotz des Ziels, die Häuser möglichst vollständig mit Sonnenenergie zu heizen, wurde mit allen verfügbaren Mitteln der Bedarf reduziert. Dies aus der Erkenntnis, dass Massnahmen zur Wärmedämmung und Wärmerückgewinnung weit billiger sind als Sonnenenergie im tiefen Winter. Dies bedeutete eine Abkehr des bisherigen Prinzips der Solarbauten, grosse Solaranlagen mit fast nur durchschnittlicher Dämmung zu kombinieren. Walter Schiesser, der damalige NZZ-Redaktor für Energiefragen, nannte dies in einem Artikel über das Projekt sehr treffend « Senkung des Wärmebedarfs bis zur Solartauglichkeit ». Ueli Schäfer, der bekannte Schweizer Solararchitekturpionier, bezeichnete den Schritt « from solar to polar ». Das Prinzip hat der Autor in den Minergie-Standards abgebildet. So ist es übliche Baupraxis geworden.

Die heute im Wohnungsneubau ebenfalls weit verbreitete Komfortlüftung wurde in der Null-Heizenergie-Siedlung fast erstmals\* in der Schweiz eingesetzt, ursprünglich primär zur Reduktion des Wärmebedarfs bei tiefen Aussentemperaturen und geringem Angebot an Solarstrahlung. Erst in den ersten Betriebsjahren wurden in der Siedlung die Nutzervorteile dieser Bauweise erkannt und zu deren Verbreitung die Marke Minergie geschaffen. Dies geschah in enger Zusammenarbeit des Autors mit dem Betriebswirtschaftler und Markenspezialisten Heinz Uebersax.

Das vor 25 Jahre noch pionierartige Dämm-Prinzip wird heute durch die Vorschriften (MuKEN 2014) bereits überbewertet. Andere eingesetzte Massnahmen hingegen wurden wenig beachtet, was in aktuellen Neubauten zu unnötig hohen Verbrauchszahlen führt. Die Wirkung dieser – von der Bewertung der Fenstergewinne in der SIA 380/1 mitgesteuerten – suboptimalen Planung wird häufig dem ungünstigen Benutzerverhalten angelastet, obwohl der Benutzer sich auch mit viel gutem Willen kaum viel besser verhalten könnte, wie diese Analyse zeigt.

Nachdem die Sonnenkollektoren nach 25 Betriebsjahren sukzessive das Ende ihrer Lebensdauer erreichen und leider auch die weitere Lebenserwartung der Speicher unsicher ist, gibt dies Anlass zu einer grundsätzlichen Systemoptimierung, die deshalb auch für den Neubau wieder relevant ist. Der thermische Sonnenkollektor und Langzeitspeicher wird durch Wärmepumpe, Erdsonden und Photovoltaik ersetzt, der Holzofen durch das Elektrizitätsnetz. Der hausinterne Langzeit-Elektrospeicher ist leider nicht verfügbar. Doch immerhin liefert die wiederum vertikal gegen Süden geneigte PV-Fläche ein Maximum an Winterstrom.

\* Der Lüftungsingenieur Christian Gambert, Stallikon, hat mit dem Architekten Ruedi Fraefel schon etwa 1988 eine Siedlung in Zufikon, AG, mit Wohnungslüftung realisiert.

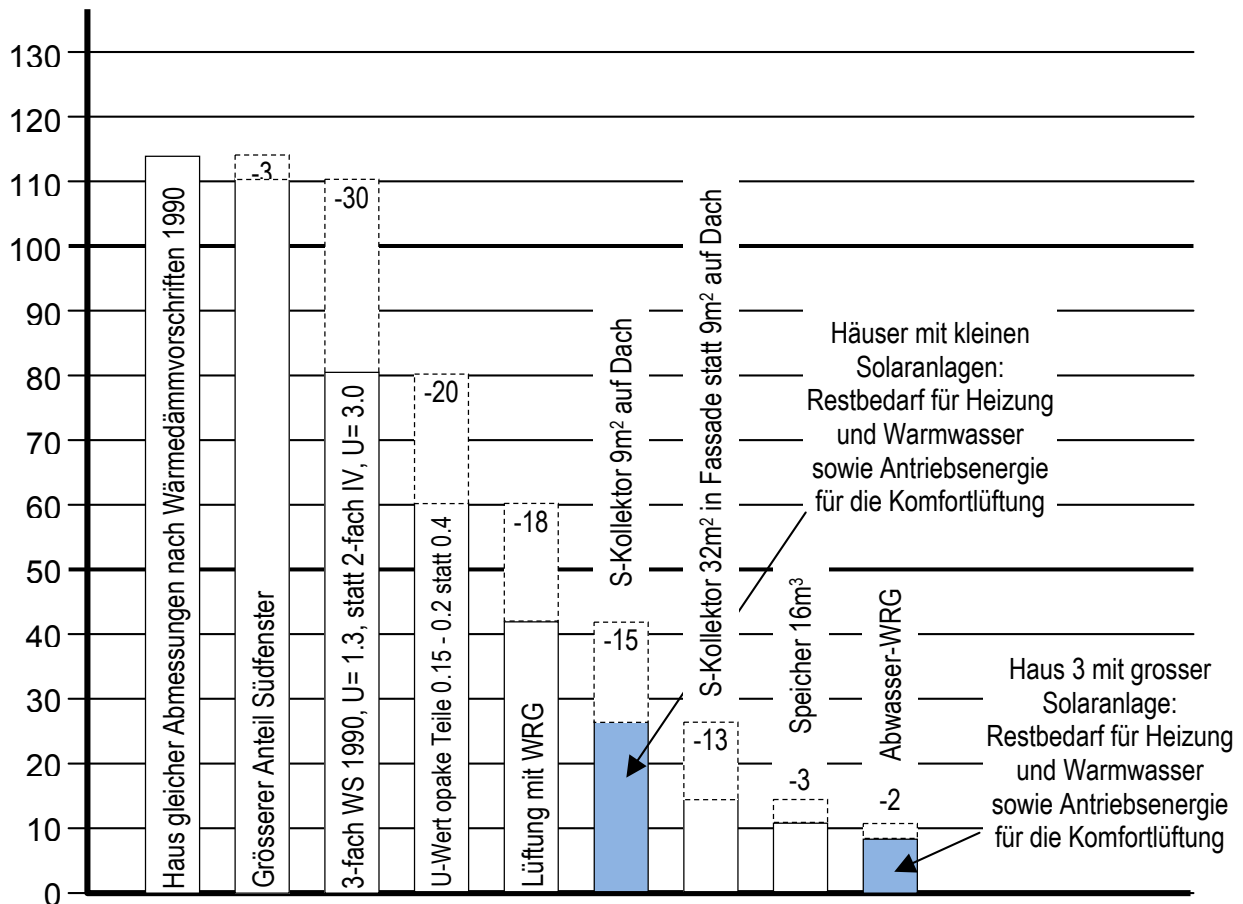
## 2. Technische Prinzipien und Energieverbrauch, Darstellung 1990

### 2.1. 1990 geplante Verbrauchszahlen gegenüber damaligen Vorschriften

Das Projekt hat der Autor in Nr. 45/1989, der Zeitschrift des SIA « Schweizer Ingenieur und Architekt » [1] vorgestellt. Dazu wurde anhand des nachfolgenden Diagramms das realisierte Projekt mit der damals durchschnittlichen Bauweise verglichen.

Bild 2.1 : Endverbrauch für Heizung, Lüftung, Kühlung und Warmwasser

Endverbrauch H/L/K/WW, kWh/m<sup>2</sup>/a

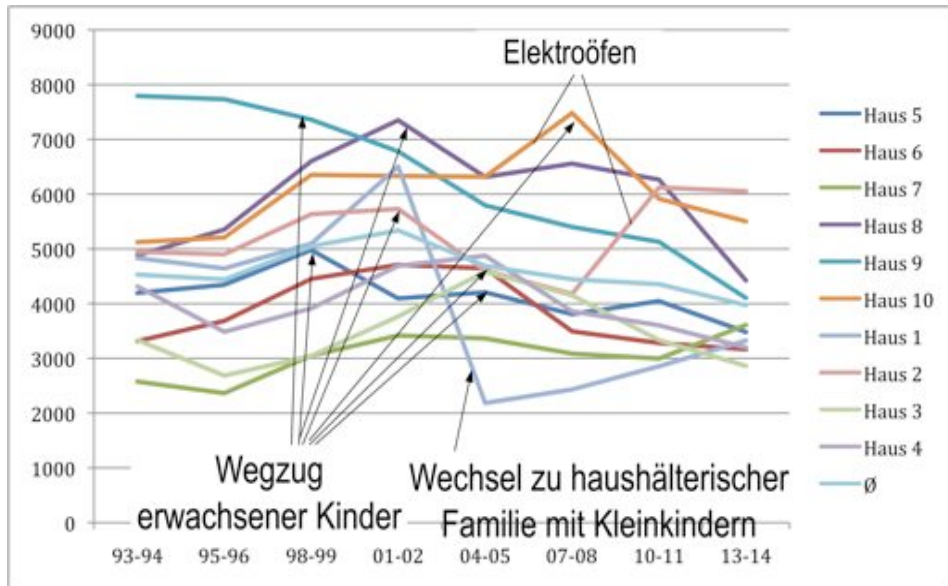


Mit der dichten, fast wärmebrückenfreien, rundherum gedämmten Hülle und der automatischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung wurde der Wärmebedarf gegenüber dem damaligen Durchschnittshaus sehr stark reduziert; die Häuser wurden „solartauglich“ gemacht.

|                                                                                |                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EBF :                                                                          | 273 m <sup>2</sup> ,                                                                                      |
| A/EBF :                                                                        | 1.27                                                                                                      |
| Fensterfläche:                                                                 | 38m <sup>2</sup> (≅ 14% EBF-Anteil; Süd 18m <sup>2</sup> , West 9m <sup>2</sup> , Nord 11m <sup>2</sup> ) |
| Geschätzter Verbrauch während der 25 Betriebsjahre ca. ¾ Ster Hartholz/a, d.h. |                                                                                                           |
| Endenergieverbrauch für Wärme :                                                | 375kg/a x 4.3kWh/kg = 1600kWh/a,<br>mit Holz-Gewichtungsfaktor 0.7 : 1120kWh/a                            |
| Strom für Lüftungsgerät 1990 :                                                 | 8760h/a x 60W = 525kWh/a<br>Mit Strom- Gewichtungsfaktor 2 : 1150kWh/a                                    |
| Gesamtendenergiebedarf gewichtet :                                             | 2270kWh/a                                                                                                 |
| Minergie-Kennzahl 1990:                                                        | 2270kWh/a/273 m <sup>2</sup> = 8.3kWh/m <sup>2</sup> a                                                    |
| Strom für Lüftungsgerät ab 2010 :                                              | 8760h/a x 40W = 350kWh/a                                                                                  |
| (Mit Gleichstrommotoren)                                                       | Mit Strom- Gewichtungsfaktor 2 : 700kWh/a                                                                 |
| Gesamtendenergiebedarf gewichtet :                                             | 1850kWh/a                                                                                                 |
| Minergie-Kennzahl 2010:                                                        | 1850kWh/a/273 m <sup>2</sup> = 6.7kWh/m <sup>2</sup> a                                                    |
| Mehr-Investition geg. Ø-Neubau 1990:                                           | 115'000.- Franken                                                                                         |

## 2.2. Verbrauchsentwicklung pro Haus für Elektrizität und Wärme

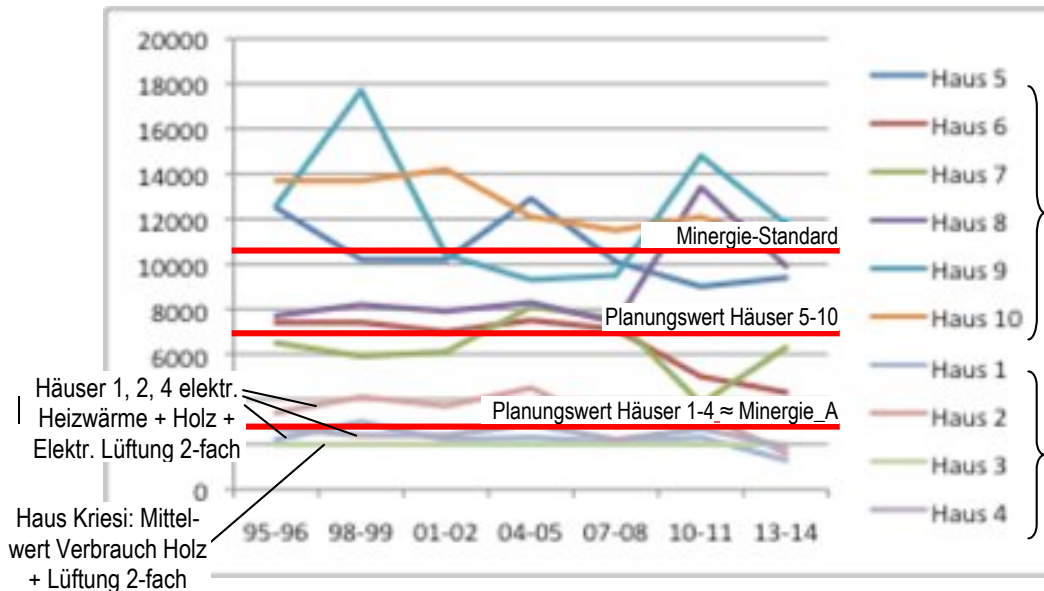
Bild 2.2: Entwicklung des Elektrizitätsverbrauchs in den zehn Häusern\* in kWh/a :



\* Hausnummern entsprechen nicht der örtlichen Gebäude-Reihenfolge

In allen Häusern gibt es einen Zuwachs durch die Entwicklung der Kinder zu Jugendlichen, gefolgt von einem anschliessenden Abfall durch deren Wegzug. Je nach Alter der Kinder beim Einzug in die Siedlung erfolgte dies früher oder später. In allen Häusern nahm die Zahl der Geräte zu, wie durch Trockner, Steamer, Saunas, Computer, Fernsehempfangsboxen, Heimarbeitsplätze. Hohe Werte sind u.a. durch Halogenlicht, grosse Röhrenbildschirme und auch Elektrowärme durch mobile Geräte durch zwei spez. wärmeempfindliche Personen bestimmt.

Bild 2.3: Entwicklung des Wärmeverbrauchs in den zehn Häusern\* in kWh/a:



\* Hausnummern entsprechen nicht der örtlichen Gebäude-Reihenfolge

Häuser 5-10\* mit kleinen Kollektoren und Speichern

Häuser 1-4\* mit grossen Kollektoren und Speichern

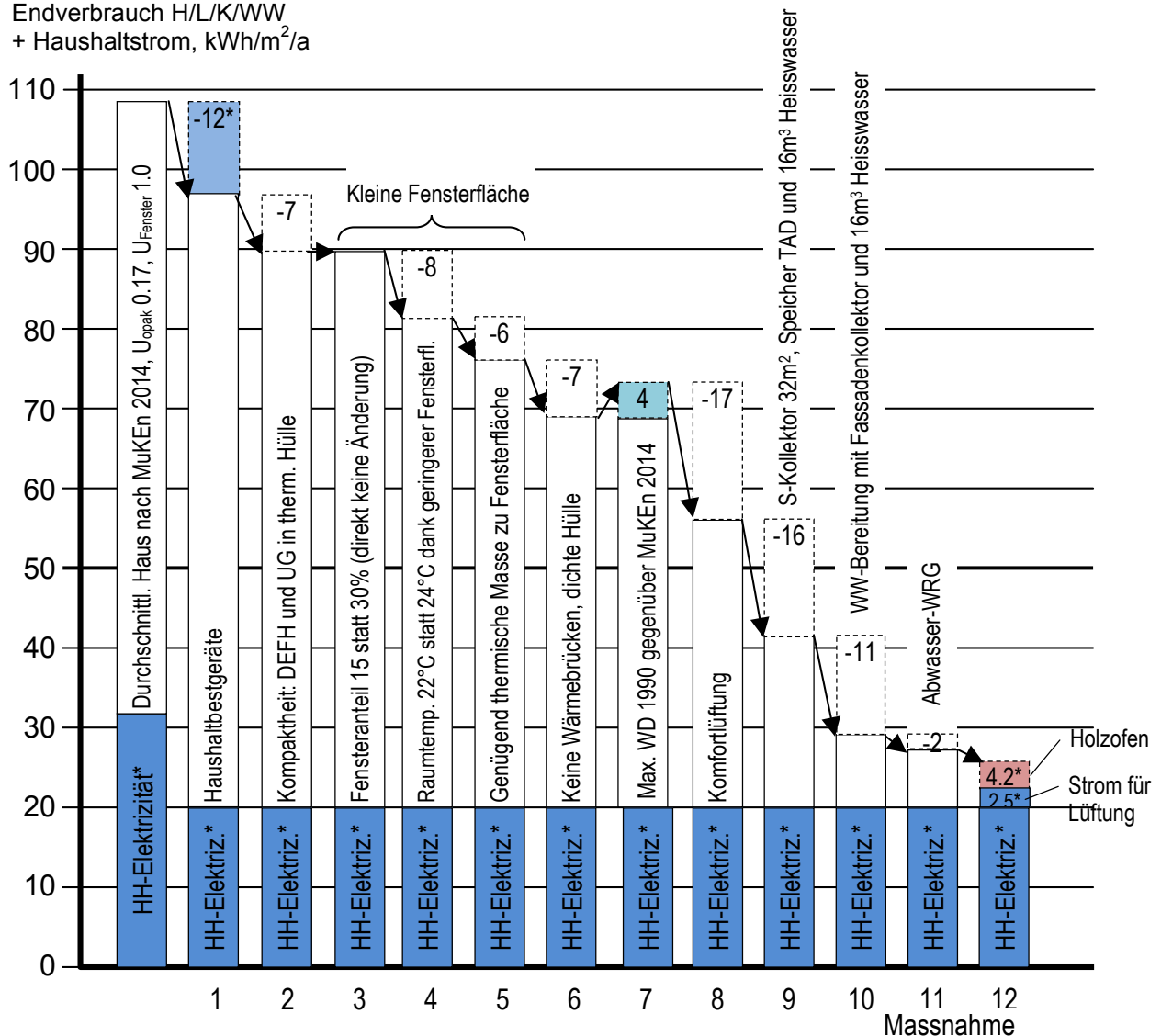
Die Verbrauchswerte der Häuser 1-4 mit grossen Solaranlagen setzen sich aus einem gemessenen Elektrowärme- und einem geschätzten Holzverbrauch sowie dem 2-fachen Stromverbrauch der Lüftungsanlagen zusammen (sh. Kap. 3.12). Mit etwa 2500kWh/a resp. 9kWh/m<sup>2</sup>a erreichten sie etwa den Rechenwert von 10.5kWh/m<sup>2</sup>a (ohne Abwasser-WRG), der auch dem Standard Minergie-A entspricht. Die Häuser mit kleinen Solaranlagen überschritten den Rechenwert von 270m<sup>2</sup> x 26kWh/m<sup>2</sup>a = 7000kWh/a teils deutlich. Die Erklärung liegt u.a. bei schlecht funktionierenden Sonnenkollektorsystemen als Folge ungenügender Füllung und undichter Rückströmklappen sowie starker Fensterbeschattung im Winter.

