



## **Vollflächige Integration eines solaren Luftsystems und Photovoltaik bei einer Gebäudesanierung**

Umbau Haus "Lärche" Braunwald

Ausgearbeitet durch

A. Gütermann, Amena AG

.....

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

November 2003

**Auftraggeber:**

Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden  
Bundesamtes für Energie

**Auftragnehmer:**

Amena AG  
Tösstalstrasse 12  
8400 Winterthur  
Tel. 052 214 14 41  
Mail: [amena.ag@energienetz.ch](mailto:amena.ag@energienetz.ch)

**Autor:**

Andreas Gütermann

**Begleitgruppe:**

H. Bertschinger, P&D Verantwortlicher Programm Gebäude, EMPA/ZEN  
A. Eckmanns, Bereichsleiter Gebäude, BFE

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

**Bundesamt für Energie BFE**

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • [office@bfe.admin.ch](mailto:office@bfe.admin.ch) • [www.admin.ch/bfe](http://www.admin.ch/bfe)

Vertrieb: EMPA ZEN, 8600 Dübendorf ([zen@empa.ch](mailto:zen@empa.ch) • [www.empa.ch/ren](http://www.empa.ch/ren))  
ENET, 9320 Arbon ([enet@temas.ch](mailto:enet@temas.ch) • [www.energieforschung.ch/](http://www.energieforschung.ch/))



## **Vollflächige Integration eines solaren Luftsystems und Photovoltaik bei einer Gebäudesanierung**

Umbau Haus "Lärche, Braunwald

A. Gütermann

November 2003

amena, allgemeine mess- und energietechnik ag, CH-8400 Winterthur

Bundesamt für Energie (BfE), Postfach, CH-3003 Bern

amena



## **Vorwort des Architekten**

Auf der Suche nach einem geeigneten Wohnhaus für die Familie und das Architekturbüro wurden wir aufmerksam auf das Haus "Lärche", welches vom Heimatschutz als typischer Bau aus den 60-ziger Jahren bezeichnet wurde. Die Gebäudehülle entsprach bei weitem nicht den heutigen Anforderungen und die räumliche Einteilung genügte nicht den Bedürfnissen einer 5-köpfigen Familie (plus Büro).

Aus persönlicher und beruflicher Überzeugung als Baubiologe war es von Beginn an klar, dass die veraltete Ölheizung durch ein umweltfreundliches, alternatives Energiesystem ersetzt wird, welches mit erneuerbaren, örtlich in genügender Menge vorkommenden Energieträgern arbeitet. Die gut besonnte, nebelfreie und von Wald umgebene Lage favorisierten die Solar- und Holzenergie. Durch einen Projektbescheid des Bundesamtes für Energie wurden wir auf Bauten mit Luftkollektoren und ergänzender Holzheizungen aufmerksam. Nach genauerem Studium der Unterlagen sowie Abklärungen vor Ort an den ausgeführten Objekten und überzeugenden Gesprächen mit den Bewohnern, haben wir uns für dieses System entschieden. Im Vordergrund stand für uns nicht das Erreichen eines Labels, sondern der optimale und einfache Einsatz von erneuerbaren Energien, sowie ein gesundes Raumluftklima.

Von Anfang an genossen wir das sehr angenehme Wohnklima, welches in krassem Gegensatz zur vorhergegangenen Mietwohnung stand. Nach genauen Messungen der benötigten Energien über die vergangenen Monate kann sogar festgestellt werden, dass die Erwartungen und Berechnungen noch etwas übertroffen wurden. Die Anerkennung des Schweizer Solarpreises 2001 ehrt uns und mit Stolz blicken wir auf das Erreichte zurück.

Besonderen Dank möchten wir Herrn Andreas Gütermann für seine umfassende und kompetente Planung und Beratung aussprechen. Unser Dank gilt auch den beteiligten Unternehmen, welche die Herausforderung und unkonventionelle Aufgabe bestens gemeistert haben.

## **Impressum, Links und am Projekt beteiligte:**

- Architekt: Markus Hermann, Architekt / Bauleiter SIB, CH-8784 Braunwald  
[info@brimo-immobilien.ch](mailto:info@brimo-immobilien.ch)
- Planung Solarsystem: Amena AG, Andreas Gütermann, CH-8400 Winterthur  
[amena.ag@energienetz.ch](mailto:amena.ag@energienetz.ch)
- Kollektorbau: Marti & Co. Sanitär / Spenglerei, CH-8783 Linthal
  
- Lieferant Kollektormaterial und Photovoltaik: Roth&Partner GmbH, CH-8840 Einsiedeln  
[info@roth-partner.ch](mailto:info@roth-partner.ch)
- Heizung/Lüftung: W. Steiner, Rüfistr. 25, CH-8753 Mollis  
[walter.steiner@steinerhkl.ch](mailto:walter.steiner@steinerhkl.ch)
- Messprojekt: Amena AG, Andreas Gütermann, CH-8400 Winterthur  
[amena.ag@energienetz.ch](mailto:amena.ag@energienetz.ch)
- Bauträgerschaft: Markus u. Margreth Hermann, Haus Lärche, CH-8784 Braunwald  
[info@brimo-immobilien.ch](mailto:info@brimo-immobilien.ch)

## **Dank**

Das Objekt und die Erfolgskontrolle (Messprojekt) wurden als Pilot- und Demonstrationsprojekt durch das Bundesamt für Energie finanziell unterstützt. An dieser Stelle sei für diese Unterstützung, die zu wertvollen Erkenntnissen führte, gedankt.

Der Bauträgerschaften Familie Markus und Margreth Hermann-Ryner, sei für die gewissenhafte Datenauslesung und Übermittlung sowie für die Bereitschaft, der Solarenergienutzung im Sanierungsmarkt ein weiteres erfolgreiches Beispiel zu liefern.

## "Gebrauchsanleitung"

Der vorliegende Schlussbericht ist ausschliesslich zur elektronischen Publikation bestimmt und steht im Internet zum "Download" zur Verfügung oder kann direkt beim Autor bezogen werden ([amena.ag@energienetz.ch](mailto:amena.ag@energienetz.ch)).

Der Bericht wird im sogenannten PDF- Format publiziert, welches speziell für den elektronischen Dokumentenaustausch entwickelt wurde. Um PDF - Dokumente zu betrachten, ist eine kleine Lesesoftware nötig. Der "Acrobat Reader" kann, falls nicht sowieso auf ihrem System vorhanden (meistens der Fall), im Internet heruntergeladen werden.

<http://www.adobe.de/products/acrobat/readstep2.html>

PDF hat den Vorteil, dass es "plattformunabhängig" auf allen Systemen läuft, ohne dass gewisse Voraussetzungen (z.B. die richtige Schriftart) vorhanden sein müssen.

PDF hat den Vorteil, dass die Dokumentgrösse bescheidener als z.B. ein .DOC – File ist, aber trotzdem alle Möglichkeiten der "Navigation" in einem Dokument bietet:

- Dokumentstruktur (Titel = sog. Lesezeichen) in separater Spalte ein- und ausblendbar mit direktem "Anklicken" der entsprechenden Dokumentstelle.
- Abbildungen, Diagramme, Tabellen und Literaturhinweise sind in Verzeichnissen am Schluss des Berichtes zusammengestellt und sowohl dort als auch durch Querverweise innerhalb des Textes "verlinkt". Man kann also durch Anklicken der entsprechenden Stellen einfach hin und wieder zurück "springen".

Es ist möglich, einzelne Seiten des Dokumentes auszudrucken. Auch der doppelseitige Druck ist möglich, falls ihr Drucker dies unterstützt. Das Dokument wurde aber speziell für die seitenweise Betrachtung am Bildschirm und die Verbreitung im Internet optimiert. Das betrifft vor allem die Bildqualität, und die anklickbaren [Querverweise](#).

Ansonsten ist der Aufbau des Dokumentes konventionell, z.B. mit Seitenzahlen und Inhaltsverzeichnis. Letzteres ist wieder "verlinkt" und erlaubt so den direkten "Sprung" zum entsprechenden Kapitel. Die Dokumentstruktur in der separaten Spalte, dem sogenannten Navigationsfenster, ist aber zu diesem Zweck das bessere und überall verfügbare Inhaltsverzeichnis.



Navigationfenster ein-/ausblenden

Will man nicht alles von vorne bis hinten durchlesen, kann man z.B. wie folgt vorgehen:

1. Die Zusammenfassung durchlesen.
2. Einzelne interessierende Themen können via die Dokumentstruktur in den Kapiteln direkt angesprungen werden. In den Kapiteln mit den Messdatenauswertungen sind die entsprechenden Beschriebe der Gebäude – oder Anlageteile wiederum durch [Querverweise](#) verlinkt.

Temperaturen werden wie folgt angegeben:

Temperaturwerte: In *Grad Celsius* (°C); 0 °C = Gefrierpunkt von Wasser  
Temperaturunterschiede: In *Kelvin* (K), 0 K = absoluter Temperaturnullpunkt = - 273 °C.  
Das *Kelvin* ist in Technik und Wissenschaft eine für Temperaturunterschiede übliche Einheit. Als Temperaturunterschied entspricht 1 K exakt 1 °C

Energie wird in *Kilowattstunden* (kWh) angegeben. Die Umrechnung in *Megajoule* (MJ) ist:  
1 kWh = 3,6 MJ

# Inhaltsverzeichnis

(Hinweis: Das erweiterte Inhaltsverzeichnis steht unter "Ansicht", "Dokumentstruktur" zur Verfügung)

<b>1. Zusammenfassung</b>	<b>8</b>
1.1. Gebäude und Anlagenbeschrieb	8
1.2. Resultate des Messprojektes	9
1.3. Schlussfolgerungen	11
<b>2. Gebäude und Anlagenbeschrieb</b>	<b>12</b>
2.1. Dach	12
2.1.1. Dampfdiffusion	13
2.2. Aussenwände (EG/OG)	13
2.3. Aussenwände (UG)	13
2.4. Boden UG	13
2.5. Fenster	13
2.6. Beurteilung des Wärmedämmniveaus	14
2.7. Kollektorkonstruktion	14
2.7.1. Verteilkanal	16
2.7.2. Sammelkanal	16
2.8. Photovoltaik	17
2.9. Luftführung und Speicherung	18
2.9.1. Funktionsbeschrieb	20
2.9.2. Technik"räume" und Luftführung in der Gebäudestruktur	21
2.9.3. Speicherdecke	23
2.9.4. Ventilator	26
2.9.5. Pumpe	27
2.9.6. Solarboiler	28
2.9.7. Zusatzheizung	29
2.10. Warmwasserbereitung	31
2.11. Betriebsarten	32
2.11.1. Winterbetrieb (geschlossener Kreislauf)	32
2.11.2. Sommerbetrieb (offener Kreislauf)	32
2.11.3. Regelung	33

<b>3.</b>	<b>Beschreibung der Messdatenerfassung und -auswertung</b>	<b>34</b>
3.1.	Klimadaten	34
3.2.	Anlagedaten	34
3.3.	Raumtemperaturen	35
3.4.	Messgenauigkeit	35
3.5.	Messdatenauswertung	35
<b>4.</b>	<b>Energiebilanz</b>	<b>36</b>
4.1.	Klimavergleich	36
4.2.	Beheizungs- bzw. Raumtemperaturniveau	38
4.3.	Jahres und Monatsenergiebilanzen	39
4.3.1.	Energiekennzahlen	40
<b>5.</b>	<b>Gebäude- und Systemverhalten als Reaktion auf das Klima</b>	<b>42</b>
5.1.	Verhalten im Winter	42
5.1.1.	Warmwasser	44
5.2.	Verhalten in der Übergangszeit	46
5.2.1.	Warmwasser	48
5.3.	Sommerliches Temperaturverhalten	49
5.3.1.	Warmwasser	50
<b>6.</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>55</b>
<b>8.</b>	<b>Anhänge</b>	<b>56</b>
8.1.	Abbildungsverzeichnis	56
8.2.	Diagrammverzeichnis	56
8.3.	Tabellenverzeichnis	57
8.4.	Literaturverzeichnis	57

# 1. Zusammenfassung

## 1.1. Gebäude und Anlagenbeschrieb

Das alte Haus (Baujahr 1964) im Sommer- und Wintersportort Braunwald auf der autofreien Sonnenterrasse des Glarnerlandes an bester Südhanglage war nur minimal wärmegeklämt und konventionell beheizt. Eine Gesamtrenovation war fällig und die neuen Besitzer/ Bewohner wollten diese so nachhaltig wie möglich durchführen.



Abbildung 1-1: Altes und neues Haus in Südhanglage an einem vielbegangenen Spazierweg in Braunwald auf 1300 M.ü.M.

- Das ganze, 30° geneigte Süddach (75 m<sup>2</sup>) dient als Energiegewinnungsfläche, wobei sowohl der Charakter des Hauses erhalten wurde als auch eine Form der ortsüblichen Dachgestaltung (Blechdach) übernommen werden konnte. Anstelle der (defekten) Unterdachdichtungsbahn wurde ein (dunkelblaugraues) Flachblech verlegt und statt der alten (defekten) Eternitziegel Solarglas. Die dazwischen entstehende warme Luft wird zur Heizungsunterstützung und Warmwasseraufbereitung genutzt. Das grosse Vordach ist mit semitransparentem Photovoltaikzellen-Verbundglas eingedeckt was neben der Stromproduktion (1,6 kW) auch die Beleuchtungsverhältnisse in den Wohnräumen drastisch verbesserte.
- Das Projekt wurde vom Heimatschutz und den Behörden akzeptiert und bewilligt.
- Das Untergeschoss (Beton mit 3 cm Innendämmung) wurde mit 10 cm Aussendämmung ergänzt. Die Wärmedämmung der Holzkonstruktion in den oberen Geschossen wurde auf 20 - 25 cm erhöht. Alle Fenster wurden ersetzt und mit Wärmeschutzglas (U = 1,0 W/m<sup>2</sup>K) ausgerüstet.
- Die Luftführung des Solarsystems durch die Gebäudestruktur konnte entlang der einzigen, vorhandenen Backsteininnenwand geführt werden. Als Massespeicher dient auch die neu eingezogene Betondecke (südseitig, zwischen UG/EG) und eine KS-Aufdopplung des Rückströmkanals im Wohnbereich.
- Die "Wohnkultur" lehnt sich an die lokale Tradition an. Keine kontrolliert Lüftung und als Zusatzheizung ein zentraler Holzofen (Einfeuerung im UG, grosse Sitzkaust im EG) welcher als Ergänzungsheizung für Raumwärme und Warmwasser dient.

## 1.2. Resultate des Messprojektes

Das Messprojekt wurde Ende 2002 abgeschlossen und die Daten eines ganzen Jahres standen für die Auswertung zur Verfügung. In Diagramm 1-1 (unten) sind die Energieeinträge monatsweise (und aufsummiert für die Heizsaison) dargestellt.

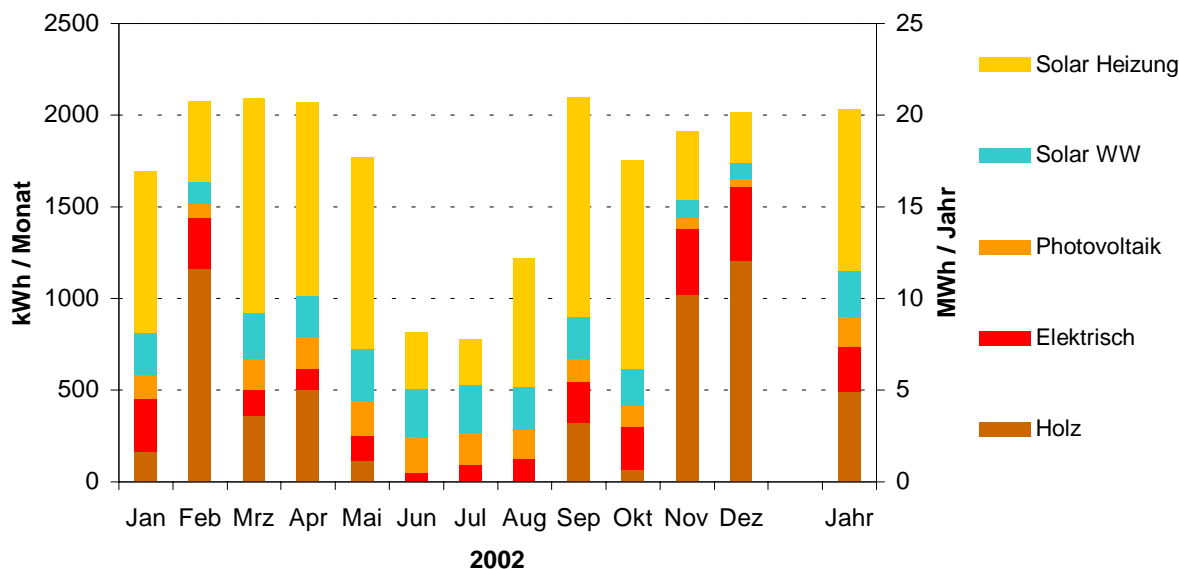


Diagramm 1-1: Energieeinträge [Bw-Monatsauswertung.xls, Energieeintrag]

Einige Feststellungen zu Diagramm 1-1:

- Die Monate November und Dezember zeigen erwartungsgemäss einen hohen Holzverbrauch und wenig Solarenergieangebot. Aussergewöhnlich wenig Holzverbrauch und viel Sonne stellte sich im Januar ein, während der Februar wiederum ein strenger Wintermonat war. Ebenfalls aussergewöhnlich präsentiert sich der September, mit mehr Holzbedarf wie im Januar und hohen Solarerträgen (Details siehe Kapitel [5.1](#) und [5.2](#)).
- Der Holzverbrauch 2002 (Heizung und Warmwasser) belief sich auf 2.6 Ster Holz (60 % Hartholz, 40 % Weichholz) oder 1140 kg respektive 4900 kWh. Bei einer Energiebezugsfläche von 257 m<sup>2</sup> ergibt sich eine Energiekennzahl von 19 kWh/m<sup>2</sup>. Ein Wert der weit unterhalb des Minergiestandards für Neubauten liegt.
- Der Elektrizitätsverbrauch liegt mit 4000 kWh  $\frac{1}{3}$  unter dem einer entsprechenden "Durchschnittsfamilie". 40 % davon (1600 kWh) stammt aus Eigenproduktion der semitransparenten Photovoltaikanlage im Vordachbereich.
- Das solare Luftsystem liefert 11300 kWh oder rund 70 % der Energie für Heizung und Warmwasser. Vom Solarertrag sind durchschnittlich  $\frac{3}{4}$  Raumwärme und  $\frac{1}{4}$  Warmwasser. Der spezifische Kollektorertrag ist mit 190 kWh/m<sup>2</sup> für einen nichtselektiven Kollektor ein hoher Wert.
- Die Leistung der Warmwassererzeugung mittels Luft-Wasser-Wärmetauscher mit 2 Doppelrohrreihen im Gegenstrom ist ausreichend und in Schönwetterperioden ist im Winter (mit Ventilatorunterstützung) wie im Sommer (ohne Ventilator) der solare Deckungsanteil 100 %.

Unten stehendes Diagramm zeigt das Temperaturverhalten des Systems beispielhaft an einem schönen aber kühlen Frühlingstag.

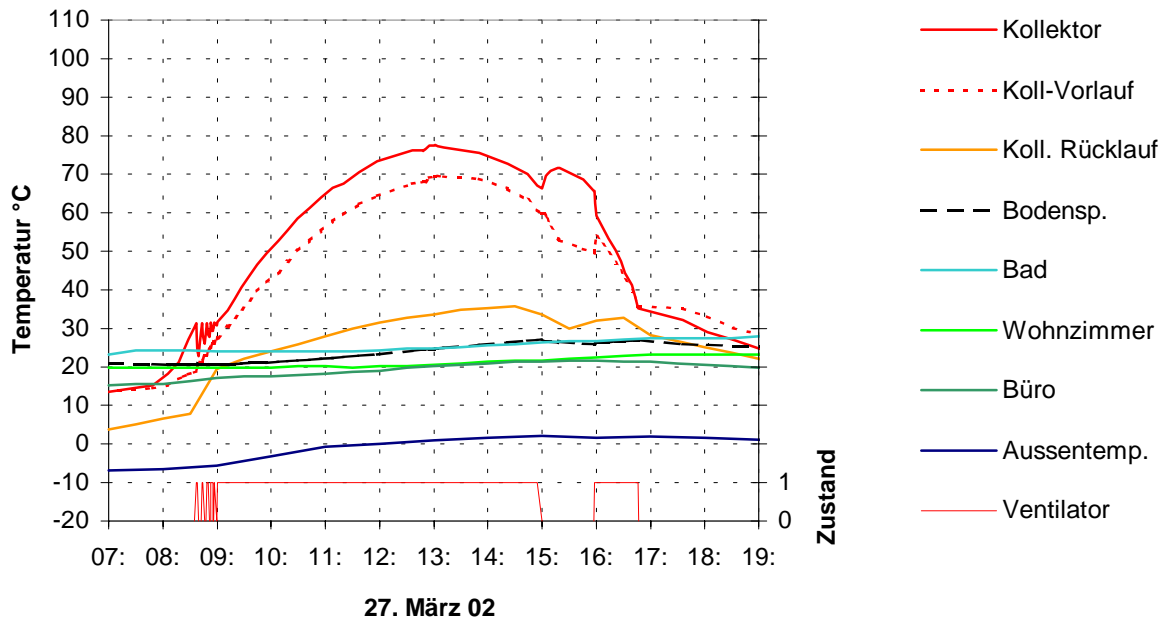


Diagramm 1-2: Systemtemperaturen an einem schönen, kalten Frühlingstag [H0203c.xls, 27.3.H]

Trotz tiefen Aussentemperaturen zwischen  $-7\text{ °C}$  und  $+2\text{ °C}$  erreichen die Kollektortemperaturen  $75\text{ °C}$ , ein sehr guter Wert für die "einfache" Konstruktion. Beim Wärmetauscher für das Warmwasser (Kollektorvorlauf) kommt nach 1m Kanal eine etwas (5 K) tiefere, jedoch repräsentativere Mischtemperatur an. Jetzt erfolgt die Wärmenutzung für das Warmwasser (Querverweis) und danach tritt die Luft mit ca.  $60\text{ °C}$  in die Murokauste des Badezimmers (OG) ein. Auf dem Weg der Murokauste entlang in die UG-Decke, durch den Hypokaustenboden und zurück via Murokauste in den Kollektor-Rücklauf wird ca. 35 K abgebaut, was bei einem Durchsatz von  $1500\text{ m}^3/\text{h}$  einer wirksamen Heizleistung von 19 kW entspricht (Momentanwert 13:00). Diese Leistung wird von den Muro- und Hypokausten aufgenommen, gespeichert und langsam wieder abgegeben (Temperaturverlauf Bodenspeicher).

