



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Schlussbericht Dezember 2011

Erfolgskontrolle Plus-Energie-Mehrfamilienhaus Bennau (SZ)

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Amena AG
Unterrütiweg 22
8400 Winterthur
Tel. 052 214 14 41
ag@amena.ch

Autor:

Andreas Gütermann, amena ag

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 102661 / 153446

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Dieses schweiz- und europaweite Pionierprojekt konnte erstmals die prinzipielle Machbarkeit des Plus-Energie-Konzeptes bei einem Mehrfamilienhaus, sowohl für den Wärme - als auch für den Strombedarf aufzeigen. Neuland beschreiten heisst aber immer auch neue und ganz unterschiedliche Erfahrungen machen, welche "nicht planbar" waren und es auch in Zukunft nicht immer sein werden. Je kleiner die Energiemengen werden, welche letztlich darüber entscheiden, ob die Bilanz nun "positiv" ist oder nicht, desto empfindlicher reagieren solche Systeme auf Störungen, dessen wichtigste und weitgehend unbeeinflussbare das Benutzerverhalten ist. Haustechnikkonzepte für solch hoch gesteckte Ziele sind anspruchsvoll und komplex, sollen sie nicht nur auf "Lösungen" wie ausschliesslich PV, Erdsonden-WP und öffentliches Netz basieren, bei dem die Problematik der Speicherung und der Reservehaltung an die Allgemeinheit "externalisiert" wird.

Summary

This unique project demonstrates for the first time the feasibility of a "Net Positive" multi family building considering both forms of energy use: heating and electricity. Striving to reach new horizons always leads to different experiences which could not be anticipated during the planning (e.g. user behavior). Building technology concepts to achieve such high goals are ambitious and complex, should they not be based only on the solution: 100 % PV, vertical ground coupled heat pump and linking to the utility grid where the problem of storing and availability of energy is externalized to the public.



Erfolgskontrolle Plus-Energie-Mehrfamilienhaus

Bennau (SZ)

A. Gütermann

Dezember 2011

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

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

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer und Autor

Amena AG
Andreas Gütermann
Unterrütiweg 22
8400 Winterthur
ag@amena.ch, Tel. 052 214 14 41

An dem, in diesem Bericht dokumentierten Mehrfamilienhaus und im Speziellen an dessen Haustechnik, waren massgeblich beteiligt:

Sanjo Immobilien AG - Entwickler nachhaltiger energieeffizienter Bauten - Bauherr

Josef Grab*, **Grab Architekten AG** (seit 2011 720°-Architekten AG) - Architekt

Amena AG - Energiekonzept, Messprojekt

Planforum GmbH - Haustechnikplanung

Eicotec AG - Steuerung und Visualisierung

Hans Ziegler AG - Heizung, Sanitär, Lüftung - Unternehmer

Heizplan AG - AKS Doma Fassadenkollektoren

Jenni Energietechnik AG - Wärmespeicher

3S Swiss Solar Systems AG - Photovoltaikanlage

Sopra Solarpraxis AG - Kleinspeicher-Absorber-Holzöfen

* Josef Grab ist Pionier des 1. Plus Energiemehrfamilienhauses der Schweiz

Der vorliegende Bericht ist ausschliesslich zur elektronischen Publikation bestimmt und steht im Internet zum "Download" im PDF-Format zur Verfügung oder kann direkt beim Autor bezogen werden

Abbildungen:

Von den rund 70 Abbildungen stammen über 90 % vom Autor. Falls nicht, ist die Quellenangabe in Klammern () aufgeführt.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung / Zusammenfassung	7
2. Energiekonzept	8
2.1. Grundsätze	8
2.2. Berechnete Erträge der thermischen Kollektoren und der Photovoltaik	11
3. Umsetzung	17
3.1. Lage, Gebäudeform und Ausrichtung	17
3.2. Gebäudestruktur - Leichte Hülle und massive Kern	18
3.3. Gebäudehülle - Minergie-P	19
3.4. Energietechnik	21
3.5. Steuerung, Messdatenerfassung	32
4. Messprojekt	41
4.1. Messperiode	41
4.2. Energiebilanzen	41
4.3. Bilanz Wärme	42
4.4. Bilanz Elektrizität	53
4.5. Vergleich Strom- Wärme- und Gesamtbilanz	54
4.6. Detailauswertungen	55
5. Schlussfolgerungen	80

1. Einleitung / Zusammenfassung

Die Energiebilanzen der zwei Messperioden, Juli 09 /Juni 10 und Juli 10/Juni 11, haben nachgewiesen, dass es möglich ist, Mehrfamilienhäuser zu realisieren, welche **mehr Energie (Wärme und Strom) erzeugen, als die Bewohner darin verbrauchen**. Dies nicht nur "auf dem Papier" sondern tatsächlich, wobei berücksichtigt werden muss, dass die Planung "auf dem Papier" durchaus gerechtfertigt ist, da gewisse Einflüsse (Klima, Benutzerverhalten) standardisiert in die Berechnungen einfließen und nicht, beinahe beliebig, von den "Launen" eben dieser Benutzer und des gerade aktuellen Klimaverlaufes abhängen, welche sich - statistisch gesehen - über die Jahrzehnte zwar ausgleichen, aber natürlich gerade in den Messjahren ganz anders sein können.

Je kleiner die Energiemengen werden, welche letztlich darüber entscheiden, ob die Bilanz nun "positiv" ist oder nicht, desto empfindlicher reagieren solche Systeme auf Störungen, dessen wichtigste und weitgehend unbeeinflussbare das Benutzerverhalten ist. Überspitzt formuliert: Wenn 3 kWh mehr oder weniger darüber entscheiden, ob ein Objekt jetzt Plus-Energie ist oder nicht, dann kann auch ein "Vollbad" mehr oder weniger entscheidend sein....

So "eng" wurde es im vorliegenden Fall jedoch nicht. Selbst ohne die kWh zu gewichten (Strom ist die exergetisch "wertvollere" Energieform wie Wärme) betrug der Bilanz-Überschuss (Wärme und Strom) im ersten Messjahr 5000 kWh und im zweiten 1000 kWh. Dabei ergab sich jeweils bei der Wärmebilanz eine leichte Unterdeckung, weil mehr Holz in den Zimmeröfen verbrannt wurde als im Sommer in Form von Warmwasser an den Nachbarn exportiert werden konnte. Bei der Strombilanz ergab sich aber jeweils ein grösserer Überschuss der Photovoltaikproduktion.

Ein "Plus-Energie-Gebäude" laut der obigen Definition **schliesst den Haushaltstromverbrauch mit ein**. Solche Gebäude spielen daher in einer ganz anderen (höheren) Liga als z.B. Minergie-A[®], welche den grössten Teil des Elektrizitätsverbrauch nicht mit einbeziehen und nur Anforderungen an die durch die Bauherren fest installierten Apparate und Beleuchtungsmittel macht - was die Mieter selbst installieren und wie viel Strom sie durch ihr Verhalten verbrauchen wird nicht berücksichtigt, obwohl dies (75% !) in einem MFH der grösste Einzelposten beim Stromverbrauch ist.

Haustechnikkonzepte für das hoch gesteckte Ziel eines echten Plus-Energie-Gebäudes sind anspruchsvoll und komplex, sollen sie nicht nur auf "Lösungen" wie ausschliesslich PV, Erdsonden WP und öffentliches Netz basieren, bei dem die Problematik der Speicherung und der Reservehaltung an die Allgemeinheit "externalisiert" wird.

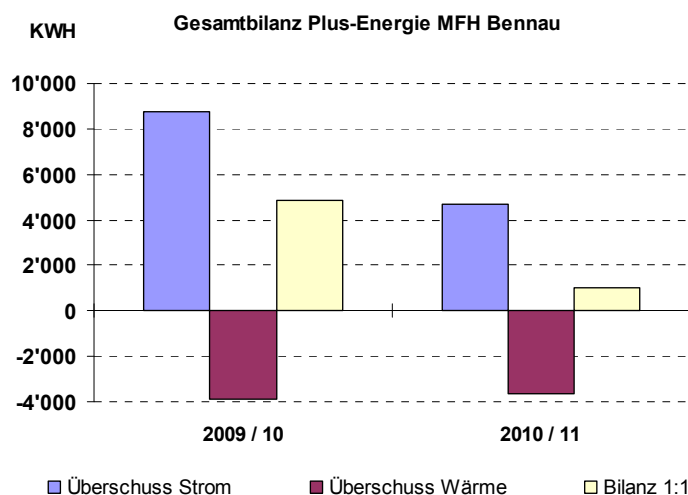


Abbildung 1-1: Gesamtenergiebilanz. Strom gleiche Gewichtung wie Wärme (1:1)

Überschüsse bei der Strombilanz stehen einer leichten Unterdeckung bei der Wärmebilanz gegenüber, welche, miteinander verrechnet, einen Überschuss in der Gesamtbilanz ergeben.

2. Energiekonzept

2.1. Grundsätze

Zur Erreichung einer positiven Gesamtenergiebilanz eines Gebäudes, d.h. dass mehr Energie produziert wird, als das Gebäude und seine Bewohner darin verbrauchen, ist Minergie-P nur eine, wenn auch wichtige Voraussetzung, weitere sind:

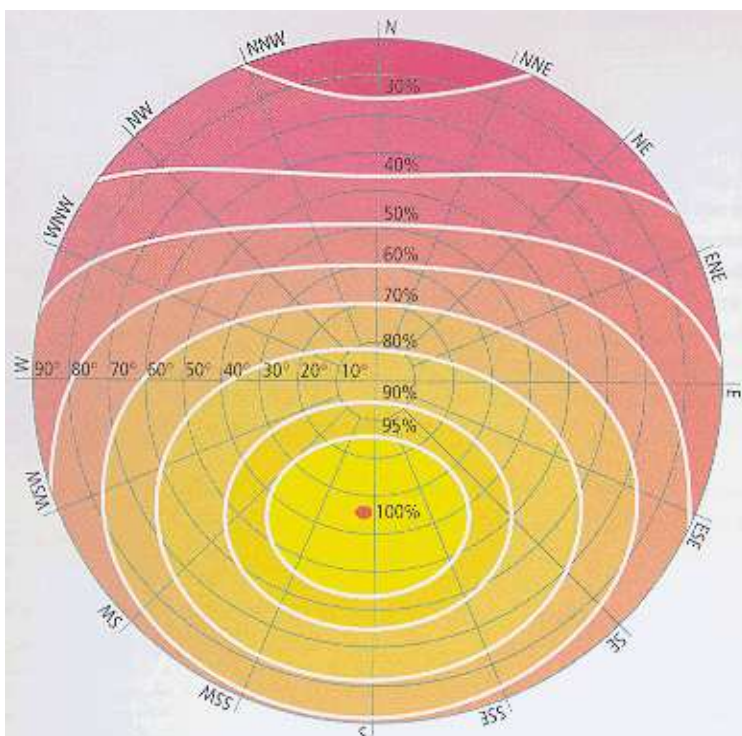
- Solare Gewinnflächen müssen vorhanden, maximiert und 100 % genutzt werden. Sowohl Elektrizität als auch Wärme müssen produziert werden. Grundsätzlich wäre eine reine Photovoltaik (PV) - Lösung mit einer Erdsonden-Wärmepumpe (WP) denkbar:
 - Vorteil: Einfache Gebäudetechnik - keine Speicher - keine Überschussverluste
 - Nachteile: 1) Das -externe- Stromnetz wird noch mehr als "williger Speicher" gebraucht (bzw. missbraucht) und mit stark schwankender Produktion belastet. 2) Zumindest für die Warmwasservorwärmung bei weitem nicht so effizient wie eine Kollektorlösung. 3) Nicht überall realisierbar (z.B. Grund- Quellwasserschutzgebiet).

Hier könnte man einwenden, dass ja auch eine Aussenluft-Wasser WP eingesetzt werden könnte? Diese ist aber deutlich weniger effizient. Je kälter die Aussentemperatur, desto schlechter der Wirkungsgrad - je besser das Gebäude (Minergie - P) desto gravierender, da sowieso nur geheizt werden muss, wenn es (sehr) kalt ist.

- Die Bewohner verhalten sich 2000 Watt-Gesellschaft kompatibler als der Durchschnitt bezüglich ihres Elektrizitäts-Bedarfs und der Raumtemperatur (20°C). Letzteres ist vor allem deshalb wichtig, weil sich sowohl hier, als auch bei andere Untersuchungen an Minergie-P Mehrfamilienhäusern (MFH) (W. Hässig et al. 2009) gezeigt hat, dass sich der Wärmebedarf bei 2°C höherer Raumtemperatur etwa verdoppelt (u.a. wegen der schlechteren Nutzung der internen Wärmequellen). Dieser Punkt lässt sich bei hoch motivierten Einfamilienhausbesitzern sicher einfach beeinflussen, fällt aber (leider) bei Mietern weitgehend aus.

2.1.1. PV aufs Dach - Kollektoren an die Fassade

Dies ist die logische Konsequenz der Randbedingungen wie: Beides muss Platz haben, saisonales Angebot - Speichermöglichkeit (im Stromnetz - noch - unbegrenzt). Die Kollektoren (und Fenster)



an der Südwestfassade liefern in der Jahressumme zwar ein Drittel weniger wie wenn sie 35 ° geneigt wären, nur "nützt" der viele Ertrag im Sommer nichts wenn er nicht verwertet werden kann. Im Winterhalbjahr, und auf das kommt es an, liefern Südfassaden jedoch denselben Ertrag ohne im Sommer grosse, unverwertbare Überschüsse zu generieren, welche nur in einem riesigen (teuren) Saisonspeicher und auch bei bester Isolation nur mit hohen Verlusten in den Winter gerettet werden könnten.