## 3. Realisiertes Projekt, Vergleich mit dem Neubaustandard der MuKEn 2014

Von 1990 bis 2015 hat sich der Standard der Neubauten bezüglich Wärmedämmung sehr stark erhöht. Verglichen mit den Anforderungen der MuKEn 2014 ist die damals gebaute Hülle sogar bereits konservativ. Andere Themen, die mit dem Projekt ebenfalls realisiert, aber wenig kommuniziert und von der neusten MuKEn auch nicht berücksichtigt worden sind, bewirken jedoch sehr signifikante Differenzen zum Neubau nach Vorschriften.

Bild 3.1 : Wirkung der 1990 realisierten Massnahmen im Vergleich zur MuKEn 2014. Die mit Massnahmen 3-5 gezeigten Auswirkungen grösserer Fensterflächen werden bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von der SIA 380/1 und damit auch von der MuKEn nicht berücksichtigt. Sie sind aber deutlich grösser als der Mehrverbrauch durch die inzwischen bereits konservative Wärmedämmung (Massnahme 7). Dichtheit und Wärmebrückenfreiheit der Hülle (Massnahme 6) sind kaum prüfbar. Die Lüftung mit Wärmerückgewinnung (Massnahme 8) hat trotz klaren Komfortvorteilen und gutem Kosten-Nutzen-Verhältnis nach wie vor viele Gegner.

Endverbrauch H/L/K/WW  
+ Haushaltstrom, kWh/m<sup>2</sup>/a



\* Elektrizität mit Faktor 2, Holz mit 0.7 gewichtet gegenüber fossilen Brennstoffen



### 3.1. Haushaltstromverbrauch im Haus 3

Im Haus Kriesi wurden 1990 systematisch die verbrauchsärmsten Geräte eingesetzt. Die Verbrauchswerte der wichtigsten Haushaltgeräte wurden in den ersten Jahren gemessen. Die übrigen Werte wurden aufgrund einer Leistungsmessung und geschätzter Betriebsstunden ermittelt.

|    | Verbraucher                         | Verbrauch<br>Ø 1990<br>kWh/a | Verbrauch Best-<br>geräte 1990<br>kWh/a | Differenz mit<br>Bestgeräten 2015<br>kWh/a |
|----|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| a. | Geschirrspüler                      |                              | 150                                     | -30                                        |
| b. | Waschmaschine mit WW-Anschluss      |                              | 140                                     | 0                                          |
| c. | Kochen/Backen (Induktion)           |                              | 530                                     | 0                                          |
| d. | Kühlschrank                         |                              | 110                                     | 0 bis -55                                  |
| e. | Tiefkühler                          |                              | 130                                     | -10                                        |
| f. | Tumbler                             |                              | -                                       | +150                                       |
| g. | Bügeln                              |                              | 100                                     | 0                                          |
| h. | Beleuchtung                         |                              | 500                                     | -250                                       |
| i. | Fernseher (800 h/a)                 |                              | 120                                     | -80                                        |
| j. | TV-Box (7W, 8760h/a)                |                              | -                                       | +60                                        |
| k. | Radio                               |                              | 50                                      | 0                                          |
| l. | Tel, WIFI                           |                              | 120                                     | 0                                          |
| m. | Computer, Heimarbeitsplatz          |                              | -                                       | +130                                       |
| n. | Staubsauger                         |                              | 70                                      | 0                                          |
| o. | Umwälzpumpen, Heiz./SE              |                              | 30                                      | 0                                          |
| p. | Lüftungsgerät sh. 8, 12             |                              | 500                                     | -150                                       |
|    | diverses                            |                              | 300                                     |                                            |
|    | Total                               | ca. 4400                     | 2850                                    | -180 bis -230                              |
|    | Spez. Verbrauch, kWh/m <sup>2</sup> | 16                           | 11                                      | 10                                         |

- Geschirrspüler : Wird von März bis September manuell an das Warmwasser angeschlossen, weil der Sonnenkollektor von März-Oktober viel zu viel Wärme erzeugt. Das Gerät von 2005 (V-Zug) ist nochmals effizienter als das ursprüngliche von 1990 (AEG).
- Schon die Waschmaschine von 1990 (AEG) besass, wie das Gerät von 2002 (V-Zug), je einen Kalt- und Warmwasser-Anschluss, mit denen die korrekte Wassertemperatur gemischt wird. Der Energieverbrauch der beiden Geräte ist identisch.
- Das Induktionskochfeld von 1990 (AEG) war reparaturanfällig und wesentlich weniger leistungsfähig als das neue Gerät von 2004 (V-Zug), aber ähnlich effizient, wie auch der gut gedämmte Backofen.
- Kühlschrank : Zur Minimierung von dessen Bedarf wurde auf ein Tiefkühlfach verzichtet, so dass die Kühlmaschine auf dem Temperaturniveau von ca. 5°C statt auf -20°C arbeitet. Dieser Entscheid reduziert auch den Verbrauch neuer Geräte um einen Faktor zwei. Zudem wurde ein Gerät eingebaut, das als freistehendes Modell etwas breiter ist als die Einbaumodelle und deshalb über eine dickere Wärmedämmung verfügt. Das Gerät von 1990 (AEG) ist immer noch in Betrieb. Neue Modelle ohne Tiefkühlfach erreichen nochmals deutlich tiefere Verbrauchswerte. Der Unterschied zwischen freistehenden oder eingebauten Bestgeräten ist inzwischen hingegen vernachlässigbar klein.
- Tiefkühler : Truhen sind besser gedämmt und erwärmen sich beim Öffnen weniger als Schränke. Das Modell von AEG von 1990 ist immer noch in Betrieb und von neuen Geräten kaum überholt.
- Ein erster Tumbler mit Wärmepumpe wurde erst 2000 (AEG) installiert und 2014 durch ein Produkt von V-Zug ersetzt. Anfänglich wurde die Wäsche an der Leine getrocknet, im Winter im innerhalb der Wärmedämmung gelegenen und automatisch belüfteten Keller. Aus Komfort-

- gründen wird inzwischen etwa die Hälfte der Wäsche im Tumbler getrocknet, die andere Hälfte an der Leine, aus Allergiegründen aber nur noch im mechanisch belüfteten Keller.
- g. Das einfache Bügeleisen ist einer Bügelstation gewichen, mit einem höheren mittleren Leistungsbedarf, wird aber seltener gebraucht :  $1.35\text{kW} \times \text{ca. } 70\text{h/a} = 100\text{kWh/a}$
  - h. Für die Beleuchtung wurden schon 1990 fast ausschliesslich Kompaktfluoreszenzlampen eingesetzt. Inzwischen sind auch die letzten Glühbirnen ersetzt. Der Effizienzgewinn während der 25 Jahre ist deshalb gering.
  - i. Fernseher : Durch die geringe Einschaltzeit ist die Wirkung auf den Haushaltverbrauch trotz deutlich höherer Effizienz klein.
  - j. Bluewinbox : Ein neues Element war ab 2010 die TV-Box, erst seit 2015 mit einem Dauerverbrauch von nur noch 7W.
  - l. Der Fax ist längst ausser Betrieb, die neuen Telefone wie das hausinterne WIFI sind nicht mehr relevant.
  - m. Erstaunlich unwichtig ist die Wirkung des Heimarbeitsplatzes mit 65W Leistung für Notebook, Grossbildschirm und Druckerstandby und 2000 Jahresbetriebsstunden.
  - o. Eine Umwälzpumpe besteht nur für die Wärmeverteilung vom Speicher zur Heizung (60W) und zur Beheizung der Decken durch den Sonnenkollektor bei geringem Strahlungsangebot und deshalb mit geringem Durchfluss und Verbrauch (25W). Diese sind nur bei Bedarf in Betrieb, d.h. während ca. 250 resp. 500 h/a statt bei üblicher Auslegung während 4000h/a für die Heizungspumpe und 1000h/a für die Kollektorpumpe.

Die Effizienzgewinne heutiger Geräte sind gegenüber 1990 kleiner als die Unterschiede zwischen den Gerätetypen, wie Kühlschrank ohne oder mit Tiefkühlfach, Tiefkühl-Truhe oder –Schrank, Kühlgerätegrösse, bedarfsabhängige oder durchlaufende Schaltung der Heizungspumpe, etc. Durch neue Geräte wird sich also eine Verbrauchsabnahme nur bei ähnlich haushälterischem Einsatz erzielen lassen.

### 3.2. Kompaktere Bauform durch Doppelhaus und Keller-Aussendämmung

Die Wahl von Doppel- statt freistehenden Häusern verkleinert bei gleicher Nutzfläche die Aussenflächen deutlich, der Formfaktor A/EBF sinkt von 2.04 auf 1.59. Gemäss MuKE 2014 bedeutet diese Änderung einen reduzierten Heizenergiebedarf um:

$$\Delta E = (2.04 - 1.59) \times 16 \text{ kWh/m}^2\text{a} = \mathbf{7.2\text{kWh/m}^2\text{a}}$$

Die Kellergeschosse der zehn Doppelhäuser wurden aussen gedämmt, indem die tragende Bodenplatte auf eine Dämmschicht von 10cm XPS gegossen wurde. Seitlich gegen das Erdreich wurden 12cm XPS eingesetzt.

Gemäss SIA 416/1 zählen Räume zur EBF, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist. Dazu gehören auch unbeheizte Räume innerhalb der thermischen Hülle im UG, wie Lager-, Bastel-, Hauswirtschafts-, Gymnastik- oder Therapieräume. Diese Definition des SIA macht auch sehr viel Sinn, liegt doch die Temperatur des unbeheizten Kellers mit Aussendämmung ganz wenig tiefer als die der beheizten Geschosse, womit die Räume - auch dank automatischer Belüftung - fast vollwertig nutzbar sind, abgesehen vom meist fehlenden Tageslicht.

Die alte Vorstellung vom grossen Nutzen des unbeheizten UG zur Lagerung von Wein und Gemüse ist durch die heutige Lebensweise fast aller Haushalte überholt. Hierfür genügt dem durchschnittlichen Haushalt ein kleiner Raum ausserhalb des Dämmperimeters oder – in vielen Fällen noch günstiger - ein Weinschrank. Hingegen können alte Möbel, Kleider, Sportgeräte und sogar Mehl und Teigwaren kaum in Räumen ausserhalb der thermischen Hülle gelagert werden, weil sie in kurzer Zeit schimmeln. Der warme Keller ersetzt so die kalten Dachräume, die früher in den meisten Häusern als trockene Lagerräume dienten. Auch für Fitness, Hobby, als Teilzeit-Heimarbeitsplatz oder zum Waschen und Trocknen ist der warme Keller weit besser geeignet.



Gegenüber einem UG mit der Wärmedämmung über der Decke bedeutet die Aussendämmung des Kellergeschosses eine ganz starke Vergrößerung der Nutzfläche zu extrem tiefen Kosten! Zudem wird das Problem der Entfeuchtung der im Frühjahr sonst kalten Keller gelöst oder zumindest auf wenige Tage im Jahr reduziert, unterstützt durch die Wohnungslüftung. Zudem müssen damit die Luftverteilungen im Keller nicht gedämmt und können auch in die Kellerdecke eingelegt werden. Entsprechend ist unverständlich, dass immer noch viele Neubauten an der Kellerdecke statt unter dem -boden und auf der Wandaussenseite gedämmt werden.

Dank der Wohnungslüftung kann auch auf die aufwendigen Oberlichter verzichtet werden, die ohnehin kaum Licht bringen. Hingegen kann eine Aussparung im Garten die Lichtzufuhr zum Keller und damit dessen Nutzwert ganz erheblich steigern (Bild 3.3).

Die Vergrößerung der EBF von 199 auf 273m<sup>2</sup> durch die UG-Aussendämmung bewirkt zwar eine Reduktion des A/EBF von 1.59 auf 1.27, aber auch eine Erhöhung des Wärmebedarfs durch die grössere Aussenfläche durch Kellerwände und -fenster. Umgekehrt vermeidet sie die regelmässige nachträgliche Beheizung von Kellerräumen ausserhalb der thermischen Hülle, was den ursprünglichen Mehrverbrauch etwa kompensiert.\*

- \* - Verbrauchserhöhung durch zusätzlichen Verlust der Kellerwände und -Fenster :  
 $\Delta E \approx +5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Verbrauchsminderung durch Vermeiden von einem nachträglich beheizten Kellerraum ausserhalb der gedämmten Hülle:  
 $\Delta E \approx (60\text{m}^2 \times 0.7\text{W/m}^2\text{K} \times 10 \text{ K} \times 3000 \text{ h/a})/\text{EBF} = -5\text{kWh/m}^2\text{a}$

Bild 3.2 : Erhöhung der Kompaktheit durch Einbezug des Kellergeschosses in die gedämmte Hülle. Die Bodenplatte des 3½-geschossigen Hauses wird auf die Wärmedämmung (Dow, Floormate) gegossen.



Bild 3.3: Gegenüber einem Lichtschacht erhöht das Kellerfenster den Nutzwert des Kellers erheblich. Nach dem ersten Betriebsjahr wurde es auch im Sommer nicht mehr geöffnet, um Spinnen und Schnecken fern zu halten. Dank der Wohnungslüftung ist die Abfuhr von Feuchtigkeit und Schadstoffen immer gewährleistet.



### 3.3. Kleiner Fensteranteil von 15 statt 30%

Der Fensteranteil ist mit total 38m<sup>2</sup> sehr moderat, entsprechend einem Anteil von 14% der EBF (Süd 18m<sup>2</sup>, West 9m<sup>2</sup>, Nord 11m<sup>2</sup>). Gegenüber der doppelten Fensterfläche verändert sich der Wärmebedarf nicht. Die reduzierten Wärmegevinne kompensieren in den Wintermonaten lediglich die gegenüber der opaken Wand höheren Wärmeverluste. Zur Berücksichtigung der Fensterflächen und der beschränkten thermischen Masse im Raum wird mit folgenden Ausnutzungsfaktoren AF für die eingestrahlte Wärme gerechnet (sh. dazu auch Kap. 1.5.5):

|                        |          |     |
|------------------------|----------|-----|
| Fensteranteil:         | 30%      | 15% |
| Oktober, März, April : | AF = 0.5 | 1   |
| November bis Februar : | AF = 0.8 | 1   |

### 3.4. Raumtemperatur 22 statt 24°C

Die Reduktion der Fensterfläche erhöht leicht die Innentemperatur der Aussenflächen und somit die empfundene Raumtemperatur aus Strahlung und Konvektion. Wesentlich wichtiger ist aber der damit reduzierte Kaltluftabfall, der für nahe der Fenster sitzende Personen - etwa am Boden spielende Kinder - störend ist und durch höhere Raumtemperatur kompensiert wird, falls nicht Konvektoren vor den Fenstern den Effekt verhindern.

Für die kleinere Fensterfläche wird deshalb von einer von 24 auf 22°C reduzierten Raumtemperatur ausgegangen. Dies bewirkt eine Bedarfsreduktion von **8kWh/m<sup>2</sup>a**.

Für eine mehrstündige sitzende Tätigkeit genügen 20°C Raumtemperatur auch bei kleiner Fensterfläche nicht. Selbst mit einem Pullover bekleidet sind dafür etwa 22°C nötig. Die frühere Vorstellung, dass bei guter Hülle und Bodenheizung 20°C genügen sollten, war teils deshalb falsch, weil die Fussbodenheizung bei sehr tiefem Wärmeverlust der Hülle kaum mehr wärmer ist als die Raumlufttemperatur selbst und deshalb keine Erhöhung der empfundenen Strahlungstemperatur bewirkt. Zusätzlich werden auch die veränderten Bekleidungsgehnheiten eine Rolle spielen.

Ob die Raumtemperatur durch die kleinere Fensterfläche tatsächlich genau um 2K gesenkt werden kann, lässt sich nicht beantworten, schon weil der konkrete Wert von der Position der Personen im Raum abhängig ist.

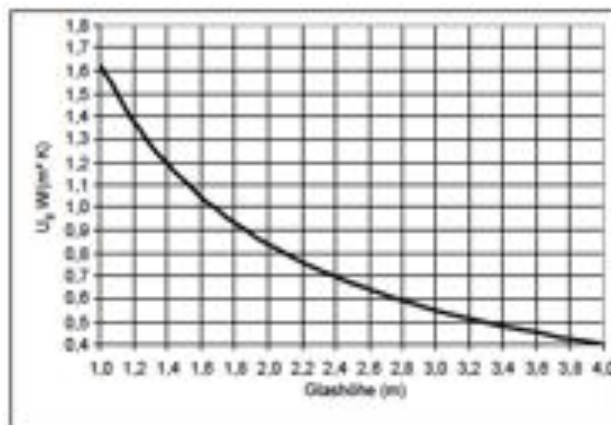
Mit der kleinen Fensterfläche beträgt der Fensterflächenanteil im exponiertesten Zimmer 37% der Boden- oder nur 8% der gesamten Raumbegrenzungsfläche. Die mittlere Temperaturdifferenz im Raum zwischen Raumluft und Innenoberflächen beträgt nur rund 0.4K, und hiervon sind die Fensterflächen für nur 0.25K verantwortlich.\*

|                                                                               |                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * Aussenfläche opak :                                                         | $F_W = 14\text{m}^2$ , $\Delta T_{L-W} = \Delta T \times U_{\text{wand}} / \alpha_i = 30\text{K} \times 0.2 \text{ W/m}^2\text{K} / 8 \text{ W/m}^2\text{K} = 0.75\text{K}$  |
| Fensterfläche :                                                               | $F_F = 5.2\text{m}^2$ , $\Delta T_{L-F} = \Delta T \times U_{\text{Fenster}} / \alpha_i = 30\text{K} \times 1.0 \text{ W/m}^2\text{K} / 8 \text{ W/m}^2\text{K} = 4\text{K}$ |
| Innenflächen :                                                                | $F_I = 66\text{m}^2$ , $T_{L-I} = 0$                                                                                                                                         |
| Mittelwert :                                                                  | $\Delta T_m = (F_W \times \Delta T_{L-W} + F_F \times \Delta T_{L-F}) / (F_I + F_W + F_F) = (14 \times 0.75 + 5.2 \times 4) / 85 = 0.4\text{K}$                              |
| Anteil der Fenster :                                                          | $\Delta T_F = (F_F \times \Delta T_{L-F}) / (F_W \times \Delta T_{L-W} + F_F \times \Delta T_{L-F}) \times \Delta T_m = 0.3\text{K}$                                         |
| Indizes : L = Luft ; W = Wand ; F = Fenster ; I = Innenflächen ; m = Mittel ; |                                                                                                                                                                              |

Die empfundene Raumtemperatur entspricht dem Mittelwert von Raumluft und Innenflächen. Der Einfluss der Fenster beträgt für eine Person in der Raummitte also vernachlässigbare 0.13K (die Hälfte der erwähnten 0.25K) und ist damit auch bei Verdoppelung der Fensterfläche noch vernachlässigbar.

Für eine Person in Fensternähe sieht dies aber anders aus. Die Temperaturdifferenz von -4K der Fensterinnenflächen gegenüber der Lufttemperatur wird für fast 50% der Strahlungsflächen verantwortlich, entsprechend 1K für die empfundene Raumtemperatur. Auch heute noch werden nur wenige raumhohe Fenster mit genügendem Dämmwert zur Vermeidung eines störenden Kaltluftabfalls eingebaut. Hierfür wäre bei 2.2m Glashöhe, -8°C Aussentemperatur und 1m Abstand vom Glas ein U-Wert <0.75W/m<sup>2</sup>K nötig (Bild 3.5).