Um 15:00 wird Ventilator automatisch ausser Betrieb genommen, da die Maximaltemperatur des Bodenspeichers durch die Bewohner auf  $27\text{ °C}$  gesetzt wurde um im Wohnzimmer nicht zu warm zu haben. Diese Maximaltemperatur ist normalerweise auf  $30\text{ °C}$  gesetzt.  $27\text{ °C}$  sind eher etwas tief um ein zu häufiges ausser Betrieb gehen des Ventilators zu vermeiden. Die Maximaltemperatur wurde daraufhin wieder um 1 K auf  $28\text{ °C}$  erhöht. Um 16:00 (Bodenspeichertemperatur  $26\text{ °C}$ ) geht der Ventilator wieder in Betrieb. In diesem Zeitpunkt wird immer noch genügend Wärme im Kollektor erzeugt, dass die Anlage noch  $\frac{3}{4}$  Stunden läuft.

Bei Häusern mit sehr niederem Heizenergiebedarf wird der Verbrauch an Warmwasser, der ja unabhängig vom Isolationsstandard des Hauses ist, immer wichtiger und beeinflusst, wegen der so "produzierten" Abwärme, die Wärmebilanz und den Komfort wesentlich. Aus diesen Gründen wurde der Solarboiler direkt im Badezimmer platziert, eine Strategie, die sich schon mehrfach bewährt hat.

Im unten stehenden Diagramm sind die Temperaturwerte bezüglich Warmwasser für den gleichen Tag dargestellt (aus Gründen der Übersichtlichkeit in einem separaten Diagramm).

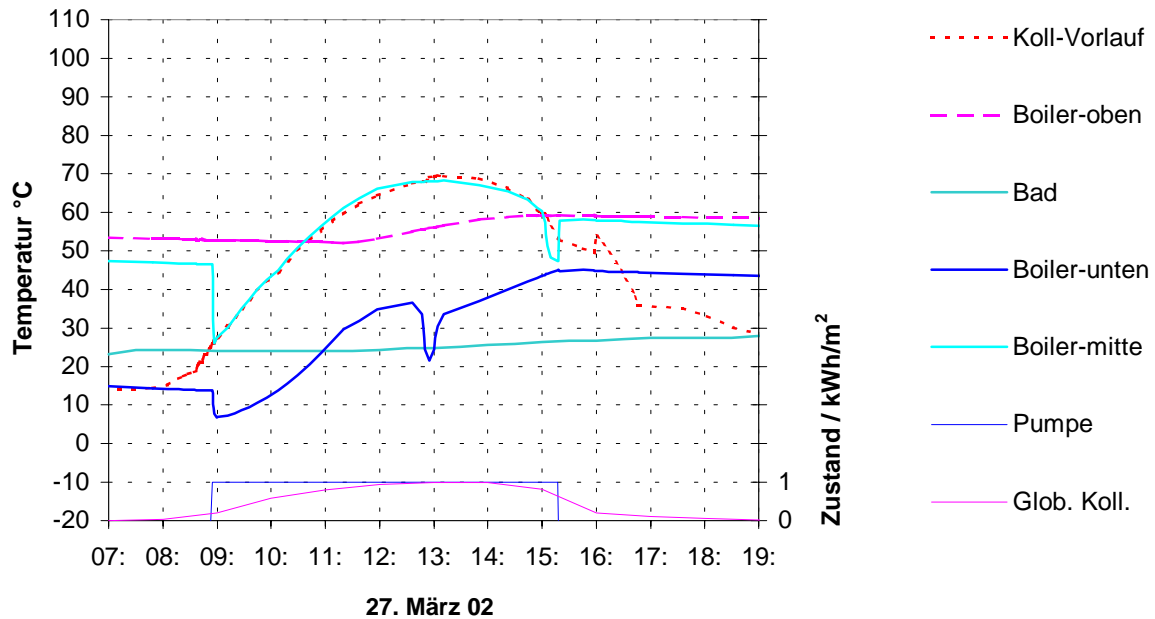


Diagramm 1-3: Temperaturverläufe der solaren Warmwassererzeugung [H0203c.xls, 27.3.WW]

Sehr gut erkennbar ist das ausgesprochen gute Schichtverhalten des Chromstahlboilers sowohl anfangs als auch ende der Ladeperiode. Auch die Einspeicherung des solar erwärmten Boilerwassers stört die Schichtung nicht, sodass die hydraulische Einbindung und der Wasserdurchsatz als optimal bezeichnet werden können.

Bei Betriebsbeginn ist ein deutlicher Temperatureinbruch im unteren Teil des Boilers erkennbar, weil dort das kalte Wasser des Leitungsinhalts zuerst ausgestossen wird. Trotzdem ist die Energiebilanz immer positiv.

### 1.3. Schlussfolgerungen

Die solare Sanierung des Gebäudes erfüllt die Erwartungen. Ein sehr hoher solaren Deckungsgrad (70 %) konnte mittels einer sehr einfachen konvektiv nutzbaren Dachflächengestaltung erreicht werden.

Die gegebene Dachneigung (30°) ist natürlich nicht optimal für die Wärmenutzung im Winter und im Sommer besteht tendenziell ein Überangebot, welches trotz Betrieb ohne Ventilator zu Boilertemperaturen von ca. 70 °C führt. Im Winter (mit Ventilator) ist die Solarenergienutzung, dem Gebäude und den Bewohnern angepasst, richtig dimensioniert.

Die nachträglich eingezogene Betondecke (Hypokauste) und die sehr einfache Luftführung (Unterströmung) sind zwar als Hypokaustenkonstruktion nicht optimal, funktioniert aber zusammen mit den beiden Murokausten gut und sorgt für eine genügende Wärmespeicherung.

Die semitransparente Photovoltaikanlage im Vordach leistet einen wesentlichen Beitrag zur Eigenbedarfsdeckung (40 %), und beschert dem Wohnraum ausserdem einen wesentlichen Tageslichtbeitrag.

## 2. Gebäude und Anlagenbeschrieb

Das alte Haus (Baujahr 1964) in bester Südhanglage war nur minimal wärmegeklämt und konventionell beheizt. Eine Gesamtenovation war fällig und die neuen Besitzer/Bewohner wollten diese so nachhaltig wie möglich durchföhren.



Abbildung 2-1: Altes und neues Haus in Südhanglage an einem vielbegangenen Spazierweg in Braunwald auf 1300 M.ü.M..

### Randbedingungen:

- Der Architekt und Hauseigentümer wollte zuerst einen umfangreicheren Umbau vornehmen, bei dem das Dach durch ein Pultdach ersetzt worden wäre, was aus dem Dachgeschoss ein Wohngeschoss mit voller Stehhöhe gemacht hätte. Ausserdem wäre die Solarnutzung an der Fassade möglich geworden, was den saisonalen Bedürfnissen gut entsprochen hätte. Dieses erste Projekt wurde allerdings von der Baubewilligungsbehörde mit dem Argument "Passt nicht in die Umgebung" abgelehnt. Der Bauherr verzichtete auf einen Rekurs und beschloss, dass bestehende Gebäude auszubauen statt umzubauen, wodurch das ursprüngliche Gebäude in seiner Form kaum verändert wurde. Dieses zweite Projekt wurde vom Heimatschutz und den Behörden akzeptiert und bewilligt.
- Neben dem Anliegen der weitgehenden Solarenergienutzung war der Platzbedarf für einen allfälligen Technikraum kritisch bzw. nicht vorhanden. Das solare Luftsystem überzeugte, da sein Speicher die Gebäudestruktur ist (Platzbedarf annähernd 0) und die restlichen Komponenten in irgendwelchen Nischen und Hohlräumen untergebracht werden konnten. Die "Wohnkultur" lehnt sich an die lokale Tradition an. Keine kontrolliert Lüftung und als Zusatzheizung ein zentraler Holzofen.

### 2.1. Dach

Das Dachgeschoss (Badezimmer und Schlafzimmer) sollten gut isoliert werden. Generell wurde der Sparrenzwischenraum mit 20 cm Isofloc ausgeblasen. Das Norddach wurde "nur" neu eingedeckt, Unterdachbahn, Konterlattung und Dachlattung konnten belassen werden. Im Süden war die alte Unterdachbahn schadhaf und hätte sowieso ersetzt werden müssen. Durch den Luftkollektor konnte das vermieden werden. Nur die Ziegellattung wurde demonitiert. Zwischen die alte Konterlattung wurden 5 cm Homatherm verlegt. Darauf wurde eine Querlattung verlegt damit nach dem Eindecken mit Flachblech (gleichzeitig Kollektorabsorber) die Konterlattung des Kollektors (6 x 6 cm) genau in dem für die Einglasung optimalen Abstand verlegt werden konnte. Das Kollektorglas bildete dann die Dachhaut. Durch diesen

Aufbau wurde die Isolationswirkung gegen die Sommerhitze (100 °C im Kollektor) erhöht. Im Winter sind im Süddach neben der Isolation auch noch die Pufferwirkung des Luftkollektors wirksam, was erfahrungsgemäss ([Lit. 2 - 4](#)) den Temperaturgradienten zur Aussenluft etwa halbiert. Mit andern Worten: Die Isolationswirkung ist doppelt so hoch (= 50 cm) wie die tatsächlich vorhandene Isolationsstärke.

#### 2.1.1. Dampfdiffusion

Durch das Wesen des Luftkollektors ist für die "Entlüftung" automatisch gesorgt. Gerade diese Eigenschaft prädestinieren solche Konstruktionen für den flächendeckenden Einsatz in der Gebäudehülle. Durch die Verwendung einer Innenliegenden Dampfbremse wird sichergestellt, dass nur wenig Wasserdampf in die Dachkonstruktion gelangt. Dieser sollte allerdings möglichst wenig am Übertritt in den Kollektor gehindert werden. Die Verwendung von Blech als Absorber ist nur problemlos, wenn dieses entweder hinterlüftet ist und/oder nicht dampfdicht verlegt ist. Letzteres ist meist der Fall, da ja die Verglasung den Witterungsschutz darstellt. Die Hinterlüftung ist in Braunwald nur minimal (Lattenrost). Ein Luftkollektordach hat aber den Vorteil, dass im Sommer durch die hohen Kollektortemperaturen das Dampfdruckgefälle sehr stark in die umgekehrte Richtung wirkt und die Konstruktion also bestens nach innen austrocknet.

### 2.2. Aussenwände (EG/OG)

Die Aussenwände dieses 12 cm Riegelbaues waren nur minimal (2 cm Weichpavatex) wärmegeklämt. Die äussere horizontale Stülpchalung wurde belassen. Das Innentäfer wurde sorgfältig demontiert und die Weichfaserplatten ausgeräumt. Innen wurde 10 cm Schifflattung angebracht und der gesamte entstandene Hohlraum (22 cm) wurde mit Homatherm ausisoliert. Auf eine (leichte) Dampfbremse folgte noch eine übliche 25 mm Schifflattung (Installationsraum) und schlussendlich wurde der "alte" Innentäfer wieder montiert.

### 2.3. Aussenwände (UG)

Die ursprüngliche Betonkonstruktion war nur stellenweise innen mit 3 cm Kork isoliert. Der Südteil sollte neu als beheiztes Büro dienen. Fehlende Partien der Innenisolation wurden ergänzt. Aussen wurde mit 10 cm Kork isoliert (im Sockelbereich extrudiertes Polystyrol).

### 2.4. Boden UG

Auf die vorhandene Tragkonstruktion, eine teilweise unterlüftete Hurdendecke, wurden 7cm Isolation aufgelegt. Raumseitiger Abschluss bildete ein Massivholzparkett.

### 2.5. Fenster

Das ursprüngliche Haus hatte nur wenige relativ kleine Fenster, welche alle durch neue Fenster Holzfenster mit einer  $U = 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$  Verglasung (Aluminiumrandverbund) ersetzt wurden. Im Süden wurden nur das UG (Büro) grosszügig mit neuen Fensterflächen ausgerüstet. In den Wohngeschossen wurden vor allem die Fensterflächen im Westen (Aussicht) vergrössert.

## 2.6. Beurteilung des Wärmedämmniveaus

Süddach	Norrdach	Wand EG/OG	Wand UG	Boden UG
- Kollektor - 5 cm zwischen Konterlattung - 20 cm zwischen Sparren	20 cm zwischen Sparren	22 cm in der Holzkonstruktion	- 3-5 cm Innen - 10 cm Aussen	7 cm Innen
<b>Sehr gut</b>	<b>ausreichend</b>	<b>gut</b>	<b>mässig</b>	<b>ungenügend</b>

Die Fensterqualität ist in Ordnung für eine Sanierung, die nicht das Ziel "Passivhaus" hatte. Ungünstig sind die grossen Fensterflächen im Westen; der Kompromiss wegen der Aussicht jedoch angemessen.

## 2.7. Kollektorkonstruktion

Es handelt sich um einen einfachen, nur überströmten Luftkollektor. Der generelle Dachaufbau wurde bereits in Kapitel [2.1](#) erläutert.



Abbildung 2-2: Dachkollektor vor dem Einglasen. Unterdachbahnen aus Flachblech, Konterlattung, umlaufender Rahmen.

### Absorber

Günstig erhältliches, beidseitig verzinktes und einseitig dunkel (nichtselektiv) eingefärbtes Flachblech. Die Farbwahl kann weitgehend den Benutzerwünschen angepasst werden solange es sich um eine dunkle Farbe handelt ([Lit. 2](#)). Auch die Infrarot-Selektivität der Oberfläche ist bei der grossen zur Verfügung stehenden Fläche nicht nötig. Die Grenze zwischen

nichtselektiven, nur überströmten Absorbern und selektiven unter- und überströmten Absorbern liegt bei 20-30 m<sup>2</sup> (EFH). Diese "Grenze" hat sich durch mehrere ausgeführte Projekte ergeben (Lit. 2). Durch Einsatz selektiver Bleche die beidseits Wärme an die Kollektorluft abgeben können, lässt sich der Flächenertrag nahezu verdoppeln, die Konstruktion ist aber auch aufwändiger. Die Grösse der zur Verfügung stehenden Fläche, sprach jedoch klar für die einfachere Variante.

### Verglasung

Als Distanzhalter und Tragkonstruktion für die Glashalteprofile wurde eine 6x6 cm Konterlattung verlegt, welche gleichzeitig die Kollektorfelder abtrennen. Jede zweite Lattung diente nur als "Sicherheit" gegen Durchbiegen der mit 1.20 m doch recht breiten Glasfeldern. Damit auch in das Feld des stirnseitigen Dachüberhangs Luft einströmen kann, ist die äusserste Lattung nicht bis an den Rahmen gezogen. Auf jeder zweiten Lattung wurde der sog. "Untergurt" des Glashalteprofiles angebracht, welcher am unteren Ende ein L-Profil aufweist, welches das Glas vor dem Abrutschen bewahrt. Da die Kollektorbahnen 6 m lang waren, mussten die Gläser mit speziellen H-Profilen gestossen werden. Unten und oben wurde die Kollektorkonstruktion mit Gummi-Hohlprofilen abgedichtet. Abschliessend wurde der sichtbare "Obergurt" des Glashalteprofiles montiert. Da die Glashalteprofile unten und oben mit Gummidichtungen versehen sind, ist auch die seitliche Luftdichtheit gewährleistet.

Die Verglasung selber ist normales Solarglas, wie es üblicherweise für Kollektorabdeckungen zur Anwendung kommt.

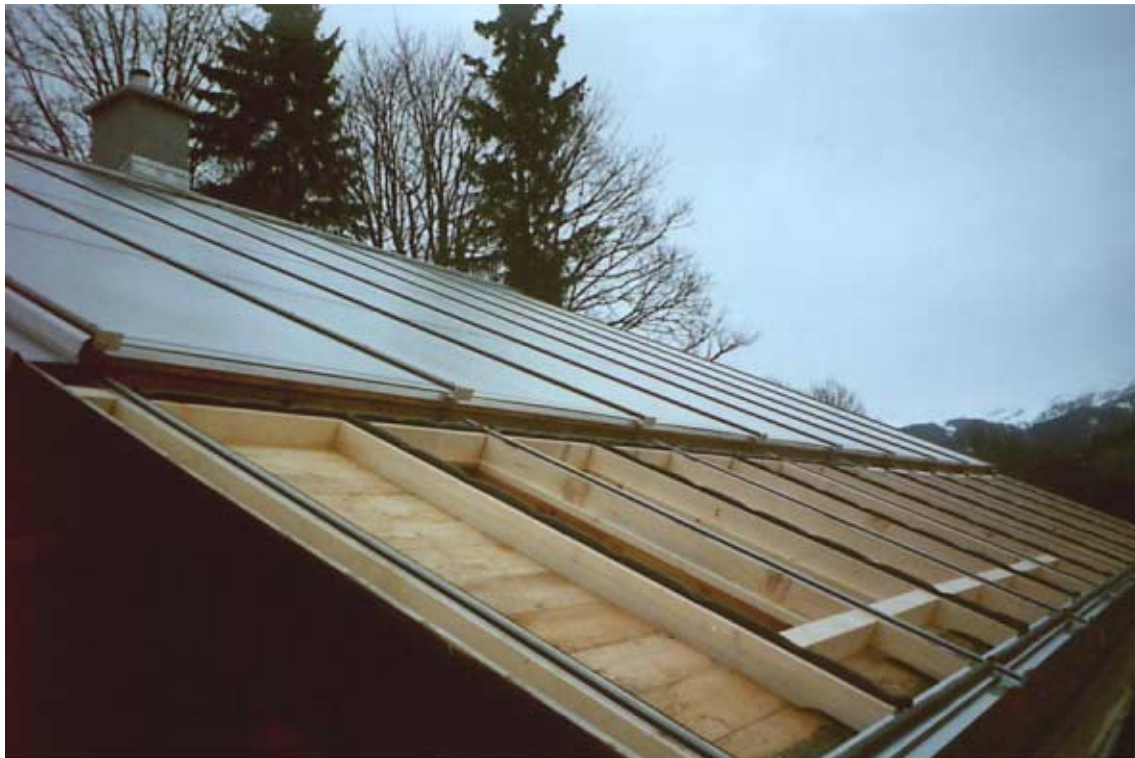


Abbildung 2-3: Der Dachkollektor fertig eingeglast. Gut sichtbar sind die vertikalen Glashalteprofile, der Randabschluss (Spengler) und die horizontalen H-Profile der Glasstösse. Dachüberhang vorbereitet für das Verlegen der semitransparenten PV-module.

### 2.7.1. Verteilkanal

Da die Luft beim Eintritt in den Kollektor gleichmässig verteilt werden muss, braucht es einen Verteilkanal. Dieser befindet sich Kniestock des Daches und wurde durch eine einfache Trennwand mit "Servicetüre" realisiert. Von dort aus führen Bohrungen die Luft durch das Dach in die einzelnen Kollektorfelder. Der hydraulische Abgleich für die gleichmässige Durchströmung der Kollektorfelder wurde durch entsprechendes Drosseln (Holzblenden, nicht in der Abbildung) sichergestellt. Diese Holzblenden wurden nach Inbetriebnahme anhand der sich bei den Durchbrüchen einstellenden Strömungsgeschwindigkeit eingestellt.



Abbildung 2-4: Westhälfte des Verteilkanals für den Dachkollektor; im Kniestock des Daches integriert. Motorisch angetriebene Rücklaufklappe im Vordergrund.

### 2.7.2. Sammelkanal

Dieser wurde erstmalig innerhalb der Kollektorkonstruktion im Firstbereich realisiert. Die Konterlattung reichte nur bis 80 cm an den Giebelabschlussrahmen heran ([Abbildung 2-2](#)). Damit konnte die Solarluft von jedem Kollektorfeld zum einzigen Dachdurchbruch (75x45 cm Ansaugstutzen für den Ventilator) strömen. Diese Konstruktion hat sich sehr bewährt und ist extrem kostengünstig. Je nach Situation, kann sie auch für den Verteilkanal am Fusse des Kollektors Verwendung finden.

## 2.8. Photovoltaik

Die ganze Dachvorsprung ([Abbildung 2-1](#)) wurde für die Verlegung der semitransparenten PV-Module vorbereitet, indem der ganze Dachaufbau zwischen den Sparren entfernt wurde ([Abbildung 2-3](#)). Die Eingesetzten Vollglasmodule haben folgende Daten:

Typ:	Laminat-Doppelglasmodul SOL 200
Zellen:	96 Stk. BP monokristallin grau
Bruttofläche:	15 m <sup>2</sup>
Zellenfläche netto	11.4 m <sup>2</sup>
Leistung:	1600 Wp
Ertrag (Planung):	ca. 1'500 kWh/a
Wechselrichter:	Sunny Boy 2000

Diese relativ teuren Module wurden eingesetzt um die Beleuchtungsverhältnisse (Tageslicht) im Wohnzimmer/Küche zu verbessern, was auch gelang.



Abbildung 2-5: Photovoltaikanlage. Untersicht des Dachüberhanges über dem Balkon.