Abbildung 2-1: Polardiagramm der jährlichen Globalstrahlungssumme nach Ausrichtung und Neigung (Quelle unbekannt)

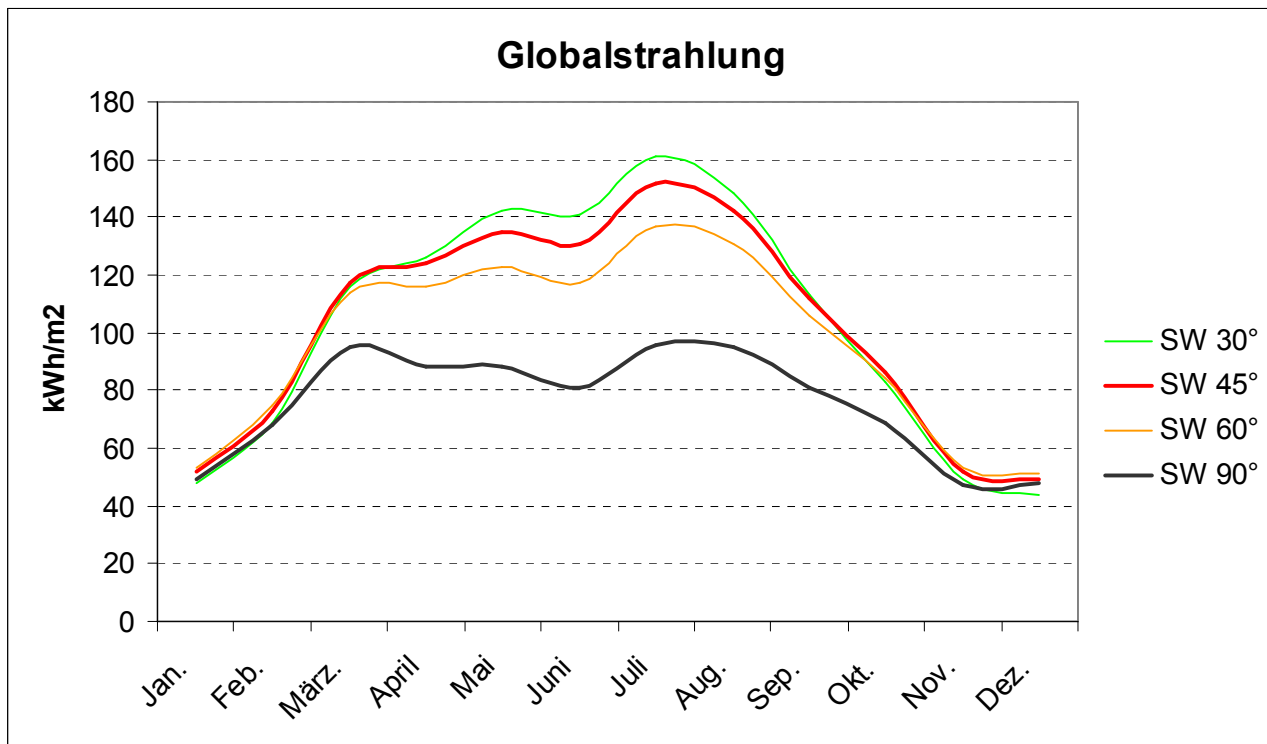


Abbildung 2-2: *Monatliches Globalstrahlungsangebot bei Südwestausrichtung und unterschiedlicher Neigung, gerechnet mit Meteodaten (Meteonorm, Einsiedeln). Stark ausgezogen die am Objekt verfügbaren Flächen (90° vertikal und 45° geneigt).*

Thermische Solarkollektoren

Während der eigentlichen Heizperiode eines Minergie-P Gebäudes (November bis Februar) unterscheiden sich die Globalstrahlungsangebote kaum - von März bis Oktober jedoch deutlich. Angenommen, der Warmwasserbedarf kann mit 70kWh/m² Globalstrahlungsangebot befriedigt werden, so ist der Überschuss in den Sommermonaten in der Vertikalen moderat, bei 30 - 60 ° geneigten Flächen hingegen 3-4 mal grösser. Dieser grosse Überschuss lässt sich thermisch nicht verwerten, es sei denn in einem sehr grossen "Saisonspeicher", welcher die Sommerwärme einigermaßen in die Heizperiode hinüberträgt.

Aber auch die kleineren Sommerüberschüsse der Vertikalen muss ein "Plus-Energie-Haus" irgendwie verwerten um die Bilanz aufzubessern.

Ausserdem ist das Strahlungsangebot im Winter (November - Februar) derart schlecht und zeitlich oft ungünstig verteilt (lange Schlechtwetterperioden), dass weder die Warmwasserbereitung noch die Heizung zu 100 % sichergestellt werden kann - Saisonspeicher oder Nachheizung ist also erforderlich.

Saisonspeicher ?

Dieses Konzept, dessen Machbarkeit schon anderweitig belegt werden konnte (MFH Oberburg, Jenny), wurde hier nicht realisiert, weil die Kollektoren die Dachflächen vollständig benötigt hätten, eine Photovoltaikfassade aber nicht genug Strom produziert würde, um den gesamten Elektrizitätsbedarf (inkl. Haushaltstrom) zu decken. Ein Minergie-A MFH (ohne Haushaltstrom) wäre damit aber möglich. Ausserdem wäre ein sehr grosser Speicher (ca 130'000 bis 200'000 lt) über mehrere Stockwerke nötig gewesen.

Auch ohne Saisonspeicher muss die Kollektorwärme bewirtschaftet d.h. energetisch und exergetisch optimal gespeichert und verwertet werden, was abgesehen von einer reinen Warmwasser-

aufbereitung einen nicht unerheblichen finanziellen (z.B. Speicher) und logistischen (Steuerung) Aufwand bedeutet, umso mehr, da auch so (wenn auch kleinere) Überschüsse entstehen, deren Nichtverwertung sich ein Plus-Energie-Gebäude nicht leisten kann. Daher konnte hier eine Warmwasservorwärmung für das Nachbargebäude realisiert werden.

Photovoltaik

Eine netzgekoppelte Photovoltaik (PV)-Anlage kennt das Speicherproblem nicht - das Netz dient als "Speicher", bzw. die Elektrizitätswirtschaft muss diese Leistung erbringen. Der Sommerüberschuss kann voll verwertet werden.

Da sich ausserdem der Elektrizitätsbedarf in einem Plus-Energie MFH nicht wesentlich von einem konventionellen MFH unterscheidet - etwas effizientere, fest installierte Geräte und Beleuchtung, dafür mehr "Haustechnik" (Lüftung, Abluftwärmepumpe, Pumpen usw.) - also inkl. Haushaltstrom sehr hoch ist, liegt der Entscheid, an welcher Fläche welche Nutzung stattfindet, auf der Hand.

Abweichung von der Südausrichtung

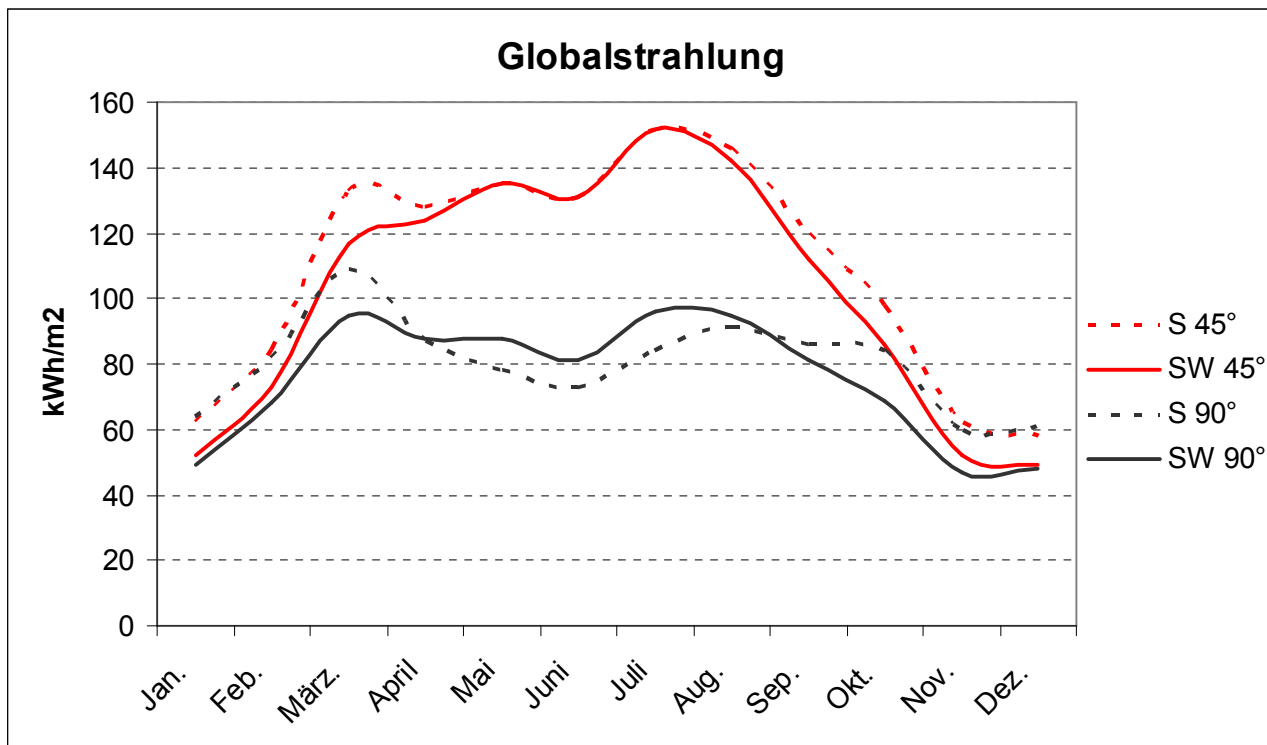


Abbildung 2-3: Unterschiede im monatlichen Bestrahlungsverlauf für das Plus-Energie.MFH mit der realisierten Ausrichtung (SW) und einer theoretischen Südausrichtung (S), jeweils für das PV-Dach (45°) und die Kollektorfassade (90° Neigung). Berechnungen Meteonorm.

Während in der Jahressumme jeweils nur eine Minderbestrahlung für die Südwestlage von 6 % resultiert, sind die Monate mit tiefem Sonnenstand (Oktober bis Februar) und speziell an der vertikalen Fassade stärker betroffen (-20 %). Verstärkt wird dieser Effekt beim Objekt noch durch eine Teilbeschattung des unteren Drittels der vertikalen Kollektorfassade durch das vorgestellte Pavillon, sodass in den Wintermonaten noch eine zusätzliche Einbusse von 10 % resultiert. Während bei PV gilt: Je kälter desto besserer Wirkungsgrad, ist es bei den thermischen Kollektoren gerade umgekehrt, sodass in den Hochwintermonaten (Dezember, Januar) der Ertrag sehr bescheiden wird und somit eine Zusatzheizung (auch für Warmwasser) unumgänglich ist, wenn kein Saisonspeicher zum Einsatz kommen soll. Einen kleinen Vorteil haben Fassadenkollektoren gegenüber stark geneigten ausserdem: Bei Solareinstrahlung sorgt die erwärmte Grenzschicht für weniger Verluste. Dieser Effekt konnte schon verschiedentlich nachgewiesen werden.

2.2. Berechnete Erträge der thermischen Kollektoren und der Photovoltaik

Für beide Nutzungen stehen Berechnungsprogramme zur Verfügung, welche das Verhalten des Systems simulieren und damit eine, in der Regel monatliche, Ertragsprognose liefern. Die Grundlagen dafür sind (in abnehmender Wichtigkeit):

- Langjähriges Mittel der Sonnenbestrahlung (Globalstrahlung)
- Langjähriges Mittel der Aussentemperaturen
- Kenndaten der Kollektoren
- Kenndaten der (solaren) Systemtechnik
- Kenndaten des Verbrauches

2.2.1. Langjähriges Mittel Globalstrahlung und Aussentemperatur

Diese werden aus gemessenen Daten der nächstgelegenen Meteostationen für den tatsächlichen Standort interpoliert und müssen bei der Globalstrahlung, die Meteostationen ermitteln die Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche, noch auf die aktuelle Ausrichtung der solaren Gewinnfläche umgerechnet werden.

Gerade in der Schweiz, mit ihren eher kleinen, sehr unterschiedlichen Geländekammern, sind all diese Extrapolationen mit grossen Unsicherheiten verbunden, welche sich bestenfalls im langjährigen Monatsmittel einigermaßen ausgleichen. Die Umrechnung der Solarstrahlung auf geneigte Flächen ist zudem heikel je weiter die Neigung von der Horizontalen entfernt ist, weil Einflussfaktoren wie der nahe und der ferne Horizont (Beschattung) und die Rückstrahlung der Umgebung dazu kommen, welche zwar ebenfalls (grob) berücksichtigt werden können, aber zur Unschärfe der Berechnungen wesentlich beitragen.

2.2.2. Kenndaten der th. Kollektoren und der Solarzellenmodule

Diese sind die, in der Regel am besten bekannten Parameter, welche an renommierten Instituten gemessen wurden. Hingegen sind die ausgelieferten Exemplare selten genau identisch (Produktionsschwankungen) und die konkrete Einbausituation entspricht in der Regel nicht der Testumgebung - also auch hier ein "Unsicherheitsfaktor".

2.2.3. Kenndaten der Systemtechnik und des Verbrauches

Alle PV-Anlagen sind relativ einfach aufgebaut - Ein Wechselrichter zur Umwandlung des solar generierten Gleichstroms in netzsynchronen Wechselstrom. Ein "Speicher" muss nicht berücksichtigt werden, da das öffentliche Netz (bisher..) alles willig und 1:1 abnimmt. Die Kenndaten der Wechselrichter sind in der Regel gut bekannt und auch überprüft. Allerdings kann man auch hier Fehler machen: Zu gross dimensionierte Wechselrichter; zu dünne Stromkabel mit hohen Verlusten; Teilbeschattung der Solarzellenmodule; mangelnde Hinterlüftung (Kühlung) - Effekte, welche die meisten Anbieter aber einigermaßen im Griff haben.

Schwieriger wird es bei den thermischen Solaranlagen. Schon ein einfaches Solarsystem für reine Warmwassererzeugung ist einiges komplexer als ein PV-System, da die Speicherung dazukommt und der zeitliche und mengenmässige Verbrauch praktisch nie dem theoretischen entspricht. Dazu kommt die hydraulische Einbindung, bei der viel "schief" gehen kann - dem versuchen die Hersteller durch standardisierte Systeme entgegenzusteuern, was bei kleineren Anlagen für EFH (Warmwasser alleine oder mit Heizungsunterstützung) auch weitgehend geglückt ist. Bei grösseren, komplexeren Systemen, wie sie im vorliegenden Fall angewendet werden mussten, um ein Maximum an Energie und Exergie herauszuholen und damit "Plus-Energie" zu erreichen, war ein "Standard-system" weder möglich noch auf dem Markt erhältlich (z.B. Warmwasserexport zum Nachbar-MFH). Jedes Solarsystem, welches zudem zur Heizungsunterstützung eingesetzt wird, muss den

Wärmebedarf (Verbrauch) des Hauses relativ genau kennen (thermische Gebäudesimulation) und das Benutzerverhalten einberechnen. Beides ist Theorie, da (überall) sowohl das realisierte Gebäude, als auch das Benutzerverhalten relativ stark von den Planungswerten abweichen.

Daher ist die Berechnung solcher komplexen Systeme mittels der üblichen Berechnungstools zwar theoretisch möglich, praktisch aber (wenigstens zum damaligen Zeitpunkt) nicht realistisch, so dass sich klar zeigte, dass man froh sein kann, wenn der Jahresertrag in etwa stimmt und die Monatsverteilung einigermaßen plausibel ist.

2.2.4. Plausibilitätsprüfung

Durch das, im vorgehenden Abschnitt genannte, wird schnell klar, dass man sich nicht "blind" auf die Berechnungstools verlassen kann und - darf. Zumindest der resultierende mittlere Kollektorertrag muss sowohl thermisch als auch elektrisch den Erfahrungswerten einigermaßen entsprechen. Ausserdem sollte die monatliche Verteilung der Erträge in etwa dem Verlauf des Solarstrahlungsangebotes entsprechen - das dies nicht "selbstverständlich" ist, musste auch hier leider festgestellt werden.