Bild 3.4: Maximal zulässiger Glas-U-Wert in Funktion der Glashöhe zur Vermeidung von Komfortproblemen bei Kaltluftabfall für Schweizer Mittelland (-8°C) (aus Merkblatt SIA 2021)



### 3.5. Kein Überheizen dank grosser thermischer Masse gegenüber Fensterfläche

Die Fensterfläche wurde zu einem wesentlichen Teil gegen Süden ausgerichtet, obwohl die Aussicht auf der Nordseite liegt. Die trotzdem moderate Fensterfläche gegen Süden und Westen (zusammen EBF-Flächenanteil 10%) vermeidet dank der grossen zugänglichen thermischen Masse im Innenraum (Betondecken, Steinboden und Klebeparkett) ein Überheizen, so dass von Oktober bis April keine Beschattung der Fenster nötig wird, selbst bei einer Reihe sonniger Tage. Die tagsüber erhaltene Sonnenstrahlung steht damit nachts und an strahlungsarmen Folgetagen vollumfänglich für die Heizung zur Verfügung.

Durch die Ausnützung der eingestrahltten Sonnenenergie mit 100 statt – geschätzten - 50-80% in den Wintermonaten Oktober bis April sinkt der Energiebedarf um rund **6kWh/m²a**.

Die Sonneneinstrahlung durch die Südfenster wird zu einem kleinen Teil direkt am Boden (Tonplatten im EG, Klebparkett im OG) absorbiert und gelangt durch Wärmeleitung in die Betonböden (Bild 3.5). Ein Teil wird an der Verglasung selbst (Bild 3.6) und an Möbeln absorbiert und sofort wieder durch Strahlung und Konvektion an die Raumbegrenzungsflächen übertragen. Ein weiterer Teil wird durch Absorption des indirekten Lichts an den Wänden, Decken und Böden in Wärme umgewandelt. An einem sonnigen Tag im März erwärmt sich die Temperatur der Raumbooberflächen in den südorientierten Zimmern während der ca. 5 Stunden Einstrahlung durch die Südfenster mit 19% Glasanteil bezogen auf die Bodenfläche um etwa 3K (Tab. 3.1). Gerechnet wurde dabei mit einer homogen erwärmten thermisch aktiven Schicht von Boden, Decke und Aussenwänden von 6cm.

Zudem strahlen der erwärmte Boden und die Glasfläche (Bilder 3.5, 3.6) in den Innenraum ab. Eine Person in der Nähe dieser Flächen wird also eine deutlich höhere gefühlte Temperatur, als Mittel von Luft- und Strahlungstemperatur, erfahren.

Beträgt die Raumtemperatur am Morgen eines sonnigen Märztags 22°C, so wird im Südzimmer am Nachmittag trotz moderater Glasfläche von 19% der Boden- oder 27% der Fassadenfläche und grosser thermischer Masse mit mindestens 25°C bereits die Grenze des Komforts erreicht.

Stehen in den Südzimmern die Türen gegen den Gang offen oder wäre deren Raumtiefe deutlich grösser, so schwächt sich die Erwärmung während der 5 Stunden Einstrahlungszeit auf 2-3K ab (Tab. 3.2), bleibt aber in Anbetracht des kleinen Fensterflächenanteils nach wie vor hoch.

Im Rhythmus von 24 Stunden wird die über alle Fenster eingestrahlte Wärme von 40kWh/d, abzüglich des Heizwärmebedarfs des Hauses, über offene Türen auf die Raumbegrenzungsflächen des ganzen Hauses verteilt. Im Tagesrythmus erreicht die thermisch aktive Betonschicht etwa 14cm. Mit der Anrechnung eines Wärmeverlusts des Hauses ergibt sich im Tagesrythmus ein Temperaturanstieg von etwas mehr als 1K (Tab. 3.3).

Am darauf folgenden Schönwettertag mit einer Ausgangstemperatur am Morgen von bereits 23°C würde bei wiederum geschlossener Zimmertüre am Nachmittag mit mindestens 26°C die Komforttemperatur der meisten Personen also überschritten. Bei offener Zimmertüre bleibt sie für einen weiteren Tag im Komfortbereich.

Die passive Nutzung der Sonnenenergie verlangt also immer eine gewisse Toleranz der Bewohner. Mit heute üblichen grösseren Fensterflächen oder mit durch Deckenverkleidungen oder dicken Bodenbelägen abgedeckter thermischer Masse wird ein Raum an einem sonnigen Tag sogar im Januar überheizen, womit der Sonnenenergieeintrag durch Beschattung vermieden oder weggelüftet werden muss und nicht für die Heizung zur Verfügung steht.

Das oft diskutierte schlechte Benutzerverhalten, das zu einem gegenüber der Planung erhöhten Verbrauch führt, ist also zu einem wesentlichen Teil auch Folge von Planungsfehlern. Der Benutzer verhält sich erwartungsgemäss, indem er die Raumtemperatur innerhalb des Komfortbereichs behält.



Bild 3.5: Der direkt bestrahlte Tonplattenboden am Fenster erwärmt sich um 7 bis 10K über die Raumtemperatur hinaus. Entsprechend erwärmen die ca. 3m<sup>2</sup> Bodenfläche den übrigen Raum mit etwa 3m<sup>2</sup> x 8K x 8W/m<sup>2</sup>K = 200W (Thermografieaufnahme vom 26.10.15).

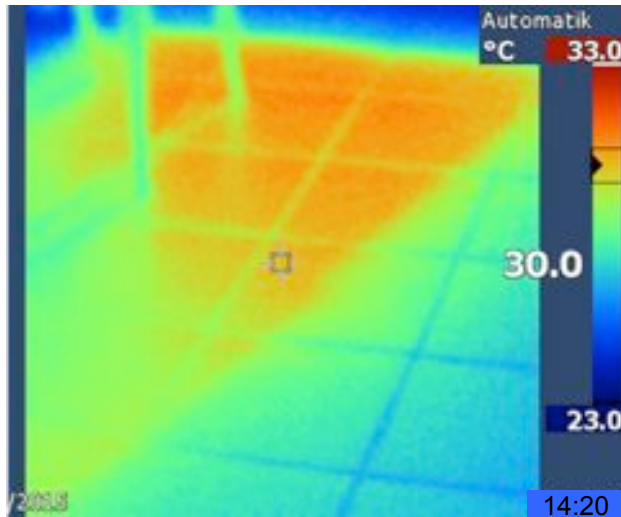


Bild 3.6: Die Verglasung absorbiert einen Teil der Strahlung und erwärmt sich dadurch um ca. 15K. Diese Wärme leitet sie durch Strahlung und Konvektion an den Raum weiter, mit etwa 2.4m<sup>2</sup> x 15K x 8W/m<sup>2</sup>K = 290W (Thermografieaufnahme vom 26.10.15).

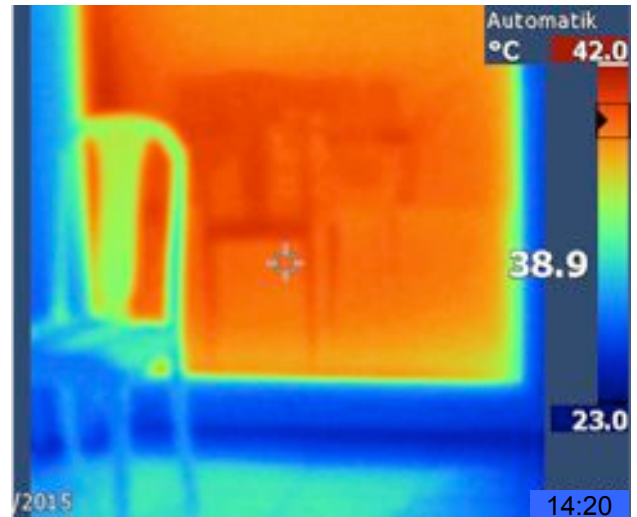


Bild 3.7: Für den sommerlichen Wärmeschutz wurden aussen liegende Lamellenstoren eingesetzt, die sich bestens bewähren, insbesondere die elektrisch angetriebenen.

Ein zur Kosteneinsparung ebenfalls eingesetzter manueller Storenantrieb, der wegen einem Konflikt mit den beidseits liegenden Sonnenkollektoren in Fenstermitte angebracht wurde und zum Öffnen des Fensters abgezogen werden muss, ist hingegen ein Ärgernis. Ein Grund dafür ist im Bild sichtbar: Die Beschädigung des Fensterrahmens unter der Kupplung zeigt, dass die angehängte Handkurbel beim Fensteröffnen immer wieder übersehen wird.

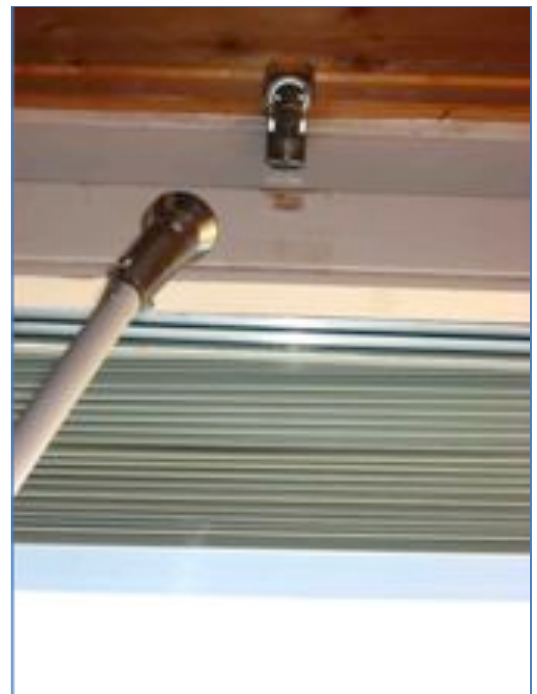


Tabelle 3.1: Temperaturerhöhung in Südzimmer an sonnigem Märznachmittag

| Betrachtung Einzelraum mit 3.5m x 4m während 5 Stunden, max. Einstrahlung im März                                                                                                             |     |                |                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Komponente                                                                                                                                                                                    |     |                | Bemerkung                                                                  |
| Einstrahlung an wolken-/dunstfreiem Tag in Raum mit Südfenster, Glas 2.6m <sup>2</sup> , Durchschn. 10 bis 15Uhr                                                                              | 5   | kWh            | Glasflächenanteil im Raum 2.6m <sup>2</sup> /14m <sup>2</sup> = 19%, g=0.5 |
| Hiervon von Boden absorbiert bei Temperaturanstieg an Oberfläche um 7K während 5 Stunden (37% der Oberflächenamplitude in Eindringtiefe 6cm, Annahme homogener Erwärmung der Schicht von 6cm) | 0.6 | kWh            | Wärmeanteil, der rasch in tiefere Bodenschichten eindringt                 |
| Massivoberfläche an Boden, Decke, Aussenwänden im Raum mit 14m <sup>2</sup>                                                                                                                   | 46  | m <sup>2</sup> | Gipsinnenwände weitgehend durch Schränke abgedeckt                         |
| Therm. Masse der Oberflächenschicht (Eindringtiefe der Wärme in 5 Stunden mit 37% der Temperaturamplitude der Oberfläche; 6cm für Beton;)                                                     | 1.4 | kWh/K          | Annahme homogener Erwärmung der Oberflächenschicht                         |
| Resultierender Temperaturanstieg der Massivoberflächen durch die in ca. 5 Stunden absorbierten 4.4kWh Wärme                                                                                   | 3.2 | K              | dito                                                                       |

Tab. 3.2: Temperaturerhöhung im Haus an sonnigem Märznachmittag

| Betrachtung Haus während 5 Stunden, max. Einstrahlung im März                                                                                                                                 |     |                |                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Komponente                                                                                                                                                                                    |     |                | Bemerkung                                                                |
| Einstrahlung an wolken-/dunstfreiem Tag in Raum mit Südfenster, Glas 13m <sup>2</sup> , 10 bis 15Uhr                                                                                          | 28  | kWh            | Glasanteil an Südfassade 13m <sup>2</sup> /62m <sup>2</sup> = 21%, g=0.5 |
| Hiervon von Boden absorbiert bei Temperaturanstieg an Oberfläche um 7K während 5 Stunden (37% der Oberflächenamplitude in Eindringtiefe 6cm, Annahme homogener Erwärmung der Schicht von 6cm) | 3.2 | kWh            | Wärmeanteil, der rasch in tiefere Bodenschichten eindringt               |
| Massivoberfläche an Boden, Decke, Aussenwänden im Haus mit EBF 220m <sup>2</sup>                                                                                                              | 320 | m <sup>2</sup> | Gipsinnenwände weitgehend durch Schränke abgedeckt                       |
| Therm. Masse der Oberflächenschicht (Eindringtiefe der Wärme in 5 Stunden mit 37% der Temperaturamplitude der Oberfläche; 6cm für Beton)                                                      | 9.6 | kWh/K          | Annahme homogener Erwärmung der Oberflächenschicht                       |
| Resultierender Temperaturanstieg der Massivoberflächen durch die in ca. 5 Stunden absorbierten 25kWh Wärme                                                                                    | 2.6 | K              | dito                                                                     |

Tab. 3.3: Temperaturerhöhung im Haus an sonnigem Märztag

| Betrachtung Haus an sonnigem Märztag                                                                                                       |     |                |                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------|----------------------------------------------------|
| Komponente                                                                                                                                 |     |                | Bemerkung                                          |
| Einstrahlung mit Südfenster, Glas 13m <sup>2</sup> ,                                                                                       | 28  | kWh            |                                                    |
| Einstrahlung mit Westfenster, Glas 6m <sup>2</sup> ,                                                                                       | 7.5 | kWh            |                                                    |
| Einstrahlung mit Nordfenster, Glas 9m <sup>2</sup> ,                                                                                       | 5   | kWh            |                                                    |
| Einstrahlung total                                                                                                                         | 40  | kWh            |                                                    |
| Anteil zur Raumheizung in 24 Std, Ti 23°C, Ta 15°C, Beitrag Elektriz. 7kWh/d, Personen 3kWh/d                                              | 12  | kWh            |                                                    |
| Einzulagernde Wärmemenge                                                                                                                   | 28  | kWh            |                                                    |
| Massivoberfläche an Boden, Decke, Aussenwänden im Haus                                                                                     | 320 | m <sup>2</sup> | Gipsinnenwände weitgehend durch Schränke abgedeckt |
| Therm. Masse der Oberflächenschicht (Eindringtiefe der Wärme in 24 Stunden mit 37% der Temperaturamplitude der Oberfläche; 14cm für Beton) | 22  | kWh/K          | Annahme homogener Erwärmung der Oberflächenschicht |
| Resultierender Temperaturanstieg der Massivoberflächen durch die in etwa 10 Stunden absorbierten 28kWh Wärme                               | 1.3 | K              | dito                                               |



| Strahlungswerte Süd (20°), West (110°) und Nord (-160°) im März für Wädenswil                                        |       |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|
| von: <a href="http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php">http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php</a> | $H_d$ | $H_{10\%}^*$ |
| inclination=90°, orientation=20°                                                                                     | 3.1   | 4.3          |
| inclination=90°, orientation=110                                                                                     | 1.5   | 2.5          |
| inclination=90°, orientation=110°                                                                                    | 0.8   | 1.1          |

$H_d$ : Tagessumme der Globalstrahlung ( $\text{kWh/m}^2$ ),  $H_{10\%}$ : Tagessumme der Globalstrahlung an 10%-Tag ( $\text{kWh/m}^2$ )

\*Verhältnis 10%-Tag zu Durchschnitt auf Horizontalfläche für Zürich, Meteo-Schweiz, März, April: 1.4

Eindringtiefe (5h, 37% Amplitude von Oberfläche) : für Beton und Gips  $\approx 0.06\text{m}$

Eindringtiefe (24h, 37% Amplitude von Oberfläche) : für Beton und Gips 0.14m

von: [http://www.bph.hbt.arch.ethz.ch/Filep/Waerme/Waerme\\_Grundl/Waermetransm\\_dyn.html](http://www.bph.hbt.arch.ethz.ch/Filep/Waerme/Waerme_Grundl/Waermetransm_dyn.html)

(Temperaturleitfähigkeit  $\alpha = \lambda/(\rho \times c)$  ; für Beton  $0.0017\text{m}^2/\text{h}$ , für Gips mit  $750\text{ kg/m}^3$  :  $0.0012\text{m}^2/\text{h}$ )

3) Wärmebedarf des Hauses bei 15°C Aussentemperatur:

|                                |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| Tagesbedarf Raumheizung, 22°C  | 24                               |
| Abwärme Elektrizitätsverbrauch | 2600kWh/a/365d/a = -7kWh/d       |
| Abwärme Personen               | 4 Pers. x 70W x 12h/d = -3 kWh/d |
| Abwärme Warmwasser             | 20% von Tagesbedarf = -2 kWh/d   |
| Restbedarf                     | 12                               |

## Entwicklungsbedarf

- Die SIA 380/1 rechnet (gem. Norm EN ISO 13790) Wärmegewinne der Fenster bei schwerer Bauweise fast vollständig an, sofern die Wärmeverluste im gleichen Monat grösser sind als die Gewinne aller inneren Quellen [10]. Dieser Punkt wäre im simulierten Haus im März erst bei rund 1.5-facher, im Februar erst bei 3-facher Fensterfläche erreicht. Diese grösseren Fensterflächen würden aber schon bei 1 Sonnentag unweigerlich zu untolerierbaren Raumtemperaturen, d.h. zu einem Beschatten der Fenster führen, obwohl im simulierten Haus alle drei Massen von Decken, Böden und Wänden aktiv sind und nicht nur deren zwei, wie mit der SIA-380/1 minimal gefordert. In anderen Worten: Die Wärmegewinne grösserer Fensterflächen werden von der 380/1 deutlich zu positiv bewertet.

Die Berechnung der Fenstergewinne mit Monatsmittelwerten kann die Realität nur abbilden, solange die Gewinne deutlich kleiner sind als die Verluste. Dies, weil beim typischen Winterwetter im Mittelland kurze Schönwetterperioden mit stark überdurchschnittlicher Sonnenstrahlung mit längeren sonnenarmen Perioden wechseln.

Um eine fast 100%ige Nutzung der Fenstereinstrahlung zu erreichen, muss das System Fenster/Raumspeichermasse mit typischen Schönwetterperioden so dimensioniert werden, dass die Raumtemperatur immer im Komfortbereich bleibt. Bei grösseren Südfenster-/fassaden-Anteilen als etwa 30% ist dies für Bauten mit sehr geringem Wärmebedarf um 10 bis 15W/m<sup>2</sup> selbst im Massivbau nur möglich, wenn die Wärmegewinne gegenüber dem üblichen System Fenster/Raum mit deutlich geringerer Beeinflussung der Raumtemperatur in einen Mehrtagespeicher eingelagert werden können (sh. Kap. 3.9).