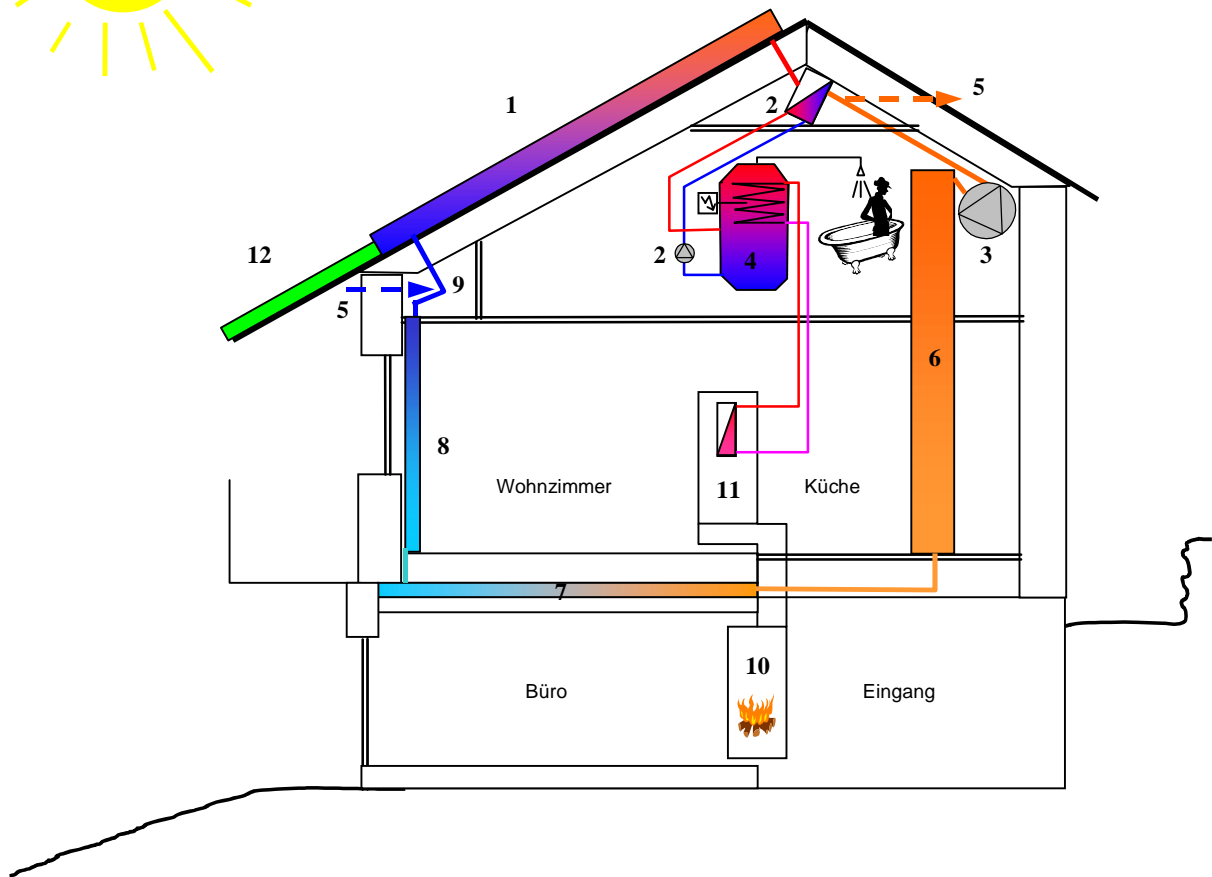
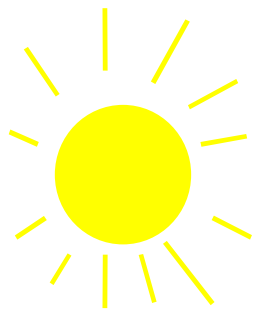
## 2.9. Luftführung und Speicherung



Abbildung 2-6: Durchströmung des Solardaches. Im Vordachbereich gut sichtbar die semitransparente Photovoltaik mit ihrem Lichtspiel an der Fassade.



Abbildung 2-7: Ostseite mit angedeuteter, schematischer Luftführung durch das Innere der Gebäudestruktur (Sommerbetrieb: gestrichelt).



1. Luftkollektoren
2. Luft-/Wassermwärmetauscher und Umwälzpumpe
3. Radialventilator
4. Schichtspeicher für Warmwasser mit Elektro- Notheizung
5. Sommerein- und -auslass
6. Murokauste Bad (OG) und Küche (EG)
7. Hypokauste
8. Murokauste Wohnzimmer
9. Verteilkanal
10. Holzofen-Einfeuerung eingangsseitig
11. Holzofen-Wärmeabgabe mit integriertem Wärmetauscher
12. Photovoltaik

Abbildung 2-8: Prinzipschema der energierelevanten Haustechniksysteme

### 2.9.1. Funktionsbeschreibung

Sonneneinstrahlung wird im Kollektor zu Wärme umgewandelt und es entsteht heisse Luft. Die heisse Luft gibt die gesammelte Wärme an einen Massespeicher ab und fließt abgekühlt zurück zum Kollektor (

Jedes Solarsystem ist wetterabhängig und daher als Alleinheizung ungeeignet, allerdings wird in der Regel ein hoher Deckungsgrad erreicht, sodass nur eine sehr einfache Zusatzheizung (z.B. kleiner Holzofen) benötigt wird.

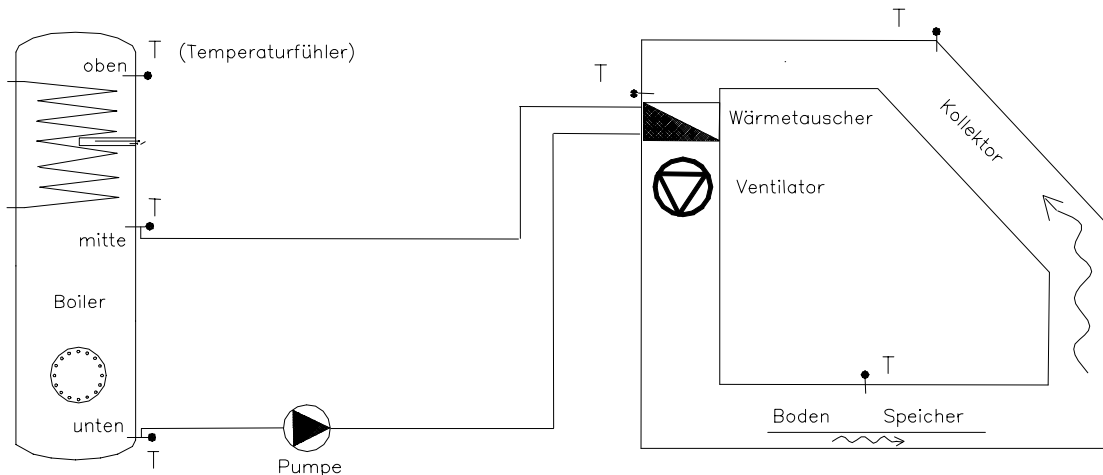


Abbildung 2-9: Schematische Darstellung des solaren Luftkreislaufes und der Warmwasservorwärmung sowie der Anordnung der Temperaturmessstellen

Das solare Luftsystem besteht aus dem Luftkreislauf (rechts) und einem weit gehend autonomen, sekundären Wasserkreislauf (links).

#### Luftkreislauf

Bei Sonneneinstrahlung steigt die Temperatur im Kollektor und die Steuerung nimmt den Ventilator in Betrieb. Die erwärmte Luft wird oben am Kollektors gefasst und durch die Gebäudestruktur zum Massespeicher (z.B. EG -Boden) geführt. Indem die erwärmte Luft durch Hohlräume in der Speicherstruktur strömt, nimmt der Speicher diese Wärme auf. Nach dem Speicher wird die abgekühlte Luft wieder in den Kollektor zurückgeführt.

#### Wasserkreislauf

Direkt nach dem Kollektor ist die Luft am wärmsten. Dort befindet sich ein Luft-Wasser-Wärmetauscher. Ist die Luft dort wärmer als der Boiler unten, so nimmt die Steuerung die Pumpe in Betrieb und Boilerwasser wird im Wärmetauscher erwärmt und wieder in den Boiler "geladen".

#### Steuerung

Die Steuerung sorgt dafür, dass die Kreisläufe automatisch nur dann in Betrieb genommen werden, wenn der Energieertrag positiv ist. Gleichzeitig ermöglicht sie eine Betriebsüberwachung. Die im Schema eingezeichneten Temperaturmessstellen sind dafür eine Voraussetzung.

## 2.9.2. Technik"räume" und Luftführung in der Gebäudestruktur

Für die "Technik" war äusserst wenig Platz vorhanden. Bei der grossen Vorlauföffnung war im Giebelbereich ein kleiner, 1m hoher Schlupf vorhanden, welcher den Einströmkonus, den Wärmetauscher, den Sommerabgang und den Einströmkonus in die Ventilatorzuleitung aufnehmen musste.

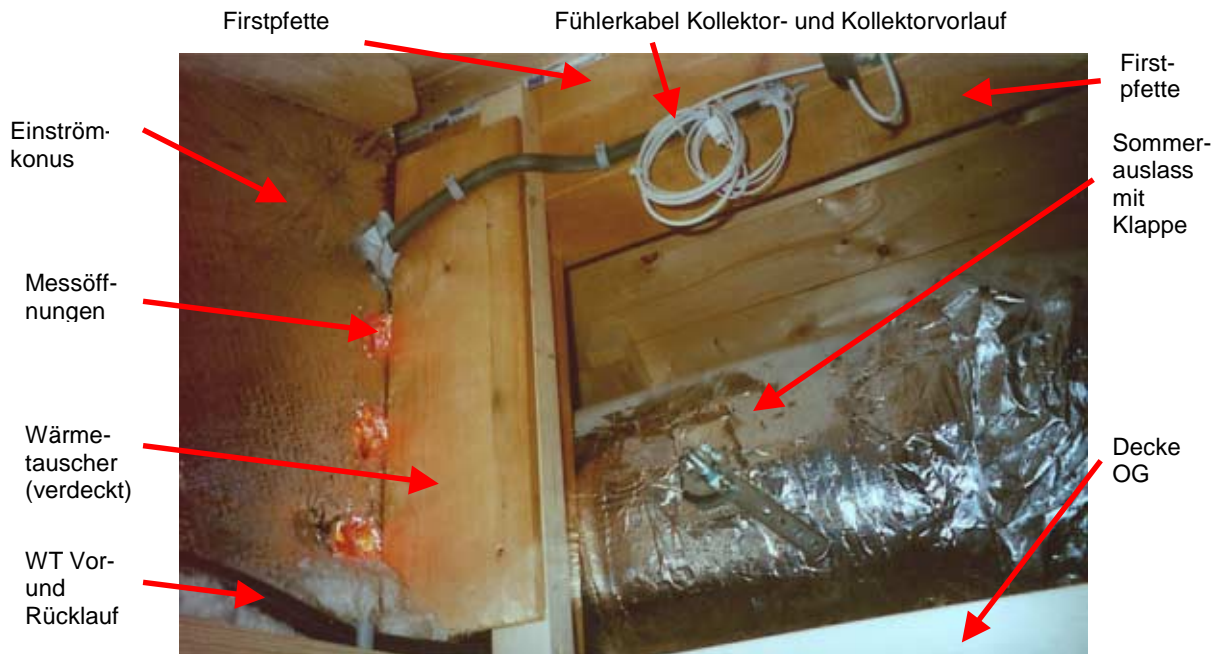


Abbildung 2-10: Giebelschlupf als "Technikraum", Ansicht durch die Serviceöffnung.

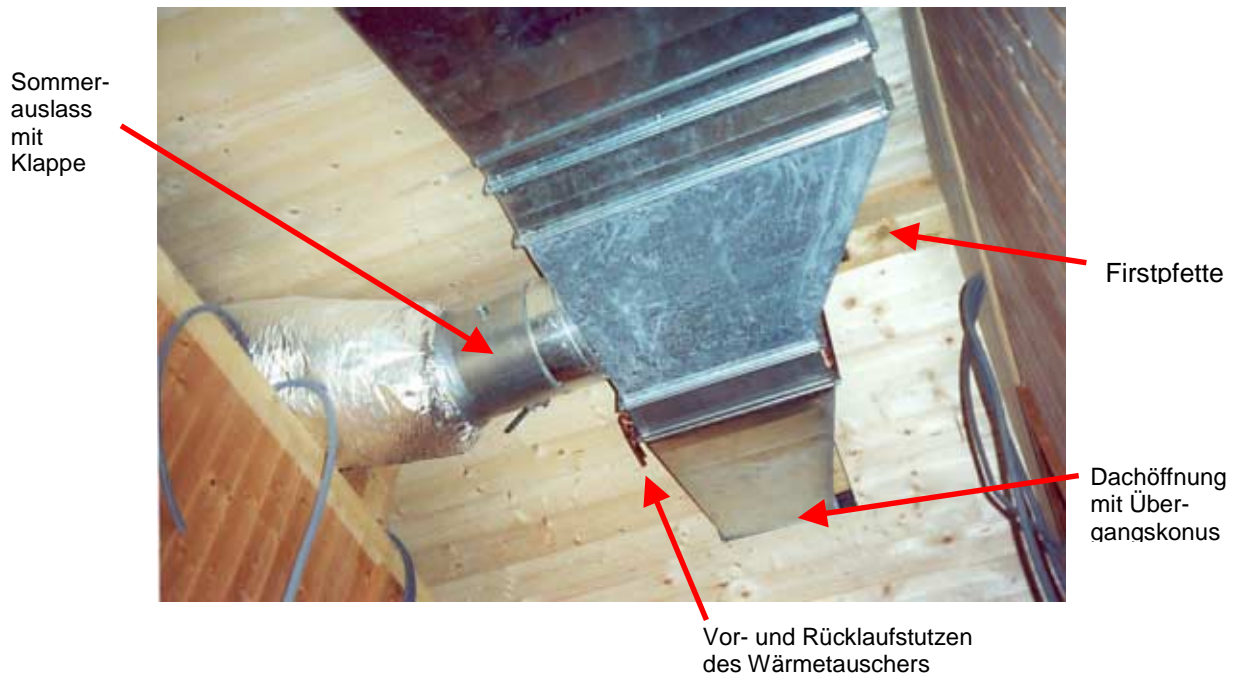


Abbildung 2-11: Giebelschlupf in der Rohbauphase, Ansicht von unten vor der Montage des Schlupfbodens.

Ausser im Dachkollektor wird die Luft ausschliesslich in der Innenstruktur des Gebäudes geführt: Auch der Schallschutz war ein Thema, da die Technikräume innerhalb des Dämmperimeters im eigentlichen Wohnbereich lagen. Nach dem Wärmetauscher im Schlupf (siehe oben) wird die Luft in der abgehängten Tecke der Treppenhaustränge zum Technikraum geführt.



Abbildung 2-12: Technikraum für den Ventilator. Aufnahme von unten gegen die Decke

Dieser nur 70 cm breite und 2 m tiefe "Technikraum" befindet sich als unbeheizter Puffer-raum an der Nordseite des Gebäudes, zugänglich vom Treppenhaus. Er war schon vor der Gebäudesanierung vorhanden und wird nach wie vor als Abstellkammer genutzt.

Die Technik wurde an die Decke montiert und nimmt so keinen Abstellplatz ein. Ausserdem sind die Verbindungen kurz, zum Beispiel zum Verteilkanal vor der Murokauste.

## Murokauste Bad/WC (Sinkzone)

Die einzigste, bereits vorhandene Mauer war die nordseitige Trennwand von Badezimmer(OG) und WC (EG) gegen die dahinterliegenden "Kleinräume". In diesen "Kleinräumen", die Stockwerkversetzt vom Treppenaufgang zugänglich sind, wurde diese Wand mit einer vertikalen Schifflattung (6 cm) und Fermazellplatten aufgedoppelt, damit ein "Lüftführungsebene" entstand.

Im Eingangsbereich (UG) wurde die Decke ebenfalls aufgedoppelt, damit die Luft dort bis zum Bürobereich strömen konnte (Beginn Hypokauste).

Aufwändig sind bei allen Sanierungsprojekten die Durchbrüche durch die diversen Decken und Mauern, damit die Luftführung gewährleistet werden kann. Trotzdem ist dies in der Regel mit vertretbarem Aufwand "machbar".

### 2.9.3. Speicherdecke

Um den Luftverlauf in der Bürodecke (=Wohnzimmerboden) und damit eine Art "Hypokauste" zu realisieren, wurden verschiedene Varianten diskutiert:

- Belassen der alten Decke und Einlegen von Spirorohren zwischen die bestehende Balkenlage. Schüttung mit Lehmgranulat o.ä.  
Vorteil: Kein Abbruch und Neuaufbau  
Nachteil: Nur wenig Speichermasse; aufwändige Verteil- und Sammelkanäle; Ofenkonstruktion (Deckenlast und Durchbrüche) eingeschränkt.
- Einziehen einer neuen Betondecke. Luftführung frei wählbar.  
Vorteil: Genügend Speichermasse und Tragkraft. Luftführung und Ofen flexibel  
Nachteil: Abbruch und Neuaufbau

Nach längerem Abwägen der Vor- und Nachteile entschloss sich die Bauträgerschaft die zwar teurere, aber mit weniger aufwändigen und "schlechten" Kompromissen behaftete Variante "neue Betondecke" zu wählen, was sich als sehr vorteilhaft erwies.

Danach stand die Wahl der Luftführung an. Auch hier wurden zwei Varianten näher in Betracht gezogen:

- Einlegen von Spirorohren in die Betondecke.  
Vorteil: Klassisches und bewährtes Verfahren mit hohem Wirkungsgrad; Betondecke kann sowohl nach unten wie nach oben als Speicher wirken.  
Nachteil: Relativ "dicke" Deckenkonstruktion erschwert Anschlüsse an bestehende "Sachzwänge".
- Luftführung unter der Betondecke.  
Vorteil: Schlanke Deckenkonstruktion.  
Nachteil: Herabgehängte, isolierte Deckenkonstruktion nötig. Keine Speicherwirkung der Decke/Hypokauste für das UG (Büro). Die Isolation ist nötig, da sonst während des Solarbetriebes zu viel Energie "nach unten" abgegeben wird, statt die Hypokauste zu laden.

Aus energetischer und komfortmässiger (Büro) Sicht wäre eindeutig die erste Variante im Vordergrund gestanden. Aus Machbarkeitsgründen wurde aber Variante 2 ausgeführt. Der Nachteil der nicht vorhandenen Speicherwirkung für das Büro wurde in Kauf genommen und hat sich auch bestätigt.

Die Blindleisten (7x7 cm) für die Befestigung der abgehängten Decke (4 cm Pavatex-Isolation) wurden so angebracht, dass sie die Luft gleichmässig verteilen und meanderförmig über die Betondeckenuntersicht führten.

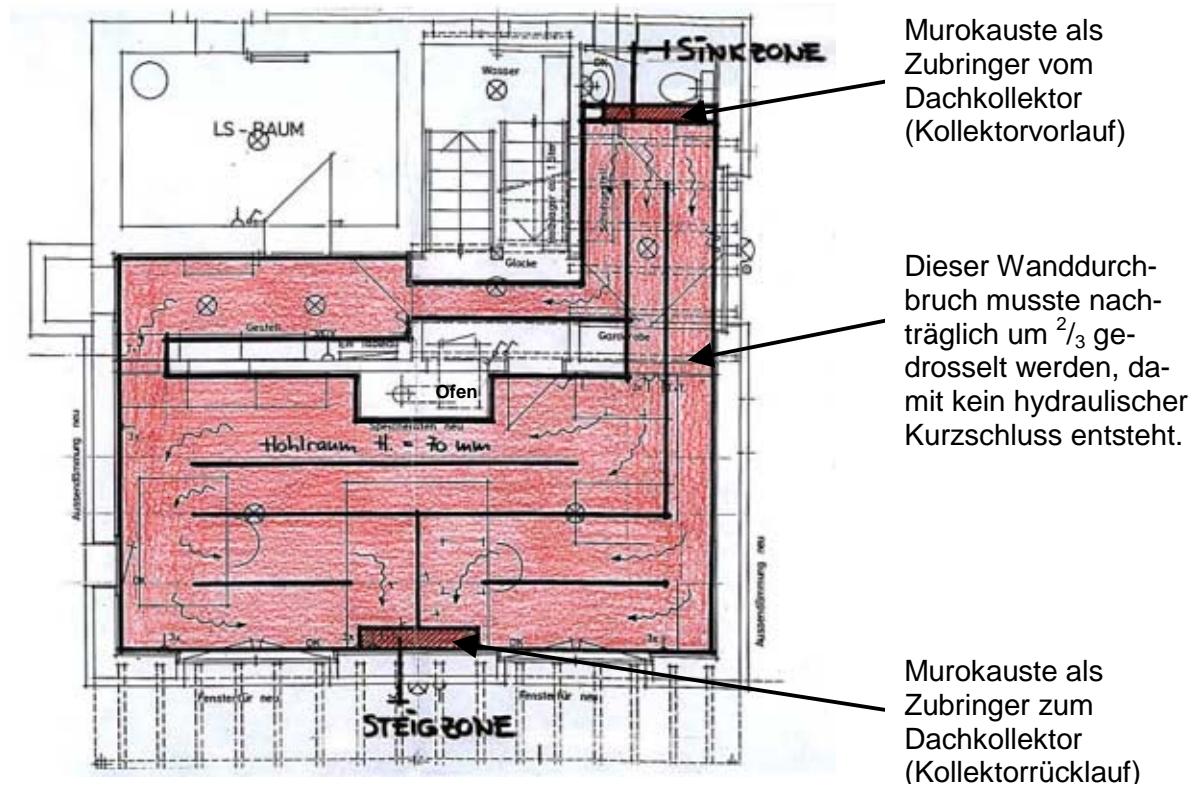


Abbildung 2-13: Luftführung in der Hypokauste

### Murokauste Wohnzimmer (Steigzone)

Damit die Solarluft nach der Hypokauste wieder in den Verteilkanal des Kollektors im Kniestock (OG) gelangt, konnte zwischen den beiden Balkenfenstertüren eine Vormauerung aus Kalksandstein realisiert werden, die den "Rücklaufkanal" beinhaltet und gleichzeitig noch die Restwärme der Luft speichern konnte.



Abbildung 2-14: Murokauste aus Kalksandstein als Rücklaufkanal zum Kollektor. Ansicht vom Wohnzimmer. Gut sichtbar sind ausserdem die vollverglasten Türen auf den Südbalkon und das Licht-/Schattenspiel der Photovoltaik.

## 2.9.4. Ventilator

Dieser befindet sich **nach** dem Wasserwärmetauscher und **nach** dem Sommerauslass in einem Abstell- und Technikraum hinter dem Badezimmer im OG ([Abbildung 2-12](#)). Der Ventilator ist ein handelsüblicher, radialer Kanalventilator KVK 355 der Antlia AG mit folgenden Auslegungsdaten:

Stromaufnahme (Stufe 4 von 5)	300 Watt
Förderleistung (Auslegung)	1500 m <sup>3</sup> /h;
Förderdruck (Auslegung)	150 Pa

Tabelle 2-1: Ventilatordaten bei Auslegung

Stromaufnahme (Stufe 3 von 5)	220 Watt
Förderleistung	1490 m <sup>3</sup> /h
Förderdruck	40 Pa
Kollektorfläche (Absorber)	60 m <sup>2</sup>
Spez. Förderleistung	25 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>

Tabelle 2-2: Ventilatordaten gemessen

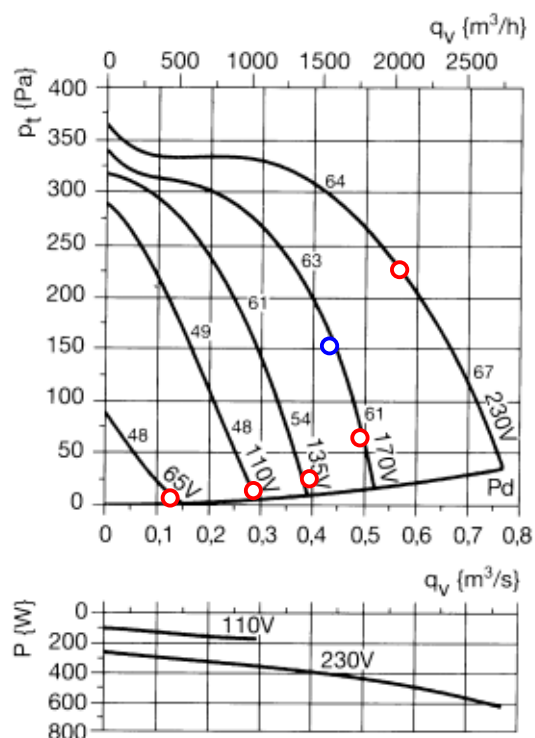
Abbildung 2-15: Ventilator Kennlinien

Eingezeichnet ist der Auslegepunkt ●, sowie die Messwerte des Volumenstroms ○ bei verschiedenen Betriebsspannungen, deren Verbindung die sog. Anlagekennlinie ergibt.