2.2.5. Darstellung der berechneten thermischen Kollektorerträge

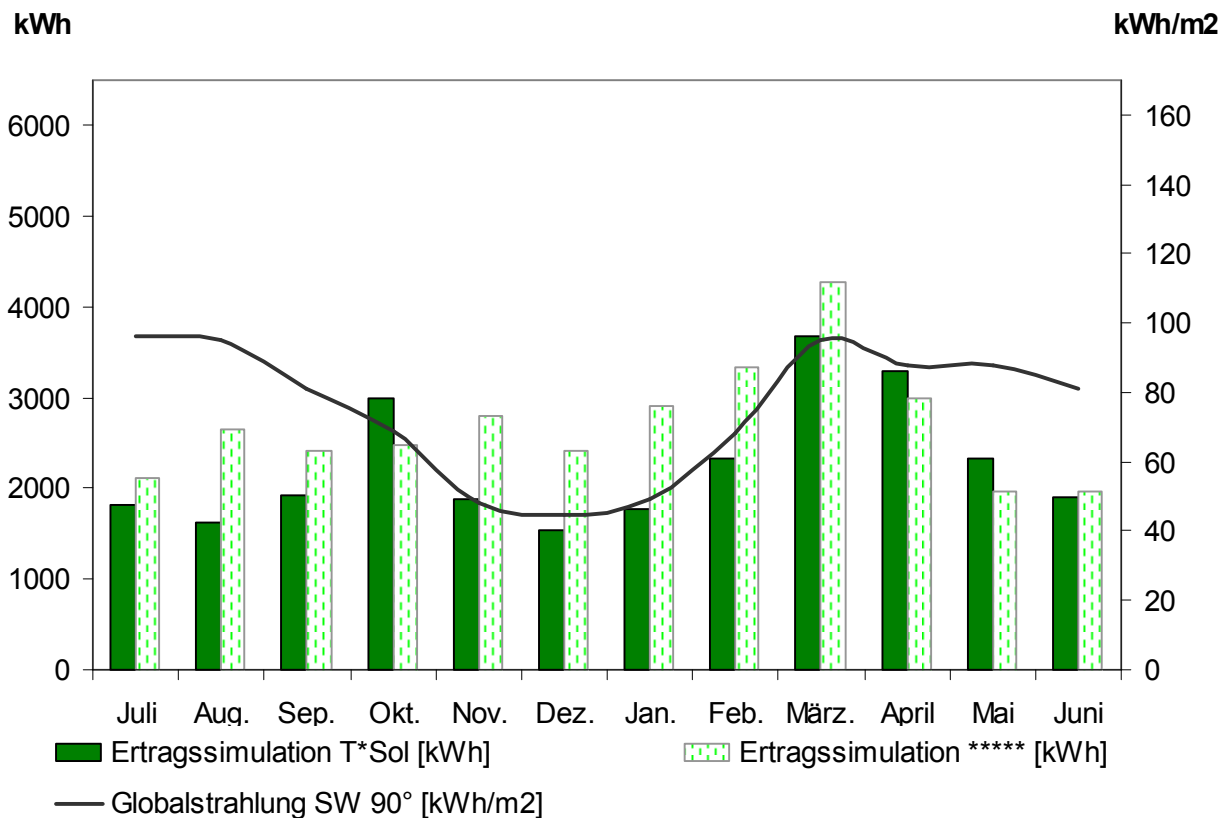


Abbildung 2-4: Verlauf des langjährigen Globalstrahlungsangebotes (Meteonorm) auf die Südwestfassade (SW 90°) und die berechneten Monatserträge mit dem Programm T*Sol durch den Lieferanten und einer weiteren bekannten Berechnungssoftware

Die Erträge von T*Sol folgen von Oktober bis April einigermaßen dem Strahlungsangebot, hingegen nicht diejenigen des anderen (****) Programms, welches für die Wintermonate mit unrealistisch hohen Erträgen aufwartet, möglicherweise mit ein Grund, dass im Winter nach wie vor von der Solarenergienutzung "Wunder" erwartet werden...

Das der Solarertrag dem Strahlungsangebot im Sommer nicht folgt ist klar, da bei einem heizungsunterstützenden System im Sommer selbst an einer vertikalen, südgerichteten Fassade ein Überangebot besteht, welches nur teilweise für die Warmwasserbereitung genutzt werden kann. Dies war der Grund, eine "Exportmöglichkeit" für diese Wärme zu suchen und in Form einer Warmwasservorwärmung für das Nachbar-MFH zu realisieren. Damit verbessert dieser "Aussenhandelsüberschuss" die Energiebilanz und es wird das gesamte Strahlungsangebot genutzt.

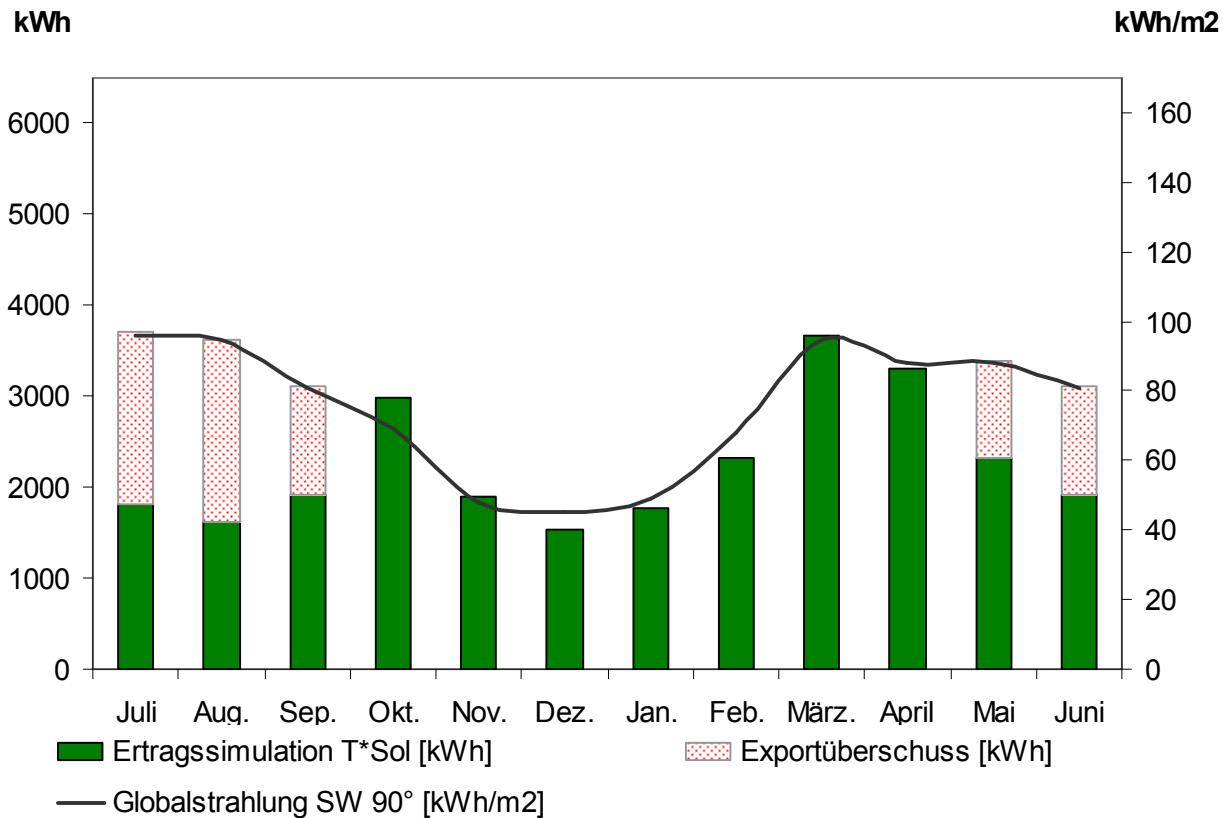


Abbildung 2-5: Normalerweise (auch an einer vertikalen SW-Fassade) ungenutztes sommerliches Überangebot an Solarwärme, hier genutzt als Warmwasservorwärmung für das Nachbar-MFH

Das Warmwasser des Nachbarn wird natürlich nicht nur im Sommerhalbjahr vorgewärmt, sondern auch im Winterhalbjahr, wenn unverwertbare Wärme anfällt, was durchaus vorkommt, da dann der Vorwärmespeicher des Nachbarn in der Regel ein sehr tiefes Temperaturniveau (10°C) aufweist und somit Solarenergie auf sehr tiefem Temperaturniveau effizient genutzt werden kann, die anderweitig im Eigenbedarf gar nicht genutzt werden könnte.

2.2.6. Darstellung der berechneten elektrischen PV- Modulerträge

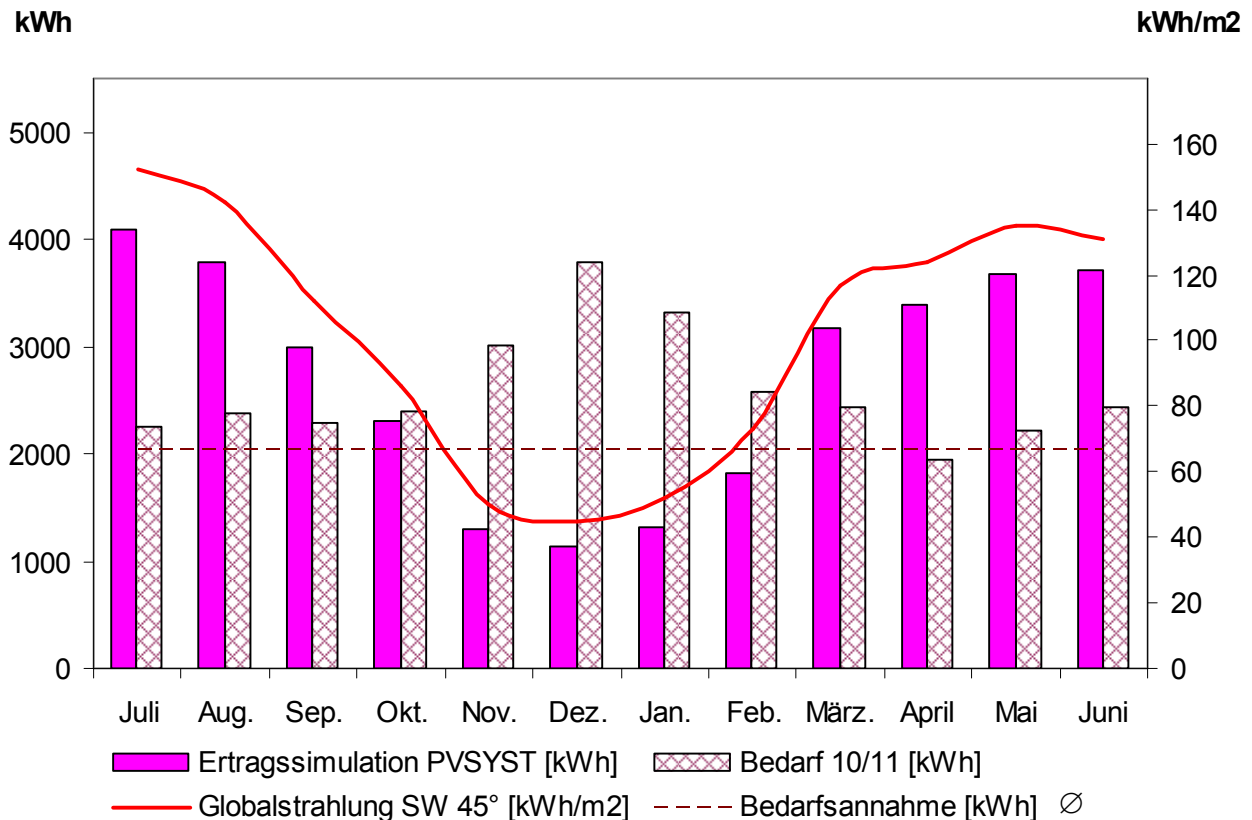


Abbildung 2-6: Verlauf des langjährigen Globalstrahlungsangebotes (Meteonorm) auf das 45° geneigte Südwestdach, die berechneten Monatserträge mit dem Programm PVSYST sowie der mittlere angenommene und der tatsächliche Bedarf.

Der monatliche Ertragsverlauf "passt" zum Solarstrahlungsangebot. Überschusssituationen ergeben sich keine, da jederzeit voll ins Netz gespiesen werden kann.

Werden jetzt auch der, dem Energiekonzept zugrunde gelegte, mittlere Elektrizitätsbedarf (-----) sowie der tatsächliche Bedarfsverlauf in der Messperiode 2011/11 (▨) in die Graphik eingetragen so wird folgendes deutlich:

- Wie bei der Wärme, besteht auch beim Strom ein jahreszeitliches Ungleichgewicht. In den trüben Wintermonaten Nov. - Feb. besteht eine Unterdeckung, welche durch Überschüsse im Sommerhalbjahr ausgeglichen werden müssen. Diese Dienstleistung erbringt "das Netz" allerdings zu Lasten der Allgemeinheit, welche diese Infrastruktur finanzieren muss.

Der Vergleich zwischen dem angenommenen Bedarfsdurchschnittswert (-----) und dem tatsächlichen Verlauf (▨) zeigt ausserdem:

- Es wird (viel) mehr Elektrizität verbraucht als angenommen, vor allem in den Wintermonaten.

Die saisonalen Unterschiede sind bis zu einem gewissen gerade "logisch", wegen des Vermehrten Einsatzes der WP und der, durch die Mieter mitgebrachten, meist relativ ineffizienten Leuchtmittel und weiterer Elektrogeräte. Da der Wohnungsstromverbrauch "Privatsache" ist, und durch die Mieter mit dem EW direkt abgerechnet wurde, erst recht. Aus diesem Grunde musste auch der Strombedarf aus dem Bonus - Malus - System herausgenommen werden... Das es trotzdem für "Plus-Energie" reichte ist erfreulich, aber nicht selbstverständlich.

2.2.7. Komfortlüftung (Erdregister, Fortluft-WP)

Grundsätzlich stehen (heute) zwei Philosophien im Vordergrund um den Energieverlust durch die nötige Lüftererneuerung weitgehend zu vermeiden. Wärmerückgewinnung in einem zentraler Lüftungsmonoblock oder dezentrale Wohnungseinheiten. Die dezentralen Geräte haben in jüngster Zeit grosse Fortschritte gemacht, in der Konzeptphase (2007) überwogen die Vorteile der zentralen Lösung aber eindeutig, auch wegen der Einbindung ins Gesamtkonzept. Grundsätzlich sind heute aber beide Konzepte für ein Plus-Energie-MFH realisierbar.

Ein hocheffizienter Gegenstromwärmetauscher ist selbstverständlich. Zudem wird (und kann) die Restwärme in der Fortluft nicht einfach "verschenkt" werden und eine kleine Luft-Wasser-Wärmepumpe nutzt dieselbe. Ein Zielkonflikt aller solcher Anlagen ist, dass, je besser der Gegenstromwärmetauscher ist (und sein soll...), desto weniger Restwärme steht für die Wärmepumpe zur Verfügung.

Das zentrale Lüftungsgerät ist 2-stufig. Die 2. Stufe wird nur für den WP-Betrieb benötigt, welche die solaren Warmwasserbereitung für Schlechtwetterphasen unterstützt und, wenn sie dort nicht gebraucht wird, auch die Bodenheizung leicht anheben kann. Ein Erdregister glättet die Temperaturschwankungen in der Aussenluft. Es ist allerdings, auch aus Platzmangel, nicht in der Lage auf 800 M ü M Frostfreiheit der Aussenluft zu garantieren. Die ganze Prozesskette ist heikel. Das "schwächste Glied", oder nur schon eine Kombination kleiner Unzulänglichkeiten, können (zu) grosse Wirkung entfalten.