- Selbstverständlich lässt sich die Tendenz des Raums zum Überheizen auch durch einen schlechteren g-Wert der Fenster reduzieren. Damit verschlechtert sich aber die Wärmebilanz des Fensters auch in den sonnenärmsten Monaten, womit der Heizbedarf noch stärker steigt als mit hohem g-Wert und korrekt bedientem beweglichem Sonnenschutz. Der Nachteil einer Vergrösserung der Fensterfläche ohne genügende Speichermasse und tieferem g-Wert wird erst klein, wenn nochmals deutlich bessere Fenster mit U-Werten <0.7 W/m<sup>2</sup>K eingesetzt werden. Solche sind noch längst nicht Standard.
- Die Überhitzung der Räume kann auch durch aktive Kühlung der Böden oder Decken vermieden werden. Zur Regeneration von Erdsonden, wie sie bei dichter Anordnung langfristig nötig wird, bietet die aktive Raumkühlung dazu eine günstige Lösung. Um eine genügende Wärmerückspeisung zu erreichen, muss dazu der Kompressor eingesetzt werden. Dank kleinen Temperaturdifferenzen wird die Leistungsziffer aber sehr hoch bleiben. In diesem Fall wird sich auch das Optimum der Glasflächen wieder verschieben.
- Überheizen des Unterlagsbodens im Leichtbau : Genügt die Masse im Raum nicht, den nächtlichen Wärmebedarf ohne Beitrag der Bodenheizung zu decken, geht zusätzliche Heizwärme verloren, weil der Unterlagsboden am Morgen eines sonnigen Tags gefüllt sein wird. Scheint am Morgen die Sonne in den Raum, so werden die Thermostatventile zwar schliessen. Die im Unterlagsboden gespeicherte Wärme geht aber ebenso verloren wie die anschliessend zuviel eingestrahlte Energie. Dieser Effekt steigt mit zunehmender Fenstergrösse, weil damit der Heizleistungsbedarf und damit die nötige Übertemperatur der Bodenoberfläche gegenüber der Raumluft steigt. Wird angenommen, dass der Unterlagsboden pro Winter 20mal am Morgen eines sonnigen Tags voll geladen ist und die Wärme weggekühlt werden muss, ergibt dies einen zusätzlichen Wärmebedarf von 2.3 kWh/m<sup>2</sup>a\*.

\*Vol. UB x spez. Wärme x (T<sub>max</sub> – T<sub>Raum</sub>) x Anzahl/EBF  
150m<sup>2</sup> x 0.06m x 0.5 kWh/m<sup>3</sup>K x (30°C-23°C) x 20 /EBF = 2.3kWh/m<sup>2</sup>a

### 3.6. Keine Wärmebrücken, dichte Hülle

Mit einer Vielzahl kleiner Massnahmen wurden die Wärmebrücken minimiert:

- Um das UG laufende Aussendämmung, mit Kellerbodenplatte auf XPS-Schicht (Bild 3.2).
- Doppelte Wand gegen Räume ausserhalb der Dämmebene, wie zwischen UG und Garage oder Schutzraum, zur wärmebrückenfreien Abstützung der kalten Decken. Die Dämmung zwischen den Mauern wurde als verlorene Schalung eingesetzt.
- Über den Sparren verlaufende Dachdämmung, mit luftdicht an die Aussenwand angeschlossener Bitumenmatte [6]/[7] (Bild 3.8)
- Gekreuzte Lattung zur Befestigung der Aussendämmung und der hinterlüfteten Eternit-Schalung [6]. Diese Aussendämmung ist bestens erhalten, ohne jegliche Probleme mit Algenbildung, wie sie bei Kompaktfassaden immer wieder auftreten.
- Grossflächige Fenster ohne Zwischensprossen und schlankem Rahmen (Südfenster mit 20% Rahmenanteil, Bilder 3.6, 3.11, 3.13, 3.14).
- Fenster anschliessend an Dämmebene, allseitige Abdeckung der Rahmenverbreiterung durch die Aussendämmung.
- Storen mit kleinster Lamellenbreite zur Maximierung der Dämmstärke auf der Rahmenverbreiterung des Fensters.
- Abstützung der Balkone getrennt von Aussenwand (die ersten der ursprünglichen Holzbalkone waren nach 15 bis 20 Jahren verfault und wurden durch Stahlkonstruktionen ersetzt).
- Abstützung der Oberlichtschächte der Kellerfenster auf separaten Fundamenten bzw. gänzlicher Verzicht (Bild 3.8).
- Verwendung von beidseitig beplankten, mit Dämmstoff gefüllten Fensterrahmen als Eingangstüren.
- Einsatz von Fallstrangentlüftungsventilen statt Dunstrohren zur Kanalisationsentlüftung (Bild 3.10).

Wird zusammenfassend der Wärmebrückenzuschlag mit 1.0 statt 1.1 gerechnet, bewirkt dies eine Bedarfsreduktion um **3.5kWh/m<sup>2</sup>a**.

Bild 3.8:

Auf die untere, sehr leichte Sparrenlage wurde mit einer von oben verlegten Bitumenbahn eine unterbruchsfreie Abdichtung des Daches erreicht. Diese luft- und dampfdichte Bahn wird unter der Fassadendämmung dicht an die Mauer angeschlossen. Mit der druckfesten Schicht Roofmate unter der oberen Sparrenlage wird die schwächende Wirkung der Sparren für die Dämmung reduziert, bei trotzdem genügender Druckfestigkeit zwischen den beiden Sparrenlagen [6].

Konterlattung  
 Unterdach  
 Minerwalwolle zw. Sparren  
 Roofmate 4cm, vollflächig  
 Bitumenbahn  
 Dachschalung  
 Untere Sparrenlage  
 Obere Sparrenlage

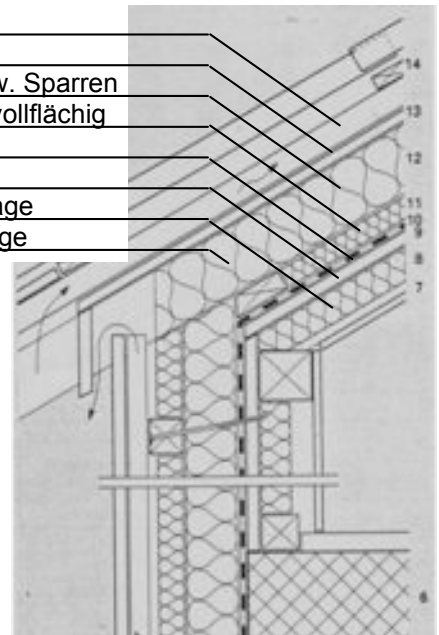


Bild 3.9: Die Oberlichtschächte wurden auf separate Fundamente abgestützt, um die um den Keller laufende Wärmedämmung nirgends zu unterbrechen. Nach der Hinterfüllung wird das Betonelement vom Erdreich gegen die Dämmung gepresst.



- Ebenso wurde die Hülle sehr gut gedichtet, wie durch
- Über den Sparren verlaufende Dachschalung mit ununterbrochener Luftdichtungsfolie zwischen Dach und Fassade (sh. Bild 3.8) [6]/[7].
  - Fensteranschlag im Licht, der eine einfache Kontrolle der Fugendichtung erlaubt.
  - Minimierte und mit Silikon gedichtete fassadendurchdringende Elektroleitungen.

Der nach Bauabschluss gemessene nL50-Wert erreichte 0.35/h, statt einem durchschnittlichen 1. Wird die Infiltration deshalb mit 0.03 statt 0.08 Luftwechsel/h (auch stark durch den Benutzer beeinflusst) gerechnet, so sinkt der Bedarf um **3.5kWh/m<sup>2</sup>a**. Der Restbedarf durch die Infiltration beträgt damit noch 1.0kWh/m<sup>2</sup>a.

Bild 3.10:

Von den zehn Häusern sind 9 zur Kanalisationsbelüftung mit Fallstrangventilen ausgerüstet. Nur das Haus am Ende der Kanalisationsleitung wird mit einem konventionellen Dunstrohr über Dach entlüftet, um die Akkumulation schädlicher Gase im Kanalisationsstrang zu verhindern. Damit wird der Wärmeverlust durch die Hülle reduziert. Diese energieeffiziente Lösung war sogar günstiger als die konventionelle.

Über dem sternförmigen Gitter unter dem weissen Deckel sitzt eine kleine Scheibe, die rundherum mit einem weichen Gummiring abgedichtet ist. Fliesst Wasser aus dem Haus in die Kanalisation, so wird die Scheibe durch den kleinen Unterdruck kurz angehoben und etwas Luft aus dem Haus abgesaugt. Anschliessend bleibt die Kanalisation durch den Deckel wieder dicht verschlossen.

Zu Beginn mussten die Scheiben mit etwas zusätzlichem Gewicht belastet werden, damit sie zuverlässig schlossen. Seither funktionieren sie problemlos.



In [3] werden die Verluste durch Dunstrohre mit 8% des Wärmebedarfs des Minergie-P-Hauses angegeben, also von rund 1.5kWh/m<sup>2</sup>a oder 350kWh/a für das besprochene Haus. Der Nutzen der Ventile ist im Verhältnis zum geringen Aufwand also sehr relevant. Der Hersteller (Oekag, Luzern) hat die Ventile inzwischen weiter optimiert. Sie entlüften nun wieder über Dach, bleiben aber weiterhin die meiste Zeit durch eine Membran verschlossen.



### 3.7. Maximale Dämmung 1990 gegenüber MuKEn 2014

Während 1990 teils noch 3-fach Isolierverglasungen eingesetzt wurden, stellt sich heute nur noch die Frage nach 2- oder 3-fach Wärmeschutzverglasungen unterschiedlicher Qualität. Die 1990 eingesetzten 3-fach WS-Ver Glasungen erreichten mit  $U = 1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$  nur etwa den Wert heutiger guter 2-fach Ausführungen. Mit einer 3-fach Verglasung mit Krypton-Füllung und optimiertem Randverbund mit  $\psi = 0.03 \text{ W/mK}$  (Glaströsch ACSplus) und sogar besserem g-Wert von 0.55 kann heute ein Fenster-U-Wert von  $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}^*$  erreicht werden.

$$\begin{aligned} *U_{\text{Fenster}} &= (F_{\text{Glas}} \times U_{\text{Glas}} + F_{\text{Rahmen}} \times U_{\text{Rahmen}} + U \times \psi) / F_{\text{Fenster}} \\ &= (2.7 \text{ m}^2 \times 0.5 \text{ W/m}^2\text{K} + 0.7 \text{ m}^2 \times 1.5 \text{ W/m}^2\text{K} + 7 \text{ m} \times 0.03 \text{ W/mK}) / 3.4 \text{ m}^2 \\ &= 0.77 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

Tab. 3.4: Gegenüber den durch die MuKEn 2014 [5] künftig generell geforderten Einzel-U-Werten sind die 1990 im Demonstrationsprojekt eingesetzten bereits bescheiden.

| Werte in $\text{W/m}^2\text{K}$ | Null-Heizenergie-Siedlung | MuKEn 2014 |
|---------------------------------|---------------------------|------------|
| Fenster                         | 1.3                       | 1.0        |
| Fassade                         | 0.17                      | 0.17       |
| Dach                            | 0.15                      | 0.17       |
| Kellerwände (<2m Überdeckung)   | 0.2                       | 0.17       |
| Kellerboden (>2m Überdeckung)   | 0.3                       | 0.25       |

Gegenüber diesen Einzel-U-Werten gemäss MuKEn 2014 bedeutet die ursprünglich eingesetzte Qualität eine **Bedarfserhöhung um  $4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$**  !

Nachdem mit den damaligen U-Werten bei mittlerer Gebäudeform ( $A/EBF = 1.27$ ) das eindruckliche Resultat für die Energiekennzahl von  $8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  erreicht wurde, gewichtet die MuKEn 2014 mit ihren Einzel-U-Werten die Wärmedämmung als Minimalanforderung für alle Bauten klar zu hoch. Der optimale Einsatz von Fenstergewinnen, Lüftung, Sonnenenergie und Wärmepumpen sind auf dem heute erreichten sehr tiefen Verbrauchsniveau deutlich wichtigere Faktoren.

Bild 3.11:

In der Siedlung Boller wurden die ersten verfügbaren 3-fach Wärmeschutzgläser von Glas Trösch eingesetzt. Zur Maximierung des g-Werts wurden die Reflexionsschichten auf den Aussenseiten der Innen- und der Mittelscheibe aufgebracht. Als Folge der damals noch stärkeren Strahlungsabsorption der Reflexionsschichten erwärmte sich die Mittelscheibe so stark, dass sie durch Wärmedehnung bei voller Sonnenbestrahlung und entsprechenden Druck auf die Fixationspunkte der Verglasungen brach. Das Problem wurde damals durch – teure – Härtung der Mittelscheibe gelöst. Die Verglasungen sind heute alle noch dicht, keine bildet durch Feuchtigkeitinfiltration interne Kondensation.

Heute ist die Absorption der Reflexionsschichten so gering, dass sie einen vernachlässigbaren Einfluss auf den g-Wert, resp. den Wärmegewinn haben, und deshalb auf der inneren und äusseren Scheibe angebracht werden können.





Die Verglasungen bilden nachts bei klarem Himmel, bevorzugt im Herbst, auf der Aussenseite Kondensation durch Wärmeabstrahlung an den kalten Himmel. Im Verlauf des Morgens verschwindet die Feuchtigkeit spurlos, sobald das Tageslicht die Aussenscheibe nur leicht erwärmt.

Die Fassadendämmung aus XPS (Dow Roofmate) auf der Aussenseite der Betonziegel wurde mit einer Hinterlüftung versehen. Die Eternitabdeckung bildet nie Kondensation und hat entsprechend auch nirgends Algen angesetzt, wie dies bei Kompaktfassaden geschehen kann.

### 3.8. Lüftung mit Wärmerückgewinnung

Das Haus wird mit einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung zwischen Abluft und Zuluft versorgt. Die Wärmerückgewinnung des früheren Geräts wurde mit zwei hintereinander angeordneten Kreuzstromtauschern realisiert, weil Tauscher mit höherem Wirkungsgrad noch nicht verfügbar waren. So wurde ein Wirkungsgrad für die Wärmerückgewinnung von rund 85% erreicht.

Die Luftverteilung wurde systematisch mit den Räumen « in Kaskade » realisiert. D.h. alle Zuluft wird in die geschlossenen Schlafzimmer eingebracht. Wohn-/Esszimmer, Gang und ein zum Gang offenes Büro erhalten keine eigene Zuluft. Diese Räume werden durch die Luft versorgt, die von den Schlafzimmern zu Bad, Dusche und Küche strömt. Durch die Luftverteilung in Kaskade sinken der Luftbedarf, der Stromverbrauch und die Geräuschentwicklung der Ventilatoren gegenüber separater Belüftung von Wohn-/Esszimmer, bei exakt gleicher Luftqualität in den für das CO<sub>2</sub>-Niveau kritischen geschlossenen Schlafzimmern.

Durch die Lüftung sinkt der Energiebedarf gemäss Simulation um 19.5kWh/m<sup>2</sup>a, einschliesslich dem gewichteten Elektrizitätsverbrauch der Ventilatoren von - 2.5kWh/m<sup>2</sup>a um **17kWh/m<sup>2</sup>a**.

Abschätzung der Wirkung durch Grobrechnung :

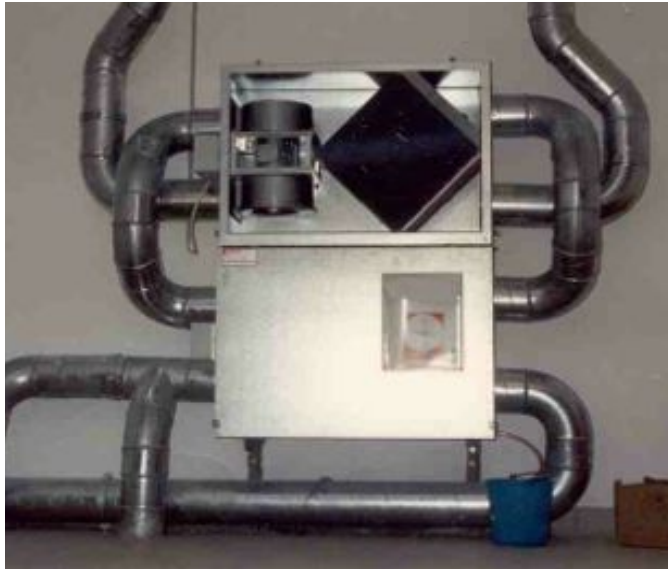
$$\begin{aligned}\Delta E_{\text{Wärme}} &\approx (\text{Luftwechsel nach SIA 380/1} - \text{Luftwechsel mit Kaskadenlüftung} \times (1 - \eta_{\text{WRG}})) \times \text{HGT} \\ &\approx (0.7 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h} \times 273 \text{ m}^2 - 0.15 \times 150 \text{ m}^3/\text{h}) \times 1.2 \text{ kJ/m}^3\text{K} / 3600 \text{ kJ/kWh} \times 3500 \text{ HGT} \times 24 \text{ h/d} \\ &\approx 4690 \text{ kWh/a} = 17.1 \text{ kWh/m}^2\text{a} \\ E_{\text{Ventilatoren}} &\approx 8760 \text{ h/a} \times 40 \text{ W} / 273 \text{ m}^2 = 1.27 \text{ kWh/m}^2\text{a} \\ &\approx 2.5 \text{ kWh/m}^2\text{a, gewichtet} \\ \Delta E_{\text{total}} &\approx 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}\end{aligned}$$

Bevor die Aussenluft in das Lüftungsgerät gelangt, wird sie in einem grossflächigen Erdregister vorgewärmt, das die Temperatur am Geräteeingang nie unter +6°C sinken lässt. Der direkte Gewinn daraus, gerechnet mit Monatsmittelwerten, einem Luftstrom von 150m<sup>3</sup>/h und den 85% Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung ergibt eine Bedarfsreduktion von 110kWh/a. Zusätzlich wird damit aber vermieden, dass der Wärmetauscher je einfrieren kann. Müsste dies mit einer Heizung geschehen, die die Aussenluft zum Lüftungsgerät immer auf 0°C vorwärmt, so wären dafür jährlich zusätzlich etwa 100kWh nötig.

Die voluminösen früheren zwei Geräte wurden inzwischen durch ein kompakteres Gerät (Zehnder ComfoAir 350) ersetzt (Bild 3.12), dank dem verfügbaren Erdregister nach wie vor mit einem Wärmetauscher.

Aus Kostengründen wird der Frostschutz heute meist mit einem Enthalpietauscher sichergestellt, ebenfalls mit ca. 85% Wärmerückgewinnung. Dieser Tauschertyp überträgt einen Teil der in der Abluft enthaltenen Feuchtigkeit auf die Zuluft. Dadurch sinkt einerseits die Aussentemperatur, unterhalb der das Gerät einfriert, unter die im Mittelland üblichen minimalen Wintertemperaturen, andererseits wird im Winter die Luftfeuchtigkeit im Haus erhöht.

Bild 3.12 : 1990 wurden zwei Lüftungsgeräte in Serie geschaltet (Exhausto, Bild links), um trotz dem ungünstigen Wirkungsgrad der damals allein verfügbaren Kreuzstrom-Wärmetauscher eine hohe Wärmerückgewinnung zu erreichen. Das 2010 eingebaute Lüftungsgerät (Zehnder, Bild rechts) erreicht dank dem Kreuz-Gegenstromtauscher den gleichen Wirkungsgrad. Gleichzeitig liegt dessen Stromverbrauch um 1/3 tiefer, weil es anstelle des früheren Wechselstrom-Motors für die beiden Ventilatoren je einen Gleichstrom-EC-Motor einsetzt.



### 3.9. Raumheizung mit Fassadensonnenkollektor, Kurz- und –Langzeitspeicher

- Kurz- und Langzeitspeicher für Solarwärme zur Verhinderung des Überheizens:

Eine Vergrößerung der West- oder Nordfenster würde in den relevanten Wintermonaten Oktober bis April zwar kaum zu unkomfortabel hohen Raumtemperaturen führen, würde aber auch bei vollständiger Ausnützung der eingestrahnten Wärme den Verbrauch sogar erhöhen, weil die Solarstrahlung in den Wintermonaten nur auf der Südseite relevant ist.