Deutlich ist der wesentlich geringere Druckverlust der Anlage, ein Zeichen für sorgfältige Planung und Ausführung. Dies erlaubt es, statt der Ventilatorstufe 4 die Stufe 3 zu benutzen, was weniger Lärm und Energieverbrauch bedeutet.

Das nebenstehende Diagramm zeigt die Leistungsaufnahme für zwei verschiedene Betriebsspannungen (Ventilatorstufen), die anderen Stufen müssen interpoliert werden.

**Kennlinien / Caractéristiques**



Die spezifische Förderleistung pro  $\text{m}^2$  Kollektorfläche liegt mit rund  $25 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$  doch wesentlich unter der Faustregel ( $40 - 80 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$ ). Da es sich um einen "low-tech" Kollektor handelte, ist sowieso eher der untere Bereich der Faustregel anzustreben. Da die relativ grosse Kollektorfläche ja gegeben war und die Anlage auf Ventilatorstufe 3 betrieben wurde, ergaben sich folgende Vorteile:

- geringerer Stromverbrauch des Ventilators
- Höheres Temperaturniveau der Kollektorluft
- Vollständigere Wärmeabgabe im Speicher
- Kleineres Ventilatorgeräusch

Als Nachteil muss ein geringfügig kleinerer Gesamtenergieertrag (- ca. 5 %) in Kauf genommen werden, da der Kollektor auf einem relativ hohen Temperaturniveau betrieben wird, was die Verluste desselben erhöht. Angesichts des höheren Temperaturniveaus, welches u.a. für die Warmwasservorwärmung wesentlich ist, ist dies aber sehr vorteilhaft..

#### 2.9.5. Pumpe

Die kleinste am Markt erhältliche Umwälzpumpe für Warmwasserzirkulation (25 W) reicht in der Regel bei sorgfältiger Planung und Ausführung. Ein einfacher Durchflussmesser/-einsteller ist unabdingbar, um die Anlage im optimalen Betriebspunkt (1 lt/min) zu betreiben.

### 2.9.6. Solarboiler

Analog zu einem "normalen" Solarboiler. 500 lt. mit Nachheizregister (elektrisch) auf 2/3 Höhe. Solarer Vorlauf knapp unterhalb der Mitte (ohne Wärmetauscher da Trinkwasser!!) Solarer Rücklauf ganz unten. Bei diesem Projekt kam ein Edelstahlboiler der Firma Feuron AG zum Einsatz, bei dem die Stutzenart und -anordnung sowie die Registergröße des Wärmetauschers frei wählbar sind.



Abbildung 2-16: Solarboiler. Ansicht vom Badezimmer

Am rechten Rand des Solarboilers ist die isolierte Vorlaufleitung des Ofenregisters sichtbar. Das dafür nötige offene Expansionsgefäß ist im Badezimmer oberhalb des Solarboilers liegend montiert, ist somit ebenfalls "sichtbar" und gibt seine Abwärme ans Badezimmer ab.

Jedes Badezimmer ist generell ein Ort mit erhöhten thermischen Komfortanforderungen (fehlende Bekleidung, Verdunstungskälte), sodass hier erst recht ein Temperaturniveau während der Benützung von mindestens 20 °C unbedingt nötig ist. Erschwerend kommt hinzu, dass Badezimmer meist im Norden, Osten oder Westen eines Gebäudes platziert werden. Bei früheren Messprojekten hat sich dieser Umstand als kritisch erwiesen. Aus diesem Grunde wurde der Warmwasserboiler (einzige, trotz lückenloser und guter Isolation rund um die Uhr in Betrieb stehende 'Abwärmequelle') im Badezimmer platziert. Dies bedingt ein Um-

denken und 'sich daran gewöhnen' der Bauträgerschaft. Hier und bei allen anderen Bauträgerschaften, bei denen dieses 'Setup' realisiert wurde, hat man sich daran gewöhnt und ist mit dem thermischen Komfort im Badezimmer sehr zufrieden. Die Bewohner des Haus Lärche in Braunwald schätzen die unmittelbar Information über das Temperaturniveau im Boiler.

### 2.9.7. Zusatzheizung

Auf eine Zentralheizung konnte verzichtet werden. Ein Einzelofen in "Splittausführung" reicht zur Nachheizung des ganzen Hauses bei mehrtägigem, kaltem, bedecktem Wetter. Eingefeuert wird gleich nach dem Eingangsbereich im UG, wobei der Brennraum in einen Ofenkörper im Büro eingebaut ist. Die Rauchgase werden direkt in den Speicher und Wärmenutzungsteil im EG (Wohnzimmer) geführt und passieren dort zuerst wahlweise den Wasserpumpe für den Boiler (Wasserleitungen im Bild rechts) oder einen eingebauten Backofen. Der bestehende Treppenaufgang vom UG ins Erd- und Obergeschoss (sichtbar im unteren Bild rechts) dient der Steigwärme in die Schlafräume und ins Badezimmer.



Abbildung 2-17: Ofensatellit im Wohnzimmer. Primärer Speicher und Wärmeabgabe, sowie integriertem Backofen und Warmwasserregister.



Abbildung 2-18: Die Holzofenzusatzheizung. Einfeuerteil im UG. Links: Ansicht im Rohbau vom Büro aus. Rechts: Fertig vom Treppenhaus aus.

Diese Ofenkonstruktion hat sich bewährt, kann doch sowohl das Büro im Untergeschoss als auch das darüber liegende Wohnzimmer von der Wärmeabgabe direkt profitieren. Ausserdem kann im UG eingefeuert werden, was dank der Nähe zum Holzvorrat und der "Schmutzbelastung" sehr einfach und komfortabel ist. Nachteilig ist der stolze Preis eines solchen "Superofens" (siehe Kapitel [Wirtschaftlichkeit](#)).

Es handelt sich um einen typischen Speicherofen. Die dabei üblicherweise (und auch hier) verwendeten Schamott - Steine haben gegenüber anderen Ofenbaumaterialien wie z.B. Speckstein die Eigenschaft, dass die Wärme länger braucht, bis sie an den Raum abgegeben werden kann (geringere Wärmeleitfähigkeit). Wird der (kalte) Ofen in Betrieb genommen braucht es relativ lange bis der ganze Ofen durchgewärmt ist und die volle Wärmeabgabeleistung erreicht.

Wird zulange mit der Inbetriebnahme das Ofens zugewartet, weil z.B. das Temperaturniveau im Wohnzimmer (EG) noch ausreichend ist, fällt die Temperatur im Büro UG bereits unter 20 °C. In der Folge ist, auch bei starkem Einfeuern des Ofens, der Komfort im Büro erst am folgenden Tag wieder hergestellt, dann aber ausreichend.

Das optimale Material für einen Holzspeicherofen hat sowohl eine hohe Speicherkapazität als auch eine hohe Wärmeleitfähigkeit. In beiden Aspekten sind Natursteine wie z.B. Speckstein dem Schamott überlegen.

## 2.10. Warmwasserbereitung

Durch den Einbau eines Luft-Wasser-Wärmetauschers ([Abbildung 2-10](#)) unmittelbar nach dem Firstsammelkanal konnte zusätzlich auf einfachste Weise eine sehr effiziente solare Wassererwärmung realisiert werden. Da der Wärmetauscher innerhalb des Dämmperimeters des Hauses liegt, besteht (im Mittelland) keine Frostgefahr und der Wärmetauscher kann direkt vom Trinkwasser des Boilers (ohne Glykolvollkreislauf!) betrieben werden. Für "höhere Lagen" ist die Solarsteuerung optional mit einer Frostschutzschaltung ausgerüstet, welche die Temperatur des Wärmetauschers immer knapp über dem Gefrierpunkt hält, indem die Brauchwasserpumpe für kurze Zeit in Betrieb geht. Dies war in Braunwald (1300 M.ü.M.) doch einige Male der Fall.

Der Wärmetauscher muss folgenden Randbedingungen genügen:

- Maximale Hebung des Temperaturniveaus des Boilerwassers. Dies bedingt einen Gegenstromwärmetauscher. Minimaler Durchfluss (low flow), der aber auch nicht zu klein sein darf (umkippen in laminare Strömung wäre schlecht für den Wärmeübergang). Platzierung des Tauschers an der wärmsten Stelle im Solarkreis (kurz nach dem Kollektor).

Im Einfamilienhaus kommt ausschliesslich die rein serielle Verschaltung der Rohrreihen in Frage, wobei pro Lamellenpaket zwei (eine steigende und eine fallende), vier oder sechs möglich sind. Dies garantiert eine einfache, kostengünstige Anlage. Im ausgeführten Objekt wurden 4 Rohrreihen eingesetzt. 6 wären noch etwas besser, der wasserseitige Rohrreibungswiderstand jedoch so gross, dass die kleinsten am Markt erhältlichen Zirkulationspumpen (Trinkwasserqualität) überfordert sind.

- Minimaler luftseitiger Strömungswiderstand. Dieser nimmt quadratisch mit der Luftgeschwindigkeit und linear mit den Reibungsflächen zu. Beides sorgt aber im Gegenzug für eine hohe Wärmeübergangsleistung. Zu beachten ist auch der Sommerfall, wenn ohne Ventilatorhilfe nur mit dem thermischen Auftrieb gearbeitet werden soll. Eine heikle Optimierung. Im vorliegenden Fall wurde ein Gesamtquerschnitt von 60x 45cm (0.27 m<sup>2</sup>) und ein Lamellenabstand von 5 mm gewählt.

Grundlage für die Dimensionierung war die Auslegung des Herstellers (WT-Systemtechnik) welcher aufgrund der Auslegungsdaten:

	Luft	Wasser
Eintrittstemperatur	50 °C	15 °C
Volumenstrom	1600 m <sup>3</sup> /h	60 lt/h

Folgende "Leistungsdaten" ermittelte:

Abmessung mm	600x450x150
Anströmfläche m <sup>2</sup>	0.27
Rohrreihen in Serie	4
Leistung kW	2.43
Druckverlust Luft Pa	37.4
Druckverlust Wasser kPa	11.1
Temperatur Luft Austritt	44.7
Temperatur Wasser Austritt	49.7

Tabelle 2-3: Wärmetauscherauslegung.

Die beim 4-Reiher resultierenden Wasseraustrittstemperaturen sind theoretisch schon sehr nahe an der Lufteintrittstemperatur. In der Praxis stellen sich hingegen etwas tiefere Temperaturen ein, dennoch ist die Gegenstromcharakteristik deutlich ausgeprägt.

Auch bei der Luftaustrittstemperatur stellen sich in der Praxis eher ca. 3 K tiefere Werte ein, was der prinzipiellen Eignung aber keinen Abbruch tut.

## 2.11. Betriebsarten

Grundsätzlich wird zwischen Winterbetrieb (Gebäudetemperierung und Warmwasservorwärmung) und dem Sommerbetrieb (ausschliesslich Warmwassererwärmung) unterschieden.

### 2.11.1. Winterbetrieb (geschlossener Kreislauf)

Normalbetrieb gemäss Funktionsbeschreibung (Kapitel [2.9.1](#)) Hier liegt die Priorität eindeutig auf der Gebäudetemperierung. Der Ventilator "saugt" die in der konvektiven Fassade erwärmte Luft zuerst durch den Wärmetauscher, um das höchste Temperaturniveau für die Warmwasserbereitung nutzen zu können. Leicht abgekühlt (5 -10°K) passiert die Luft den Ventilator und wird in die Murokauste des Badezimmers und der darunter liegende Küche geführt. In der aufgedoppelten und isolierten Hohldecke des Eingangs erreicht die Luft die Betonspeicherdecke. Dort wird der Hauptteil der Wärme abgegeben. Anschliessend fliesst die Luft durch die Murokauste im Wohnzimmer zurück in den Verteilkanal im Kniestock, wo die Luft sich auf die ganze Gebäudebreite gleichmässig verteilt wird und wieder in den Kollektor eintritt.

### 2.11.2. Sommerbetrieb (offener Kreislauf)

Der Kreislauf muss geöffnet werden, damit auf jeden Fall vermieden wird, dass warme Luft durch das Gebäude zirkuliert. Dazu wird sowohl die Serviceklappe des Verteilkanals ([Abbildung 2-4](#)) als auch ein Fenster des anschliessenden Raumes im OG geöffnet ([Abbildung 2-7](#)).

Die im Kollektor erwärmte Luft muss dann unmittelbar nach dem Wärmetauscher wiederum nach aussen geleitet werden, was mit dem Sommerauslass gewährleistet ist, falls dieser geöffnet ist ([Abbildung 2-10](#)).

Auf diese Weise wird bei Sonnenbestrahlung "rein thermisch" genügend Auftrieb bzw. Luftumsatz generiert, um die Warmwasseraufbereitung via Wärmetauscher sicherzustellen. Der Ventilator wird also an der Solarsteuerung dauernd ausser Betrieb genommen, womit auch die Rücklaufklappe im Verteilkanal ([Abbildung 2-4](#)) geschlossen bleibt.

Im Sommer könnte theoretisch auch gekühlt werden, indem alle Klappen offen stehen, so dass die, durch Abstrahlung an den Nachthimmel, kalte Kollektorluft in die Hypokauste "fällt" (kalte Luft ist schwerer als warme). Eine Kühlung ist jedoch auf dieser Lage nicht notwendig.

### 2.11.3. Regelung

Wie für ein 'übliches' solares Wassersystem genügt eine einfache 2-Punkt-Temperaturdifferenz-Regelung für die Inbetriebnahme des Luftsystems (Ventilator) und eine eben solche für den Warmwasserladekreis. Obwohl beide Kreise voneinander abhängen, ist es sinnvoll, diese weitgehend unabhängig von einander zu steuern und mit den Einstellungen sicherzustellen, dass die Boilerladepumpe nur in Betrieb geht, wenn es beim Wärmetauscher "warm genug ist". Es handelt sich um eine klassische 2-Kreis Regelung vom Typ "2 Kollektorfelder - 2 Speicher", wobei das zweite "Kollektorfeld" der Luft-Wasser-Wärmetauscher ist. Die zum Einsatz gelangte Steuerung UVR 64 (6 Temperaturfühler – 4 Schaltkreise) bietet mehr als das unbedingt Notwendige zu einem annehmbaren Preis:

- Boilerübertemperaturwarnung
- Einstellbare Hysterese (Differenz zwischen Einschalt- und Ausschalttemperatur)
- Solarboilertemperaturen auf 3 Niveaus
- Datensicherung und –auslesen auf PC

Darüber hinaus kann die Programmierung sehr flexibel den Bedürfnissen angepasst werden.

#### **Fühlerplatzierung zur Ansteuerung des Luftkreises:**

**Kollektorfühler:** Der Kollektorfühler wurde am wärmsten Ort im Kollektor bei der Ansaugöffnung angebracht ([Abbildung 2-6](#)), so dass er während des Kollektorstillstandes die aufsteigende Wärme gut zu spüren bekommt, und so, dass er bei Kollektorbetrieb eine einigermaßen repräsentative Kollektorlufttemperatur misst. Wichtig ist dabei, dass er nicht der direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt ist.

**Speicherfühler:** Befindet sich in einem Elektroleerrohr, welches durch den luftführenden Luftkreis Teil der Hypokauste etwas in die Betondecke eingelassen wurde.

#### **Fühlerplatzierung zur Ansteuerung des Wasserkreises:**

**Kollektorvor-  
lauffühler** Der Vorlauffühler wurde im Luftkanal kollektorseitig direkt auf die Wärmetauscherlamellen montiert ([Abbildung 2-10](#)). So wird dort die nutzbare Lufttemperatur (Mischtemperatur) gemessen. Diese Temperatur entspricht nicht in jedem Fall der Kollektortemperatur (Fühlerposition, Kanalverluste, usw.) Die Messung direkt auf der Lammellenoberfläche ist zudem für die Realisation eines adäquaten Frostschutzes wichtig.

**Speicherfühler:** Boiler unten – direkt im Stutzen des Wärmetauscherrücklaufes. Misst den Rücklauf während des Betriebes und das Boilertemperaturniveau während des Stillstandes.

#### **Fühlerplatzierung zur Betriebsüberwachung und -optimierung:**

**Speicherfühler:** Boiler mitte - direkt im Stutzen des Wärmetauschervorlaufes. Misst den Vorlauf während des Betriebes und das Boilertemperaturniveau während des Stillstandes.

Boiler oben – Misst das Boilertemperaturniveau (keine Steuerfunktion, nur Übertemperaturwarnung).

(Fühlerplatzierungen siehe auch [Abbildung 2-9](#))

### 3. Beschreibung der Messdatenerfassung und -auswertung

Für eine Erfolgskontrolle im Rahmen eines P&D Projektes wurde ein kostengünstiger, pragmatischer Ansatz gewählt, der mit möglichst kleinem Aufwand eine möglichst gute Aussage zur Energiebrillanz und zum Systemverhalten ermöglicht.

#### 3.1. Klimadaten

Diese wurden nach Abschluss des Messprojektes von der nächstgelegenen ANETZ-Station (Linthal) bezogen. Erhältlich ist das Stundenmittel der Aussentemperatur und die Stunden-summe der Globalstrahlung horizontal. Diese Daten werden in das Programm "Meteonorm" übernommen und von diesem in ortspezifisch korrigierte Daten (Höhenlage für Aussentemperatur und Kollektorausrichtung für die Globalstrahlung) umgerechnet. Die Genauigkeit solcherart errechneter Daten ist nicht sehr hoch, erübrigt aber die separate Erfassung vor Ort und das Systemverhalten kann mit ausreichender Verlässlichkeit nachvollzogen werden.

#### 3.2. Anlagedaten

Hier erweist es sich von grossem Vorteil, wenn die Daten der Steuerung übernommen werden können, was bei der verwendeten Steuerung auf sehr einfache und kostengünstige Weise realisiert werden konnte. Damit stehen zur Verfügung ([Abbildung 2-9](#)):

1. Kollektortemperatur
2. Kollektorvorlauftemperatur beim Wärmetauscher(WT)
3. Boden(Speicher)temperatur
4. Boilertemperaturen: unten – zugleich WT-Rücklauftemperatur
5. Boilertemperaturen: mitte – zugleich WT-Vorlauftemperatur
6. Boilertemperaturen: oben

Der Benutzer kann zudem entscheiden, ob die Daten in einem festen zeitlichen Rhythmus oder "Veränderungsabhängig" registriert werden. Letzteres kam zum Einsatz, da es die Datenmenge beschränkt, aber wenn etwas passiert (sich eine Temperatur um mehr als 3 °K verändert) in kurzen Abständen aufzeichnet. Dies ermöglicht eine sehr detaillierte und genaue Betriebsüberwachung.

Zudem werden alle Schaltvorgänge (Zustand der Steuerung) sekundengenau registrier, insbesondere:

1. Ein/Aus Ventilator
2. Ein/Aus Pumpe

Diese Zustandsänderungen lösen jedes mal die Registrierung einen kompletten Datensatzes (Zustände und Temperaturen) aus.

### 3.3. Raumtemperaturen

Dafür kamen 3 Mikrologger (Hobo) von der Grösse einer Zündholzschachtel zum Einsatz, welche die Aufzeichnung einer internen und einer externen Temperatur (Anschluss eines Fühlerkabels) ermöglichten:

1. Wohnzimmer (OG)
2. Büro (UG)
3. Badezimmer und Kollektorrücklauf

Aufgezeichnet wurde in einem festen 30 Minuten Rythmus

### 3.4. Messgenauigkeit

- Mikrologger: Halbleiterfühler, Temperatur intern  $\pm 0.7^{\circ}\text{K}$ , extern  $\pm 0.5^{\circ}\text{K}$
- Steuerung: Halbleiterfühler, Temperatur extern  $\pm 1.0^{\circ}\text{K}$

Das absolute Genauigkeit des Zeitsignales ist von untergeordneter Bedeutung, da es nicht so wichtig ist wann genau ein Ereignis stattfand, sondern, dass die PC-Uhr beim Auslesen "genau" ist. Bei den relativen Zeitdauern (Zeitdifferenz zwischen zwei Ereignissen) kann von einer Genauigkeit von  $\pm 1$  sec ausgegangen werden.

Die Genauigkeit weitere Parameter die per Handablesung (Zählerstände, Waage) ermittelt wurden und in Form von Protokollen vorliegen sind (Schätzwerte):

- Elektrizitätsverbrauch:  $\pm 5 \%$
- Holzverbrauch:  $\pm 10 \%$

### 3.5. Messdatenauswertung

Vorab die ereignisorientierte und daher zeitvariable Aufzeichnung der Steuerungsdaten machte es notwendig, die Daten in einem x/y-Diagramm darzustellen, da nicht nur der Wert, sondern eben auch die Zeit eine "Variable" ist. Dies ganz im Gegensatz zu einem Rubriken-diagramm, indem nur Daten mit identischen Zeitintervallen sinnvoll dargestellt werden können.

Nur die Klimadaten (Stundenintervall) und die Raumtemperaturen (Halbstundenintervall) lagen in Form solcher Rubriken vor. Da aber alle Daten gemeinsam dargestellt und ausgewertet werden müssen, ist dies nur in einem x/y-Diagramm möglich.

Als "Software" war Excel 97 im Einsatz, welches die Darstellungsmöglichkeit eines x/y-Diagramms bietet und auch die nötigen Rechenleistungen (Formeln) zur Auswertung bietet.

Für die Bestimmung von Energiewerten ist ein Zeitintegral zu bilden. Dieses muss daher im vorliegenden Falle auch mit den variablen Zeitintervallen zwischen zwei Messungen geschehen, was einfach zu realisieren war. Schwieriger ist das Übertragen von Fixintervalldaten in die zeitvariablen Tabellen zur Auswertung. Dies war für die Kollektorrücklauftemperatur nötig um den Energieertrag des Kollektors zu bestimmen. Die Lösung war ein sogenanntes "Makro", ein programmierter Ablauf welcher jeweils die am ehesten zeitlich passenden Halbstundenwerte in die entsprechenden Zeilen der zeitvariablen Steuerungsdatentabelle kopierte. Dieser Vorgang ist sehr zeitaufwändig (2h für einen Monat) kann aber vollautomatisch im Hintergrund ablaufen, während man in einem anderen Programm (z.B. Word) arbeitet (Excel selber ist während der Ausführung des Makros blockiert).