Ausserdem "leiden" bisher alle Lüftungsanlagen daran, dass sie nicht (oder nur eingeschränkt) "bedarfsgerecht" sind und daher meist viel zu hohe Lüfraten (am falschen Ort) aufweisen. Eine echte, bedarfsgerechte Lüftung, wie sie durch den Mensch via "Fensterlüftung" automatisch einigermassen sichergestellt ist, funktioniert wie folgt:

- gelüftet wird nur dann und nur dort, wo Menschen anwesend sind.
- gelüftet wird nur dann und nur solange der Geruch (oder die Feuchtigkeit) "lästig" ist.

Gewisse Geräte können heute mit einem CO²-Fühlern (im Abluftstutzen) ausgerüstet werden, welcher den Ventilator regelt, allerdings immer für die ganze Wohnung und nicht nur dort, wo dies nötig wäre. Allerdings wäre es theoretisch denkbar, mit Präsenz- und CO² Fühlern in jedem Raum entsprechende Luftklappen anzusteuern, was einen sehr hohen Aufwand bedeutet. Die notwendige, druckabhängige Steuerung der Ventilatoren, wäre bei guten Geräten jedenfalls vorhanden...

Leider ergibt sich durch den Einsatz einer Fortluftwärmepumpe ein weiterer Zielkonflikt:

- Die Fortluftwärmepumpe ist auf hohe Lüfraten angewiesen, da sie sonst nicht effizient arbeiten kann.

Aus diesen diversen "Zielkonflikten" wurde folgender Mittelweg eingeschlagen:

- Grundlüftung (50%) der theoretischen Lüftererneuerungsrate
- 100% Luftleistung nur bei Wärmepumpenbetrieb

Die theoretische Lüftererneuerungsrate wird in den Normen über die m²-Wohnfläche bestimmt und geht von einer mittleren Belegung und Belastung aus, welche in den meisten Fällen nicht stattfindet, da die Leute z.B. selten da sind (auswärts, berufstätig). Sollte (im Extremfall...) die 50% Grundlüftung nicht ausreichen, kann über die Fenster kurzfristig "nachgeholfen" werden, was bei Minergie ja auch nicht "verboten" ist, aus Erfahrung aber praktisch nie vorkommt und allemal besser (= energieeffizienter und komfortabler) ist, wie rund um die Uhr mit zu hohen Luftwechselraten zu fahren.

2.2.8. Kleinspeicheröfen als Ergänzung

Für kalte, bewölkte Perioden, wenn der zentrale Wärmespeicher "leer gefahren" ist, ist eine "Ergänzungsheizung" unabdingbar. Hier in Form von kleinen Holzspeicheröfen, welche Absorber eingebaut haben. Damit kann ein Radiator im Bad bedient, aber auch die zentrale Warmwasseraufbereitung unterstützt werden. Die Bedienung der Öfen durch die Mieter ist nicht immer optimal.

Diese Konzept für eine Ergänzungsheizung ist nicht das einzig denkbare. Alternativen wären:

- Erdwärmesonde und Sole-Wasser WP (erhöhter Strombedarf), hier nicht möglich - Gewässerschutz.
- Luft-Wasser WP mit Aussenluft (stark erhöhter Strombedarf)

Diese Wärmepumpen kämen als Ergänzungsheizungen zum Einsatz und könnten die Funktion der Wohnungsholzöfen übernehmen. Sie machen die (kleine) Fortluftwärmepumpe in der Lüftung keinesfalls "überflüssig" da die Nutzung dieser Restwärme sinnvoll bleibt. Die Notwendigkeit die Wohnungsöfen einzufeuern würde jedoch entfallen, der Holzverbrauch auch.

Ob jedoch der erhöhte Strombedarf auch noch mit Eigenproduktion gedeckt werden kann, ist fraglich (vor allem im Falle der Aussenluftwärmepumpe) - selbst wenn man noch den Wärmeexport im Sommer (Warmwasservorwärmung) an das Nachbargebäude rechnerisch berücksichtigen würde. Der neue Minergie-A Standard (Null-Energie) umgeht dieses Problem "elegant", indem der grösste Teil des Stromverbrauches in einem Gebäude - der Haushaltstrom - in der Bilanz ignoriert wird, um mit diesem Strom bzw. den damit "freiwerdenden" PV-Fläche z.B. eine Wärmepumpe zu betreiben... Von einem "echten" Plus-Energie-Standard ist bei Minergie A also keine Rede.

Die Bauherrschaft entschied sich, bei diesem Gebäude die Wohnungsöfen als Ergänzungsheizung zu realisieren und den Holzverbrauch durch den Export von Warmwasser zum Nachbargebäude zu kompensieren.

2.2.9. Wärmerückgewinnung aus dem (warmen) Abwasser

Wärme z.B. in Form von warmem Abwasser achtlos zu entsorgen, wie das bisher üblich war, ist alles andere als energieeffizient. Um den Aufwand dafür klein bzw. vertretbar zu halten muss folgendes gelten:

- Warmes Abwasser muss getrennt gesammelt bzw. abgeführt werden und nicht mit kaltem Wasser temperaturmässig heruntergemischt werden (Exergie). WC-Abwasser (grösster Einzelverbrauch) ist nicht nur kalt, sondern hat auch wegen der "Belastung" hier nichts verloren.
- Das System sollte 100 % wartungsfrei sein und die gleiche Lebensdauer aufweisen wie alle anderen Rohrinstallationen und keine Zusatzenergie (z.B. für Pumpen) benötigen.

Aber auch das Abwasser von Kleiderwaschmaschinen, Spül- und Waschbecken sind nicht geeignet, da sie alle über einen gemeinsamen (warm + kalt) Ablaufstutzen verfügen. Geschirrspüler produzieren zwar vor allem warmes Abwasser, das aber oft sehr belastet (Fett) ist und wiederum im gleichen Abwasserrohr wie das Spülbecken entsorgt wird.

Ein sicherer Wert sind hingegen alle Badewannen und Duschen, da hier zu 99 % Warmwasser zum Einsatz kommt. Ausserdem sind sie die weitaus grössten Warmwasserverbraucher in einem Haushalt.

Diese warmen Abwässer müssen zusammengeführt und in einem separaten Fallstrang ins UG geführt werden, damit sie dort das kalte Leitungswasser in der Zuleitung zur Warmwasseraufbereitung vorwärmen können - aber wie?

Als Lösung bietet sich das "Rohr in Rohr - Prinzip" an, wobei im äussere Mantel (im Gegenstrom) kaltes Leitungswasser vorgewärmt wird. Da gerade beim Duschen der Warmwasserbedarf synchron mit dem Abwasseranfall verläuft, ist dies ideal (es wird im Durchschnitt mehr geduscht als gebadet).

3. Umsetzung

Baujahr 2008

3.1. Lage, Gebäudeform und Ausrichtung

Bennau ist ein kleines Dorf in 15 Minuten Gehdistanz von Biberbrugg, einem Knotenpunkt des öffentlichen Verkehrs (ÖV) im Kanton Schwyz, mit sehr guten Verbindungen in alle Himmelsrichtungen (Zürich, Rapperswil, usw.). Ausserdem hält ein Bus (Einsiedeln - Biberbrugg) direkt vor dem Haus. Trotz der für eine ländliche Gemeinde guten Anbindung an den ÖV wird dieser nicht gerade intensiv genutzt und das eigene (oder zwei) Autos gehören auch in Bennau zur Standardausrüstung der Einwohner. Das Plus-Energie MFH in Bennau macht deutlich, dass (schweizweit) der Energiebedarf "Wohnen" zwar nachhaltig lösbar ist, die "Mobilität" jedoch diejenige Grösse bleibt, welche wohl nur durch eine Verhaltensänderung ("Weniger ist Mehr") 2000 Watt-Gesellschaft kompatibel wird.

Bei der Gebäudeform war das Ziel, einen optimale Kompromiss zu finden zwischen einem möglichst guten Oberflächen /Volumen Verhältnis, und damit minimalen Wärmeverlusten (Würfel), sowie einer maximalen solaren Gewinnfläche. Dies ergibt einen Quader, dessen Längsseite der Sonne zugewandt ist und ein 45° geneigtes Schrägdach (Mittelgiebel Vorgabe der Baubehörde).



Abbildung 3-1: Kompakte Bauweise und doch maximale solare Gewinnflächen. Südansicht

Die Ausrichtung der Hauptfassade nach Südwesten ist theoretisch zwar nicht optimal, war hier aber durch die Grundstückform und die Beschattung im Südosten, durch die (sehr grosse und hohe) Bennauer Kirche, gegeben.



Abbildung 3-2: Lage: Im Hintergrund die dominante, die Südostfassade stark beschattende, Kirche. Links das Nachbar MFH, an welches vorgewärmtes Warmwasser abgegeben werden konnte.



Abbildung 3-3: Ostansicht mit kleinen Fensteröffnungen gegen Norden und dem, ausserhalb der Wärmedämmebene gelegenen, unbeheizten Treppenhaus als Windfang und Pufferzone.

Das Gebäude umfasst 6 grosszügige 4 ½ -Zimmerwohnungen und eine, den ganzen Dachraum umfassende Loft-Wohnung. Im Untergeschoss (UG) sind eine Tiefgarage, die Haustechnik (u.a. Solarspeicher) sowie Kellerabteile und ein kleiner Brennholzlagerplatz untergebracht. Die geographische Lage lässt sich gut auf <http://maps.google.ch/> (Eingabe: "Bennau") betrachten.

3.2. Gebäudestruktur - Leichte Hülle und massive Kern

Seit Jahrzehnten tobt ein "Glaubenskrieg" zwischen den Anhängern der Massivbauweise und der Leichtbauweise, welches nun das "bessere" Gebäudekonzept darstellt. Tatsache ist: Auf beide Arten lassen sich hochisolierte Bauten realisieren, die den Minergie-P (eco) Standard erreichen.

Das "optimale" Konzept (Kosten, Energie- und Ressourcen-Effizienz sowie Komfort) ist aber weder das eine noch das andere "Extrem", sondern eine kluge Kombination beider Bauarten. Mit der "Skelettbauweise", sprich einem massiven Kern und einer leichten, hochwärmedämmenden Hülle, kommt man diesem Optimum nahe (welches die Evolution auch bei vielen höher entwickelten Tieren herausgearbeitet hat).

Ein solches Gebäude hat:

- Massive, statisch tragende Geschossdecken und massive Innenwände. Beide erfüllen neben der statischen Funktion jene der Energiespeicherung für die durch die (Süd-)Fenster einfallende Solarstrahlung. Ein reiner (Holz-)Leichtbau kann zwar statisch genügen, die Energiespeicherung und der effiziente Ausgleich von Temperaturschwankungen sind praktisch nicht möglich.
- Leichte hochwärmedämmende Gebäudehülle. Da konventionelle Dämmstoffe (z.B. Steinwolle) Dämmstärken über 30 cm erfordern, ist eine leichte, voll ausisolierte Struktur schlanker zu realisieren, als wenn zuerst noch eine massive Wand von ca 20 cm erstellt wird und darauf ja trotzdem 30 cm oder mehr aufisoliert werden müssen. Man gewinnt zwar etwas (ca. 20 %) mehr "Masse" für den Temperatenausgleich und die Speicherung der Solareinstrahlung durch Fenstern, jedoch macht das den Nachteil der grösseren Konstruktionstiefe nicht wett, einmal abgesehen davon, ob es wirklich sinnvoll ist Energie in einer Aussenwand zu speichern, wo sie, auch bei bester Isolation, vermehrt nach aussen abwandert.

Daher wurde hier die "Skelettbauweise" gewählt und hochisolierende, vorgefertigte Fassadenelemente vorgehängt.

3.3. Gebäudehülle - Minergie-P

Eine gute Gebäudehülle ist zwar nicht alles, was es für eine Plus-Energie-MFH braucht, aber ohne eine gute Gebäudehülle ist alles nichts!

Diese wichtige Voraussetzung ist gleichzeitig eine grosse Hürde, denn es werden für viele Jahrzehnte Fakten geschaffen, die, im Gegensatz zu Haustechnikanlagen oder Benutzerverhalten, nicht, oder nur mit sehr grossem Aufwand, optimiert werden können.

Minergie-P hat einschneidende Zielvorgaben bezüglich des Heizwärmebedarfes, welche nur durch konsequente Dämmung, Fenster mit sehr niederem Wärmeverlust und einer wärmebrückenarmen Ausführung sowie dem Einsatz einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung erreicht werden können, wobei das "wie viel" der einzelnen Massnahmen zur Zielerreichung einigermaßen offen bleibt.

Minergie-P in der Planungsphase zu erreichen ist für den Architekten zwar eine Herausforderung, nicht aber unrealistisch, wie viele gebaute Beispiele (auch sog. "Renditebauten") belegen.

3.3.1. Minergie-P oder Minergie-A

Minergie A (Energiebedarf ohne Haushaltstrom ≤ 0) war zum Erstellungszeitpunkt noch nicht auf dem Markt, geht aber, was die Anforderungen an die Gebäudehülle betrifft, wieder einen Schritt zurück auf das gewöhnliche Minergie-Niveau, mit der Begründung, dass man den Mehrverbrauch ja auch mit effizienterer (=mehr) Haustechnik ausgleichen könne.

Für ein echtes Plus-Energie-Haus ist Minergie-P nach wie vor das absolute Minimum! Der Heizwärmebedarf muss minimiert werden, damit im Endeffekt eine positive Gesamtbilanz (inklusive Haushaltstrom) möglich ist. Unverständlich ist daher der Rückschritt durch den neuen Standard Minergie-A, welcher beim Heizenergiebedarf Abstriche macht, eine Haltung, die sich Minergie-A nur erlauben kann, weil der Haushaltstrombedarf aus der Energiebilanz "grosszügig" ausgeklammert wird.

Minergie-P oder Passivhaus Standard ist das Minimum, was die Anforderungen an die Gebäudehülle angeht.

Auf Details zur Realisierung eines Minergie-P Baues (und im Speziellen im vorliegenden Fall) soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, da dies auch nicht Gegenstand des vorliegenden Studie ist. Minergie-P ist "Stand der Technik" und die Vorgaben sind klar (www.minergie.ch). Hingegen ist Minergie-P eine wichtige (wenn nicht die wichtigste...) Voraussetzung zur Plus-Energie Zielerreichung.

3.3.2. Generelle Kritik an Minergie

Gerade wegen dieser "Wichtigkeit" der Erreichung des Minergie-P Standards für das Gebäude, muss hier darauf hingewiesen werden, dass alle Minergie Standards (als auch der Passivhausstandard) reine Papiertiger sind und auf Grund von Planungsunterlagen verliehen werden. Damit bleibt es den Handwerkern und einer in Niedrigenergiebauten langjährig erfahrenen, hochmotivierten, dauernd präsenten Bauleitung überlassen, wie "gut" die Ausführung ist. Wenn man weiss, wie schnell eine Wärmebrücke einen schlechteren Wert liefert, als ursprünglich geplant, der weiss wie heikel das ist. Ein Messprojekt misst aber nicht Planungswerte sondern Realitäten.