Die Null-Heizenergie-Häuser verfügen deshalb über vollständig verglaste Südfassaden. Die in Kap. 3.5 beschriebene Überschreitung der Komforttemperatur im Raum bei grossen Südfensterflächen findet trotzdem nicht statt, weil zwei Drittel der Fläche als Sonnenkollektor (32m<sup>2</sup>) ausgebildet ist, dessen Gewinn am schwach sonnigen Wintertag durch ein Wassersystem ins Innere der Böden von EG und OG geführt wird und bei starker Einstrahlung in einen grossen, gedämmten Wasserbehälter. Mit einer Kapazität von rund 150kWh\* können die beiden „thermoaktiven“ Böden mit je 40cm Dicke Differenzen von Bedarf und Angebot von mehreren Tagen überbrücken, der Wasserbehälter mit rund 1000kWh\* sogar von mehreren Wochen.

\* Speicherkapazität des Bodens:

$$E = 130\text{m}^2 \times 0.4\text{m} \times 0.64\text{kWh/m}^3\text{K} \times (26^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C}) = 166\text{kWh}, \text{ d.h. } 0.6\text{kWh pro m}^2 \text{ EBF}$$

Speicherkapazität des Wasserspeichers:

$$E = 16\text{m}^3 \times 1.16\text{kWh/m}^3\text{K} \times (2/3 \times (80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) + 1/3 \times (90^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C})) = 1050\text{kWh}, \text{ d.h. } 4\text{kWh pro m}^2 \text{ EBF}$$

Tagesbedarf des Hauses bei Aussentemp. von 0°C, nach Abzug der inneren Quellen, ohne WW:

$$E = 52\text{kWh/d}, \text{ entsprechend } 1/3 \text{ der Bodenkapazität und } 1/20 \text{ der Kapazität des Wasserspeichers.}$$

Bild 3.13 : Die Südfassade ist zur maximalen Nutzung der Sonnenstrahlung im Winter vollständig verglast. Dank der Begrenzung der Fensterfläche auf etwa 1/3 der Fassade lässt sich die in den Raum eingestrahlte Wärme selbst im April noch vollständig nutzen, was deren gute Wärmebilanz gewährleistet. 2/3 der Fläche sind als thermischer Sonnenkollektor ausgebildet, der seine Energie in die thermoaktiven Böden von EG und OG als Kurzzeit- oder in einen zentralen Wassertank als Langzeitspeicher einspeist.



- Kollektor in Fassade statt auf dem Dach :

November bis Januar steht die Sonne um Mittag tief am Himmel im Süden. Entsprechend ist der gegen Süden vertikal angeordnete Kollektor gleich ergiebig wie ein um 45° geneigter. Die vertikale Anordnung hat aber den Vorteil, dass der mit der grossen Kollektorfläche von netto 32m<sup>2</sup> unvermeidbare wertlose Energieüberschuss im Sommer, der irgendwie weggekühlt werden muss, viel kleiner bleibt.

Der Beitrag des Fassadenkollektors mit den beiden Speichern für die Raumheizung beträgt **16kWh/m<sup>2</sup>a**. Hierzu trägt der Heisswasserspeicher durch seine Langzeitfunktion nur 3kWh/m<sup>2</sup>a bei (und weitere 1kWh/m<sup>2</sup>a für die Warmwasserbereitung). Im Verhältnis zu den technischen Anforderungen an die Einordnung des grossen Volumens in den Grundriss ist dessen Beitrag also grotesk klein (sh. auch 3.11). Der Aufwand liess sich 1990 zur Demonstration der grundsätzlichen Machbarkeit des nur noch minimalen Restwärmeverbrauchs rechtfertigen.

- Thermoaktive Decken als Mehrtages-Heizungsspeicher (Kurzzeitspeicher):

Die thermoaktiven Decken als Kurzzeitspeicher zur Überbrückung der häufigen Schlechtwetterperioden von etwa 1 Woche Dauer haben sich als wichtiger als der Langzeitspeicher erwiesen. Bei geringer Sonnenstrahlung fördert der Sonnenkollektor seine Wärme direkt in die Bodenheizung von EG und OG. Diese liegt ohne Trittschalldämmung auf den 26cm dicken Betondecken, unter einem 14cm dicken Unterlagsboden. Die gesamte Dicke der Böden von 40cm, mit der Wärmezufuhr im Zentrum, bedeutet eine grosse thermische Masse. Ihre mittlere Temperatur verändert sich durch die Wärmeeinspeisung eines Tages nur um etwa 1K<sup>(1)</sup>. Weil die wasserführenden Rohre mit 14cm Beton überdeckt sind, wird die tagsüber in den Boden eingefüllte Wärme zudem erst am Folgetag spürbar.

Die fehlende Trittschalldämmung hat in den zehn Einfamilienhäusern nie zu Problemen geführt. Störend kann ein Klopfen auf den Boden werden, etwa durch ballspielende Kinder, während Geräusche im Raum, etwa Musik, nicht schlechter gedämmt werden und nächtliche Schritte mit harten Schuhsohlen im EFH einfach vermeidbar sind.

Dank dem sehr geringen Wärmebedarf des Hauses genügen die beiden auf 26°C erwärmten Decken, um das Haus bei +5°C Aussentemperatur während vier Tagen zu beheizen, bis die Deckentemperatur auf 21°C abgefallen ist. In den Monaten Oktober sowie Februar bis April genügt diese Trägheit, um Schlechtwetterperioden zu überbrücken. Voraussetzung ist die Bereitschaft der Bewohner, Schwankungen der Raumtemperatur zwischen 21 und 25°C zu akzeptieren.

- 1) - Energiegewinn der 32m<sup>2</sup> Fassadenkollektor an Tag mit dünner Nebelschicht resp. lockerer Bewölkung :  
E = Nettofläche Süd x mittlere Strahlungsintensität Süd x 5h/d x Wirkungsgrad  
= (32m<sup>2</sup> x 400W/m<sup>2</sup> x 5 h/d) x 0.5 = 30kWh/d  
- Temperaturerhöhung der Decken als Folge der Wärmelieferung des Kollektors :  
 $\Delta T = \text{Tagesgewinn} / (\text{thermische Kapazität, d.h. Deckenvolumen} \times \text{spez. Wärme})$   
= 30kWh / (130m<sup>2</sup> x 0.4m x 0.64kWh/m<sup>3</sup>K) = 30kWh/33kWh/K = 1K

- Wasserbehälter mit 16m<sup>3</sup> Inhalt als Langzeitspeicher

Zur Deckung des Wärmebedarfs bei längeren sonnenlosen Perioden kann die Bodenheizung mit Wasser aus dem 8m hohen Langzeitspeicher versorgt werden, das diesem in 2/3 der Höhe entnommen wird. Das darüber liegende Volumen wird vollständig für die Warmwasserbereitung verwendet, das mit einem im Speicher stehenden Warmwasserbehälter erzeugt wird.

Die direkte Wasserentnahme zur Raumheizung geschieht aber sehr selten. Ist das Wetter so ungünstig – normalerweise etwa Mitte Dezember – dass die Speicherverluste, zusammen mit der Direktzufuhr vom Kollektor zum Boden und der Fenstereinstrahlung, zur Raumheizung nicht mehr genügen, so ist der Speicher im unteren Teil bereits weit abgekühlt.

Die Anforderungen des grossen Wasserspeichers an die Gebäudeplanung waren sehr gross. Er musste im Zentrum des Gebäudes stehen, damit seine Wärmeverluste der Raumheizung zugute kommen. Seine Oberfläche musste möglichst kompakt und die Wärmedämmung dick sein, um die im September gesammelte Sonnenwärme noch im Dezember mit genügend hoher Temperatur für die Warmwassererzeugung nutzen zu können. Trotzdem sollte er im Raum nicht sichtbar werden, weil aus einem früheren Projekt bekannt war, dass er die Bewohner sonst nach einigen Jahren massiv stört. Mit der rechteckigen und gemeinsam mit dem Nachbarn quadratischen Form und der Position hinter den Treppenhäusern wurde hierzu tatsächlich ein Optimum gefunden (Bild 3.14). Besucher im Haus bemerken den Speicher nicht, die meisten selbst noch nicht, wenn sie aufgefordert werden, ihn zu suchen.

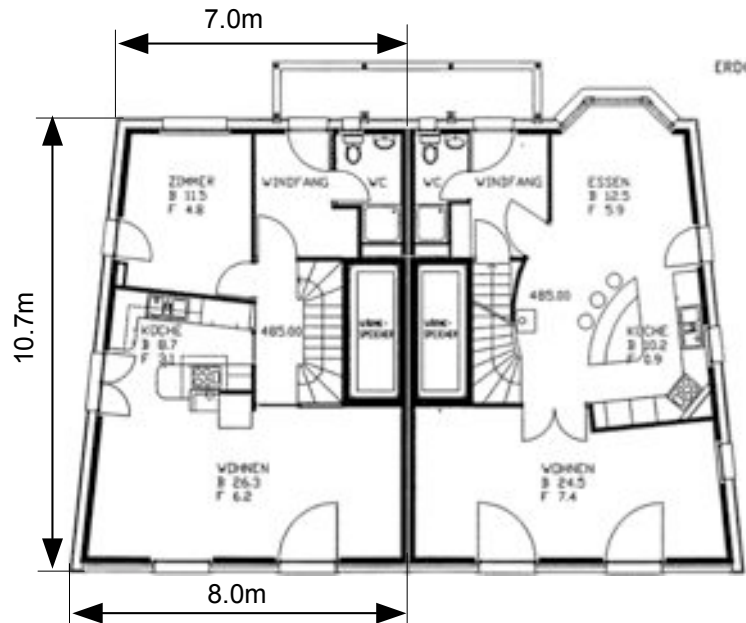
Damit ein Überheizen des Speichers durch den grossen Sonnenkollektor unmöglich ist, wurde ein offenes, druckloses System gewählt. Damit mussten alle Materialien korrosionsfrei sein. Als einfachste Lösung wurde eine tragende umlaufende Betonwand gewählt, mit innen liegender und entsprechend druckfester Wärmedämmung und einer wasserdichten Schicht auf der Innenseite. Ursprünglich wurde als dichte Schicht aufgrund einer Studie des Bundesamts für Energie, BFE, eine Gummimembran gewählt, die jedoch nach wenigen Betriebsmonaten in allen vier Speichern leckte.

Dank eines Beitrags des BFE und der Haftpflicht des Lieferanten konnte die Gummimembran durch einen Inox-Behälter mit nur 2mm Wandstärke ersetzt werden. Als Abstützung mit geringer Toleranz zwischen dem wenig stabilen Stahltank und der Betonwand wurde eine mit Steinwolle gedämmte Holzkonstruktion verwendet. Diese Lösung hat sich nun in den 25 Jahren bestens bewährt. Während starken Aufheiz- und Abkühlphasen im Frühjahr und Winter gleitet die Stahlwand auf der Holzunterlage mit kurzem, knackendem Geräusch. Das wäre vermutlich mit einer Kunststoff-Gleitfolie zwischen Stahl- und Holzwand vermeidbar gewesen.

Der Speicher steht auf der Bodenplatte des Erdgeschosses und reicht bis zum Dachgeschoss. Sein Gewicht ruht auf einer XPS-Platte (Dow, Floormate). Die Temperatur am untersten Ende erreicht im Sommer 40°C, was das Dämmmaterial während der 25 Jahre problemlos ertragen hat. Höhere Temperaturen am unteren Speicherende sind dank dem Schwerkraftkreislauf nicht möglich.



Bild 3.14 : Die unauffällige Anordnung der grossen Wasserspeicher in den Grundrissen vermeidet Konflikte mit den Bewegungen der Bewohner. Sie sind vollständig von beheizten Räumen umgeben, womit alle Wärmeverluste zur Raumheizung beitragen. Im Sommer werden die Wärmeverluste, zusammen mit der Sonneneinstrahlung, über die Fenster weggelüftet. Die verbreiterte Südfassade maximiert den winterlichen Sonnenenergiegewinn.



- Kollektor mit transparenter Wärmedämmung  
Der gewählte Sonnenkollektor besitzt als Abdeckung eine transparente Wärmedämmung, TWD, in Form einer 10cm dicken Polycarbonat-Wabe, die von innen auf die Abdeckscheibe gepresst wird (Hersteller Schweizer Metallbau). Vorteil ist der tiefe U-Wert von  $U=0.4\text{W/m}^2\text{K}$  der äusseren Abdeckung, dank dem schon bei geringer Einstrahlung Temperaturen über  $25^\circ\text{C}$  zur Direktbeheizung der thermoaktiven Decken erreicht werden.

Weiterer Vorteil des tiefen U-Werts ist die gleichzeitige Minimierung der Wärmeverluste des Hauses durch die Kollektorfassade nachts. Zum Fassaden-U-Wert von insgesamt  $0.2\text{W/m}^2\text{K}$  trägt die Hälfte die hinter dem Kollektorabsorber direkt auf die Mauer geklebte Glasschaumdämmung mit ebenfalls  $U=0.4\text{W/m}^2\text{K}$  bei.

Nachdem der wasserführende Kollektorabsorber bei dieser Konstruktion zwischen den beiden gleich starken Wärmedämmungen gegen das Hausinnere und gegen aussen liegt, liegt auch seine Temperatur nachts immer in der Mitte zwischen Raum- und Aussentemperatur, d.h. minimal zwischen  $+20^\circ\text{C}$  und  $-16^\circ\text{C}$  (tiefste in den 25 Jahren gemessene Aussentemperatur), also immer über dem Gefrierpunkt. Entsprechend wird im Kollektor reines, frostschutzfreies Wasser verwendet. Dadurch sind keine Wärmetauscher zur Bodenheizung in den thermoaktiven Decken und zum Wasserspeicher notwendig, was das System stark vereinfacht.

- Kollektorsteuerung (sh. Heizungsschema Bild 3.14):  
Die Steuerung der Pumpe zwischen Kollektor und Bodenheizung ist dank der grossen Trägheit extrem einfach : Eine Solarzelle misst die einfallende Sonnenstrahlung. Überschreitet diese einen unteren Sollwert von etwa  $50\text{W/m}^2$ , so schaltet die Pumpe ein und fördert warmes Wasser vom Kollektor in die Bodenheizung. Überschreitet die Solarstrahlung einen oberen Sollwert von etwa  $500\text{W/m}^2$ , so schaltet die Pumpe aus und das warme Wasser aus dem Sonnenkollektor fliesst mit Schwerkraft in den Wasserspeicher zur Erzeugung des Warmwassers. Ist das Haus durch die Fenstereinstrahlung allein warm genug, so wird die Pumpe manuell ausgeschaltet. Tatsächlich geschieht dies jährlich nur je 1 Mal, nämlich im März/April und im Oktober. Das

Strahlungsangebot sinkt im Herbst üblicherweise mit einem Wetterwechsel so rasant, während der Bedarf gleichzeitig steigt, dass der Wechsel von Wärmeüberschuss zu –Manko innerhalb weniger Tage erfolgt. Im Frühjahr wird die Temperatur während kurzen Wärmeperioden mit schräg gestellten Fenstern geregelt.

Der Schwerkraftkreis bei hoher Einstrahlung wurde gewählt, um eine sehr zuverlässige Kühlung der Kollektoren zu erreichen, unabhängig von einer verklemmten Pumpe oder einem Stromunterbruch. Hintergrund war die Erfahrung, dass die Wabenabdeckung des Kollektors bei ungekühltem Kollektor und Sonnenschein schmilzt. Vorteil dieser Wahl ist die immer perfekte Temperaturschichtung im Speicher trotz mit der Intensität der Sonnenstrahlung variierender Wassertemperatur am Speichereintritt. Zur perfekten Temperaturschichtung hat auch wesentlich das Schichtungsrohr im Speicher beigetragen (sh. Bild 3.16).

Nachteil des Schwerkraftkreislaufs ist die heikle Unterbindung der nächtlichen Rückströmung. Da nur sehr kleine Druckdifferenzen für die Warmwasserzirkulation zwischen Kollektor und Speicher verfügbar sind, ist auch der Öffnungsdruck am Rückschlagventil sehr klein. Das an sich für diesen Zweck sehr sauber konstruierte Ventil von IRG (heute nicht mehr erhältlich) musste zusätzlich mit manuell angebrachten Gewichten besser ausgewogen werden, um die Rückströmung vollständig zu unterbinden.

Die Kollektorüberhitzung hätte auch mit einem Pumpenkreis systematisch vermieden werden können, wie erst später erkannt wurde : Eine Austrittsmöglichkeit zwischen Kollektor und Speicher für bei Ausfall der Pumpe entstehenden Dampf hätte genügt. Im Falle von Dampfbildung wird die Druckdifferenz zum Antrieb der Strömung so gross und die notwendige Wassermenge minimal (die Verdampfungswärme ist etwa 12mal grösser als die zwischen 40 und 90°C aufgenommene Wärme von Wasser), dass der Kollektor auch durch Wasser, das durch die stehende Pumpe nachfliesst, genügend gekühlt worden wäre.

- Geringer Stromverbrauch der Heizungspumpe dank Bedarfssteuerung:

Die Pumpe zur Raumheizung ab dem Speicher funktioniert nur, wenn die Raumtemperatur nicht schon durch Fenstereinstrahlung, innere Quellen, Sonnenkollektor oder Holzofen hoch genug ist. Das ist dank der grossen Speichermasse im Raum und dank der tiefen Einstellung des Thermostaten auf 21°C ganz selten der Fall. Entsprechend läuft die Heizungspumpe nur wenige Stunden pro Jahr.

Für die Bestimmung des Minderverbrauchs wird als Referenzfall ein Gaskessel mit einer Steuerung mit Aussenfühler und Raumthermostat angenommen :

- Einschalten der Umwälzpumpe nur bei Wärmebedarf :

Minderbedarf sh. 1.5.1, lit o) :

$$\Delta E/EBF = (4000h - 100h) \times 60W/EBF = 230kWh_{el}/273m^2 = 0.85kWh/m^2a$$

$$\Delta E/EBF \text{ gewichtet} = \mathbf{1.7 kWh/m^2a}$$

Kurzzeitspeicher mit besserer Wirtschaftlichkeit:

Eine Vergrösserung der verglasten Südfassade über etwa 30% der Bodenfläche des angrenzenden Raums kann für den Energieverbrauch nur positiv sein, wenn die zusätzliche gewonnene Energie einem Mehrtageesspeicher zugeführt werden kann. Dazu kann eine thermoaktive Decke oder Wand, ein Wasserspeicher oder – im Falle von Photovoltaik – eine Batterie dienen.

Ein Mehrtageesspeicher kann allenfalls sogar wirtschaftlich konzipiert werden, weil er jährlich etwa 20mal zur Überbrückung von kurzen Schlechtwetterperioden genutzt wird. Demgegenüber ist ein Saisonspeicher in Form eines Wasserbehälters (oder einer Batterie im Falle von Photovoltaik) in jedem Falle weit weg von jeder Wirtschaftlichkeit, weil er wesentlich grösser und deshalb viel teurer wird, der grösste Teil seines Inhalts aber **nur 1 Mal im Jahr genutzt** werden kann.

Die grosse thermische Trägheit (Kap. 3.9) vereinfacht stark die Heizungssteuerung mittels der Kollektor- und Heizungspumpe mit einem Innenfühler im Wohnzimmer als Referenzraum gegenüber einem konventionellen Haus, weil der Zeitpunkt der Wärmezufuhr zum Haus ganz unwichtig wird. Sie kann etwa von Oktober bis April genau dann erfolgen, wenn der Sonnenkollektor Wärme liefern kann. Die speicherlose, direkte Durchströmung der Bodenheizung in der thermoaktiven Decke erlaubt dank tiefsten Temperaturen von 20 bis 35°C die Sonnenenergienutzung mit maximalem Wirkungsgrad und grösstem Komfort. Der Boden ist, abgesehen von wenigen Wochen um das Jahresende, immer automatisch angenehm temperiert.