## 4. Energiebilanz

### 4.1. Klimavergleich

Kollektorerträge und Energieverbrauchswerte sind nur aussagekräftig und vergleichbar, wenn angegeben wird, unter welchen klimatischen Bedingungen sie zu Stande gekommen sind und ob diese dem langjährigen Mittel für die Standortregion etwa entsprechen.

In [Diagramm 4-1](#) sind die für ein stark auf die Solarenergiegewinnung ausgerichtetes Niedrigenergiehaus wesentlichen Klimaparameter, Solarstrahlung "Global Kollektor" (entspricht der Einstrahlung auf die Kollektorebene) sowie die Aussentemperatur, mit den Standardwerten aus "Meteonorm" (Lit. 1) verglichen. Es wurden die Messdaten 2002 der nahen ANETZ-Station Linthal "hochgerechnet". Obwohl diese Station "horizontale Luftlinie" nur wenige Kilometer vom Objekt entfernt ist, ist der Höhenunterschied (785 m) und der Unterschied in der Beschattungssituation beträchtlich. Dies zeigt die Grenzen dieses "Verfahrens" deutlich.

Ausserdem musste die Horizontabdeckung berücksichtigt werden. Dazu wurde ein Beschattungsdiagramm (Fusspunkt Fassade) erstellt. Der "nahe" Horizont ist unkritisch. Der "ferne" Horizont liegt, bis auf das markante Wahrzeichen von Braunwald - den "Ortstock", ebenfalls unterhalb einer kritischen Abdeckung von etwa 10°. Der Ortstock beschattet das Gebäude im Winterhalbjahr am späteren Nachmittag, sodass zwischen Oktober und März die Sonne ab 15:00 bereits untergeht. Von den "nutzbaren Sonnenstunden" wird dadurch etwa eine Stunde am späteren Nachmittag "abgeschnitten". Der Ertragsverlust im Winterhalbjahr wird auf ca. 10 % geschätzt. Die Horizontlinie könnte in "Meteonorm" eingegeben und in der Berechnung berücksichtigt werden. Dies zeitigt aber nicht immer plausible Resultate ([Lit. 2](#)) und da der Horizonteinfluss relativ klein ist wurde darauf verzichtet, umso mehr als die Beschattungssituation der Referenzstation (Linthal) unbekannt war.

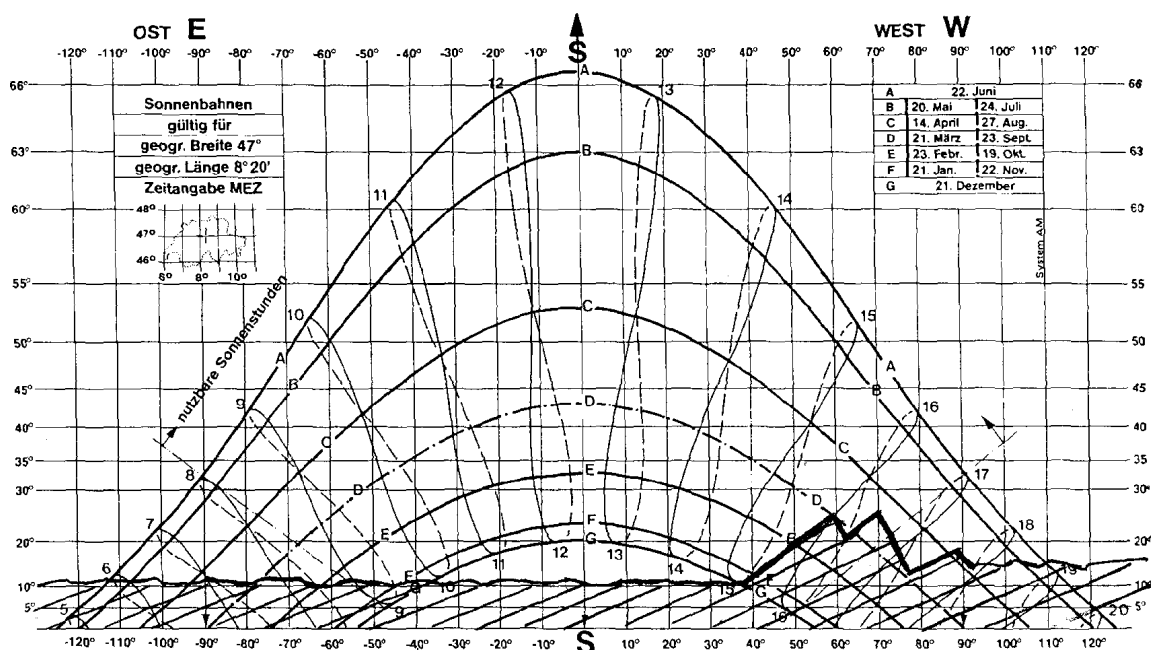


Abbildung 4-1: Beschattungssituation des Objekts [Beschattungsdiagramm1 300dpi.gif]

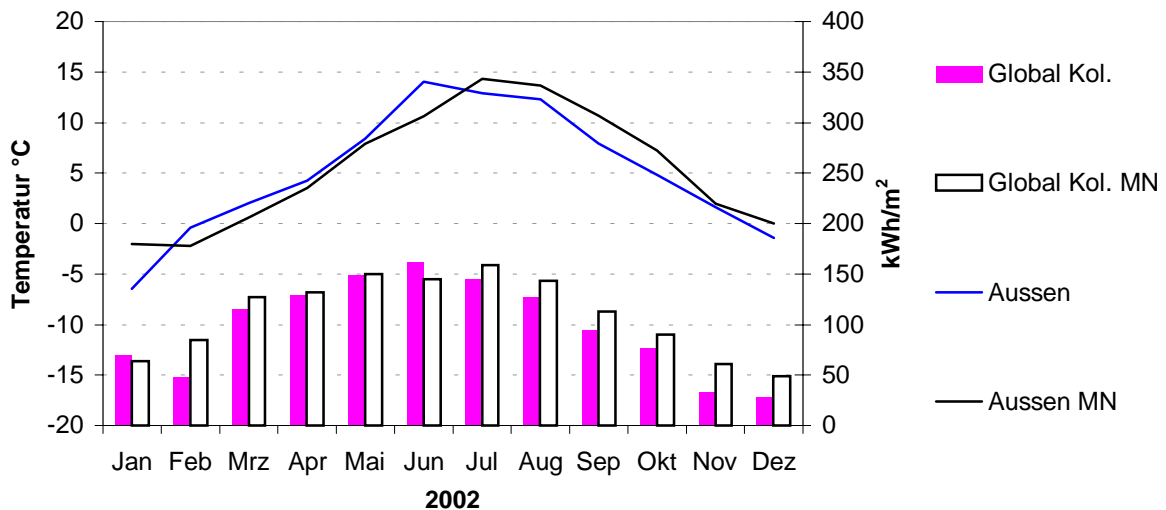


Diagramm 4-1: Vergleich der gemessenen Klimawerte Sonnenbestrahlung und der Aussentemperatur mit den langjährigen Mittelwerten nach Meteonorm (MN) [BW-monatsauswertung, Klima]

Januar	sehr kalt
Februar	mild aber sehr wenig Sonne
Juni	sehr warm und sonnig
Juli bis Oktober	kühl und eher wenig Sonne
November und Dezember	sehr wenig Sonne

Die Heizsaison (für konventionelle Bauten) reicht in diese Höhe von September bis Mai. 2002 war diese Periode verglichen mit dem langjährigen Mittel deutlich kühler (- 0.8 K). Auch die Solarstrahlung war unterdurchschnittlich (-14 %), so dass bezüglich Aussentemperatur und Strahlungsangebot von einer "schlechten" Periode gesprochen werden kann.

**Fazit:** Die Klimawerte zeigen eine eher kalte und sonnenarme Heizperiode. Der "Sommer" entspricht eher dem Mittel. Dies bedeutet, dass der gemessene Heizenergieverbrauch (Holz) eher hoch ist, bzw. dass in Folgejahren vom Klima her mit tendenziell niedrigeren Verbräuchen gerechnet werden kann.

## 4.2. Beheizungs- bzw. Raumtemperaturniveau

Ebenfalls ein wichtige Randbedingung ist das sogenannte 'Beheizungslevel' des Hauses, bedeutet doch eine Senkung der Raumtemperaturen im Winter um 1 K, eine Reduktion des Heizenergiebedarfes um 6 %.

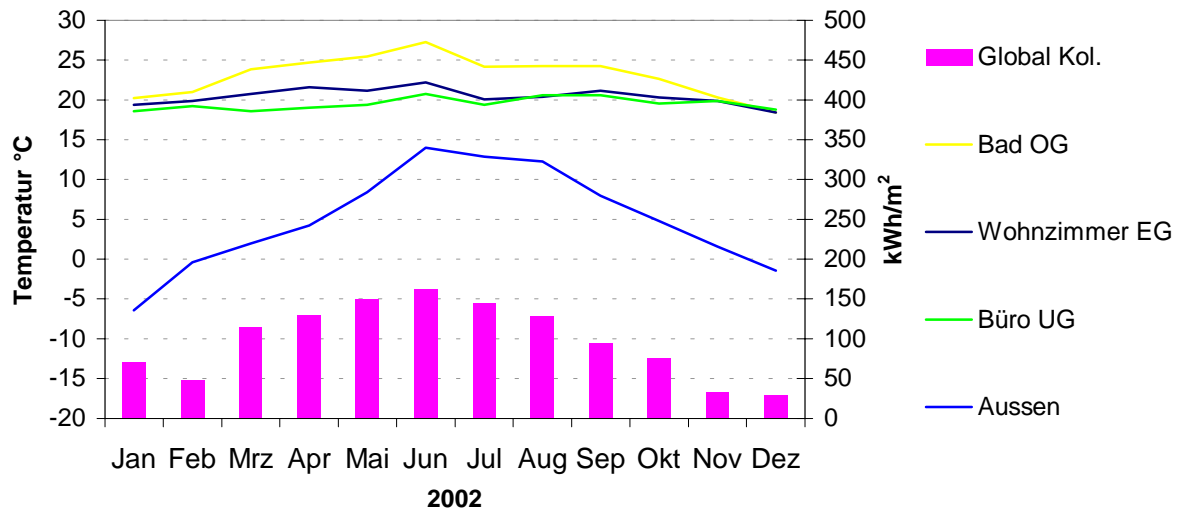


Diagramm 4-2: Raumtemperaturen (Monatsmittel) und die bestimmenden Klimaparameter.

Generell kann von einer Ausreichenden Beheizung des Hauses ausgegangen werden. Besonders im Badezimmer war es überdurchschnittlich warm, was von den Bewohnern sehr geschätzt wurde und vor allem auf den dortigen Solarboilerstandort und die Murokauste zurückzuführen ist. Der Solarboiler ist eine ständige Abwärmequelle, die Murokauste vor allem im Solarbetrieb, weil dort, direkt inter dem Ventilator, ein hohes Temperaturniveau vorhanden ist.

Etwas problematisch ist der Dezember. Neben einer 3-tägigen Abwesenheit der Bewohner und der sehr dürftigen Solareinstrahlung, ist doch eher "knapp" geheizt worden.

Ein Sonderfall stellt das "Büro" im Untergeschoss dar. Dieses leidet im Winter an "Untertemperatur", was diverse Gründe hat:

- Der Raum hat auch gegen "hinten", Keller, Eingang und Treppenhaus Wärmeverluste.
- Kälte sammelt sich am tiefsten Punkt.
- Die Aussenwände sind zwar isoliert, mit 10 cm Aussen und 3 cm Innen aber eher bescheiden. Die Masse ist durch die Innenisolation für die Tagesschwankungen nicht "aufnahmefähig".
- Der Boden ist nur ungenügend isoliert (7cm) und bietet ebenfalls keine Masse.
- Die grosszügigen Südfensterpartien spenden zwar viel Solarwärme, aber auch Wärmeverluste, beides wird durch die wenige "aktivierbare" Masse noch verschärft und führt zu grossen Tag-Nacht-Temperaturschwankungen ([Diagramm 5-1](#)).
- Die Decke stellt durch die Wahl der "unterströmten Hypokauste" welche gegen den Raum isoliert werden muss, zwar keinen Verlust, aber auch keinen grossen Gewinn dar.
- Das Büro ist nur sporadisch besetzt.
- Die Wärmeabgabe des "Brennerteils" der Holzfeuerung ist zu träge um das Büro (UG) in kurzer Zeit wirksam zu beheizen. Am Folgetag ist der Komfort in der Regel aber gewährleistet.

### 4.3. Jahres und Monatsenergiebilanzen

Das Messprojekt wurde Ende 2002 abgeschlossen und die Daten eines ganzen Jahres standen für die Auswertung zur Verfügung. In Diagramm 1-1 (unten) sind die Energieeinträge monatsweise (und aufsummiert für die Heizsaison) dargestellt.

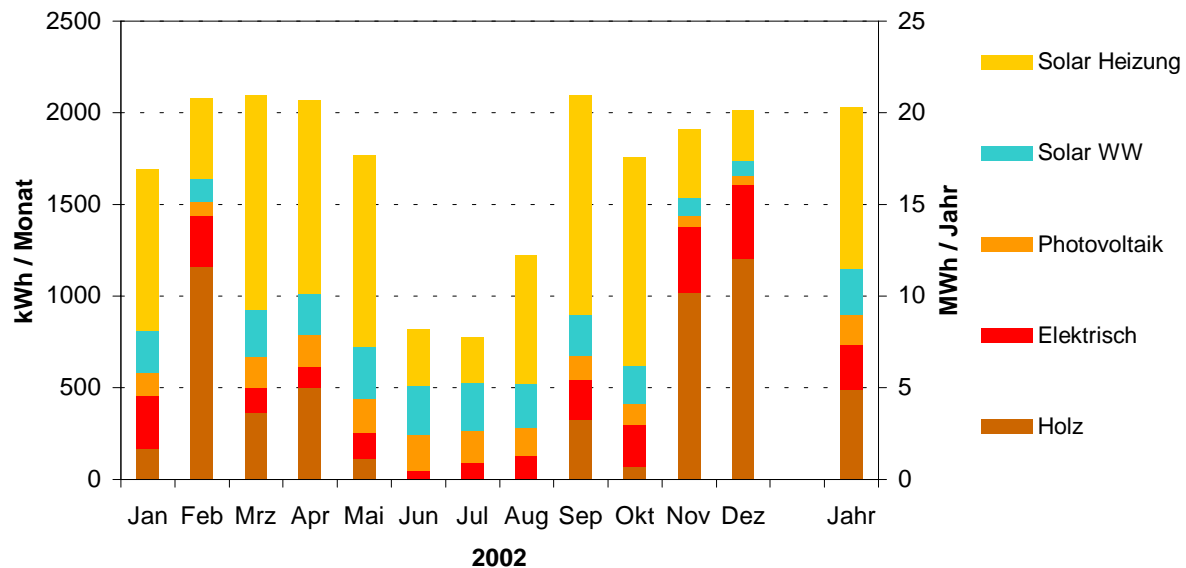


Diagramm 4-3: Energieeinträge [Bw-Monatsauswertung.xls, Energieeintrag]

Um Diagramm 4-3 richtig interpretieren zu können muss [Diagramm 4-2](#) zu Hilfe genommen werden, damit Klima und Beheizungssituation mit einfließen:

- Die Monate November und Dezember zeigen erwartungsgemäss einen hohen Holzverbrauch. Im Dezember wäre er bei ausreichender Beheizung noch etwas höher gewesen. Im sehr kalten aber sonnigen Januar zeigt sich der schon oft beobachtete Umstand, dass bei gut wärmegeprägten Gebäuden welche stark auf passive und aktive Solarenergiegewinnung ausgerichtet sind, nicht die Aussentemperatur für den Heizenergieverbrauch massgebend ist, sondern die Besonnung.
- Etwas aus der Reihe fällt der September, wegen seinem Holzverbrauch (trotz viel Sonne) welcher jenen des Januar übertrifft!. Der Grund ist ein 6 Tage dauernder, bewölkter Kälteeinbruch Ende September (Im Januar gab es keine längere bewölkte Periode). Zu beachten gilt, dass bei generell niederem Holzverbrauch schon wenige Tage Einfeuern im Energieverbrauch gut sichtbar werden.
- Das solare Luftsystem liefert 11300 kWh oder rund 70 % der Energie für Heizung und Warmwasser. Vom Solarertrag sind 78 % Raumwärme (8800 kWh) und 22 % Warmwasser 2500 kWh. Der spezifische Kollektorsertrag ist mit 190 kWh/m<sup>2</sup> für einen nichtselektiven Kollektor ein hoher Wert (10 % mehr als geplant, trotz unterdurchschnittlichem Strahlungsangebot). Der Betrieb der Solaranlage "kostete" 290 kWh Strom (240 kWh Ventilator, 40 kWh Pumpe). Das entspricht einem sogenannten "Elektro-Thermo-Verstärkung" von 39!. (Vergleich: Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser: maximal 3....). Werte "um 40" sind bei solchen solaren Luftsystemen ein üblicher, guter Wert.
- Die Leistung der Warmwassererzeugung mittels Luft-Wasser-Wärmetauscher mit 2 Doppelrohrreihen im Gegenstrom ist ausreichend. Bei Schönwetterperioden beträgt der solare Deckungsanteil im Winter (mit Ventilatorunterstützung) wie im Sommer (ohne Ventilator) 100 %.

### 4.3.1. Energiekennzahlen

Der einzige Standard, der die "gewichtete Energiekennzahl Wärme" für die dem Gebäude zugeführte hochwertige Endenergie (Holz, Strom) kennt, ist der Minergiestandard. Der Strom zur Wärmeerzeugung (Boilernachheizung, Ventilatorstrom) ist doppelt zu *gewichten*. Der Ventilator benötigte 240 kWh, die Pumpe 40 kWh. Die "Notheizung" zur Boilerhochhaltung wurde bewusst als solche eingesetzt und war auf nur 36 °C eingestellt. Dank der Solaranlage und des Wasserregisters in der Holzheizung wurde der 3 kW Elektrostab nur 84 h betrieben was einen Jahresverbrauch von 250 kWh bedeutet und in der gleichen Grössenordnung wie der Hilfsstromverbrauch der Solaranlage liegt. Zusammen beträgt der Stromverbrauch zur Wärmeerzeugung 530 kWh. Da dieser Betrag mehrfach durch die Eigenproduktion der Photovoltaikanlage gedeckt ist (1600 kWh) fliesst er nicht in den Minergiewert ein, da es sich nicht um "dem Gebäude zugeführte Energie" handelt.

Minergie (und Minergie P) ist, wie alle Gebäudestandards, ein Planungswert, der auch in diesem Falle mühelos unterboten wurde. Interessant ist nun der Vergleich mit den tatsächlich erreichten Werten:

#### Holzverbrauch

Der Holzverbrauch wurde in kg ermittelt und auf Grund des verbrauchten Raummasses (Ster) kontrolliert. Die Holzfeuchtigkeit war unbekannt, hat aber einen grossen Einfluss auf den Brennwert, sodass die Zahlen mit einiger Unsicherheit behaftet sind.

Der Holzverbrauch 2002 (Heizung und Warmwasser) belief sich auf 2.6 Ster Holz (60 % Hartholz, 40 % Weichholz) oder 1140 kg respektive **4900 kWh**. Bei einer Energiebezugsfläche von 257m<sup>2</sup> ergibt sich eine **Energiekennzahl Wärme** von **19 kWh/m<sup>2</sup>**

Energiekennzahl Wärme	kWh/m <sup>2</sup> a	unterschritten um
Objekt Hermann Braunwald	<b>19</b>	-
Minergie Sanierung	80	76 %
Minergie Neubau	42	55 %
Minergie P	30	36 %

Tabelle 4-1: Energiekennzahl Wärme und Minergie (Vergleich)

#### Elektrizitätsverbrauch und Photovoltaikertrag

Dieser wurde gesamthaft erfasst, wobei der Zähler der Versorgungswerke nur den Differenzverbrauch des die Eigenproduktion übersteigenden Teils aufzeichnete. Die Eigenproduktion der Photovoltaikanlage wurde über einen separaten Zähler erfasst und von der "Solarstrombörse Glarnerland" mit 1.20 sFr. vergütet.

Elektrizität	kWh	%	Laufzeit h
Fremdbezug	2452	60	
Eigenproduktion (PV)	1618	40	
<b>Total</b>	<b>4070</b>	<b>100</b>	
davon:			
Ventilator	240	6	1090
Pumpe	40	1	1466
Elektrostab Boiler	250	6	86

Tabelle 4-2: Elektrizitätsverbrauch und Photovoltaikertrag

Der Elektrizitätsverbrauch liegt mit 4000 kWh  $\frac{1}{3}$  unter dem einer entsprechenden "Durchschnittsfamilie". 40 % davon (1600 kWh) stammt aus Eigenproduktion der semitransparenten Photovoltaikanlage. Bei einer Netto-Zellenfläche von 11,4 m<sup>2</sup> (1600 W<sub>peak</sub>) ergibt dies einen spezifischen Ertrag von 142 kWh/m<sup>2</sup>a (1 kWh/ W<sub>peak</sub>). Die Photovoltaikproduktion übertraf die Planungswerte (1500 kWh/a) um 7 %, dies obwohl das Solarstrahlungsangebot 10 % unter den Erwartungen lag. Die Gründe dafür liegen vermutlich bei den tiefen Zellentemperaturen der sehr gut mit kalter Bergluft unten und oben belüfteten Anlage im Vordachbereich.

Beim Minergie-Standard werden auch Anforderungen an den Haushaltsstrombedarf (Fremdbezug) gemacht:

	kWh	kWh/m <sup>2</sup> a	Minergie	unterschritten um
Gesamt	4070	16		(6 %)
abz. "für Wärme"	530			
Haushaltsstrom brutto	3540	14		(18 %)
abz. Eigenproduktion (ohne Wärme)	1090			
<b>Haushaltsstrom (Fremdbezug)</b>	<b>2450</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>41 %</b>

Tabelle 4-3: Haushaltsstrom und Minergie (Vergleich)

Bereits der gesamte Stromverbrauch liegt unterhalb der Vorgabe von Minergie bezüglich Haushaltsstrombedarf. Der Bruttowert und vor allem der Fremdbezug liegen wesentlich darunter.