Gleichzeitig ist jeder Bau eine komplexe Angelegenheit, mit sehr vielen Akteuren, was die plange-rechte Realisation erschwert, je höher die Anforderungen desto mehr. Aus diesem Grunde weichen alle "Gebäudestandards" dieser Problematik aus. Beurteilt wird ausschliesslich "auf dem Papier", d.h. nur die Planung. Systematische Kontrollen auf der Baustelle wären wichtig, unterbleiben aus Kostengründen aber. Die von den Zertifizierungsbehörden angedrohten Stichprobenkontrollen sind sehr selten und nur eine "Momentaufnahme". In einem Gebäude sind die thermisch wichtigen Schichten (Isolation) aber meist unsichtbar und unzugänglich verbaut.

Einzigste Ausnahme: Die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle wird nach Fertigstellung gemessen, und sorgt daher oft für "rote Köpfe". Aber auch hier ist das natürlich eine Momentaufnahme, welche schon nach einem Winter, nachdem sich z.B. die ersten Fensterrahmen verziehen, bereits nicht mehr zutreffen kann.

Faktoren die sich ganz generell auf Bauvorhaben erschwerend auswirken können:

- Termindruck in der ganzen Produktionskette
- Lieferengpässe und die Improvisation mit Ersatzmaterialien, damit der Terminplan eingehalten werden kann
- Sorgfalt der Ausführung
- Witterung
- Unvorhergesehenes, Änderungen "in letzter Minute"
- Erfahrung / Kompetenz und Zeitbudget der Bauleitung

Dies kann gerade dann zu einem Risikofaktor werden, wenn der sehr kleine "gemessene" Restenergiebedarf darüber entscheidet, ob ein Gebäude nun "tatsächlich" (und nicht nur auf den Plänen) Plus-Energie ist oder nicht.

3.3.3. Minergie-P-eco

Das Plus-Energie-MFH in Bannau wurde nach dem Zusatz "eco" in einer möglichst umweltschonenden Bauweise erstellt.

3.4. Energietechnik

Was also macht ein Minergie-P Gebäude zu einem Plus-Energie-Haus? Es ist die Energietechnik, welche soviel Ertrag auf den Gebäudeteilen erwirtschaftet und diese mit hohem Wirkungsgrad nutzt, dass alle Energie auf dem Grundstück selber erzeugt werden kann, oder "Importe" (z.B. Holz, Elektrizität) mehr als ausgleichen werden können (z.B. durch "Exporte" von Wärme, Elektrizität). Solche Import-Export Situationen sind bei allen netzgekoppelten Photovoltaikanlagen normal und gewollt um die Unterschiede zwischen Angebot und Nachfrage auszugleichen. Bei der Wärme gelten ähnliche Überlegungen, welche jedoch, mangels geeigneter externe Abnehmer, nicht so häufig realisierbar sind.

3.4.1. Solarenergie thermisch

Am Gebäude stehen 2 grosse, unbeschattete "Gewinnflächen" zur Verfügung die vollflächig solar genutzt werden (müssen):

- Südwest (SW) Dach, 40° geneigt, 220 m² netzgekoppelte Photovoltaik als Dachhaut, welche den Strombedarf der Liegenschaft vollständig abdeckt (Jahresbilanz).
- SW-Fassade - Verglasung für optimierte passive Solarenergienutzung und 150 m² fassadenintegrierte, thermische Kollektoren.
- Durch die vertikale Ausrichtung der Kollektoren sinkt zwar der Jahresertrag theoretisch um 1/3. Der Ertrag ist jedoch gleichmässiger übers Jahr verteilt. Die üblichen 30 - 45° geneigten Kollektoren produzieren im Winter gleich viel, wie 90°-Fassadenkollektoren, jedoch ist der Sommerertrag der Geneigten etwa doppelt so gross wie jener an der Fassade. Da im Sommer jedoch nur Warmwasser zu erwärmen ist, entstehen an der Südfassade moderate Überschüsse, bei geneigten Kollektoren jedoch sehr grosse Überschüsse, was einen teuren, grossen (150 m³ oder mehr!) Saisonspeicher (und dessen Verluste) nötig macht, welcher die riesigen Überschüsse geneigter Kollektoren im Sommer teilweise in den Winter hinüberrettet. Statt dessen kommt in Benau ein 24 m³ Speicher zum Einsatz. Die moderate, überschüssige Sommer-Wärme wird zur Warmwasservorwärmung des Nachbargebäudes verwendet. Das Ziel dieser externen, vorwiegend sommerlichen Energieabgabe ist es, den Holzbedarf für die Kleinspeicheröfen im Winter zu kompensieren und so auch eine positive Wärmeenergie-Jahresbilanz anzustreben.

Parallel- und Serieschaltung

Die gleichmässige Durchströmung aller Kollektoren ist wichtig. Pro Stockwerk wurden alle Kollektoren in Serie verschaltet. Die 3 Stockwerke ergeben dann 3 parallel geschaltete Kollektorfelder. Da der grösste Teil des Druckabfalles in den einzelnen, stockwerkseriellen Kollektorfeldern stattfindet und diese untereinander gleich gross sind, ist die gleichmässige Durchströmung gewährleistet, auch wenn der Weg zu- und vom obersten Stockwerk etwas grösser ist.



Abbildung 3-4: Absorberforderseite der Fassadenkollektoren

Diese Absorber werden aus einzelnen Finnen zusammengestellt, deren "Länge" (= Geschosshöhe wie im Hintergrund sichtbar), exakt vorgegeben werden kann. Die Breite kann ein Vielfaches der Finnenbreite betragen. (System AKS-Doma). Die Absorber werden direkt in (bzw. auf) die entsprechend gestaltete Rohbau-Fassade montiert und anschliessend verglast.



Abbildung 3-5: Absorberrückseite der Fassadenkollektoren

Gut sichtbar sind die in den Absorberfinnen eingelegten Kupferrohre. Die Sammelrohre oben und unten sind ebenfalls eingeschwärzt. Das eine Sammelrohr ist auf der Kollektorrückseite auf die Gegenseite geführt, damit sie dort gemeinsam unter den geschosshohen Fenstern mit dem nächsten Absorber verbunden werden können. Letzteres ist objektspezifisch, verschiedene Varianten sind hier machbar.



Abbildung 3-6: Montage der Kollektorverglasung

Nach der lückenlosen Verkleidung der Südwestfassade mit Absorberelementen und deren hydraulische Verbindung, werden die Kollektoren verglast. Dazu kommen Glashalteprofile auf einer bestehenden Unterkonstruktion aus Kanthölzern zum Einsatz.

3.4.2. Wärmespeicherung Warmwassererzeugung

Der Warmwasserbedarf ist, unabhängig vom Wärmedämmstandard des Gebäudes und des Klimas, ganzjährig in etwa gleich hoch. Er genießt daher immer Vorrang. Für die Speicherung dieser Wärme gibt es heute zwei weit verbreitete Möglichkeiten für Solarsysteme mit kombinierter Warmwasseraufbereitung und Heizungsunterstützung:

- Je ein separater Speicher für Heizung und für Warmwasser
- Kombispeicher (für beides). Dabei wird der Warmwasserspeicher als (kleinerer) trinkwasserführender "Boiler" in den (grösseren) Wärmespeicher für die Heizung integriert - man spricht auch von Integralboilern. Der grösste Teil dieses Integralboilers befindet sich im oberen Speicherbereich, wo dieser durch die Schichtung am wärmsten ist.

Dabei wird der Boiler indirekt durch Wärmeübergang vom Heizungsspeicher erwärmt, was zur Folge hat, dass dieser im oberen Bereich auf "Warmwassertemperatur" sein muss. Ist nun der Heizungsspeicher sehr viel grösser als der Warmwasserspeicher muss "oben" sehr viel mehr Volumen aufgeheizt werden. Daher haben sich die Kombispeicher derart entwickelt, dass der obere Teil bis auf die Wärmetauscher (Solar, Nachheizung) praktisch ganz durch den Integralboiler ausgefüllt werden. Dies wiederum limitiert die Grösse des Heizungsspeichers im Verhältnis zum Integralboiler, was bei EFH nicht wirklich ein Problem darstellt, da diese (zumindest bei Sanierungen) durch die Türe passen müssen.

Im vorliegenden Fall (MFH) sollte aber ein grosser Heizungsspeicher eingesetzt werden, der für mehrere Tage Wärme speichern kann. Damit ist die Oberfläche des "oberen Teils" dieses Heizungsspeichers sehr (zu) gross, um sie dauernd auf Gebrauchstemperatur für das Warmwasser zu halten oder sie, auch wenn an gewissen Tagen nur wenigen Stunden Solareinstrahlung zur Verfügung steht, schnell genug auf Gebrauchstemperatur zu bringen.

Da die optimale und temperaturniveau (Exergie) gerechte Ausnutzung der Solarstrahlung aber oberste Priorität hat, wurden separate Speicher für die Warmwasserbereitung gewählt, wobei auch diese in "Kombispeicher-Technologie" realisiert wurden, was den weiteren Vorteil hat, dass das Trinkwasservolumen relativ klein gehalten werden kann (Hygiene) und trotzdem ein adäquates Volumen zur Wärmespeicherung vorhanden ist. Um die Schüttleistung zu erhöhen und die Wärme im Heizungsspeicher temperaturiveaugerecht ebenfalls für die Warmwasserbereitung zu nutzen, wird es dort (ebenfalls mit einem Integralboiler) vorgewärmt.



Abbildung 3-7: Die beiden Warmwasserspeicher mit Integralboiler

Nach der Einbringung ins UG. Rechts der Warmwasserspeicher für den Eigenbedarf (4000 lt), links der Speicher zur Warmwasservorwärmung des Nachbargebäudes (3000 lt). Beide Speicher mit Integralboiler aus Chromstahl.

3.4.3. Wärmespeicherung für die Heizung

Der 24 m³ fassende Stahlspeicher im UG reicht über 2 Stockwerke. Dazu musste lokal das 1-stöckige UG vertieft werden. Da die Dimensionen dieser Vertiefung klein gehalten werden konnten, hielten sich auch die Zusatzkosten für den Aushub in Grenzen, da dies derselbe Bagger "von oben" erledigen konnte, der sowieso auf der Baustelle im Einsatz war.

Der mit 40 cm wärmegeämmte Schichtspeicher, kann auf zwei Niveaus beladen (Solar, WP) und entladen (Bodenheizung) werden. Der Wärmespeicher dient auch als sog. Wärmeüberlauf: Sobald durch die Bodenheizung weniger Energie bezogen wird, als das z.B. die WP abgibt. Ausserdem findet im Wärmespeicher auch eine Warmwasservorwärmung mittels Integralboiler über die ganze Speicherhöhe statt. Der Speicher ist kein "Saisonspeicher", ermöglicht jedoch durch die hohe Isolation und das Volumen die verlustarme Lagerung von Wärme über eine längere Zeit (ca. 1 Woche) und kann so kurzfristige saisonale solare Angebotsschwankungen ausgleichen. Relativiert wird dies durch den ständigen Wärmeentzug durch die Warmwasservorwärmung im Integralboiler, welche aber äusserst sinnvoll ist, da die Warmwasserbereitstellung oberste Priorität hat und es so überhaupt erst möglich wird im Sommer, bzw. zu Zeiten ohne Heizwärmebedarf, die im grossen Heizungsspeicher eingelagerte Wärme zu nutzen.



Abbildung 3-8: Einbringung des "grossen" Heizungswärmespeichers

Gut sichtbar sind die diversen Fühlerstutzen auf unterschiedlicher Höhe, um die Beladung und die Wärmeentnahme optimal zu steuern. Nicht alle Stutzen sind nachher belegt, sondern es ist eine gewisse Reserve vorhanden um die Fühler im Betrieb noch umplatzieren zu können, was dann auch tatsächlich nötig wurde.

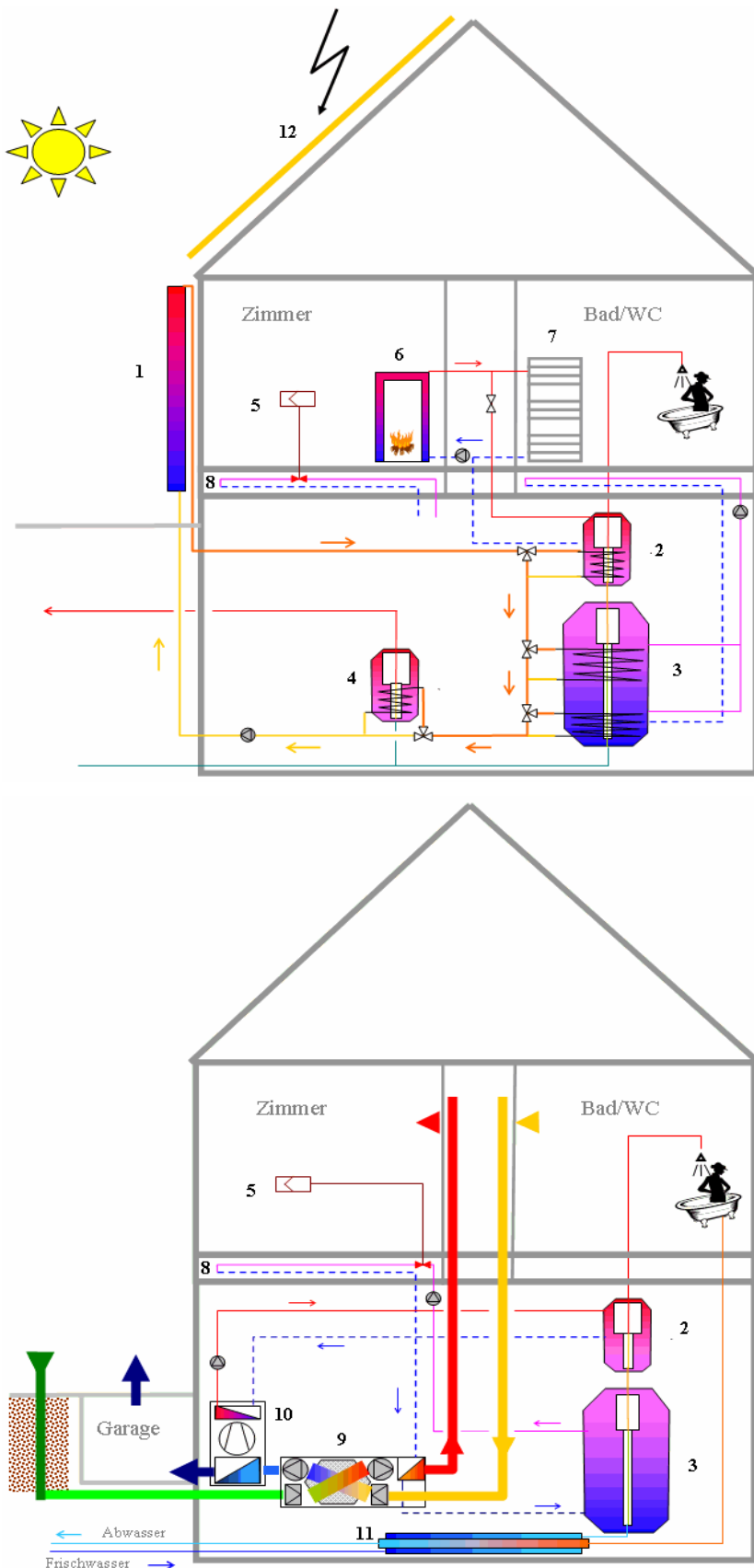
Ganz links die Stutzen für die analoge Temperaturanzeige.