Die 1989 getroffene Wahl zum Einsatz der TWD-Wabe als Fassadenkollektor statt direkt auf der Wand allein für die Raumheizung basierte auf den klaren Vorteilen des Kollektors:

- Der U-Wert der Hausfassade ist im Falle des Fassadenkollektors durch die zusätzliche Dämmung zwischen Absorber und Hausmauer um einen Faktor zwei besser.
- Die Temperaturerhöhung der Speichermasse erfolgt im Falle des Fassadenkollektors im Boden, weit weg von der Fassade. Entsprechend ist der nächtliche Verlust der Fassade gegenüber einer üblichen Fassadendämmung unverändert.
- Die von März bis Oktober von der Fassade eingefangene Wärme kann im Falle des Fassadenkollektors für die Warmwasserbereitung genutzt werden. Gegenüber der reinen TWD-Wand ist die Nutzwärme pro m<sup>2</sup> Fassade mit knapp 200kWh/m<sup>2</sup>a damit etwa doppelt so gross.
- Die Kosten des TWD-Kollektors sind nur unwesentlich höher als die TWD-Wand, weil zwar ein wasserdurchströmter Absorber nötig ist, für die TWD-Wand aber eine bewegliche Beschattung, soll die Nutzwärme aus der Fassade relevant sein. Eine fixe Beschattung würde entweder zu Überhitzung im September oder reduziertem Gewinn bei gleichem Sonnenstand im März führen. Die vom Kollektor im Wasserspeicher anfallende Überschusswärme kann aber leicht weggekühlt werden, z.B. mit einem Radiator im Freien, womit eine Beschattung des Kollektors entfällt.

Obwohl aber der Fassadenkollektor mit transparenter Wärmedämmung der TWD-Wand wirtschaftlich klar überlegen ist, sind auch seine Kosten weit weg vom Nutzen von knapp 200kWh/m<sup>2</sup>a oder 20.- Fr./m<sup>2</sup>a.

### 3.10. Warmwasserbereitung mit Fassadenkollektor und Langzeitspeicher

Im Speicher mit 16m<sup>3</sup> Inhalt steht ein Inox-Warmwassererwärmer mit 6m Höhe und 400 Liter Inhalt (Hersteller Jenny, Oberburg). Umgeben von nach oben zunehmend wärmerem Wasser wird sein Inhalt mit geringer Temperaturdifferenz zum umgebenden Speicherwasser effizient erwärmt, seit 25 Jahren wartungsfrei. Weshalb in all den Jahren trotz der hohen Sommertemperaturen keine Entkalkung nötig wurde, ist unklar. Das Wasser der städtischen Versorgung (14.3-31.4°FH) wird unverändert verwendet.

Abhängig von der Intensität der Sonnenstrahlung und den Temperaturverhältnissen im Speicher variiert die Eintrittstemperatur des Heizungswassers aus dem Sonnenkollektor. Damit sich kühleres eintretendes Wasser nicht mit heisserem Speicherwasser vermischt, lenkt ein Schichtungsrohr am Speichereintritt kühleres Wasser nach unten, heisseres nach oben (sh. Bild 3.15).

Der Speicher sorgt primär für einen Ausgleich von Überschüssen an Solarwärme von Schön- zu Schlechtwetterperioden der üblichen Dauer von etwa 1-2 Wochen. Für die Warmwasserbereitung würde hierfür aber ein Volumen von etwa 3m<sup>3</sup> genügen. Die Vergrößerung auf 16m<sup>3</sup> kann nur einmal pro Heizperiode genutzt werden, nämlich zur Deckung des Bedarfs im November und Dezember mit im September/Oktober gesammelter Wärme. Entsprechend sind diese Kosten bei weitem nicht amortisierbar.

Bild 3.15 : Heizungsschema

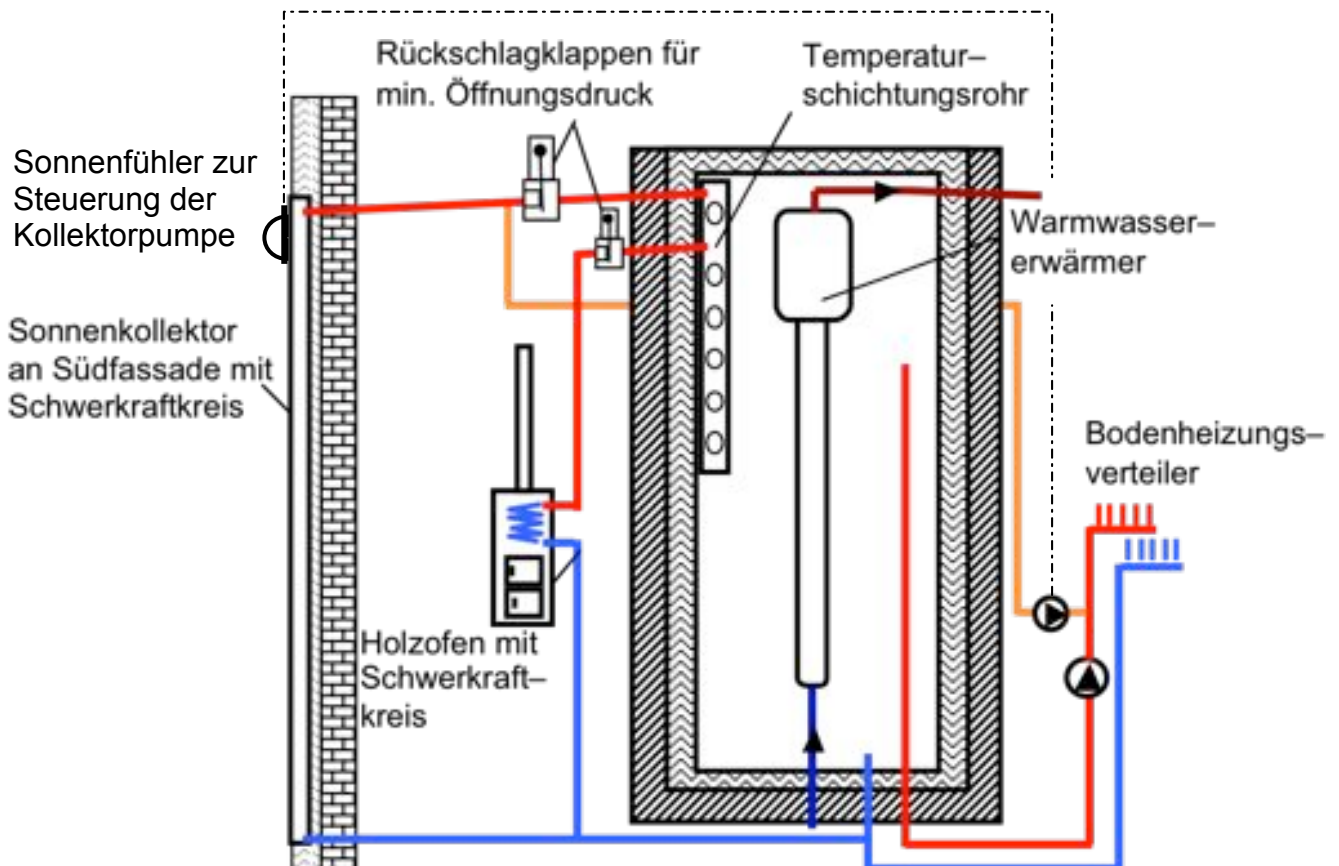




Bild 3.16:

Der 7m hohe Heisswasserspeicher verfügt über eine starke Temperatschichtung. Während die unterste Schicht über dem Boden nie über 40°C erwärmt wird, erreicht die oberste im Sommer während langer Zeit 90°C.

Ein etwa 2m langes Kunststoffrohr schichtet vom Sonnenkollektor in den Speicher strömendes Heisswasser entsprechend den Temperaturverhältnissen ein (im Bild wird der Speicher erst gefüllt. Der Wasserspiegel liegt knapp über dem unteren Rohrende).

Ist das einströmende Wasser bei mittlerer Strahlungsintensität weniger heiss als die oberste Speicherschicht, so fliesst es durch Schwerkraft im Rohr so weit nach unten, bis es die gleiche Dichte erreicht wie das Speicherwasser, also auch die gleiche Temperatur. Ist das einströmende Wasser bei hoher Sonnenstrahlung heisser als der Speicher ganz oben, so entweicht es dem Rohr durch die obersten Öffnungen. Das Prinzip wurde im Rahmen einer Dissertation an der ETH-Lausanne entwickelt [8].



### 3.11. Abwasser-Wärmerückgewinnung

Alles Abwasser mit Ausnahme der Toiletten wird durch einen Behälter geleitet, in dem das zum Wassererwärmer fließende Kaltwasser von 10°C auf ca. 25°C vorgewärmt wird. Entsprechend muss der Speicher das Kaltwasser nur um 30K bis zur Nutztemperatur von ca. 50°C erwärmen, statt um 50°C, und der Energieaufwand für die Warmwasserbereitung sinkt um ca. 35%.

Allerdings liefert diese Wärmerückgewinnung nur während maximal vier Monaten tatsächlich einen Beitrag, nämlich November bis Februar. In allen übrigen Monaten erhöht sie lediglich den Überschuss des Fassadenkollektors. In der Rechnung wird ein Warmwasserbedarf von 350kWh/Monat angenommen. Die Reduktion um 35% während vier Monaten beträgt also 490kWh/a, entsprechend einer Reduktion der Energiekennzahl um **2kWh/m<sup>2</sup>a**.

Messungen der EMPA 1994 [2] haben gezeigt, dass die Rückgewinnung tatsächlich etwa 35% erreicht, aber bei einer tieferen Nutztemperatur des Warmwassers von 40 bis 55°C und bei einem Warmwasserverbrauch von nur rund 100 Litern im Tag, was einem 3mal tieferen Verbrauch von 130 kWh/Monat entspricht. Der tatsächliche Nutzen während der 4 Monate liegt also bei knapp 200kWh/a, entsprechend 0.7kWh/m<sup>2</sup>a.

Dieser Beitrag steht damit in einem miserablen Verhältnis zum Aufwand, ist doch nicht nur die Installation des Geräts teuer, sondern muss es auch etwa im 2-Jahresrhythmus gereinigt werden. Mit der geplanten Erneuerung (Kap. 4) wird die Anlage deshalb demontiert.

### 3.12. Holzofen mit Wärmetauscher für die Wasserbereitung

Die übliche Periode, während der Wärme aus der Zusatzheizung notwendig ist, dauert etwa von Mitte Dezember bis Mitte Februar. Nur drei Mal während der 25 Jahre musste der Holzofen nach Ende Februar nochmals verwendet werden, um die Raumtemperatur über 21°C zu halten oder das Warmwasser nachzuwärmen. Spätester Zeitpunkt der Inbetriebnahme war der 20. Januar - im Winter 2013/14 gab es bis zu diesem Zeitpunkt immer genügend Sonnenstrahlung, um den Bedarf für Heizung und Warmwasser zu decken.

Dank der grossen Speichermasse des Hauses ist der Zeitpunkt der Nachheizung durch den Holzofen über mehrere Tage verschiebbar. Bevorzugt wird der Ofen am Wochenende verwendet.

Die jährlich eingesetzte Holzmenge hat von minimal 80kg bis maximal etwa 800kg variiert. Diese beschränkte Menge, kombiniert mit der Heizperiode von nur etwa zwei Monaten und der Wählbarkeit des Zeitpunkts des Betriebs im Laufe einer Woche, bedeutet einen akzeptablen Arbeitsaufwand.

Trotzdem wurde nur im Haus Kriesi die gesamte Zusatzwärme ausschliesslich mit dem Holzofen erzeugt, während in den übrigen drei Null-Heizenergie-Häusern nach einigen Jahren die Zusatzwärme teilweise oder vollständig elektrisch erzeugt wurde. Grund dafür war die schlechte thermische Qualität der – von den Hauseigentümern individuell ausgewählten - Geräte, die nur einen kleinen Anteil der erzeugten Wärme an den Wasserkreis, den Hauptteil aber direkt an den Raum abgaben.

Bild 3.17 : Der Holzofen im Haus Kriesi überträgt bei mehrmaliger Füllung etwa die Hälfte der erzeugten Wärme an den Wasserkreis. Damit lassen sich Raumheizung und Warmwasser vollständig abdecken. Dazu sind die äusseren Steinplatten gegen das Ofeninnere mit 40mm Mineralwolle gedämmt. Der Wärmetauscher zur Erwärmung des Heizungswassers liegt über dem Feuerraum im Rauchgasstrom. Das hinter dem Glas sichtbare Feuer wirft einen angenehmen Schein in den Raum und hat immer wieder Kinder fasziniert.

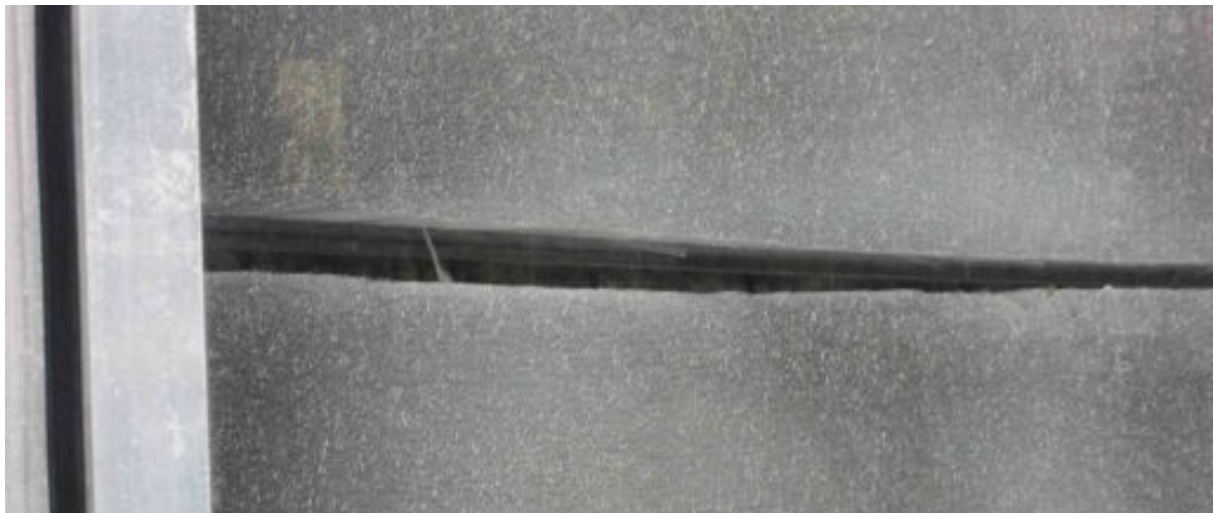


#### 4. Erneuerungskonzept 2015

Nach 25 Jahren Betrieb bilden sich zwischen den Paketen der transparenten Wärmedämmung im Sonnenkollektor Spalten. Werden diese zu gross, so ist der Frostschutz des wasserführenden Absorbers nicht mehr gewährleistet. Wabenabdeckung und der Absorber des Sonnenkollektors von 32m<sup>2</sup> müssten erneuert werden. Diese Reparatur wäre mit rund 30'000.- Fr. pro Haus sehr teuer, weil der Kollektor nie zu einem Standardprodukt entwickelt wurde.

Bild 4.1 :

Auslöser der Erneuerung ist die transparente Wärmedämmung, die in Form von Polycarbonatwaben den Wärmeverlust des Sonnenkollektorabsorbers gegen aussen reduziert. Durch Schrumpfen bildeten sich zwischen den Platten bis 5cm breite Spalten, in denen bei weiterer Vergrösserung der Wärmeverlust durch Konvektion ansteigen und den Frostschutz des wasserführenden Absorbers gefährden wird.



Das grosse Risiko einer Erneuerung bietet aber der thermische Speicher. Leider wurde er aus V2A statt aus V4A hergestellt, womit in den Schweissnähten Lochfrass auftreten kann. Falls dies geschehen sollte, wäre die Reparatur nur durch Ersatz des ganzen Behälters möglich, wofür mit hohen Kosten das Dach geöffnet werden müsste. Der Hersteller des innen liegenden Inox-Behälters kann keine verbindliche Aussage zur weiteren Lebensdauer machen. Würde dieser Schaden nur wenige Jahre nach der Reparatur des Kollektors auftreten, so wären die Gesamtkosten prohibitiv hoch.

Als Konsequenz haben die vier Eigentümer entschieden, den Sonnenkollektor durch eine Photovoltaikanlage zu ersetzen, die teilweise eine Wärmepumpe für Raumheizung und Warmwasserbereitung speist und den restlichen Ertrag im Sommer für den Haushaltstrom verwendet. Als Wärmequelle wird pro Haus eine Erdsonde gebohrt.

Priorisierung des Eigenstromverbrauchs :

Dank den thermoaktiven Decken wird die Wärmepumpe im Winter immer in Betrieb gehen können, wenn genügend Sonnenstrahlung verfügbar ist. Der Zeitpunkt der Wärmelieferung ist im 24-Stunden-Verlauf beliebig. Allerdings wird deren elektrische Leistung mit rund 1kW bei weitem nicht genügen, um den bei starker Einstrahlung produzierten Strom von 4-5kW aufzunehmen.

Die zehn Häuser sind gegenüber dem Elektrizitätswerk des Kantons Zürich, EKZ, ein einzelner Kunde. Diese 1990 sehr fortschrittliche Art des Stromaustauschs wurde von den EKZ als Pilotprojekt unterstützt. Er erfolgt mit je nur einem Bezugs- und Rücklieferzähler. Die Bezüge der zehn Häuser und der Allgemiestrom werden durch die Eigentümergemeinschaft mit Hilfe interner, von den EKZ zur Verfügung gestellter Elektrozähler selbst verrechnet. Auslöser für diese

Regelung war eine 1990 installierte, gasbetriebene Wärme-Kraft-Kopplung, die mit ihrer Abwärme die sechs Häuser mit kleinen Solaranlagen mit konventionellen Kollektoren beheizt und den Strom an alle zehn Häuser abgibt. Somit kann der Strom der wärmegeführten Anlage mit 5.5kW elektrischer Leistung immer zuerst zur Abdeckung der Bezüge der zehn Häuser genutzt werden, bevor Überschüsse zu einem tiefen Rücknahmetarif an die EKZ abgegeben werden müssen. Entsprechend wurden von den im Mittel während der 25 Jahre jährlich erzeugten 10'200 kWh nur 10% an die EKZ zurück geliefert.

#### Neue rechtliche Basis für die Eigenverbrauchsgemeinschaft

Für die 1990 vielleicht erstmals mit den EKZ realisierte Regelung besteht nun mit dem eidgenössischen Energiegesetz unter dem Begriff „Eigenverbrauchsgemeinschaft“ eine rechtliche Basis. Siehe dazu „Vollzugshilfe für die Umsetzung des Eigenverbrauchs nach Art. 7 Abs. 2bis und Art. 7a Abs. 4bis des Energiegesetzes (EnG; SR 730.0)“ vom Oktober 2014.

Damit wird auch der von den vier Solarzellenanlagen erzeugte Strom zuerst von den zehn Häusern genutzt werden, bevor er an das EKZ-Netz abgegeben wird. Der zurück gelieferte Teil wird aber stark ansteigen, weil der Bezug der Häuser um die Mittagsstunden ganzjährig weit tiefer ist als die dann oft anfallenden 10-18kW.