**Fazit: Das Gebäude hat ein ausgeprägtes "solares" Verhalten. Der Brennholzverbrauch variiert entsprechend.**

**Der solarthermische wie der photovoltaische Ertrag liegt ca. 10 % über den Erwartungen, trotz eher unterdurchschnittlichem Strahlungsangebot.**

**Die Energiekennzahl Wärme (Holz) und der Fremdbezug für den Haushaltsstrom liegen rund 40 % unter dem strengsten Planungsstandard (Minergie-P).**

**Damit konnte gezeigt werden, dass "solare" Sanierungen von Wohnbauten auch ohne "Komfortlüftung" möglich sind, die mit Neubauten (Minergie-P) sehr gut mithalten können. Die "Standards" müssen eigentlich grundsätzlich in Frage gestellt werden, da sie zwar (richtigerweise) sehr gute Gebäude vordern, aber (fälschlicherweise) einen hohen Fremdenergiebedarf zulassen. Die vorliegende Sanierung ist halb so gut wärmegeklärt wie von Minergie P gefordert und braucht dank solarem Luftsystem und Photovoltaik trotzdem nur die Hälfte der "zugelassenen" Fremdenergie"!!!???**

## 5. Gebäude- und Systemverhalten als Reaktion auf das Klima

### 5.1. Verhalten im Winter

Dazu soll eine 2-wöchige Periode Mitte Januar dargestellt werden, mit dem für diese Klimaregion typischen sehr kalten und sehr sonnigem Wetter. In dieser Periode musste trotz Temperaturen um  $-10\text{ °C}$  nie geheizt werden.

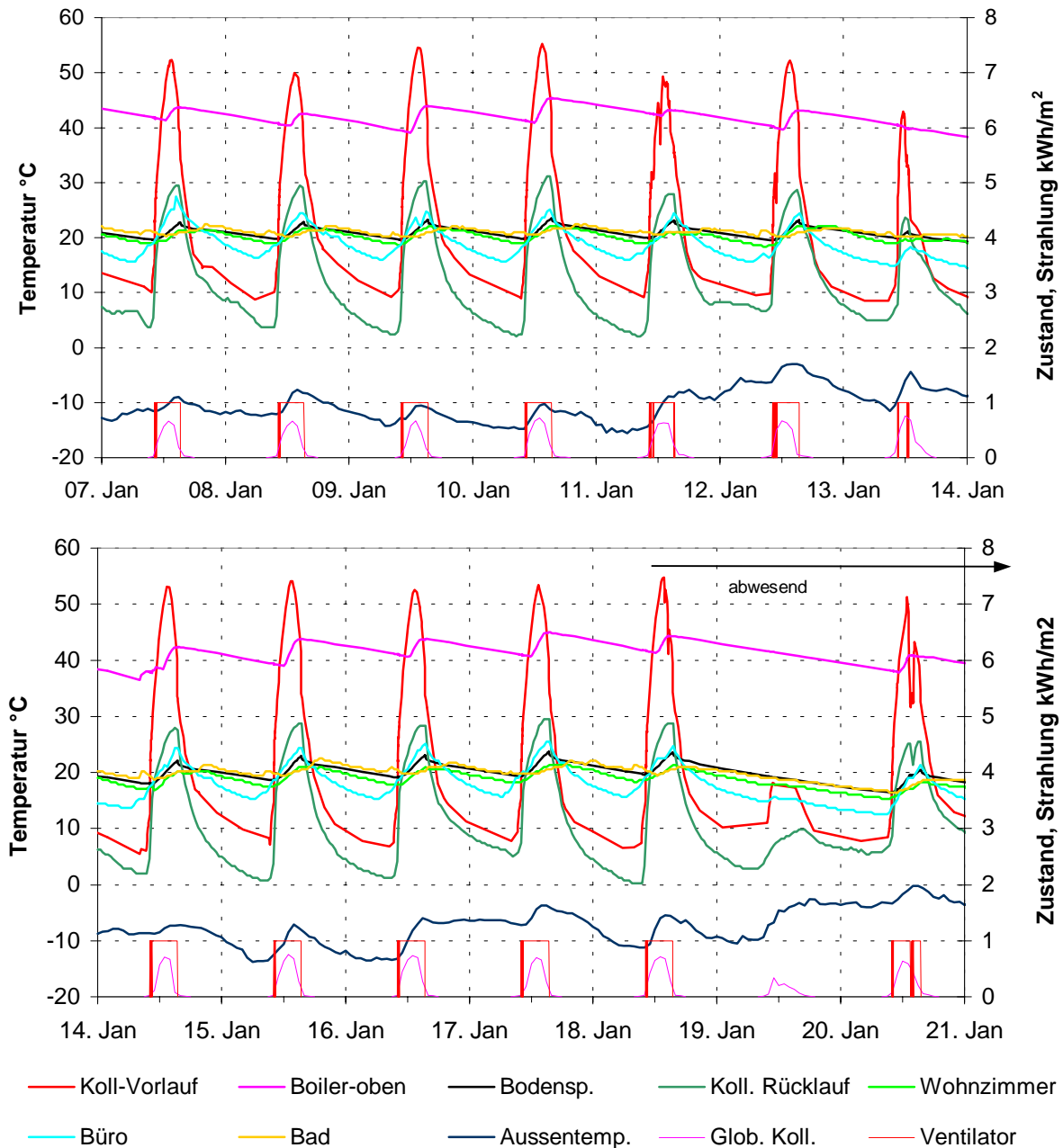


Diagramm 5-1: Temperaturverläufe der wichtigsten Messwerte bezüglich Gebäudeverhalten während zweier aufeinanderfolgenden Winterwochen 2002 [H0201c.xls, Woche 2-3].

Analyse:

- *Kollektorvorlauf*. Erreicht trotz ungünstigem Einfallwinkel der Solarstrahlung im Mittel  $55\text{ °C}$ , was bei  $-10\text{ °C}$  Aussentemperatur doch einen Temperaturunterschied von  $65\text{ °C}$  ergibt.

Für einen nichtselektiven, überströmten Luftkollektor ein ausgezeichneter Wert. Die grosszügig bemessene Kollektorfläche ist an diesem "Erfolg" sicher beteiligt.

- *Boiler-oben*. Diese bewegt sich (ohne elektrische Nachheizung) zwischen 40 und 45 °C, gerade ausreichend zum Duschen und eigentlich ein zufriedenstellendes Ergebnis für den nicht selektiven, für diese Jahreszeit ungünstig geneigten Kollektor. Nur wenn die Sonne ausbleibt (13. Januar) muss am darauffolgenden Morgen elektrisch nachgeholfen werden.
- *Bodenspeicher*. Da dieser Temperaturfühler nur minim von unten in den Betonspeicher eingelegt ist, reagiert er schnell auf die Solarluft. Auch das Ende des Ladevorgangs ist durch einen kleinen "Knick" in der Kurve deutlich sichtbar.
- *Wohnzimmer*. Diese Temperatur liegt sehr nahe bei der Temperatur des Speicherbodens (Hypokauste). Daraus lassen sich folgende Schlüsse ziehen:
  - Die Wärmeabgabe der Hypokauste an den Wohnraum funktioniert gut
  - Der Wohnraum hat trotz der Holzbauweise des Hauses genügend Masse (Hypokauste, Murokauste, Ofen) und ist ausreichend wärmegeämmt.

Anderweitig wäre der Raum stärkeren Temperaturschwankungen ausgesetzt, wie das zum Beispiel im Büro (UG) der Fall ist (siehe unten).

- *Büro*. Gut sichtbar sind die grossen Temperaturschwankungen im Verhältnis zu den übrigen Wohnräumen und die sehr kühlen Temperaturen am Morgen. Auf die Gründe wurde in Kapitel: [4.2](#) - Beheizungs- bzw. Raumtemperaturniveau bereits detailliert eingegangen.
- *Bad*. Schon im Monatsmittel ([Diagramm 4-2](#)) liegt die Badezimmertemperatur Januar, Februar leicht über der Wohnraumtemperatur (Murokauste). Aber auch in den sonnenarmen Monaten (November, Dezember) ist es im Badezimmer gleich warm wie im Wohnzimmer, mit dem Solarboiler und dem offenen Expansionsgefäss als einzigste Wärmequelle.
- *Kollektor Rücklauf*. Diese Temperatur wurde im Verteilkanal vor dem Übertritt in den Kollektor gemessen. Damit lassen sich die Kollektorerträge errechnen und der Verlauf ist ein Hinweis, wie "gut" die Murokausten und der Speicherboden die Wärme aufnehmen. Optimal wäre theoretisch ein Temperaturabbau auf etwas über Raumtemperatur (25 °C). Bei Kollektorbetrieb steigt die Kollektor-Rücklauftemperatur bis zum 10. Januar auf ca. 30 °C. Am späteren Nachmittag des 10. Januar wurde im Eingangsbereich der schon lange angemahnte hydraulische Abgleich vorgenommen, um eine gleichmässige Durchströmung der Hypokauste zu gewährleisten. Dazu wurde die Einströmöffnung in den kürzesten Strang stark (um  $\frac{2}{3}$ ) gedrosselt. Dadurch sollte die Luftströmungsverteilung in der Hypokauste gleichmässiger werden, womit automatisch mehr Wärme aufgenommen wird und der Temperaturabbau vollständiger erfolgen kann. An den auf den 10. Januar folgenden Tagen sinken daher die Spitzenwerte der Kollektor-Rücklauftemperatur um ca. 3 K auf 27 °C ab. Damit wurde der Wärmeertrag des solaren Luftsystems zur Beheizung des Hauses um rund 10 % oder 900 kWh/a gesteigert.
- *Aussentemperatur und Globalstrahlung* (siehe Einleitung zu Kapitel [5.1](#) und Kapitel 3.1 [Klimadaten](#)). Bei der Globalstrahlung auf die Kollektorebene liegen die Spitzenwerte wegen der flachen Kollektorneigung nur bei 700 W/m<sup>2</sup> (bei vertikaler Ausrichtung würden sie 1000 W/m<sup>2</sup> betragen)
- *Ventilator*. Gemeint sind die Laufzeiten (Ein = 1, Aus = 0). Diese sind adäquat der Temperaturverhältnisse im Kollektor. Der Ventilator "taktet" beim Anfahren leicht (während 20 Minuten, 3-6 mal an- und ausschalten, bis er in Dauerlauf übergeht. Dies ist gewollt und zeigt die "richtige" Einstellung der Einschaltsschwelle bei der Steuerung. Würde der Ventilator nie takten, wäre die Einschaltsschwelle zu hoch, die Energie nicht optimal genutzt. Umgekehrt wird bei zu häufigem Takten nur dauernd (zu) kalte Luft angeschoben, der Motorenanlauf ist sehr energiefressend und das Geräusch (Klappenmotor) unangenehm.

Interessant ist im weiteren die Zeit ab 18. Januar. Bei Abwesenheit der Bewohner (keine "internen" Lasten) ist das Haus und das Solarsystem sich selbst überlassen, wobei das

schlechte Wetter am 19. Januar, gut das "Entladeverhalten" des Hauses und des Solarboilers zeigt. Bei Aussentemperaturen von  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Tagesmittel) kühlt sich das Haus nur um 3 K ab.

## Kollektorwirkungsgrad

Exemplarisch am 17. Januar während der ununterbrochenen Laufzeit des Solarsystems ( $10^{30} - 15^{30}$ ):

Aussentemperatur ( $\emptyset$ )	$-5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Betriebsdauer Ventilator:	5 h
Solarstrahlung Kollektorebene	145 kWh
Systemertrag *	47.8 kWh
<b>Wirkungsgrad (<math>\emptyset</math>)</b>	<b>33 %</b>

\* davon Warmwasser 7.3 kWh (15 %)

Die momentane Leistung des Solarsystems betrug um  $14^{00}$  13 kW. Dies verdeutlicht wie wichtig die Ausgestaltung der Speichermassen ist, um diese Leistung aufnehmen zu können.

Trotz der einfachen, überströmte Kollektorbauweise und den relativ kleinen spezifischen Luftdurchsatz ist der resultierende Wirkungsgrad gut.

**Fazit: Das Winterverhalten des Hauses und des solaren Luftsystems ist sehr gut. Bei Temperaturen um  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  und schönem Wetter ist sowohl die Raumwärme als auch das Warmwasser ohne Nachheizen sichergestellt.**

**Teilweise ungenügend ist der Komfort einzig im Büro (UG). Diese Situation liesse sich wesentlich verbessern durch eine stärkere, reine Aussenisolation, Isolation gegen die unbeheizten Nebenräume und Dämmkläden für die grosse Südverglasung; Massnahmen die bei der vorliegenden Sanierung teilweise jedoch erhebliche Mehrkosten verursacht hätte.**

**Eine aufwändigere Hypokauste mit eingelegten Luftkanälen, ohne Deckenisolation, würde ans Büro mehr Wärme abgeben können.**

### 5.1.1. Warmwasser

Neben dem Heizeffekt eines solaren Luftsystems interessiert immer auch die Wirkung des Luft-/Wasserwärmetauschers bezüglich der Warmwasservorwärmung.

- **10:15** Nachdem der Ventilator 7 Minuten gelaufen ist, ist auch der Kollektorvorlauffühler warm genug um die Pumpe in Betrieb zu nehmen. Da zuerst das kühle Wasser in der bewusst kurzen und dünnen Vorlaufleitung ausgestossen wird, bricht die Temperatur "Boilermitte" kurzzeitig ein, um sich anschliessend fasst deckungsgleich mit der Kollektorvorlauf-temperatur zu entwickeln. Auch die Rücklauf-temperatur zum Wärmetauscher (Boiler-unten) bricht zuerst leicht ein, da das Tauchrohr des Entnahmestutzens zum tiefsten (kältesten) Punkt geführt ist, dort wo das Leitungswasser nachströmt ([Diagramm 5-2](#) unten).

In der ersten Stunde liegt "Boilermitte" noch unterhalb des Anfangswertes, was bedeutet, dass dort die Temperaturschichtung zerstört (bzw. gekühlt) wird. Trotzdem wird der untere Teil des Boilers aufgeladen, d.h. die Energiebilanz ist positiv - der Vorgang gewollt. Auf die Entnahmetemperatur "Boiler oben" hat das vorerst keinen Einfluss.

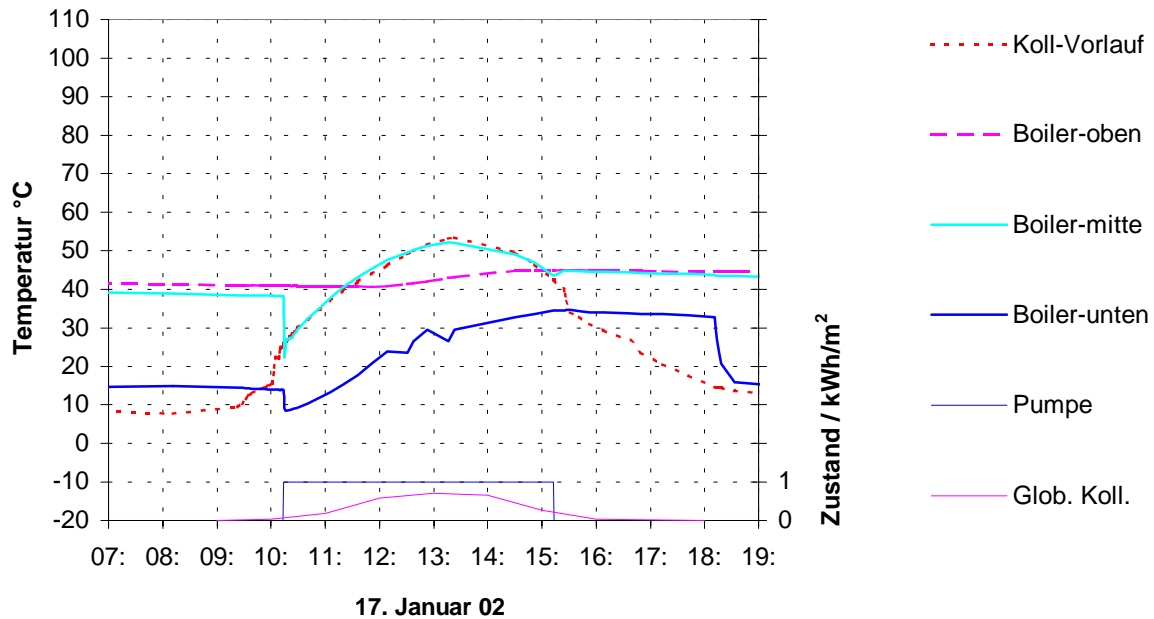


Diagramm 5-2: Temperaturen am Luft-/ Wasser – Wärmetauscher im Winter  
[H0201c; 17.1. WW]

- **11:30** Die Vorlauftemperatur "Boiler-mitte" übersteigt "Boiler oben" und so kann zunehmend auch nach oben Energie geladen werden – die Gebrauchstemperatur "Boiler oben" steigt an.
- **13:15** Das Maximum der Vorlauftemperaturen (53 °C) ist erreicht. Der Solarboiler wird auf allen Ebenen kräftig geladen und "Boiler-unten" hat bereits 30 °C erreicht. Kürze "Einbrüche" dieser Temperatur deuten auf kleinere Entnahmen (Kochen, Geschirrspülen) hin.
- **14:00** Die Vorlauftemperaturen nehmen langsam wieder ab, liegen aber immer noch über den Boilertemperaturen, deren Zunahme sich jetzt aber verflacht. Immer noch entspricht die Kollektorstahltemperatur genau der Boilervorlauftemperatur, was auf einen sehr guten Gegenstromwirkungsgrad schliessen lässt. Dies muss allerdings dahingehend relativiert werden, dass die Kollektorstahltemperatur knapp unterhalb der Mitte des Wärmetauschers gemessen wurde, die Boilervorlauftemperatur (Boiler-mitte) jedoch das Wasser des heissesten Teils des Wärmetauschers (oben) misst.
- **15:15** Die Ausschaltsschwelle für die Solarpumpe ist erreicht. Die Boilertemperaturen verharren auf hohem Niveau
- **18:15** Ein grösserer Entnahmevorgang lässt "Boiler-unten" stark sinken, was aber den oberen Teil des Boilers (Boiler-mitte und –oben) unberührt lässt.

**Fazit:** Der Vorgang der Warmwassererzeugung durch das solare Luftsystem verläuft sehr gut.

**Die Kombination des gewählten Wärmetauschers (4 Rohrreihen im Gegenstrom) und des Pumpendurchsatzes (1 lt/min) ist optimal.**

**Das Schichtspeicherverhalten des Solarboilers ist ausgezeichnet, trotz der direkten Umwälzung von Boilerwasser im Solarbetrieb. Die bewusste Wahl eines relativ kleinen Pumpendurchsatzes hat sich auch hier bewährt.**

## 5.2. Verhalten in der Übergangszeit

Dazu soll eine Woche Ende März dargestellt werden mit kalten und sonnigem Wetter, welche sich gut als Vergleich zu der Winterperiode (siehe oben) eignet. Während die Aussen-temperaturen nicht viele höher sind, ist vor allem die Solarstrahlung stärker und zeitlich länger. Nur gerade der erste Tag (25. März) entspricht bei reduzierter Einstrahlung dem, was ein schöner Wintertag etwa zur Folge hat. Danach folgen vier Tage mit voller Besonnung.

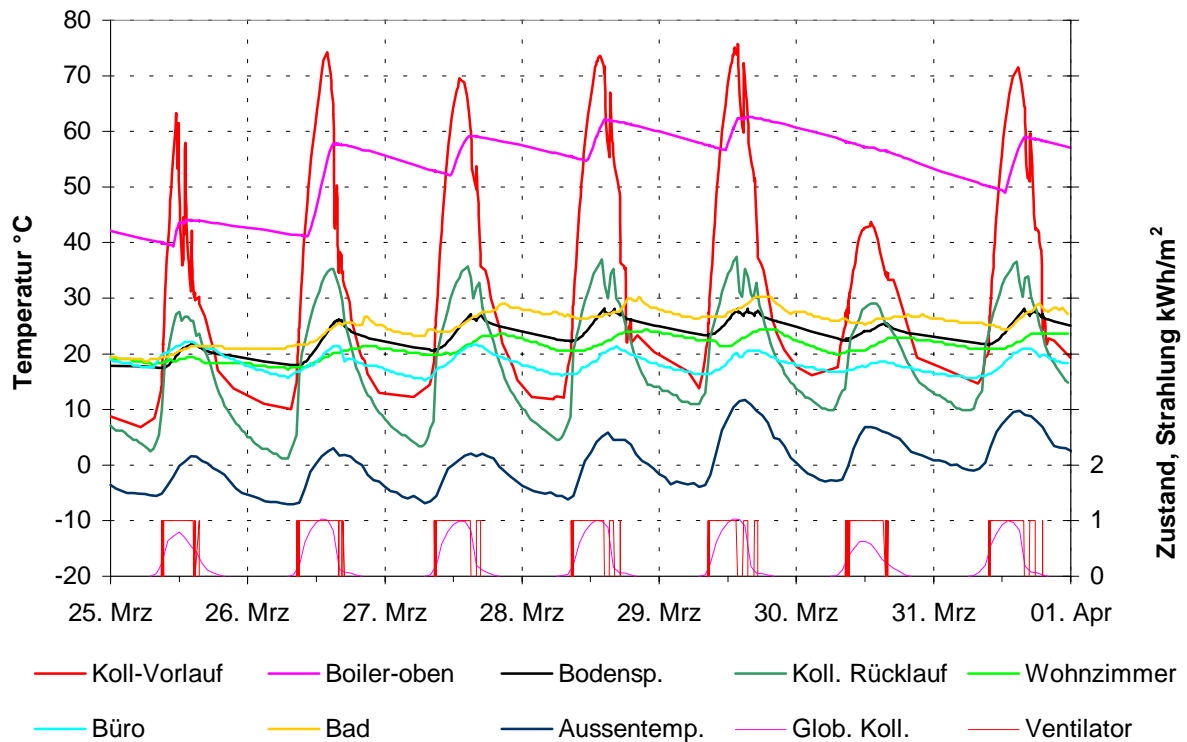


Diagramm 5-3: Temperaturverläufe der wichtigsten Messwerte bezüglich Gebäudeverhalten während einer Woche im Frühjahr 2002. [H0201c.xls, Woche 2-3].