Rechts die Anschlüsse der Solarregister, siphoniert um Wärmeverluste während den Stillstandzeiten zu vermeiden.

Der Heizungsspeicher wird anschliessend "an Ort" mit 40 cm Steinwolle isoliert

3.4.4. Wärmeverteilung

Um die thermische Solarenergie exergetisch optimal auszunutzen zu können und um Komfortprobleme mit einer reinen Luftheizungen zu vermeiden, kommt eine Bodenheizung zum Einsatz, die mit maximalen Vorlauftemperaturen von 23 bis 28 °C arbeitet und daher vollständig selbstregulierend wirkt. Sobald die Raumtemperatur steigt (z.B. Solareinstrahlung, Kleinholzofen, interne Lasten) geht der Wärmefluss von der Bodenheizung zurück. Die Bodenheizungskreise sind so verlegt und über Raumthermostaten bedient, dass z.B. das Schlafzimmer individuell abgesenkt werden kann.



Legende

- 1 Fassadenkollektor
150 m², Südwest,
Jahresertrag :
30'000 kWh
- 2 Warmwasser-
Speicher, 4000 lt mit
integriertem Chrom-
stahlboiler
- 3 Heizungsspeicher
24'000 lt mit integ-
riertem Vorwärmboi-
ler
- 4 Warmwasser-
Vorwärm-Speicher,
3000 lt, Lieferung an
Nachbar
- 5 Raumthermostat für
Bodentemperierung
- 6 Kleinspeicherofen
(Holz) mit Absorber
zur Wärmenutzung
- 7 Handtuchradiator im
Badezimmer gespie-
sen vom Holzofen
- 8 Bodentemperierung
- 9 Lüftung mit Wärme-
rückgewinnung und
Zulufttemperierung
- 10 Fortluft-
Wärmepumpe für
Warmwassernach-
wärmung
- 11 Abwasser-
Wärmerückgewin-
nung
- 12 Photovoltaik, 220
m², Südwest-Dach,
Jahresertrag :
26'000 kWh

Abbildung 3-9: Anschauliche Prinzipschemen der Haustechnikanlagen; oben: Solar und Holz, unten: Lüftung, WP und Abwasserwärmerückgewinnung

3.4.5. Warmwasserwärmerückgewinnung

Wie schon in Kapitel 2.2.9 beschrieben, dient nur das warme Abwasser (Bad, Dusche) zur Warmwasservorwärmung. Um das in Kapitel 2.2.9 skizzierte "Rohr in Rohr" -Prinzip zu realisieren, musste der Schlosser ein entsprechendes Doppelrohr aus Chromstahlrohren zusammenschweißen, wobei der dichte Abschlussring des trinkwasserführenden Aussenmantels gleichzeitig als Distanzhalter diente. An der Längsseite des Technikraumes musste unter der Decke ein möglichst "langer Platz" freigehalten werden, denn auch dieser Wärmetauscher ist, wie jeder Wärmetauscher, auf eine grosse Oberfläche angewiesen. Ausserdem musste er in der für Abwasserrohre üblichen minimalen Neigung montiert werden.

Durch diese Konstruktion / Montage "merkt" das warme Abwasser nichts von dem Wärmetauscher, da sich der Querschnitt und die Neigung nicht verändert. Das im Aussenmantel im Gegenstrom geführte Trinkwasser entzieht dem warmen Abwasser Wärme und gelangt so, mit leicht höherer Temperatur, in den Vorwärmer des solaren Heizungsspeichers, wird dort weiter erwärmt und gelangt schliesslich in den Solarboiler. Diese Kaskadennutzung stellt das exergetische Optimum da.

Nach dem Abwasser-Wärmetauscher-Doppelrohr wird das abgekühlte, ehemals warme Abwasser mit dem übrigen "kalten" Abwasser (WC, usw.) zusammengeführt und an die Kanalisation abgegeben.



Abbildung 3-10: Doppelrohr-Abwasser-Wärmetauscher.

Gut sichtbar ist die minimale Neigung um den selbständigen Abfluss des warmen Abwassers zu gewährleisten.

Diese Konstruktion ermöglicht eine sehr kostengünstige, wartungsfrei Wärmerückgewinnung aus dem warmen Abwasser.

3.4.6. Lüftung

Zentrale Lüftungsanlage mit hocheffizientem Gegenstromwärmetauscher. Die Temperatur der Zuluft liegt, auch bei höchster WRG-Effizienz, physikalisch bedingt immer etwas unter derjenigen der Abluft aus den Wohnungen (ca 3 °C), auch wenn man die (kleine) Abwärme der (richtigerweise) sehr effizienten EC-Motoren für die Ventilatoren berücksichtigt. Um trotzdem möglichst ohne Untertemperatur einzublasen, wird hier die Zuluft mit einem Register auf ca. 20 °C "nach-temperiert". Dies soll das Auskühlung von Räumen ohne interne Lasten vermeiden - ein Phänomen, das bei vielen energetischen Pionierbauten beobachtet wird. Diese "Temperierung" erfolgt unreguliert mit dem Rücklauf der Bodenheizung (ca 22°C), funktioniert aber nur, wenn genügend Wärme im Heizungsspeicher vorhanden ist, bzw. die Bodenheizung in Betrieb ist. Dem Rücklauf wird etwas Wärme entzogen, er fließt kälter unten in den Speicher zurück - optimal für die Solarenergienutzung.



Abbildung 3-11: zentrales Lüftungsgerät mit Gegenstromwärmetauscher und Fortluftwärmepumpe

Bei der Fortluftwärmepumpe (links im Hintergrund) sind auch die Vor- und Rücklaufleitungen gut erkennbar (Isolation mit Ummantelung aus schwarzem Recyclingmaterial.)

3.4.7. Fortluftwärmepumpe

Eine Wärmepumpe kann der, bereits in der Lüftungs-WRG abgekühlten, Fortluft noch zusätzlich Wärme entziehen und damit sowohl das Warmwasser nachwärmen, als auch direkt die Bodenheizung unterstützen, sollte ein ausreichender Solarertrag über längere Zeit ausbleiben. Dies ist effizienter, als der noch kälteren Aussenluft Wärme zu entziehen. Aus den schon in Kapitel 2.2.7 erwähnten Gründen, ist die Leistung einer Fortluftwärmepumpe jedoch eng begrenzt durch die Luftmenge, welche sinnvollerweise so tief wie möglich gehalten wird (Energieaufwand) und dem Temperaturniveau, welches umso tiefer ist je (sinnvollerweise) besser der Wärmetauscher ist (Zielkonflikt...). In Bennau wurde eine 3 kW Luft-Wasser-WP eingesetzt, welche mit 1000 m³/h arbeitet. Diese Luftmengen sind zwar "üblich" und entsprechen den Richtwerten für ein MFH dieser Grösse, sind aber viel zu hoch für den tatsächlichen Bedarf. Daher läuft die Lüftung in der Regel auf der Stufe 1 (500 m³/h = ausreichend) und wird ausschliesslich bei Fortluft-WP-Betrieb auf Stufe 2 mit (1000 m³/h) betrieben.

3.4.8. Erdregister zur Aussenlufttemperierung

Je effizienter der Gegenstromwärmetauscher einer Lüftung desto kritischer wird das "Einfrieren". Da zwischen Aussenluft und Fortluft am Ende des Wärmetauschers nur noch 3 - 4°C Unterschied bestehen, wird es bei Aussenlufttemperaturen um - 3°C, bzw. einer Fortlufttemperatur um 0°C heikel, weil dann das Kondenswasser der Abluft an den Tauscherflächen gefrieren könnte. Kumuliert sich die Eisbildung über mehrere Stunden, verschliessen sich dort die engen Kanäle des Wärmetauschers und die Lüftung "geht auf Störung", womit weder gelüftet noch die nachgeschaltete Wärmepumpe gebraucht werden kann.

Um diesen Betriebszustand zu vermeiden, gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- 1) Vorwärmen bzw. Temperieren der Aussenluft auf minimal ca. - 3°C.
- 2) Reduzieren der Aussenluftmenge durch eine "Bypasschaltung", bei der die Aussenluft (bzw. ein Teil davon) am Wärmetauscher vorbei direkt in die Zuluft gelangt. Da die Lüftungen meistens (für den Sommer - dort soll die Zuluft ja möglichst kühl sein) sowieso über eine Bypassklappe verfügen, nutzen die meisten Hersteller diese auch als eingebaute Frostschutzsicherung und regeln die Bypassklappe so, dass die Fortluft (die ist kritisch, da sich dort Kondenswasser bildet) nicht unter 0°C fällt. Gravierender Nachteil: Wenn diese Bypass-Frostsicherung anspricht, wird sehr kalte Zuluft (z.B. 15°C) in die Wohnungen eingeblasen, was den Komfort empfindlich stört.
- 3) Einsatz von sog. rekuperativen Wärmetauschern, welche nicht nur die Wärme, sondern auch die Feuchtigkeit der Abluft an die Zuluft übertragen und damit nicht nur (zu) trockene Zuluft, sondern auch die "Einfrierproblematik" umgehen. Zur Zeit der Planung waren solche Wärmetauscher nur als "rotierende Wärmetauscher" erhältlich, die sich für EFH-Häuser auch sehr gut eignen, eine "Geruchsübertragung" an die Zuluft aber nicht 100% ausschliessen können. Daher kommen solche im MFH-Bereich nicht in Frage. Erst seit kurzer Zeit sind nun auch (Gegenstrom-)Plattenwärmetauscher erhältlich, die statt der Wärmetauscherflächen aus Aluminium (nur Wärme), solche aus einer speziellen Kunststoffmembran aufweisen, welche auch die Feuchtigkeit überträgt.

Da daher die 3. Möglichkeit wegfiel und damit die 2. Möglichkeit wirklich nur als "Notsicherung" funktioniert, muss die 1. Möglichkeit angewendet werden, die Vorwärmung / Temperierung der Aussenluft, idealerweise auf etwa 0°C (mindestens aber -3°C), selbst wenn es draussen -10°C ist.

Um dies zu gewährleisten wurde früher einfach ein zusätzliches Luftheizregister vor den Wärmetauscher in den Aussenluftstrom eingebaut und dieses im besseren Fall an die Heizung angeschlossen und im schlechteren Fall als Elektrodirektheizung ausgeführt. Beide Varianten sind alles andere als energieeffizient. Daher werden seit längerer Zeit Erdregister eingesetzt. Da die Erdreichtemperaturen in angemessener Tiefe immer im positiven Bereich liegen, kann, bei genügender Oberfläche der erdverlegten Rohre, die Aussenluft genügend vorgewärmt werden. Ausserdem kann für den Sommer eine leichte Vorkühlung erreicht werden - quasi als Zusatznutzen.

Das wichtigste Kriterium, neben der Verlegungstiefe (ca. 2 Meter) und der unbekanntenen Wärmeleitfähigkeit des Bodens, ist bei einem solchen Erdregister die Wärmetauscherfläche zum Erdreich - sprich die Oberfläche der Rohre - also primär deren Länge, die zudem nicht zu eng nebeneinander liegen sollten. Gerade dies ist aber "teuer" (Aushub) und je nach Grundstück nicht einfach unterzubringen.

3.4.9. Kleinspeicherholzöfen

Diese erhöhen nicht nur den Wohnkomfort und den Mietwert in jeder Wohnung, sondern sind mit Absorbern ausgerüstet, die ca. 50 % der Energie auskoppeln und an die Handtuchradiatoren in den Nasszellen der entsprechenden Wohnung, sowie auch an die zentrale Wärmeversorgung (Warmwasser) abgeben. Die andere Hälfte der Wärmeenergie wird in der Offenmasse gespeichert und über längere Zeit an das Wohnzimmer abgegeben. Die nötigen Kaminanlagen haben aber, gerade bei Minergie-P-Bauten, den Nachteil, dass sie die (hochwärmegeämmte) Gebäudehülle durchstossen; ein Grund, wieso oft darauf verzichtet wird.

Verbrennungsluftzufuhr

Diese darf natürlich nicht aus dem Raum heraus erfolgen, sondern muss raumluftunabhängig sein, damit dem Raum keine Wärme entzogen wird und auch die Druckverhältnisse konstant bleiben. Hier sind zwei grundsätzliche Systeme denkbar: Im Kamin, parallel zum Abgas in einem separaten Kanal oder mit einem im Boden verlegten Rohr nach aussen. Beide Lösungen müssen sicherstellen, dass die kalte Aussenluft dem Raum nicht dauernd (also nicht nur während des Betriebes) Wärme entzieht - eine klassische Wärmebrücke. Dies kann mit zusätzlichen Klappen in der Aussenhülle (Bedienung, Steuerung?) und/oder durch zusätzliche Wärmedämmmassnahmen gewährleistet werden.

Hier wurde eine kaminintegrierte Lösung realisiert mit Aussenluftversorgung vom Dach. Solche Kaminelemente sind handelsüblich, wenn auch zu wenig wärmegeämmmt, sodass Zusatzmassnahmen ergriffen werden müssen.

Die Wärmebrücke gegen Aussen im Dachbereich (Wärmeleitung des Kaminelementes) kann mit speziellen, herstellerepezifischen "Isolationsmodulen" entschärft werden.



Abbildung 3-12: Kaminanlage im DG

Im Dachgeschoss kommen auch die Kamine der 3 Untergeschosse durch. Ganz links jenes des DG selber.

Durchstossung der Dachkonstruktion mit speziellen Isolationselementen, bevor rund herum ausisoliert wird.

(Fertig ausgebaut siehe *Abbildung 3-16*)

Vor- und Rücklauf des Ofenabsorberkreises



Abbildung 3-13: Der Kern des Absorber-Speicherofens beim Platzieren und Anschliessen - Ansicht von vorne

Die Kaminelemente sind zusätzlich mit Steinwolle gegen den Raum. Die Isolation ist wichtig, damit der kalte Zuluftkanal nicht die Wohnungen "kühlt", eine Wärmebrücke der oft keine Beachtung geschenkt wird und die auch während dem "Stillstand" wirkt. In diesem Nichtbetriebsfall befindet sich sowohl im Zuluftkanal, als auch im Abgasrohr kalte Luft. Die kälteste Luft sammelt sich am tiefsten Punkt, also beim Ofen. Damit diese kalte Luft nicht in den Ofen eindringen kann, müssen zuluft- und abgasseitig Klappen vorhanden sein (die hoffentlich auch richtig bedient werden...). Beim eingesetzten Modell wird die Verbrennungszuluft über den gleichen Hebel wie die Ofentüre bedient, was zwar eine gute Idee ist, Fehlmanipulationen (zwei Stellungen) aber nicht ganz ausschliessen kann.

Die Abgasklappe befindet sich im Rauchrohrstutzen und darf (leider) aus Sicherheitsgründen nicht ganz dicht schliessen. Trotzdem ist die Wirkung dieser Klappe beträchtlich, wenn sie richtig bedient wird....

Abbildung 3-14: Der Kern des Absorber-Speicherofens beim Platzieren und Anschliessen - Ansicht von hinten



Das Modell (T-Loft Passiv) ist komplett mit Kupferabsorbern belegt, was eine maximale (50%) Auskopplung der Wärme erlaubt. Dies ist optimal, verhindert die Überwärmung des Aufstellungsraumes (Wohnzimmer) und erlaubt eine Wärmeabgabe an einen Radiator im Badezimmer und an die gemeinsame Warmwasseraufbereitung.