Optimaler Verlauf der Stromerzeugung mit PV bei vertikaler Süd-Ausrichtung :

Dank der vertikalen Anordnung der Solarzellen in den Südfassaden wird deren Stromproduktion wie mit den bisherigen Sonnenkollektoren in Relation zur verfügbaren Sonnenstrahlung in den Wintermonaten maximal, Mitte Sommer minimal ausfallen. In absoluten Werten wird trotzdem die erzeugte Strommenge von Mai bis Oktober leicht höher ausfallen als im Winter, weil das Strahlungsangebot im Sommer halt sehr viel höher ist. Leider bewerten die EKZ Bezug und Rücklieferung im Winter nicht höher als im Sommer, als Resultat der Überkapazität fossil betriebener thermischer Kraftwerke in Europa. Mit zunehmendem Überangebot im Sommer durch PV-Anlagen und hoffentlich steigendem Druck auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen dürfte sich dies in den nächsten zehn Jahren ändern.

Nur durch Einbau einer Batterie zur Stromspeicherung für 24 Stunden könnte der Eigenverbrauch stark gesteigert werden. Dies würde erlauben, den erzeugten Strom abends und am nächsten Morgen zu verbrauchen, wenn die Bewohner zuhause aktiv sind und ihre Bezüge an Haushaltstrom deshalb erhöht. Erst dann werden die in Bild 4.2 gezeigten Monatsbilanzen die Realität korrekt abbilden.

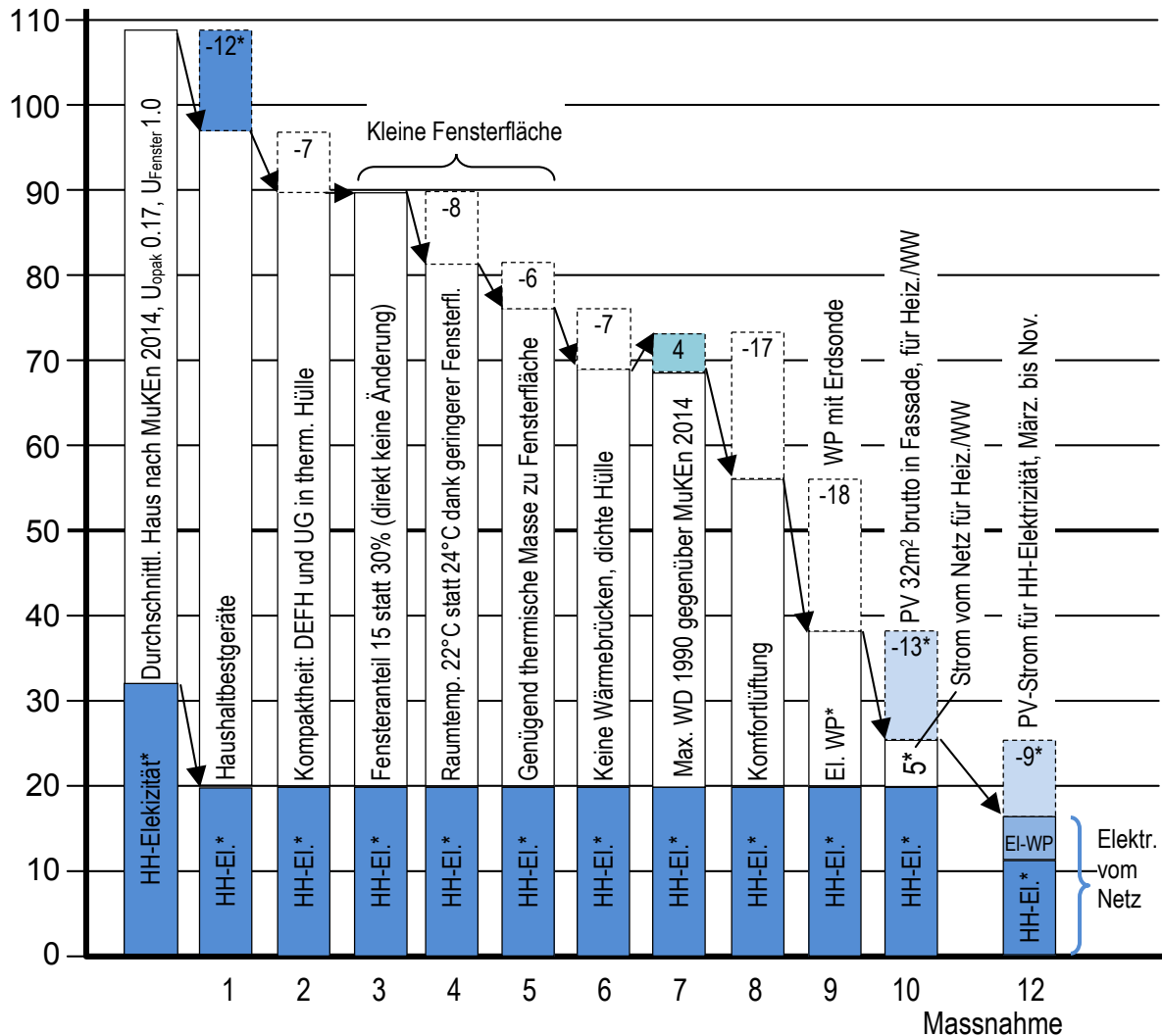
#### PV und thermische Sonnenenergienutzung:

Tag/Nacht-Speicherbatterien dürften in den nächsten Jahren günstiger werden und eine spätere Nachrüstung wird immer möglich sein. Somit wird der Einbau besser auf später verschoben, wenn dazu auch eine technische Notwendigkeit besteht ; erst, wenn die Kapazität der in der Schweiz installierten Photovoltaikanlagen viel höher liegt, wird der im Sommer produzierte Strom nicht mehr problemlos in den Quartieren genutzt werden können. Bis dahin ist der Wirkungsgrad der Nutzung des erzeugten Stroms im Quartier höher, als wenn mit Batterien der Eigengebrauch maximiert wird.

Die Ablösung des thermischen Sonnenkollektors durch Wärmepumpe mit Erdsonde und Photovoltaik ist eine logische Konsequenz der neuen technischen Gegebenheiten: Im Falle der Photovoltaik ist die lieferbare Wärmemenge pro m<sup>2</sup> Solarfläche grösser, die bisher zahlreichen Schnittstellen zwischen Solar- und Heizungsinstallation reduzieren sich auf den Wechselrichter, der Langzeitspeicher steht in Form der Erdsonde günstig zur Verfügung, der Gewinn im Sommer lässt sich teilweise für den Haushaltstrom nützen und die Anlagekosten sind tiefer. Als Folge werden schon heute viel mehr m<sup>2</sup> Photovoltaik verkauft als thermische Sonnenkollektoren. Deshalb ist unverständlich, dass die MuKE 2014 die Anrechnung von Photovoltaik an die Wärmebilanz eines Hauses nicht zulässt.

Bild 4.2 : Elektrizitätsverbrauch für Heizung, Lüftung, Warmwasser und Haushaltstrom nach Ersatz des thermischen Kollektors, Heisswasserspeichers und Holzofens durch eine Wärmepumpe mit Erdsonde und eine PV-Anlage mit 4.8kWpeak in der Fassade. Es wird mit Monatsbilanzen gerechnet, obwohl vorläufig keine Batterie für die Tag-/Nachtspeicherung vorgesehen ist. Die Energiekennzahl (Elektrizität mit Faktor 2 gewichtet) für Heizung und Warmwasser beträgt noch 5kWh/m<sup>2</sup>a, inkl. Lüftung 7.5 und inkl. Haushaltstrom 16kWh/m<sup>2</sup>a, gegenüber 26kWh/m<sup>2</sup>a im Falle der Beheizung mit thermischen Kollektoren und Holzheizung (Bild 3.1).

Endverbrauch H/L/K/WW  
+ Haushaltstrom, kWh/m<sup>2</sup>a



\* Elektrizität mit Faktor 2 gewichtet

- |                                                                   |                                                |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| - Restbedarf Heizung nach Massnahme 8, Komfortlüftung (Bild 4.2): | 5660 kWh/a $\approx$ 20.7 kWh/m <sup>2</sup> a |
| Deckung mit WP 0/30°C, JAZ 5.1 : Anteil Elektrizität :            | 1110 kWh/a $\approx$ 4 kWh/m <sup>2</sup> a    |
| Anteil aus Erdsonde :                                             | 4550 kWh/a $\approx$ 16.6 kWh/m <sup>2</sup> a |
| - Bedarf Warmwasser :                                             | 4200 kWh/a $\approx$ 15.3 kWh/m <sup>2</sup> a |
| Deckung mit WP 0/50°C, COP 3 : Anteil Elektrizität :              | 1400 kWh/a $\approx$ 5.1 kWh/m <sup>2</sup> a  |
| Anteil aus Erdsonde :                                             | 2800 kWh/a $\approx$ 10.2 kWh/m <sup>2</sup> a |
| - Strombedarf Lüftung :                                           | 350kWh/a $\approx$ 1.3 kWh/m <sup>2</sup> a    |



Vor 25 Jahren waren die Mehrkosten der Energiemassnahmen gegenüber üblicher Praxis zentrales Thema. Die nicht vorgeschriebenen Massnahmen Kompaktheit, kleinere Fenstergrösse und korrekte Einbindung der Wärmepumpe sind aber sogar günstiger als die übliche Bauweise, die Mehrkosten von Wärmepumpe und Komfortlüftung sind nicht mehr hoch und letztere lässt sich sogar durch den Mehrkomfort finanzieren. Nach wie vor teuer, auch mit Photovoltaik, ist die Sonnenenergie, die aber dank guter Sichtbarkeit und einfacher Verständlichkeit sehr beliebt ist.

## Wärmepumpensteuerung:

Entgegen der Meinung der am Markt für Einzelraumregelungen interessierten Regelgerätebranche ist der Regulierungs-Bedarf im Minergie-Haus gegenüber den 70er Jahren durch den geringen spezifischen Wärmeleistungsbedarf und den als Folge starken Selbstregeleffekt der Flächenheizungen massiv gesunken. Hingegen funktionieren Anlagen mit reiner Aussentemperatursteuerung für die Vorlauftemperatur ganz schlecht. Die Raumtemperatur ist viel stärker von den Fenstergewinnen abhängig als von der Aussentemperatur. Ein Raumfühler ist also viel wichtiger als ein Aussenfühler.

Dank dem Selbstregeleffekt der Bodenheizung funktioniert im gut gedämmten und mit Wärmehückgewinnung belüfteten Haus auch die Nutzung der Sonneneinstrahlung durch die Fenster trotz deren grosser thermischer Trägheit. Mit nur noch 10 bis 15 W/m<sup>2</sup> Heizleistung liegt die Bodenoberflächentemperatur maximal 2K über der Raumtemperatur. Steigt letztere also bei Sonnenschein um 2K an, sinkt die Wärmezufuhr der Bodenheizung auf null.

Im Vergleich zum minimalen Leistungsbedarf sind die Speicherkapazität einer Bodenheizung, und noch mehr der thermoaktiven Decke, sowie der Ausgleich zwischen den einzelnen Räumen gross. So sind Zeitpunkt und Ort der Wärmezufuhr durch die Wärmepumpe wenig wichtig, mit thermoaktiven Decken der Zeitpunkt sogar im Tages- oder 2-Tagesrhythmus. Weil mit dieser Betriebsweise ein technischer Speicher entfällt und allein ein Temperaturfühler in einem Referenzraum die Wärmepumpe frei gibt, wird die Leistungsziffer der Wärmepumpe maximal. Zudem steigt mit dieser Art der Einbindung gegenüber einem technischen Speicher die Laufzeit der Wärmepumpen pro Einschaltung beträchtlich und entsprechend auch die Lebensdauer der Anlage.

Liefert die Wärmepumpe das Heizungswasser nämlich direkt an den Boden, steigt die Vorlauftemperatur von anfänglich etwa 25°C, entsprechend Rücklauftemperatur plus Spreizung, bis der Boden genügend Leistung zur Deckung der Verluste des Hauses abgibt. Die Vorlauftemperatur entspricht also der minimal möglichen. Dem gegenüber muss die Temperatur eines technischen Speichers mindestens entsprechend dem maximal möglichen Bedarf bei gegebener Aussentemperatur, also ohne Teilabdeckung durch innere Quellen, gesteuert werden. Da der maximale Bedarf dem Inbetriebsetzungsmonteur immer auch schlecht bekannt ist, wird er einen Sicherheitszuschlag einbeziehen. Die reale Differenz zur minimal nötigen Vorlauftemperatur beträgt also leicht 5K oder z.B. 35 statt 30°C. Dies entspricht einem Strommehrverbrauch von 16%\* des Heizungsbedarfs oder, für einen Durchschnittsneubau, einer Reduktion der gewichteten Energiekennzahl um **3.5 kWh/m<sup>2</sup>a**. Mit oder ohne technischem Speicher bleibt die Oberflächentemperatur der Bodenheizung immer innerhalb des Komfortbereichs, womit ein Überheizen durch die Bodenheizung auch bei plötzlichem Anstieg der inneren Wärmequellen unmöglich ist.

\* JAZ (0/30°C) = 5.1 ; JAZ (0/35°C) = 4.3 ; D.h.  $\Delta_{el}$  = 16% ; (Beispiel Sole-Wasser-WP von CTA)

$\Delta E$  = rel. Reduktion x (Gesamtbedarf – WW-Bedarf) / JAZ<sub>Heizung</sub> x Gewichtungsfaktor Elektrizität  
= 0.16 x (70 – 15) kWh/m<sup>2</sup>a / 5.1 x 2 = 3.5 kWh/m<sup>2</sup>a

Die Steuerung der Raumheizung mit einem Innenfühler in einem Referenzraum und die direkte Beheizung einer thermoaktiven Decke oder Bodenheizung mit der Wärmepumpe erlauben also die optimale passive Sonnenenergienutzung und ermöglichen die maximale Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die gegebene Wärmeverteilung.

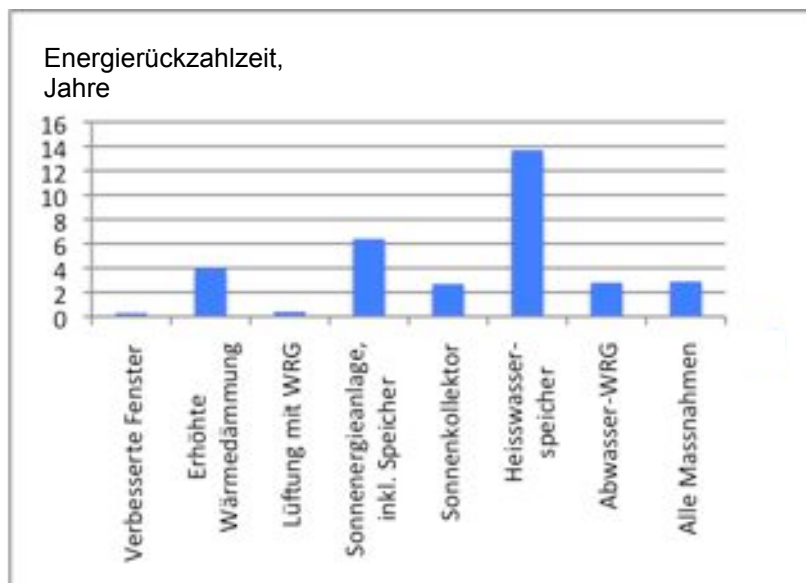
## 5. Energierückzahlfrist

Mit der geplanten Erneuerung der Sonnenkollektoranlage nach 25 bis 30 Betriebsjahren stellt sich die Frage nach deren energetischen Gesamtbilanz. Die Energierückzahlzeiten der in Bild 2.1 dargestellten Massnahmen wurden 1991 berechnet [9]. Mit 6 Jahren Rückzahlfrist ist die Solaranlage damit bereits 4mal zurück bezahlt und sogar der Speicher als extremstes Element ist für sich allein gerechnet schon 2mal zurück gewonnen.

Erstaunlich ist aus heutiger Sicht die damalige Annahme zur Lebensdauer der Wärmedämmung mit 30 Jahren. Tatsächlich zeigte eine anfangs 2016 erfolgte Kontrolle durch Ausbau einer Dämmplatte, dass ihr Zustand einwandfrei ist und der Dämmwert sich kaum verändert hat.

Bild 5.1:

Energierückzahlzeit in Jahren aus [9].



## 6. Zusatznutzen der energie-effizienten Bauweise, Erfolgsbasis von Minergie

Nachdem die Tochter des Autors in ihrer Jugend fast ausschliesslich in diesem Null-Heizenergie-Haus gelebt hat, hat sie erst als 15-jährige von einem Klassenkollegen erfahren, dass es Leute gibt, die auch im Winter bei offenem Fenster schlafen. „Das könnte sie nie“, meinte sie entrüstet, als sie die Erfahrung abends zuhause erzählte, immer noch zweifelnd, ob er ihr tatsächlich die Wahrheit erzählt hatte.

Die Siedlung wurde als Demonstration der Leistungsfähigkeit der Bautechnik zur Minimierung des Verbrauchs an Zusatzenergie bis fast gegen null gebaut. Dass diese Bauweise auch entscheidende Komfortvorteile für die Bewohner bringt, hat der Autor erst im Laufe der ersten zwei Jahre im Haus bemerkt und auch nur, weil ein Freund, Heinz Uebersax, erste Unterschiede zu seinem eigenen Haus feststellte.

In der Folge hat der Autor die Unterschiede zum Normalhaus systematisch gesucht. Anfänglich mit der Marke ComfoHome (heute Zehnder Comfosystems), später mit der Marke Minergie, haben Heinz Uebersax und der Autor die Nutzervorteile verbreitet.

Die meisten Vorteile sind eine Folge der Komfortlüftung. Sie erlaubt, die Fenster geschlossen zu halten, wenn Wetter, Verkehr oder Personen dies vorteilhaft machen. Der technische Aufwand dafür ist – zumindest im Neubau - minimal. Hundert Meter Kunststoffschlauch, zwei Ventilatoren und ein Paket Kunststofffolien zur Wärmeübertragung sind die wesentlichen Elemente. Das entspricht etwa der Komplexität einer zentralen Warmwasserversorgung. Umsomehr erstaunen die Diskussionen um Rückbesinnung auf die Fensterlüftung mit dem Argument zu grosser „Komplexität“ neuer Bauten. Eine Fensterlüftung ist zwar noch einfacher, bringt aber die Probleme mit kalter Luft, Staub, Aussenlärm, Schimmelpilz und hohem Wärmebedarf zurück.

Bild 5.1: Mit dem im Winter an das Fenster angelehnten Kind wurden ab 1993 die Komfortvorteile der energieeffizienten Bauweise anstelle des geringen Energieverbrauchs in den Vordergrund gestellt. Durch das Lüftungsgitter strömt kontinuierlich frische Luft zugfrei und lautlos in das Zimmer. Die Luftqualität im Raum bleibt unabhängig vom Benutzerverhalten gut. Weil das Fenster zum Lüften geschlossen bleiben kann, gibt es im Zimmer keinen kalten Luftzug. Staub und der Aussenlärm des – damals über Wädenswil noch fiktiven – Verkehrsflugzeugs bleiben draussen. Dank 3-fach Wärmeschutzverglasung ist die Innenscheibe warm und dank dicker Fassadendämmung und automatischem Luftwechsel wird es hinter dem Schrank an der Aussenwand nie Schimmel geben.