Analyse:

- *Kollektorvorlauf*. Erreicht (bei günstigerem Einfallwinkel der Solarstrahlung) 75 °C, was bei 0 °C Aussentemperatur doch einen Temperaturunterschied von 75 K entspricht, 10 K mehr als im Winter.
- *Boiler-oben*. Auffallend ist der wesentlich grössere tägliche Temperaturhub sowie das generell höhere Niveau von 50 bis 60 °C (ideal).
- *Bodenspeicher*. Auch hier ist der Ladevorgang jetzt wesentlich kräftiger und das Temperaturniveau höher. Teilweise sogar so hoch, das es den Bewohnern "zu warm" wurde und die in der Steuerung definierte Maximalschwelle der Bodentemperatur von 30 auf 28 °C gesenkt werden musste. Dies hatte dann nachmittags den zeitweiligen Unterbruch des Ventilatorbetriebes zur Folge.
- *Wohnzimmer*. Diese Temperatur schwankt in angenehmem Rahmen (20 – 25 °C) und erreicht ihr Maximum jeweils Abends. Daraus lassen sich folgende Schlüsse ziehen:
  - Die Wärmeabgabe der Hypokauste an den Wohnraum erfolgt mit einer leichten Phasenverschiebung von ca. 7 Stunden. Ein gewollter Effekt des Massespeichers, der die Energie verzögert an den Raum abgibt.
  - Der Wohnraum hat trotz der Holzbauweise des Hauses genügend Masse (Hypokauste, Murokauste, Ofen) das die Temperaturschwingungen minim sind.

Anderweitig wäre der Raum stärkeren Temperaturschwankungen ausgesetzt, wie das zum Beispiel im Büro (UG) der Fall ist (siehe unten).

- *Büro*. Gut sichtbar sind die im Verhältnis zu den übrigen Wohnräumen grossen Temperaturschwankungen und die ebenfalls zu kühlen Temperaturen. Auf die Gründe wurde in Kapitel: [4.2](#) Beheizungs- bzw. Raumtemperaturniveau bereits detailliert eingegangen. Dazu kommt im Frühling der Effekt, dass der bereits hohe Sonnenstand und der weitausladende Balkon (EG) die passive Solarenergienutzung durch die Bürofenster stark einschränkt. Dies hat zur Folge, dass die Tagestemperaturen im Büro sogar noch tiefer sind als im Winter...
- *Bad*. Schon im Monatsmittel ([Diagramm 4-2](#)) liegt die Badezimmertemperatur März, April 3 – 4 K über der Wohnraumtemperatur. Dieser Umstand lässt sich gut im Tagesgang verfolgen und das Maximum liegt bei 30 °C. Die Murokauste im Bad (wärmster Teil des Solarkreislaufes durch das Haus) und die Abwärme des Boilers sind die Gründe dafür. Dieser Umstand wird als wohltuend beurteilt, da im Badezimmer höhere Temperaturen durchaus erwünscht sind.
- *Kollektor Rücklauf*. Statt 27 °C wie im Winter (Vorlauf: 55 °C) liegt diese Temperatur jetzt bei 35 °C. Ein guter Wert, beträgt die Vorlauftemperatur doch jetzt 75 °C. Der Wärmeabbau in der Gebäudestruktur (Murokausten und Hypokauste) funktioniert also gut.
- *Aussentemperatur und Globalstrahlung* (siehe Einleitung zu Kapitel [5.2](#) und Kapitel 3.1 [Klimadaten](#)). Bei der Globalstrahlung auf die Kollektorebene liegen die Spitzenwerte, wegen dem in dieser Jahreszeit wesentlich günstigeren Einstrahlwinkels, bei hohen 1000 W/m<sup>2</sup>.
- *Ventilator*. Die Laufzeiten sind wegen der längeren Sonnenscheindauer ebenfalls länger, (7-8 Stunden, statt 5 im Winter). Der Ventilator "taktet" ebenfalls kurz beim Anfahren, neu aber auch beim Ausschalten um die beträchtliche, im Absorberblech gespeicherte Wärme zu nutzen. Die längeren Unterbrüche nachmittags sind auf das Erreichen der Maximalschwelle der Bodenspeichertemperatur zurückzuführen.

Interessant sind die extremen Temperaturunterschiede von 10 K zwischen Badezimmer(OG) und Büro (UG), was den Eigentümer dazu veranlasste, die Möglichkeit eines nachträglichen Einbaus eines Ø10 cm Spirorohres zu prüfen, um mit Hilfe eines kleinen, von Hand geschalteten Ventilators Luft im Badezimmer anzusaugen und im Büro auszublasen. Diese durchaus erfolversprechende Massnahme wurde aber bisher nicht realisiert, da der nachträgliche Einbau doch mit grossen Umtrieben verbunden wäre.

Die momentane Spitzenleistung des Solarsystems betrug um 13<sup>00</sup> des 27. März 22 kW. Das ist 70 % mehr als die Winterleistung (13 kW). Der Systemertrag ist mit 90 kWh pro Tag sogar doppelt so hoch wie im Winter. Der Anteil des Warmwassers beträgt nach wie vor 15 %, ist damit aber betragsmässig natürlich auch doppelt so gross.

**Fazit:** Das Verhalten in der Übergangszeit (Frühjahr, Herbst) ist geprägt durch die optimalen Einstrahlbedingungen des Luftkollektors. Bei Temperaturen um – 5 °C und schönem Wetter ist der Wärmeertrag mehr als ausreichend.

Teilweise ungenügend ist der Komfort im Büro (UG). In der Übergangszeit, bei schon bzw. noch relativ steilen Sonneneinfallswinkeln, schränkt die Beschattung der Südverglasung durch den Balkon die direkte, passive Solarenergienutzung zu stark ein.

### 5.2.1. Warmwasser

Um den direkten Vergleich mit dem Winterbetrieb ([Diagramm 5-2](#)) zu ermöglichen wurde ein Tag mit praktisch identischen Startbedingungen gewählt:

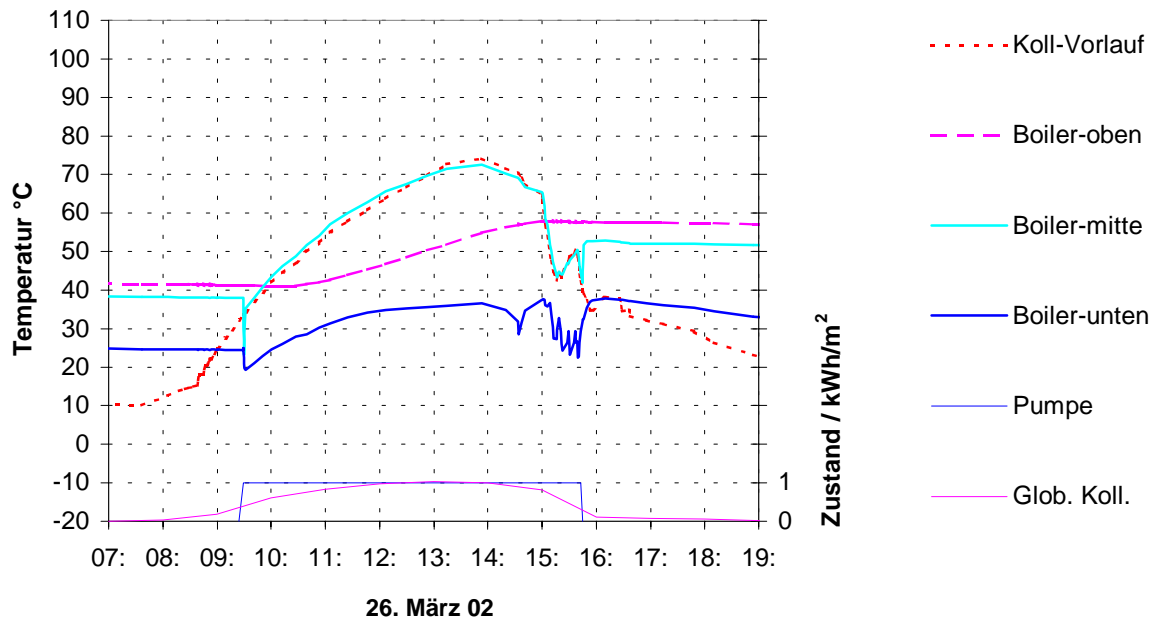


Diagramm 5-4: Temperaturen am Luft-/ Wasser – Wärmetauscher in der Übergangszeit  
[H0203c; 26.3. WW]

- **09:30**  $\frac{3}{4}$  Stunden früher als im Winter geht die Ladepumpe in Betrieb und die ersten 30 Minuten verlaufen ähnlich wie im Winter ([Kapitel 5.1.1](#)), allerdings ist der Anstieg der Temperaturen wesentlich schneller/steiler.
- **10:30** Die Vorlauftemperatur "Boiler-mitte" übersteigt "Boiler oben" bereits um 10 K und so kann in der Folge auch die Gebrauchstemperatur "Boiler oben" stark ansteigen.
- **14:00** Das Maximum der Vorlauftemperaturen (73 °C) ist erreicht. Der Solarboiler wird auf allen Ebenen kräftig geladen und "Boiler-unten" hat bereits 37 °C erreicht.
- **15:00** Die Vorlauftemperaturen nehmen wieder ab, liegen aber immer noch über den Boilertemperaturen, deren Zunahme sich jetzt aber verflacht.
- **15:30** Vermutlich durch aufkommende Bewölkung gehen die Vorlauftemperaturen stark zurück, liegen aber immer noch über der Ausschaltschwelle bzw. deutlich über "Boiler-unten". Ein "Wolkenloch" lässt die Vorlauftemperaturen sogar nochmal kurz ansteigen. Mehrere kleine Zapfvorgänge beeinflussen kurzfristig die Temperatur "Boiler-unten".
- **15:45** Die Ausschaltschwelle für die Solarpumpe ist erreicht. Die Boilertemperaturen verharren auf wesentlich höherem Niveau als im Winter (trotz denselben Startbedingungen).

**Fazit:** Der Vorgang der Warmwassererzeugung durch das solare Luftsystem verläuft sehr gut, mit hoher Effizienz und Wirksamkeit.

Das Schichtspeicherverhalten des Solarboilers ist nach wie vor gut ausgeprägt.

### 5.3. Sommerliches Temperaturverhalten

Analog zu den vorangegangenen Kapiteln, in denen das Verhalten im Winter und in der Übergangszeit dargestellt wurden, soll hier wiederum eine typische Periode herangezogen werden. Im Messjahr war gerade die Schönwetterperiode um den 21. Juni (Sonnenhöchststand) die wärmste, mit Aussentemperaturen bis 27 °C was für diese Höhenlage (1300 M.ü.M.) ausserordentlich warm ist.

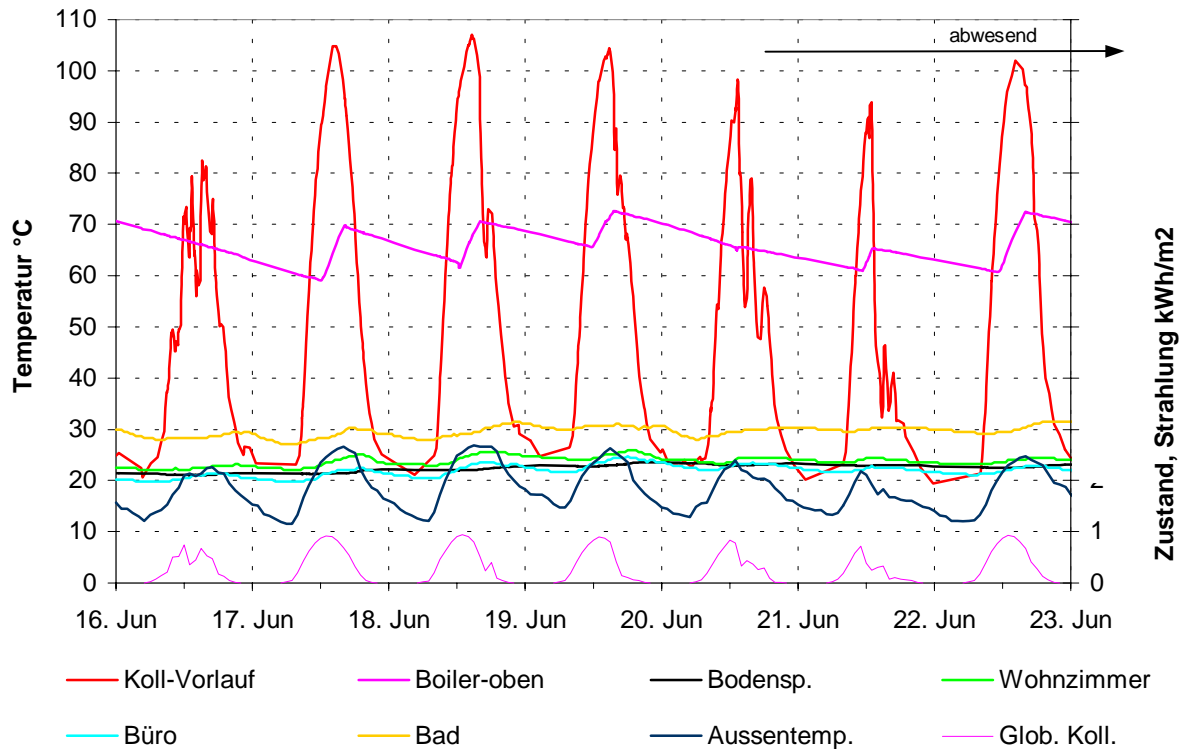


Diagramm 5-5: Temperaturverläufe der wichtigsten Messgrößen während einer 7 Tage Periode im Sommer 2002 [H0206c.xls, Woche 4].

Das solare Luftsystem befand sich im Sommerbetrieb (Kapitel 2.11.2). Da die Luft nicht durchs Gebäude zirkuliert ist die Kollektorrücklauftemperatur und der Ventilator (ausser Betrieb) nicht dargestellt. Der Vergleich mit der Winterperiode (Diagramm 5-1) und der Übergangszeit (Diagramm 5-3) ergibt folgendes:

- *Kollektorrücklauf*. Erreicht (bei günstigerem Einfallwinkel der Solarstrahlung) 105 °C, was bei 25 °C Aussentemperatur doch einen Temperaturunterschied von 80 °C entspricht, 5 °C mehr als in der Übergangszeit. Der sich rein im thermischen Auftrieb einstellende Luftdurchsatz wurde nicht ermittelt, analoge Situationen (Lit. 3) ergaben etwa 350 m³/h, was immerhin ¼ des Ventilatorbetriebes ist.
- *Boiler-oben*. Bewegt sich diese Temperatur im Winter zwischen 40 – 45 °C, sind es in der Übergangszeit 50 – 60 °C und im Sommer 60 – 70 °C. Durch die flache Kollektorneigung (30°) ist dies unvermeidlich und ein gleichmässigerer Ertrag und gleichmässigerere Temperaturen liessen sich nur mit Kollektorneigungen steiler als 60° erreichen. Boilertemperaturen über 60 °C stellen ein (unnötiges) Verkalkungs- und Verbrühungsrisiko dar.
- *Bodenspeicher*. Dieser hat auch im Sommer eine wichtige Funktion als thermische Ausgleichsmasse. Diese minimiert die Temperaturschwankungen im Gebäude.

- *Wohnzimmer*. Diese Temperatur schwankt (dank der "Masse" nur minim und in angenehmem Rahmen (22 – 25 °C). Sie erreicht ihr Maximum jeweils Abends weil durch das neue, grosse Westfenster die Sonne ungehindert einstrahlen kann.
- *Büro*. Da die Sonne durch den Balkon 100 % abgeschattet ist, schwanken die Temperaturen nur noch wenig und bewegen sich dank den milden Aussentemperaturen auf angenehmem Niveau (20 – 23 °C).
- *Bad*. Wie in der Übergangszeit liegen die Temperaturen bei 30 °C, diesmal alleine wegen der Abwärme des sich auf hohem Temperaturniveau befindlichen Boilers.
- *Aussentemperatur und Globalstrahlung* (siehe Einleitung zu Kapitel 5.3 und Kapitel 3.1 Klimadaten). Bei der Globalstrahlung auf die Kollektorebene liegen die Spitzenwerte, wegen dem in dieser Jahreszeit günstigeren Einstrahlwinkels, wie in der Übergangszeit bei hohen 1000 W/m<sup>2</sup>. Ausserdem ist die Sonnenscheindauer maximal.

Interessant ist die Periode ab dem 20. Juni. Bei Abwesenheit der Bewohner ist das Haus und das Solarsystem sich selbst überlassen (wie in der Winterperiode). Vor allem das Badezimmer das in dieser Zeit nur minim gelüftet wird (Fenster gekippt), legt noch 2 K zu. Die Boilertemperatur erreicht aber mit 70 °C ähnliche Spitzenwerte wie zu bewohnten Zeiten, was soviel bedeutet, das bei 70 bis 75 °C Boilertemperatur ein Gleichgewicht zwischen Gewinnen und Verlusten herrscht. Somit besteht (auch im Wärmetauscher) kein Verdampfungsrisiko.

**Fazit:** Das sommerliche Temperaturverhalten ist geprägt durch den ventilatorlosen Betrieb, welcher sehr gut funktioniert und hohe Vorlauftemperaturen zur Folge hat. Damit ist bei Schönwetterperioden mehr als genug Warmwasser vorhanden. Dieser Umstand ist auf die flache Kollektorneigung zurückzuführen.

### 5.3.1. Warmwasser

Um den Vergleich mit dem Winterbetrieb (Diagramm 5-2) und der Übergangszeit (Diagramm 5-4) zu ermöglichen wurde ein Tag mit ähnlichen Startbedingungen gewählt:

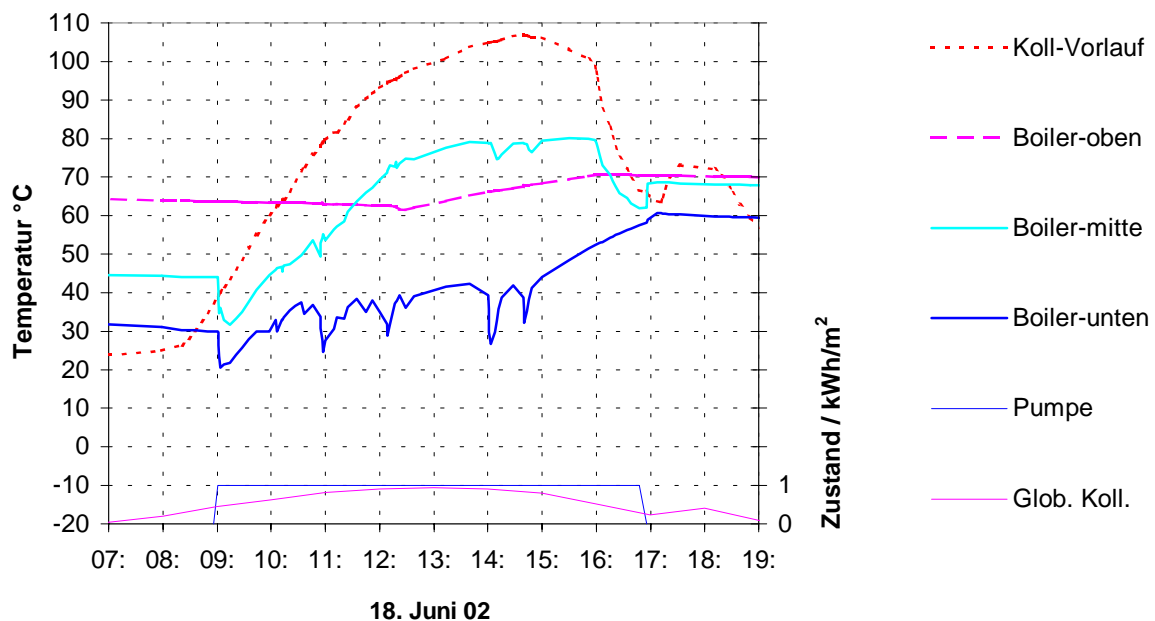


Diagramm 5-6: Temperaturen am Luft-/ Wasser – Wärmetauscher im Sommer [H0206c; 18.6. WW]

Die Kollektorvorlauftemperatur steigt auf hohe Werte (105 °C), da bei dem ventilatorlosen Betrieb "nur" ca. 350 m<sup>3</sup>/h Luft zirkulieren werden. Die Vorlauftemperatur des Solarboilers ("Boiler-mitte") bleibt daher unter der Kollektorvorlauftemperatur, da der Wasserdurchsatz (Pumpe) nach wie vor derselbe ist (1 lt/min).

- **09:00** 1/2 Stunden früher als in der Übergangszeit geht die Ladepumpe in Betrieb. Der untere Teil des Boilers (Solarbereich) wird kräftig geladen.
- **12:00** Da "Boiler-oben" noch vom Vortag sehr warm ist (63 °C), übersteigt die Vorlauftemperatur ("Boiler-mitte") diesen Wert erst jetzt deutlich und der Ladevorgang beginnt auch "nach oben" zu wirken. In den 3 vergangenen Stunden wurde der untere Teil des Solarboilers geladen, wobei mehrere Zapfvorgänge an der Temperatur "Boiler-unten" ablesbar sind.
- **14:30** Die Maxima der Vorlauftemperaturen (105 °C Luft und 80 °C Wasser) sind erreicht. Der Solarboiler wird auf allen Ebenen kräftig geladen.
- **16:15** Die Bildung einiger Quellwolken (häufiges Schönwetterphänomen in den Bergen im Sommer) lassen die Kollektorvorlauftemperaturen rasch sinken. Der Solarboilervorlauf ("Boiler-mitte") sinkt parallel und unterschreitet die Temperatur "Boiler-oben". Diese bleibt in der Folge konstant – der untere Teil des Boilers wird weiter geladen.
- **16:45** Die Temperatur "Boiler-unten" hat 57 °C und damit die Ausschalttemperaturdifferenz von 5 K zum Vorlauf "Boiler-mitte" (62 °C) erreicht – die Pumpe wird abgeschaltet. Insgesamt lief die Pumpe während 7 3/4 Stunden, 1 1/2 Stunden länger als in der Übergangszeit und 2 3/4 Stunden länger als im Winter.
- **17:15** Nach dem Abstellen der Pumpe messen sowohl "Boiler-mitte" als auch "Boiler-unten" die entsprechende Schichttemperatur. In der oberen Hälfte (bis unter die Mitte) 70 °C, unten 60 °C. Da in der Steuerung eine Maximaltemperatur "Boiler-unten" von 60 °C programmiert wurde (Boiler durchgeladen), läuft die Pumpe auch nicht mehr an, obwohl die Kollektorvorlauftemperatur nochmal kurz ansteigt, weil die Sonne offensichtlich gerade nicht von den oben erwähnten Schönwetterwolken abgedeckt wird.

**Fazit:** Der Vorgang der Warmwassererzeugung durch das solare Luftsystem im passiven Betrieb ohne Ventilator (nur thermischen Auftrieb) verläuft sehr gut, mit hoher Effizienz und Wirksamkeit.