Die Rückwand gegen das Kamin hat natürlich auch einen Absorber und wird anschliessend gegen das Kamin isoliert

Unten sichtbar ist die Verbrennungsluftzufuhr und die hydraulischen Anschlüsse der Absorber.



Abbildung 3-15: Fertig verkleideter Absorberofen

Die massiven Sandsteinplatten schliessen direkt an den Kamin an. Gut sichtbar ist der Hebel für die Abgasklappe (oben) und der Türgriff, welcher auch die Zuluftklappe betätigt.



Abbildung 3-16: Speicherofen aus Lehmsteinen ("Lehmo") während der Montage.

In der Loft-Wohnung im DG wurde ein grösserer Speicherofen aus Lehmsteinen gewählt, ebenfalls mit Wärmeabsorbern mit gleicher Funktion wie in den übrigen Stockwerken.

Auch hier ist der Hebel der Absperrklappe für die Verbrennungsluft (unter der Türe) und jener für die Abgasklappe (links am Übergang zum Kamin) sichtbar.

(Rohbau siehe *Abbildung 3-12*)

3.5. Steuerung, Messdatenerfassung

Dieser Frage wurde höchste Aufmerksamkeit geschenkt um sicherstellen zu können, dass die Anlage und das Zusammenspiel der Komponenten nahe dem Optimum ist (und nicht "irgendwie" läuft, wie bei den meisten Anlagen - leider - üblich). Wenn die "letzte kWh" wichtig ist, sollte ein technisches System optimal funktionieren. Die Steuerung musste daher folgende Kriterien erfüllen:

Generell

SPS-Funktionalität d.h. frei und modular programmierbar mit vorkonfektionierten Modulen für die wichtigsten (Solar-) Funktionen (Heizkreis, Kollektorkreis, Vorrang-, Nachrangspeicher, Timer, Schaltuhr, WP-Anforderung für Heizung/WW, usw.

Kommunikation

Die Steuerung muss als Web-Server funktionieren können und zumindest die Visualisierung des Anlagezustandes muss direkt in der Steuerung gewährleistet (programmierbar) sein. Zugriff via Internet über Web-Browser (mit verschiedener passwortgeschützter Zugriffstiefe, z.B. Mieter, FM, usw.). Verlaufsdarstellung und Datenspeicherung/-aktualisierung sind via Internet jederzeit möglich.

Der Zugriff via Router (1 ADSL-Leitung) und dynamischer DNS ist zwingend, weil auch auf die zweite wichtige Datenquelle - Energiemessung - (anderer Hersteller), welche genau dieselbe Kommunikations-Funktionalität bieten muss, zugegriffen werden soll. Auch müssen durch den Router weitere unabhängige PC's bedient werden, da davon ausgegangen werden muss, dass pro Gebäude nur 1 ADSL-Leitung vorhanden ist.

3.5.1. Regelbeschrieb

Grundlage: Prinzipschema (vereinfacht siehe *Abbildung 3-9*)

Grundsätzliches:

Alle Regelparameter sind einstellbar. Für alle Sensoren (analoge und digitale Eingänge), die Ausgangs-Zustände und allfällige Störmeldungen muss eine einfache Verlaufsdarstellung und Datenspeicherung möglich sein.

Schnittstellen / Kommunikation / Visualisierung:

Ethernetschnittstelle; Zugriff via Internet (Browser). Graphisch unterlegte Visualisierung des Anlagezustandes direkt auf der Steuerung und über Internet. Download der Anlagedaten (log-file, .csv) und deren Speicherung und Verlaufsdarstellung.

Die Steuerung ist modular aufgebaut. Die Funktionsblöcke arbeiten parallel und weitgehend unabhängig.

Im Folgenden werden die einzelnen Steuerungs-Module beschrieben:

Modul: Solaranlage

Es sind 5 Kreise vorhanden: Der Kollektorkreis und 4 Wärmeabgabekreise (Register) in den jeweiligen Speichern (Warmwasser, Heizung oben, Heizung unten, WW Nachbar) - , welche grundsätzlich jeder für sich über eine "normale", einfache Temperaturdifferenzsteuerung verfügen (wie sie für einfache Solarsysteme eingesetzt werden) und weitgehend unabhängig voneinander funktionieren. Bei den Speicherkreisen ist die "Kollektortemperatur" die jeweilige Vorlauftemperatur des Kollektorkreises kurz vor dem Speicherventil und statt einer Pumpe wird das jeweilige Ventil geschaltet.

Für den Kollektorkreis werden laufend 4 Temperaturdifferenzen (Kollektortemperatur zu Speicher1-4) gebildet und für die Speicherkreise je eine (Vorlauftemperatur1-4 zu Speichertemperatur 1-4). Das Modul Solaranlage hat also insgesamt 8 dT_Funktionsblöcke.

Solare Vorrangstrategie

Erreicht wird dies nicht nur durch die in vielen Steuerungen für Mehrspeichersysteme (≤ 3) übliche Art und Weise. Diese Strategien haben nämlich alle den Nachteil, dass sie zu Beginn immer in den Speicher mit den tiefsten Temperaturen (in aller Regel jener mit letzter Priorität) laden, bis der Solarvorlauf warm genug ist, um einen Speicher höherer Priorität zu bedienen, was unter Umständen lange dauern kann, da der Speicher mit den tiefsten Temperaturen auch die Vorlauftemperaturen entsprechend tief hält und somit die Umschaltung auf den nächst höheren im besten Fall verzögert, im schlimmsten Fall verhindert. Dies wurde hier damit umgangen, dass die Steuerung bei einem leichten Anstieg der Solarvorlauftemperaturen (Test auf positive Flankensteigung) periodisch die Speicher kurz wegschaltet. In der Folge wird der Kollektorkreis eine kurze Zeit "im Leerlauf" betrieben, um danach zu testen, ob das Vorlauftemperaturniveau jetzt für einen höher priorisierten Speicher ausreicht. Damit ist sichergestellt, dass die Solarwärme immer so bald wie möglich prioritätengerecht eingesetzt wird.

Prioritätenreihenfolge der Speicher

Hier wird zwischen dem *Sommerbetrieb* und dem *Winterbetrieb* unterschieden, dessen Umschaltung anhand der über die vergangenen 50 h gemittelten (*running mean*) der Witterungstemperatur (Nordfühler + Südfühler) geschieht (wie im Modul Bodenheizung weiter unten beschrieben).

Winter:

Warmwasser - Hauptspeicher oben - Hauptspeicher unten - Warmwasservorwärmung Nachbar

Dies entspricht auch dem Schema, wie es in der Visualisierung (*Abbildung 3-9*) dargestellt ist.

Sommer:

Hier werden die "hintersten" Prioritäten vertauscht, das heisst, die Warmwasservorwärmung des Nachbarn erhält eine höhere Priorität.

Warmwasser - Hauptspeicher oben - Warmwasservorwärmung Nachbar - Hauptspeicher unten

So "einfach" dies hier niedergeschrieben ist, so schwierig war die steuerungsmässige Umsetzung. Wegen dem Umstand, dass das System hydraulisch auf dem Winterbetrieb und dessen Prioritätenreihenfolge konstruiert war, ging es im Sommerbetrieb darum, im Kollektorkreislauf nun plötzlich den letzten Platz "vor" dem vorletzten zu bedienen. Dies alleine wäre noch nicht das Problem. Ein solches ergibt sich erst mit einer weiteren Effizienzanforderung bezüglich Exergieausnutzung der Solarwärme:

Vorrang- und Nachrangspeicherregister

Je nach Solareinstrahlung ist nicht nur das im Kollektorkreislauf zur Verfügung stehende Temperaturniveau, sondern auch die Leistung um Faktoren höher. Diese variable Leistung mit einem einzigen Speicherregister in einem einzigen Speicher aufzunehmen ist nicht optimal, da das (einzige) Speicherregister zwar auch etwas elastisch bezüglich Abgabeleistung ist, jedoch nicht in dem Masse wie das Angebot.

Die logische Folge: Der Rücklauf des einzigen Speicherregisters steigt an und in der Folge die Kollektortemperaturen usw.

Es gäbe also, mit zunehmender Solareinstrahlung, genügend Potential die Solarwärme in einem doppelt so grossen Register umzusetzen, oder - noch besser - in zwei in Serie geschalteten, welche auf unterschiedlicher Höhe eines Schichtspeichers, oder in 2 verschiedenen Speichern mit unterschiedlichen Temperaturniveaus sitzen.

Diese "Philosophie" wird heute schon von den meisten Solaranbietern (auch für kleine EFH- Standard-Anlagen) angeboten. Bei grösseren Anlagen mit mehreren (> 2) Speichern und/oder Registern, ist das Prinzip ebenfalls sinnvoll, nur kann hier der Vorrang- bzw. Nachrangspeicher wechseln, je nach Situation.

Sollwertstufung

Eine weitere Möglichkeit, die Prioritäten in solaren Mehrspeicher(-register)systemen zu beeinflussen, ist eine Sollwertstafflung:

Statt wie üblich nur einen (relativ) hohen Maximalwert für die Speicherladung (z.B.) 70°C zu definieren wird ein solcher Wert über mehrere Sollwertstufen erreicht. Eine solche Stufung hat gleich mehrere Vorteile:

- Register mit hoher Priorität werden nach Erreichen der jeweiligen Sollwertstufe "weggeschaltet" und andere Speicher erhalten damit Priorität. Dieser Vorgang setzt sich fort, bis alle Speicher die jeweilige Sollwertstufe erreicht haben, womit das ganze System in die nächst höhere Sollwertstufe wechselt und dort das Spiel von neuem, aber auf einem höheren Niveau beginnt. Sobald irgend ein Speicherregister den Sollwert wieder unterschreitet, fällt das ganze System wieder eine Sollwertstufe zurück.
- Es wird vermieden, dass (exergetisch ungünstig) so lange wie möglich auf sehr hohem Temperaturniveau ein prioritärer Speicher geladen wird, obwohl dessen Temperaturniveau längst für den vorgesehenen Verbrauch ausreicht, und es wird auf Speicher mit tieferem Temperaturniveau umgeschaltet.
- Es können, je nach "Saison" (Winter- resp. Sommerbetrieb) unterschiedliche Sollwerte je Speicher(register) definiert werden.

Diese Soll(maximal)wertstafflung muss in die Steuerung integriert (programmiert) werden und macht diese daher etwas komplexer, d.h. es müssen mehr Parameter gesetzt werden. Für einen exergetisch optimalen Betrieb ist das jedoch nötig.

In Bennau wurden 3 Sollwertstufen definiert:

- Basis
- Grenz
- Über

und je Speicherregister zugewiesen (3x4 Sollwertmatrix). Einen "Spezialfall" stellte dabei die Warmwasservorwärmung für den Nachbarn dar, welche im "Winter" andere (tiefere) Sollwerte erhielt als im Sommer (dort soll ja möglichst viel und auf hohem Temperaturniveau exportiert werden).

Soll Temp.	Einstellbereich	Vorgabe (Winter / Sommer)			
		Warmwasser	Heizung oben	Heizung unten	Nachbar
Stufe \ für Kreis					
Basis	10 - 80	52	44	33	17 / 52
Über	15 - 90	59	50	40	29 / 59
Grenz	20 - 90	61	60	60	61

Im Betriebsmodus wird die Stufe und welcher Speicher diese gegebenenfalls überschritten hat, angezeigt. Sind auch alle Grenz-Sollwerte überschritten, werden alle Speicherkreise freigegeben.

Modul: Wärmepumpe

Die Fortluft-Wärmepumpe (WP) dient der Nachheizung des Warmwassers und der Heizung, falls die Solarwärme ungenügend ist. Die WP wird angefordert und die "gekoppelten" Umstellventile im Vor- und Rücklauf der WP entsprechend gestellt, wenn:

1) **Warmwasserspeicher oben" < 50° (Vorrang)**. Das stetig regelnde Mischventil im Rücklauf vom WW-Speicher zur WP ist eine "Tiefhaltung" auf 50°C, indem nach Erreichen dieser Temperatur kälteres Wasser aus dem unteren WW - Speicherbereich (und dem oberen Heizungsspeicherbereich) zugemischt wird. Der Speicher wird also mit konstanter Temperatur (ca. 55°C) weiter geladen (ohne dass die WP "in den Hochdruck geht", bis:

WP - aus resp. Freigabe für (nachrangige Heizung), falls $T_{WWspMitte} > 50^{\circ}C$

2) Benötigte **Vorlauf-Solltemperatur Bodenheizung < Heizungsspeicher oben (Nachrang)**. Da die WP immer mit dem vollen Volumenstrom arbeitet, hat der Heizungsspeicher auch die Funktion eines Ausgleichspeichers. Wird nicht alle Wärme direkt von der Bodenheizung abgenommen, wird der Heizungsspeicher "oben" geladen. Umgekehrt: Wenn mehr Volumen durch die Bodenheizung abgenommen wird als die WP liefert, kommt der Rest aus dem Heizungsspeicher und zwar je nach dortiger Speichertemperatur "unten" oder "oben" (Umstellventil).

Da die Wärme der Fortluft der Lüftung entnommen wird, muss die Lüftung auf Stufe 2 laufen, wenn die WP in Betrieb ist (und nur dann!)

Modul: Holzöfen

Die 7 Kleinspeicheröfen mit Absorbertechnologie werden **ohne Abbrandsteuerungen** durch die Mieter "von Hand" betrieben (Ofentüre, Zuluft und Abgasklappe). Hingegen wird der Absorber automatisch, einzeln und autonom durch die zentrale Steuerung entladen:

- Die Pumpe wird eingeschaltet, sobald der Absorberfühler über 40 °C. Bedient wird vorerst (Wartezeit) nur der Handtuchradiator im Bad.
- Das Absperrventil wird nach einer Wartezeit freigegeben, schaltet aber nur ein (= auf), wenn die Temperaturdifferenz zwischen dem gemeinsamen Vorlauf aller Öfen zum jeweiligen Absorber positiv ist.

Der sich nach dem wohnungsinternen Kreis anschließende, gemeinsame Kreis aller Holzöfen wird unabhängig angesteuert:

- Das stetig mischende Hochhalteventil des gemeinsamen Vorlaufes regelt auf die positive Temperaturdifferenz zum Warmwasserspeicher, damit sichergestellt wird, dass der Warmwasserspeicher nicht ausgekühlt wird!
- Übersteigt die Temperatur des gemeinsamen Rücklaufes (Wärmezählermessung) 50°C, so wird das Umstellventil im Rücklauf geschaltet und der Rücklauf dem Heizungsspeicher entnommen. In diesem Zustand wird der Warmwasserspeicher weiter nach unten geladen und schliesslich der Heizungsspeicher erreicht (Top - Down - Ladung).

Modul: Bodenheizung

Im Prinzip handelt es sich um eine "normal" aussentemperaturgeführte (Heizgerade) Regelung der Vorlauftemperatur mittels Mischventil, welche allerdings gewisse Besonderheiten aufweist:

Die Regelung ist *nicht* Innentemperaturkompensiert! Interne Lasten werden lokal durch die (bau-seitige) Einzelraumregulierung auf die entsprechenden Bodenheizungskreise kompensiert.

Die Pumpe stellt immer ab, wenn die Vorlauftemperatur infolge z.B. mangelnder Speicherladung unter 21°C zu sinken droht.