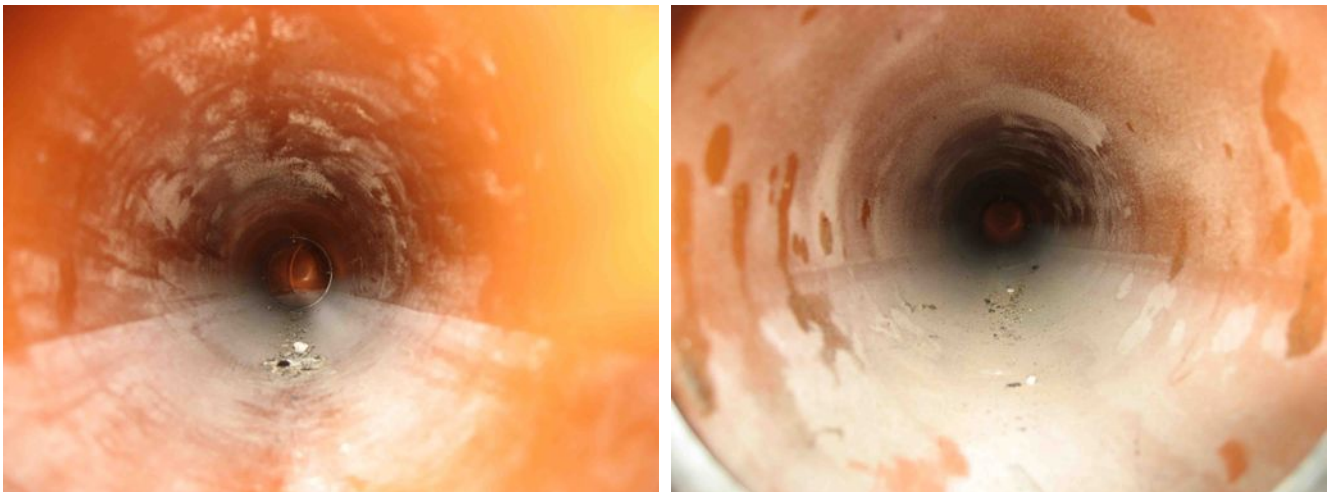
Anfänglich haben ComfoHome und die Energiefachstelle des Kantons Zürich (der Autor war 1985 – 2000 deren Leiter) diese Argumentation eingesetzt. Bis die Energiefachstelle dafür ab Ende 1996 die Marke Minergie einsetzte, vergingen nochmals drei Jahre.



Auch die Diskussionen um gesundheitliche Gefahren der Luftverteilung sind nicht nachvollziehbar. In den trockenen Zuluftrohren ohne Licht entwickeln sich keine Keime. Verstopfen die Zuluftfilter, weil sie niemand ersetzt, so sinkt zwar die geförderte Luftmenge auf null; eine gesundheitliche Gefährdung besteht aber nie. Die Abluftrohre, die durch Fett aus der Küche verschmutzen können, fördern nur Luft, die nie in den Raum zurück kommt, genauso wie die Abluftleitungen von reinen Abluftanlagen, wie sie spätestens seit den 60er Jahren in grosser Zahl gebaut werden. Eine Untersuchung der Hochschule Luzern hat denn auch gezeigt, dass Lüftungsanlagen zwar oft mangelhaft sind, der Schutz der Personen aber trotzdem immer gewährleistet ist [4].

Bild 5.2 der Zuluftrohre nach 25 Jahren ohne Reinigung:

Das Bild links zeigt ein Zuluftrohr im Haus, das nach der Montage verstopft wurde, weil das angeschlossene Büro nie vom Gang abgetrennt wurde. Der im Rohr liegende Schmutz stammt noch von der Bauphase. Das Rohr im Bild rechts hingegen ist seit 25 Jahren in Betrieb, ohne dass es je gereinigt worden wäre. Zudem wurde der Gerätefilter nie ersetzt, sondern immer nur gereinigt. Obwohl jetzt eine Rohrreinigung sicher angezeigt wäre, ist der Zustand deutlich besser als auf den meisten Schränken, die genauso in intensivem Kontakt mit der Raumluft stehen.



Einen weiteren wichtigen Nutzervorteil bringt die in Kap. 3.2 erwähnte Aussendämmung des Kellers. Sie hält das Kellergeschoss den ganzen Winter nahe 20°C, ohne eine eigene Heizung. Der Nutzwert des warmen Kellers ist sehr viel grösser als der des kalten. Zur Lagerung von Möbeln, Kleidern, trockenen Esswaren, als Heimbüro, Bastel- oder Fitnessraum oder zum Trocknen von Wäsche lässt er sich nutzen. Im kalten Keller wären alle Gegenstände gefährdet, weil sie Schimmel ansetzen, insbesondere im Frühjahr, wenn der ungedämmte Keller noch kalt ist, das Aussenklima aber schon warm und feucht sein kann. Die Mehrkosten für die Aussendämmung, die eine massive Vergrösserung der beheizten Nutzfläche bedeutet (im Haus mit 2½ Obergeschossen um 40%!), sind im Vergleich zu den Kosten der übrigen Wohnfläche minimal.

Die Siedlung hat sich auch deshalb bewährt, weil zu allen Installationen eine maximal mögliche Einfachheit der Steuerung und Bedienung gesucht wurde.

- Die Lüftung lässt sich mit einem Potentiometer manuell stufenlos steuern. Die Bypass-Klappen zur Raumkühlung bei tiefen Aussentemperaturen im Sommer wurden blockiert, weil diese Art der Kühlung ohnehin wenig Wirkung hat, aber die Steuerung verkompliziert.
- Die Warmwasserbereitung erfolgt völlig passiv durch einen Behälter im Heizungsspeicher. Das Schichtungsrohr sorgt für eine optimale Zufuhr des Kollektorwassers ohne Temperaturfühler und Ventil.

- Die Wärmegewinnung aus dem Sonnenkollektor erfolgt mit Schwerkraft resp. mit einer Pumpe, die allein durch einen Strahlungsfühler gesteuert wird.
- Die Raumheizung ab dem Speicher wird durch einen Raumthermostaten ein und ausgeschaltet, ohne weitere Steuermöglichkeiten.

Gadgets, wie die Steuerung durch ein Zentralgerät oder ein Mobiltelefon, hätten in den 25 Jahren bereits mehrmals ersetzt werden müssen, nicht zur Freude der Nutzer. Was in der Bauphase allenfalls den technisch interessierten Bauherrn noch anspricht, ist zehn Jahre später nur noch ärgerlich, weil die hinter den Algorithmen stehenden Techniker nicht mehr verfügbar sind, die gleichen Produkte nicht mehr existieren und der Bauherr längst durch Sorgen mit Beruf, Familie und allenfalls sogar Gesundheit gefordert ist, so dass er am ehesten zufrieden ist, wenn das Haus einfach funktioniert.

So sind die über die Höhe in den Langzeit-Heisswasserspeichern verteilten fünf Thermometer seit mindestens zehn Jahren alle defekt. Kein Eigentümer hat sie aber ersetzt. Ob der untere Speicherteil noch genügend warmes Wasser enthält, erkennt man an der Heizwassertemperatur im Heizbetrieb, ob der obere Teil noch genügend Wärme enthält, zeigt die Temperatur des Heisswassers am Hahn, und ob der Speicher vollständig gefüllt ist zeigt die Temperatur des zum Kollektor fliessenden Wassers.

Der Rat eines Kollegen, unbedingt vor dem Bezug, wenn die Kompromissbereitschaft noch wesentlich grösser ist, eine Nutzungs- und Verwaltungsordnung zu erstellen, hat sich bestens bewährt. Sie hat zweifellos zur langjährigen friedlichen Gemeinschaft in der Siedlung beigetragen.

1990 sind 10 junge Familien mit 20 Kindern in die Siedlung eingezogen. Trotz erstaunlicher Stabilität sind durch Scheidung, Tod und Wegzug nur noch 6 Ehepaare unverändert in der Siedlung wohnhaft. In zwei Häusern sind wieder junge Familien mit Kindern eingezogen. Was zum Zeitpunkt der Planung keine junge Bauherrschaft glauben wird - 25 Jahre sind rasch vorbei!



## 7. Zusammenfassung der wichtigsten Erfahrungen (in Klammern Referenzkapitel)

- a. Die Minimierung des Wärmeleistungsbedarfs durch Kompaktheit, Dichtheit, umlaufende Wärmedämmung und Lüftung mit Wärmerückgewinnung ist weit wichtiger als die Wahl des Energieträgers zur Deckung des Restbedarfs. (1)
- b. Gegenüber einem UG mit der Wärmedämmung über der Decke bedeutet die Aussendämmung des Kellergeschosses eine ganz starke Vergrösserung der Nutzfläche zu extrem tiefen Kosten! Zudem wird so, zusammen mit der Wohnungslüftung das Problem der Kellerentfeuchtung gelöst. Schliesslich wird damit der früher übliche Lagerraum im kalten Estrich ersetzt. Entsprechend ist unverständlich, dass immer noch viele Neubauten an der Kellerdecke statt unter dem Boden und auf der Wandaussenseite gedämmt werden. (3.2 und 5)
- c. Die Effizienzgewinne neuer Bestgeräte sind seit 1990 kleiner als die Unterschiede zwischen den Gerätetypen, wie Kühlschrank ohne oder mit Tiefkühlfach, Tiefkühl-Truhe oder –Schrank, Kühlgerätegrösse, bedarfsabhängige oder durchlaufende Schaltung der Heizungspumpe, etc. Eine Verbrauchsreduktion durch neue Geräte ergibt sich also nur bei ähnlich haushälterischem Einsatz. (3.1)
- d. Grosse raumhohe Fenster erfordern im Winter höhere Raumtemperaturen, um den Kaltluftabfall entlang der Fensterfläche zu kompensieren. Das bedeutet erhöhten Wärmebedarf. (3.4)
- e. Im Minergie-Haus mit kurzen Heizperioden tragen nur Südfenster wesentlich zur Wärmeverbrauchsminderung bei. Auch bei moderater Fläche bis 30% Anteil der Fassade und massiver Bauweise variiert die Raumtemperatur an einem sonnigen Märztag um etwa 3K. Die passive Nutzung der Sonnenenergie verlangt also immer eine gewisse Toleranz der Bewohner. (3.5)
- f. Wird die Südfensterfläche deutlich über 30% Anteil an der Fassade erhöht, wie heute üblich, wird an sonnigen Wintertagen auch im Massivbau die Komfortgrenze überschritten. Der Sonnenenergieeintrag muss also durch Beschattung vermieden oder weggelüftet werden und steht nicht für die Heizung zur Verfügung. (3.5)
- g. Die SIA 380/1 rechnet Wärmegewinne der Fenster bei schwerer Bauweise fast vollständig an, sofern die Wärmeverluste im gleichen Monat grösser sind als die Gewinne. Die Berechnung der Fenstergewinne mit Monatsmittelwerten kann aber nur korrekt sein, wenn die Gewinne deutlich kleiner sind als die Verluste, weil im typischen Winterwetter kurze sonnige Perioden mit längeren sonnenarmen wechseln. Die Wärmegewinne grösserer Fensterflächen werden von der 380/1 deshalb deutlich zu positiv bewertet. (3.5)
- h. Ein zu hoher Verbrauch ist also oft nicht Folge eines schlechten Benutzerverhalten, sondern von Planungsfehlern. Der Benutzer verhält sich erwartungsgemäss, indem er die Raumtemperatur innerhalb des Komfortbereichs behält. (3.5)
- i. Überheizen mit grossen Fenstern lässt sich auch durch einen schlechteren g-Wert reduzieren. Damit verschlechtert sich aber die Wärmebilanz des Fensters auch in den sonnenärmsten Monaten, womit der Heizbedarf noch stärker steigt als mit hohem g-Wert und beweglichem Sonnenschutz. Der Nachteil zu grosser Fenster mit tieferem g-Wert wird erst klein, wenn nochmals deutlich bessere U-Werte eingesetzt werden als heute üblich. (3.5)
- j. Die Hülle der Null-Heizenergiehäuser erreicht die Einzel-U-Werte der MuKEn 2014 nur teilweise. Nachdem damit aber im kleinen Doppel Einfamilienhaus, d.h. bei mittlerer Gebäudeform  $A/EBF = 1.3$ , das eindruckliche Resultat von  $9\text{kWh/m}^2\text{a}$  erreicht wurde, gewichtet die MuKEn 2014 die Wärmedämmung als Minimalanforderung für alle Bauten gegenüber den darin unerwähnten Themen Fensteranteil, thermische Masse, Lüftung und Heizungssteuerung klar zu hoch. (3.7)
- k. Durch die Luftverteilung in Kaskade sinken gegenüber separater Belüftung von Wohn-/ Esszimmer der Luftbedarf, der Stromverbrauch und die Geräuschentwicklung der Ventilatoren - bei exakt gleicher Luftqualität in den für das  $\text{CO}_2$ -Niveau kritischen geschlossenen Schlafzimmern. Trotzdem werden wohl in 90% der Neubauten Wohn-/Esszimmer separat belüftet, zwei-

felllos ein wichtiger Grund für teils unzufriedene Nutzer und regelmässige Kritik an dieser Technik. (3.8)

- l. Der Enthalpietauscher vermeidet im Mittelland anstelle des Erdregisters ein Einfrieren des Lüftungsgeräts auf kostengünstige Art und erhöht im Winter die Luftfeuchtigkeit. (3.8)
- m. Eine Vergrösserung der verglasten Südfassade über etwa 30% der Bodenfläche des angrenzenden Raums kann für den Energieverbrauch nur positiv sein, wenn ein Teil der gewonnenen Energie einem Mehrtageesspeicher zugeführt wird. Dazu kann eine thermoaktive Decke oder Wand, ein Wasserspeicher oder – im Falle von Photovoltaik – eine Batterie dienen. (3.9)
- n. Ein Mehrtageesspeicher kann knapp wirtschaftlich sein, weil er jährlich 20- oder 30mal zur Überbrückung kurzer Schlechtwetterperioden genutzt wird. Ein Saisonspeicher in Form eines Wasserbehälters (oder einer Batterie im Falle von Photovoltaik) ist hingegen immer höchst unwirtschaftlich, weil er viel grösser sein muss und der grösste Teil seines Inhalts nur 1 Mal pro Jahr genutzt werden kann. (3.9)
- o. Die Nutzung der Sonneneinstrahlung funktioniert im gut gedämmten und mit Wärmerückgewinnung belüfteten Haus auch mit einer trägen Bodenheizung dank deren Selbstregeleffekt. Mit nur noch 10 bis 15 W/m<sup>2</sup> Heizleistung liegt die Bodenoberflächentemperatur maximal 2K über der Raumtemperatur. Steigt letztere also bei Sonnenschein um 2K an, liegt sie immer noch im Komfortbereich, die Wärmezufuhr der Bodenheizung sinkt aber auf null.
- p. Die grosse Trägheit einer thermoaktiven Decke vereinfacht die Heizungssteuerung für den Sonnenkollektor und die Zusatzheizung gegenüber einem konventionellen Haus enorm, weil der Zeitpunkt der Wärmezufuhr zum Haus ganz unwichtig wird. Sonnenkollektor oder durch PV-Strom priorisierte Wärmepumpe können Wärme liefern, wenn sie anfällt, die Zusatzheizung, wenn die Temperatur in einem Referenzraum zu tief sinkt. Die tiefen Bodentemperaturen ergeben zudem eine optimale passive Sonnenenergienutzung und eine maximale Jahresarbeitszahl der Heizungswärmepumpe. (4)
- q. Der Fassadenkollektor mit transparenter Wärmedämmung ist wirtschaftlich interessanter als die TWD-Wand, weil die Beschattung entfällt und er im Sommer für die Warmwasserbereitung nutzbar ist. Trotzdem sind seine Kosten weit weg vom Nutzen von knapp 200kWh/m<sup>2</sup>a, entsprechend 20.- Fr./m<sup>2</sup>a. (3.9)
- r. Die Ablösung des thermischen Sonnenkollektors durch Wärmepumpe mit Erdsonde und Photovoltaik ist in vollem Gange: Photovoltaik und Wärmepumpe liefern mehr Wärme pro m<sup>2</sup> Solarfläche, die Schnittstelle zwischen Solar- und Heizungstechnik reduziert sich auf den Wechselrichter, als Langzeitspeicher dient die günstige Erdsonde, die sommerliche Produktion lässt sich teils für den Haushaltstrom nützen und die Anlagekosten sind tiefer. Deshalb ist unverständlich, dass die MuKE 2014 die Anrechnung von Photovoltaik an die Wärmebilanz eines Hauses nicht zulässt. (4)
- s. Vor 25 Jahren waren die Mehrkosten der Energiemassnahmen gegenüber üblicher Praxis zentrales Thema. Kompaktheit, kleinere Fenstergrösse und korrekte Einbindung der Wärmepumpe sind aber sogar günstiger als die übliche Bauweise, die Mehrkosten von Wärmepumpe und Komfortlüftung sind nicht mehr hoch und letztere lässt sich sogar durch den Mehrkomfort finanzieren. Nach wie vor teuer, auch mit Photovoltaik, ist die Sonnenenergie, die aber dank guter Sichtbarkeit und einfacher Verständlichkeit sehr beliebt ist. Was nach wie vor fehlt, auch nach 20 Jahren Minergie, ist also nur das Wissen! (4)
- t. Die Komfortlüftung bringt viele Komfortvorteile bei geringem Aufwand. Sie erlaubt, die Fenster geschlossen zu halten, wenn Wetter, Aussenlärm, Insekten oder Staub dies vorteilhaft machen. Nötig sind dafür hundert Meter Kunststoffschlauch, zwei Ventilatoren, ein Paket Kunststofffolien zur Wärmeübertragung und vier Kästen für die Schalldämmung und zur Verbindung der Rohrenden. Umsomehr erstaunen die Diskussionen um Rückbesinnung auf die Fensterlüftung mit dem Argument zu grosser „Komplexität“ neuer Bauten. Eine Fensterlüftung ist zwar noch einfacher, bringt aber auch die alten Probleme mit kaltem Luftzug, Schimmelpilz, Aussenlärm und hohem Wärmebedarf zurück. (5)

**Literaturverzeichnis:**

- [1] „Null-Heizenergie-Konzept in einer Siedlung in Wädenswil“, Ruedi Kriesi, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 45/1989
- [2] NEFF-Schlussbericht 414.1: „Messprojekt Nullheizenergiehäuser in Wädenswil“, Robert Stangier, EMPA, Juni 1995
- [3] Wärmeverlust von Funktionsöffnungen, Serge Mattli, Urs-Peter Menti, Iwan Plüss, Eveline Tanner, HSLU, Bundesamt für Energie, 2010
- [4] Hygienezustand von Raumluftechnischen Anlagen in der Schweiz, Roland Ganz, Benoit Sicre, Andreas Nägeli, et. al., HSLU, 2012
- [5] Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE), Ausgabe 2014, Konferenz kantonomer Energiedirektoren
- [6] Projekt „4-Jahreszeiten“ von Ruedi Fraefel, „Hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen“, EMPA, Dübendorf, April 1994, Publikation BFE Nr. 192468
- [7] Wärmebrückenkatalog, Steildach, Traufe 3.2-A1, BFE 2002
- [8] Prestratification for hot water storage tanks, Mohammed Balawi, Prof. Peter Suter, EPFL 1983
- [9] Die ökologische Rückzahldauer der Mehrinvestitionen in zwei Nullenergiehäuser, Patrick Hofstetter, Markus Steger, Martin Vollmer, Markus Hanselmann, Patric Van der Hagen, ETH Zürich, 1991
- [10] SIA 380/1, Thermische Energie im Hochbau, Kap. 3.5.5.1, Wärmespeicherfähigkeit pro Energiebezugsfläche, und 3.5.5.2, Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2009

**Bildnachweis:**

Bild 3.4: Merkblatt SIA 2021  
Bilder 3.12, 3.16: Béatrice Devènes, Bern  
Bild 5.1: Unbekannt  
Alle übrigen: Ruedi Kriesi

4.4.2016