**Das Schichtspeicherverhalten des Solarboilers ist auch im Sommer gut ausgeprägt.**

**60 m<sup>2</sup>, 30° geneigte, nicht selektive Luftkollektoren sind im Sommer reichlich bemessen. Trotzdem nimmt das System dadurch keinen Schaden, da nichts zu kochen anfängt und die Boilertemperaturen bei 70 – 75 °C stagnieren.**

## 6. Wirtschaftlichkeit

Erstellungskosten solares Luftsystem und Holzofen Objekt Hermann, Braunwald					in sFr. ohne Mwst.
m <sup>2</sup> , Jahrgang		60	m2		2000
	Erläuterungen	Material	pro m2	Arbeit	Total
<b>Kollektor</b>					
Verglasung		7'758.45	129	2'500.00	10'258.45
Absorber	Montanablech	1'178.00	20	2'300.00	3'478.00
Unterbau	Lattung, Dämmung	600.00	10	1'800.00	2'400.00
Spengler	Abschlussbleche	1'000.00	17	1'600.00	2'600.00
<b>Subtotal</b>		<b>10'536.45</b>	<b>176</b>	<b>8'200.00</b>	<b>18'912.06</b>
<b>Kanäle</b>					
in der Gebäudestruktur	Luftkanäle Holz / KS	5'259.30		2'000.00	7'259.30
eigentliche Lüftungskanäle <sup>1</sup>	Blechkanäle / Klappe etc.	4'734.00		1'900.00	6'634.00
<b>Subtotal</b>		<b>9'993.30</b>		<b>3'900.00</b>	<b>13'893.30</b>
<b>Hypokauste</b>					
Konstruktion	Decke unter Beton UG	2'500.00		4'000.00	6'500.00
Luftführungs"einlagen"	keine	-		-	-
<b>Subtotal</b>		<b>2'500.00</b>		<b>4'000.00</b>	<b>6'500.00</b>
<b>Ventilation</b>					
Ventilator		700.00		200.00	900.00
Steuerung inkl. Fühler		200.00		100.00	300.00
Verdrahtung		100.00		200.00	300.00
<b>Subtotal</b>		<b>1'000.00</b>		<b>500.00</b>	<b>1'500.00</b>
<b>Warmwasser</b>					
Boiler	inkl. Pumpe, El.Stab	4'796.90		850.00	5'646.90
Wärmetauscher / Kollektor		800.00		200.00	1'000.00
Verrohrung Wärmet. <sup>2</sup>		1'200.00		2'100.00	3'300.00
<b>Subtotal</b>		<b>6'796.90</b>		<b>3'150.00</b>	<b>9'946.90</b>
<b>Holzheizung</b>					
Holzofen	Ofen, Verputz, Platten	15'000.00		20'000.00	35'000.00
Verrohrung Boiler		982.80		2'385.00	3'367.80
<b>Subtotal</b>		<b>15'982.80</b>		<b>22'385.00</b>	<b>38'367.80</b>
<b>Planung</b>					
Fachplaner	Gütermann / Roth	-		7'800.00	7'800.00
Architekt (Anteil)	geschätzt	-		12'000.00	12'000.00
<b>Subtotal</b>		<b>-</b>		<b>19'800.00</b>	<b>19'800.00</b>
<b>Total</b>		<b>46'809.45</b>		<b>61'935.00</b>	<b>108'920.06</b>
<b>Subtotal Solarsystem (ohne Planung)</b>					50'752.26
<b>Subtotal Solarsystem (mit Planungsanteil 15'000.-)</b>					65'752.26
<b>Ersparnis = konv. Kosten</b>					
Dach-oder Fassadenaufbau					6'000.00
konventioneller Boden/Wand					3'000.00
konventioneller Boiler					3'500.00
konventionelle Heizung					25'000.00
konventionelle Fachplanung					-
Architekt (Anteil)					4'000.00
<b>Total</b>					<b>41'500.00</b>
<b>Subtotal Solarsystem</b>					16'500.00
<b>Subtotal Solarsystem (inklusive 70 % konv. Heizung)</b>					34'000.00
<b>Mehrkosten</b>					<b>67'420.06</b>
<b>Mehrkosten Solarsystem</b>					49'252.26
<b>Mehrkosten Solarsystem (abzüglich 70 % konv. Heizung)</b>					31'752.26
<sup>1</sup> inkl. Klappen, Schalldämpfer, usw.					
<sup>2</sup> Inkl. Ventile, Durchflussmesser, usw.					

Tabelle 6-1: Investitionskosten Heizung und Warmwasser (Solar + Holz) ohne Photovoltaik. Quelle: Hermann

Es ist bei solchen Objekten eigentlich wenig sinnvoll, die Holzheizung mit zentralem Einzelofen und die solare Beheizung bezüglich Wirtschaftlichkeit auseinander zu dividieren, da das eine das andere bedingt oder ergänzt. So wird z.B. die Beheizung des Badezimmers primär durch die Abwärme des Solarboilers und durch die Solarluft-Murokauste geleistet, die Beheizung des Wohnzimmers erfolgt entweder solar oder mit dem Holzofen. Für die Eigentümer/Bewohner ist es auch unerheblich, hier einen Unterschied zu machen, da sie ja einen Gesamtkostenvergleich machen, und die gewählte Variante auch finanzieren müssen. Das Ziel ist möglichst wenig Holz zu verfeuern (= Kosten und Arbeit), möglichst wenig Fremdstrom zu beziehen (Kosten, Ökologie), also möglichst viel von der Sonne geliefert zu bekommen.

Trotzdem bringt eine detaillierte Analyse einige Erkenntnisse. Vom gesamten Investitionsvolumen "Solar+Holz" von 108'000 sFr. entfallen 38'000.-- (35 %) auf die Holzheizung, welche aber nur rund 30 % der Energie produziert und erst noch Brennstoffkosten (+ Arbeit) verursacht. Das heisst: Die Solarenergie ist in diesem Fall bedeutend günstiger als die Holzenergie. Oder anders gesagt: Teuer ist nicht die Solaranlage, sondern der Holzofen! Daher wurde dieser mit 30'000 eingesetzt, davon ausgehend, das dieser auch für diesen Betrag zu haben wäre (z.B. ohne Backofen).

Bei einem gesamten Investitionsaufwand für diese Gebäudesanierung von sFr. 450'000.- betragen die ausgewiesenen Mehrkosten sFr. 55'000.- (12 %) gegenüber einer konventionellen Sanierung. Gegenüber anderen Objekten (5 – 7 %) erscheint dies hoch, hängt aber stark von der Einschätzung der "kostenneutralen Aufwendungen" ab (hätte eine konventionelle Dacheindeckung tatsächlich auch soviel gekostet?). Ausserdem gilt es zu berücksichtigen das "in Braunwald bauen" generell 30 % teuer ist, da alles mit der Drahtseilbahn und kleinen Transportern zur Baustelle gebraucht werden muss. Hohen Investitionskosten stehen bei einem solaren Deckungsbeitrag von 70 % aber auch grosse Einsparungen bei den Betriebskosten gegenüber.

*Heizöl* (für eine konventionelle Heizung) ist im autofreien Braunwald doppelt so teuer wie im Unterland wegen des aufwändigen Transportes.

*Brennholz* ist 30 % teurer als im Unterland wegen den erschwerten Erntebedingungen (Hanglagen, viele Handarbeit, teure Bereitstellung von Hilfsmaschinen).

*Elektrizität* ist hingegen 10 % billiger, was (leider) dazu führt, dass in Braunwald oft Elektrorektheizungen in nur minimal wärmegeämmte Häuser eingebaut wurden (und werden...).

Der Energieverbrauch beträgt 16'200 kWh/Jahr, die zu 70 % Solar (11'300 kWh/a) und zu 30 % mit Holz (4900 kWh/a) gedeckt werden. Ohne Solaranlage, müsste die dreifache Menge Holz verfeuert und rund 1000 kWh mehr Elektrisch für das Warmwasser aufgewendet werden, da der Ofen nicht nur wegen des Warmwassers eingefeuert würde (Sommer).

	Investitions-kosten	Amortisations-kosten	Hilfsenergie elektrisch kWh	Hilfs-energie Kosten	Service + Unterhalt Kosten	Betriebs-energie kWh	Betriebs-energie Kosten	Total laufende Kosten	Gesamt-kosten	produzierte Energie kWh	Kosten pro kWh
Solar	50'000	1'943	280	52	20			72	2'015	11'300	<b>0.18</b>
Holz	30'000	1'166	70	13	70	4'900	468	551	1'717	4'900	<b>0.35</b>
Solar+Holz	80'000	3'109	350	65	90	4'900	468	623	3'732	16'200	<b>0.23</b>
Potovoltaik	30'000	1'723			20			20	1'743	1'600	<b>1.09</b>
Vergleich											
konv. Heizung	25'000	2'094	100	19	200	19'000	1'597	1'815	3'909	16'200	<b>0.24</b>
nur Holz	30'000	1'166	200	37	100	18'000	1'560	1'697	2'863	15'200	<b>0.19</b>
+ Elektro WW						1'000	185	185	185	1'000	<b>0.19</b>
Holz+Elektro											<b>0.19</b>
	Lebens-dauer	Zins	Annuitäts-faktor								
Solar	50	3.00%	0.039				Hilfsenergie	0.185	Fr./kWh		
Holz	50	3.00%	0.039				Holz (gem.)	2.6	Ster	180	Fr./Ster
PV	25	3.00%	0.057				Weichholz		Ster	150	Fr./Ster
Vergleich							Hartholz		Ster	200	Fr./Ster
konv. Heizung	15	3.00%	0.084				Oel	1	Fr./kg	0.08	Fr./kWh Hu

Tabelle 6-2: Wirtschaftlichkeit der Energieträger. Wo nicht anders erwähnt sind die Werte auf ein Jahr bezogen [Energiekosten\_Hermann3.xls].

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hängt stark von den Lebensdauern der Anlageteile ab. Das vorliegende, ortsgebaute Luftkollektorsystem weist problemlos eine Lebensdauer von 50 Jahren auf. Selbst der Ventilator mit nur rund 1'000 Betriebsstunden pro Jahr und der Solarboiler aus Chromnickelstahl liegen dort. Ausserdem liegt ja gerade beim problemlosen Wärmeträger Luft der Unterschied, haben doch wasserbasierende Solarsysteme Lebensdauern von nur ca. 15 Jahren. Holzöfen (vom Hafner gemauert) erreichen ebenfalls dieses Alter. Bei industriell hergestellten Heizkessel/Brenner-Kombinationen ist das anders. Dort liegen die Lebensdauern markant tiefer, nicht zuletzt wegen der immer ausgereizteren und diffizileren Technik. Die Photovoltaik hat gar keine bewegten Teile, trotzdem kann wegen der sogenannten Degradation der Zellen und der Leistungselektronik im Wechselrichter nur von einer Lebensdauer von 25 Jahren ausgegangen werden.

Der hohen Lebenserwartung und den klimaabhängig, hohen Solarerträgen ist es zu verdanken, dass die Solaranlage zwar die höchsten Investitionskosten aufweist, mit 18 Rp/kWh aber die günstigste Wärmeenergie bereitstellt.

Der Holzofen ist der Lieferant der teuersten Energie – 35 Rp/kWh. Das liegt daran, dass der Erfolg der Solaranlage zu einem relativ geringen Holzverbrauch führt, bei gleichzeitig hohen Investitionen in den Ofen. Bei den Investitionskosten des Holzofens müsste auch der Hebel für Kostensenkungsmassnahmen angesetzt werden.

Solar und Holz zusammen (23 Rp/kWh) produzieren etwa so teuer wie das konventionelle Heizsystem (24 Rp/kWh).

Am günstigsten (19 Rp/kWh) wäre, alle Energie mit dem Holzofen alleine bereitzustellen. Dies würde aber einen 3 mal höheren Holzverbrauch (Arbeit) und rund 1000 kWh mehr Elektrizitätsverbrauch (1/3 des Fremdstrombezuges) für Warmwassererwärmung bedeuten.

Die Photovoltaikanlage produziert Strom für 1.09 Fr./kWh. Das ist zwar 5,7 mal teurer wie der Strom aus der Steckdose, aber immer noch wirtschaftlich interessant, da die Solarstrombörse Glarnerland zur Zeit des Messprojektes 1.20 Fr./kWh vergütete.

**Fazit: Die Solaranlage ist wirtschaftlich vorteilhaft. Der Holzofen hingegen nicht. In der Kombination sind beide etwa gleich wirtschaftlich wie eine konventionelle Heizung an diesem Standort.**

**Nur ein Holzofen wäre eine günstige Alternative, die aber 3 mal mehr Holz (Emissionen, Arbeit) und 1000 kWh mehr Strom für Warmwasser bedeuten würde.**

**Kostensenkungsmassnahmen liegen vor allem im Bereich des Holzofens – gleiche Funktionalität für die Hälfte der Kosten. Ausserdem liesse sich der Kollektor ohne Absorberblech, nur mit dunkel eingefärbtem Unterdach, günstiger erstellen.**

**Die Photovoltaikanlage arbeitet dank dem hohen Strahlungsangebot, der kühlen Umgebung und der grosszügigen Vergütung der Solarstrombörse wirtschaftlich.**

## 7. Schlussfolgerungen

Die solare Sanierung des Gebäudes erfüllt die Erwartungen. Ein sehr hoher solaren Deckungsgrad (70 %) konnte mittels einer sehr einfachen, konvektiv nutzbaren Dachflächengestaltung erreicht werden.

Die gegebene Dachneigung (30°) ist natürlich nicht optimal für die Wärmenutzung und im Sommer besteht tendenziell ein Überangebot, welches trotz Betrieb ohne Ventilator zu Boilertemperaturen von ca. 70 °C führt. Im Winter (mit Ventilator) ist die Solarenergienutzung, dem Gebäude und den Bewohnern angepasst, richtig dimensioniert.

Die nachträglich eingezogene Betondecke (Hypokauste) und die sehr einfache Luftführung (Unterströmung) sind zwar als Hypokaustenkonstruktion nicht optimal, funktionieren aber zusammen mit den beiden Murokausten gut und eine genügende Wärmespeicherung ist sichergestellt. Allerdings schränkt die gewählte Hypokaustenkonstruktion die Solarnutzung des darunter liegenden Raumes (Büro UG) ein und verhindert dort durch die Deckenisolation auch die Masse-Speicher-Wirkung weitgehend. Für zukünftige Projekte bei denen sich sowohl oben wie unten "beheizte" Räume befinden, ist es daher wichtig, dass die Luftführung in der Masse erfolgt, damit die Hypokauste nach oben und nach unten ihre Wirkung entfaltet. Problematisch könnte dabei der Trittschall werden, was genau abgeklärt werden müsste.

Im Büro (UG) ist das Temperaturniveau unausgeglichen und eher zu tief, was an der Kumulation verschiedener Faktoren liegt: Grosse Südverglasung, ungenügende Wärmedämmung und zu wenig frei zugängliche Speichermasse. Das solare Luftsystem entfaltet dort nur wenig Wirkung (siehe oben) und die Wärmeabgabe des "Einfuerungsteils" der Ofenkonstruktion ist, angesichts dieser Umstände, eher bescheiden.

Der Wohnraum (EG) selber hat ein ausgezeichnetes Komfortverhalten, und ist gleichzeitig heller und wohnlicher geworden.

Auch das Badezimmer (OG) hat dank dem integrierten Solarboiler ein hohes Komfortniveau. Diese Konzept hat sich jetzt schon mehrmals bewährt und kann generell für Niedrigenergiebauten (Minergie-P und Passivhaus) empfohlen werden. Bisher waren alle Bauträgerschaften zuerst skeptisch (da ungewohnt), wollen heute aber nicht mehr darauf verzichten.

Der zentrale Holzofen ist als einzigste Zusatzwärmequelle (inkl. Warmwasser) bei schlechtem Wetter auch in diese Höhenlagen ausreichend. Der Holzbedarf ist mit nur 19 kWh/m<sup>2</sup> (Energiekennzahl Wärme) sehr niedrig. Die kWh Holzenergie wird aber wegen des aufwändigen Holzofens sehr teuer.

Die semitransparente Photovoltaikanlage im Vordach arbeitet dank der Vergütung der Solarstrombörse wirtschaftlich. Sie leistet einen wesentlichen Beitrag zur Eigenbedarfsdeckung (40 %), und beschert dem Wohnraum ausserdem einen bessere Tageslichtausleuchtung.

Die Bewohner sind sehr zufrieden mit dem Erreichten. Das Gebäude wurde mit dem Solarpreis 2001 ausgezeichnet.

## 8. Anhänge

### 8.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Altes und neues Haus in Südhanglage an einem vielbegangenen Spazierweg in Braunwald auf 1300 M.ü.M.	8
Abbildung 2-1:	Altes und neues Haus in Südhanglage an einem vielbegangenen Spazierweg in Braunwald auf 1300 M.ü.M..	12
Abbildung 2-2:	Dachkollektor vor dem Einglasen. Unterdachbahnen aus Flachblech, Konterlattung, umlaufender Rahmen.	14
Abbildung 2-3:	Der Dachkollektor fertig eingeglast. Gut sichtbar sind die vertikalen Glashalteprofile, der Randabschluss (Spengler) und die horizontalen H-Profile der Glasstöße. Dachüberhang vorbereitet für das Verlegen der semitransparenten PV-module.	15
Abbildung 2-4:	Westhälfte des Verteilkanals für den Dachkollektor; im Kniestock des Daches integriert. Motorisch angetriebene Rücklaufklappe im Vordergrund.	16
Abbildung 2-5:	Photovoltaikanlage. Untersicht des Dachüberhanges über dem Balkon.	17
Abbildung 2-6:	Durchströmung des Solardaches. Im Vordachbereich gut sichtbar die semitransparente Photovoltaik mit ihrem Lichtspiel an der Fassade.	18
Abbildung 2-7:	Ostseite mit angedeuteter, schematischer Luftführung durch das Innere der Gebäudestruktur (Sommerbetrieb: gestrichelt).	18
Abbildung 2-8:	Prinzipschema der energierelevanten Haustechniksysteme	19
Abbildung 2-9:	Schematische Darstellung des solaren Luftkreislaufes und der Warmwasservorwärmung sowie der Anordnung der Temperaturmessstellen	20
Abbildung 2-10:	Giebelschlupf als "Technikraum", Ansicht durch die Serviceöffnung.	21
Abbildung 2-11:	Giebelschlupf in der Rohbauphase, Ansicht von unten vor der Montage des Schlupfbodens.	21
Abbildung 2-12:	Technikraum für den Ventilator. Aufnahme von unten gegen die Decke	22
Abbildung 2-13:	Luftführung in der Hypokauste	24
Abbildung 2-14:	Murokauste aus Kalksandstein als Rücklaufkanal zum Kollektor. Ansicht vom Wohnzimmer. Gut sichtbar sind ausserdem die vollverglasten Türen auf den Südbalkon und das Licht-/Schattenspiel der Photovoltaik.	25
Abbildung 2-15:	Ventilator Kennlinien	26
Abbildung 2-16:	Solarboiler. Ansicht vom Badezimmer	28
Abbildung 2-17:	Ofensatellit im Wohnzimmer. Primärer Speicher und Wärmeabgabe, sowie integriertem Backofen und Warmwasserregister.	29
Abbildung 2-18:	Die Holzofenzusatzheizung. Einfeuerteil im UG. Links: Ansicht im Rohbau vom Büro aus. Rechts. Fertig vom Treppenhaus aus.	30
Abbildung 4-1:	Beschattungssituation des Objekts [Beschattungsdiagramm1 300dpi.gif]	36

### 8.2. Diagrammverzeichnis

Diagramm 1-1:	Energieeinträge [Bw-Monatsauswertung.xls, Energieeintrag]	9
Diagramm 1-2:	Systemtemperaturen an einem schönen, kalten Frühlingstag	10
Diagramm 1-3:	Temperaturverläufe der solaren Warmwassererzeugung.	11

Diagramm 4-1:	Vergleich der gemessenen Klimawerte Sonnenbestrahlung und der Aussentemperatur mit den langjährigen Mittelwerten nach Meteonorm	37
Diagramm 4-2:	Raumtemperaturen (Monatsmittel) und ihre bestimmenden Klimaparameter.	38
Diagramm 4-3:	Energieeinträge [Bw-Monatsauswertung.xls, Energieeintrag]	39
Diagramm 5-1:	Temperaturverläufe der wichtigsten Messwerte bezüglich Gebäudeverhalten während zweier aufeinanderfolgenden Winterwochen 2002	42
Diagramm 5-2:	Temperaturen am Luft-/ Wasser – Wärmetauscher im Winter	45
Diagramm 5-3:	Temperaturverläufe der wichtigsten Messwerte bezüglich Gebäudeverhalten während einer Woche im Frühjahr 2002.	46
Diagramm 5-4:	Temperaturen am Luft-/ Wasser – Wärmetauscher in der Übergangszeit	48
Diagramm 5-5:	Temperaturverläufe der wichtigsten Messgrößen während einer 7 Tage Periode im Sommer 2002 [H0206c.xls, Woche 4].	49
Diagramm 5-6:	Temperaturen am Luft-/ Wasser – Wärmetauscher im Sommer	50

### 8.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Ventilatordaten bei Auslegung	26
Tabelle 2-2:	Ventilatordaten gemessen	26
Tabelle 2-3:	Wärmetauscherauslegung.	31
Tabelle 4-1:	Energiekennzahl Wärme und Minergie (Vergleich)	40
Tabelle 4-2:	Elektrizitätsverbrauch und Photovoltaikertrag	40
Tabelle 4-3:	Haushaltsstrom und Minergie (Vergleich)	41
Tabelle 6-1:	Investitionskosten Heizung und Warmwasser	52
Tabelle 6-2:	Wirtschaftlichkeit der Energieträger. Wo nicht anders erwähnt sind die Werte auf ein Jahr bezogen	53

### 8.4. Literaturverzeichnis

Lit. 1	<b>Meteonorm</b> ; Daten für den Solarplaner, Bundesamt für Energie, 1995
Lit. 2	<b>Solarhaus Tambornino, Trun</b> : Wirtschaftliche und gesamtökologische Optimierung eines konvektiven Solarsystems; A. Gütermann, Bundesamt für Energie, 1998
Lit. 3	<b>Kollektorfassade und Kollektordach als Luftsystem bei einer Gebäudesanierung</b> : Technische, energetische und kostenmässige Optimierung für Heizung und Warmwasser am Beispiel des Solarhauses Stecher-Wyden in Horw; A. Gütermann, Bundesamt für Energie, 2000
Lit. 4	<b>Mehrfamilien-Passivhaus mit solarem Luftsystem</b> : Lüftung/Luftheizung/WRG kombiniert mit Solarfassade an der Rychenbergstrasse, Winterthur; A. Gütermann, Bundesamt für Energie, 2002
Lit. 5	<b>Integration einer konvektiven Fassade in ein Heimatschutzobjekt</b> : Bautechnische und energetische Optimierung für Heizung und Warmwasser am Beispiel des Solarhauses "am Berg" in Herisau; A. Gütermann, Bundesamt für Energie, 2003