Die massgebende Witterungstemperatur für die Heizgerade und die Heizgrenze ist die Mitteltemperatur zwischen den 2 Aussentemperaturfühlern "Nord" und "Süd". Der Südfühler ist nötig, da sonst die Steuerung nicht merkt, ob die Sonne scheint. Dieses Konzept hat sich auch bei anderen Gebäuden mit einem wesentlichen Südverglasungsanteil bewährt. Ausserdem bestimmt das gleitende 2-Tages-Mittel dieser Witterungstemperatur ob die "Heizgrenze" erreicht ist und die Sommer- /Winter -Umschaltung erfolgt.

Die Stellung eines Umstellventils definiert, ob eine Entnahme aus dem unteren oder dem oberen Teil des Heizungsspeichers erfolgt (oder erfolgen würde). Die Stellung ist ausschliesslich von der Temperaturdifferenz zwischen der Vorlaufsol/temperatur und der Temperatur an der unteren Entnahmestelle des Heizungsspeichers abhängig und völlig autonom.

Modul: Lüftung

Der **Lüftungs-Monoblock** (7-Air, Habitus-Light) ist ein Kompaktgerät mit eigener "interner" Steuerung und daher für autonomen Betrieb ausgelegt (ohne übergeordnete Steuerung!). Die Synco-Universalsteuerung, besteht aus einem Siemens-SPS (RMU 730) und ist fest verdrahtet auf dem Lüftungsgerät aufgebaut, mit folgender Funktionalität:

- Filterdrucküberwachung
- Drehzahlregelung der Ventilatoren auf 2-Stufen inkl
- Ein/aus über interne Schaltuhr
- Ansteuerung Bypassklappe
- Frostschutz

Um die Lüftungsanlage extern ansteuern zu können, musste ein Zusatzmodul in die lokale, geräte-eigene Steuerung integriert werden, da der WP-Einsatz jederzeit "auf Abruf" möglich sein muss, wozu nur die Stufe 2 geeignet ist. 100% Bypassbetrieb im Sommer. Externe Steuersignale:

- Ein/Aus
- Stufe 2 zwangsweise bei WP-Betrieb (Übersteuerung von "Aus" und "Stufe1")
- Bypass 100% offen (Sommerbetrieb)

3.5.2. Produkteauswahl Steuerung - Visualisierung - Datenspeicherung

Rein technisch bieten einige (grosse) Firmen auf dem Gebäudeautomatisierungs-Markt solche Möglichkeiten an. Das härteste, schlussendlich ausschlaggebende Zusatzkriterium, waren jedoch:

- Minimaler Stromverbrauch der Steuerung während des ganzjährigen, 24-Stunden-Betriebes. Ebenso jener der Visualisierung und Datenspeicherung "Standbyverbrauch".

Ein separater, dauernd eingeschalteter PC "vor Ort" für die Visualisierung und Datenspeicherung war also von Anfang an nicht möglich - was die Auswahl der Anbieter drastisch einschränkte.

- Die Steuerung / Visualisierung musste kostengünstig sein und ein sehr gutes Preis-/ Leistungsverhältnis bieten.

Die Wahl fiel schliesslich auf das Produkt der Firma Eicotec, welche mit einem kleinen, im Schaltschrank direkt auf der DIN-Schiene eingebauten, "Industrie-PC-Modul" arbeitet, welches als Web-Server konfiguriert ist und das alle Funktionen: Steuerung, Visualisierung und Datenspeicherung übernimmt - dies bei einem maximalen Leistungsbedarf von 20 Watt. Die Visualisierungsanzeige direkt auf der Schaltschranktüre (Touch - Screen) versetzt sich automatisch bei Nichtgebrauch in einen "Tiefschlafmodus" und muss jeweils kurz "hochgefahren" werden, was selten der Fall ist. Fernüberwachung, -wartung und Datenabfrage laufen über das Internet.

Nachfolgendes Flussdiagramm, welches integraler Bestandteil des Regelbeschriebes als Anforderungsprofil an die Steuerung war, gibt einen Eindruck über die Komplexität des Zusammenspiels der Komponenten. Hier stellt sich natürlich gleich die Frage der Praxistauglichkeit? Bannau war aber ein "Pilotprojekt", bei dem Neuland bezüglich "Plus-Energie-MFH" beschritten wurde. Übliche, damals erhältliche pfannenfertige Lösungen genügten den Ansprüchen in keiner Weise. Es ist jedoch klar, dass dieser Aufwand für ein "Standard-Plus-Energie-MFH" noch beträchtlich reduziert werden muss - und kann! Hier jedoch musste in jede kWh Energie und Exergie gerungen werden, da der Erfolg ungewiss war.

Soll das Management überhaupt aktiviert werden? Wenn nein, dann alle Funktionsregler "autonom".

Initialisierung

falls Pumpenstatus = 0, eventuell

Sind die Bedingungen für die Inbetriebnahme des Kollektorkreises erfüllt? D.h. ist irgendeine (der 4) Temperatur-differenzen zwischen Kollektor und Speicher gross genug? (wird in den Funktionsreglern)

Wurde die Pumpe gerade eingeschaltet?

Läuft die Pumpe und ist die Wartezeit abgelaufen während der sich der Kollektorkreis einschwingt?

Hier wird getestet, ob alle Speicher die aktuelle Solltemperaturstufe (Tabelle) bereits überschritten haben, oder ob inzwischen einer sogar schon wieder in die nächstuntere Stufe gefallen ist?

Nachdem klar ist, welche (mindestens ein oder mehrere) Speicher Wärme abnehmen wollen, wird anhand der Vorrangreihenfolge (Eingabe, unterschiedlich für Sommer/Winter) der Vorrang- und der Nachrangspeicher bestimmt, wobei es immer einen Vorrangspeicher, jedoch, falls der letzte in der Reihe der Vorrangspeicher sein sollte, keinen Nachrangspeicher (=0) gibt.

Haben Vor- oder Nachrangspeicher gewechselt (oder wurden, nach Reset, erstmals bestimmt), so werden alle Speicher "geschlossen" und nur der neue Vorrangspeicher freigegeben. Jetzt wird die Wartezeit für diesen Speicher gestartet und abgewartet (einschwingen des Systems Kollektor- und Speicherkreis).

Liegt danach die Vorlauftemperatur des Vorrangspeichers mehr als die z.B. doppelte Hysterese über der Einschaltsschwelle und ist die Flanke der Kollektortemperatur immer noch steil genug, dann wird zuerst geschaut, ob noch weiter vorne in der Vorrangreihenfolge ein Speicher vorhanden ist? Falls ja, wird nochmal "von vorne" angefangen, um zu schauen, ob es "im Leerlauf" für diesen Speicher reichen würde. Ansonsten wird der Nachrangspeicher, falls vorhanden, freigegeben.

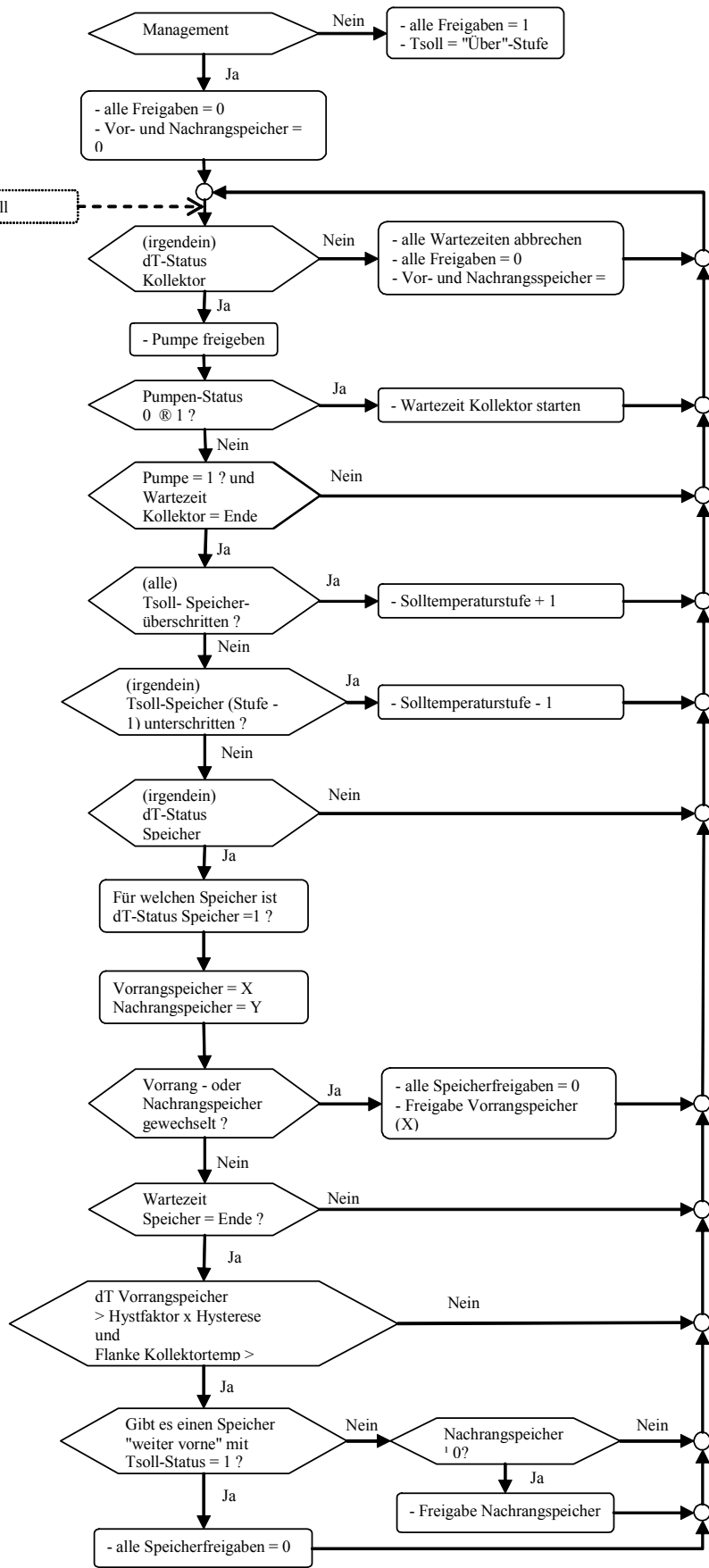


Abbildung 3-17: Flussdiagramm Steuerungsfunktionalität

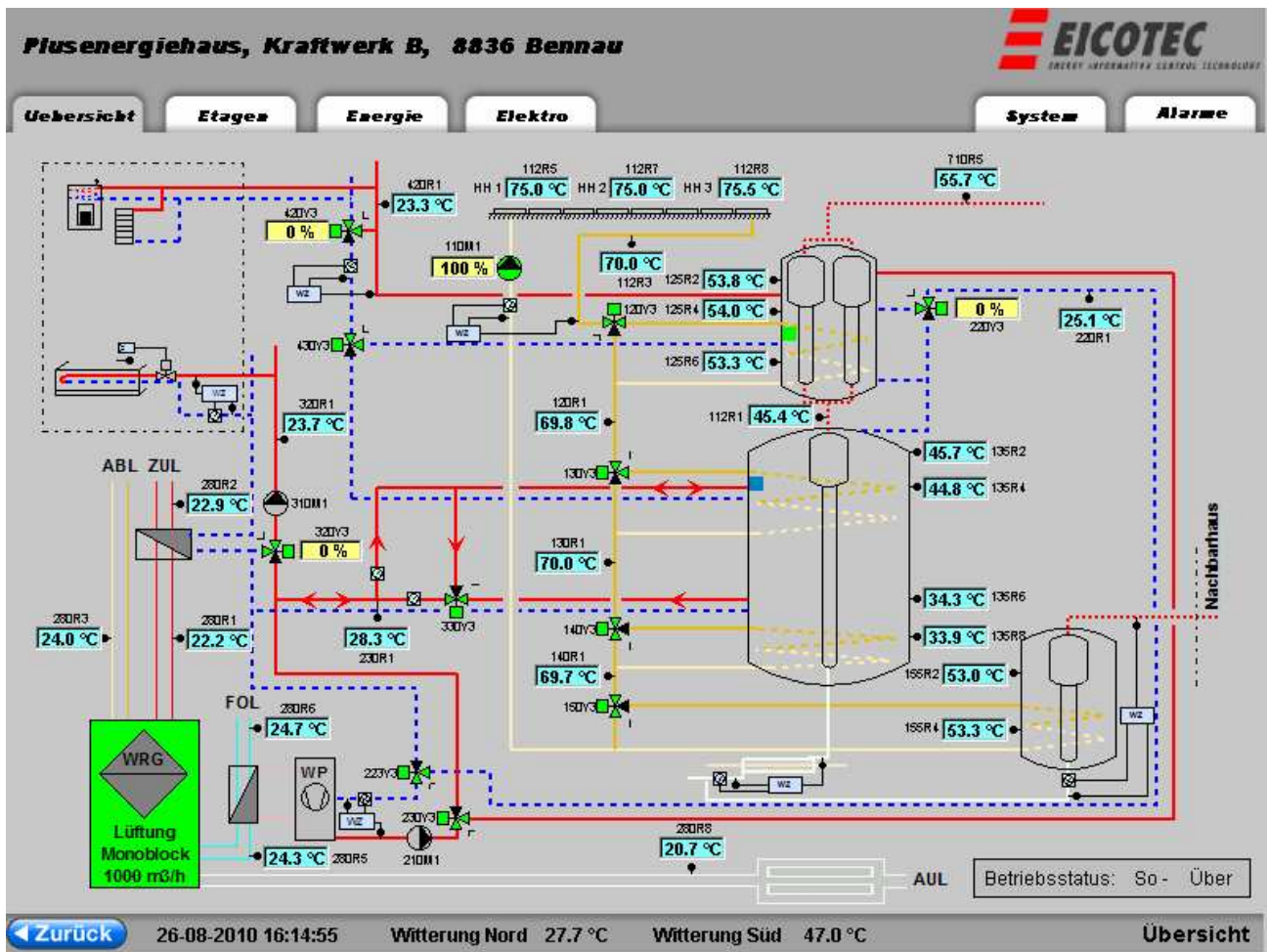


Abbildung 3-18: Momentaufnahme der Visualisierung (Sommerbetrieb). Diese Darstellung "nahe" am Prinzipschema der Anlage, erlaubt einen guten Überblick über die hydraulischen Zusammenhänge.

3.5.3. Zielerreichung durch Einbezug der Mieter

Je kleiner der Restenergiebedarf, desto grösser und massgebender der Einfluss der Bewohner und zwar unabhängig von einer noch so ausgefeilten Anlagentechnik. Um daher die Mieter "so gut es geht" in den Zielerreichungsprozess einzubinden, wird ihnen die Möglichkeit geboten, jederzeit via Internet und Standard-Browser auf alle ihre Energiedaten (Kumulationen, Vergleich zum Durchschnitt, Trendprognose Zielerreichung) und den momentanen Anlagezustand zugreifen zu können. Diese Informationen werden ausserdem auf einfache und aussagekräftige Art direkt in der Wohnung auf einem kleinen Display visualisiert, sobald dieses berührt wird. Eine individuelle Kostenabrechnung (Bonus - Malus) sollte der zusätzlichen Motivation dienen.

3.5.4. Zu komplex?

Ein Plus-Energie-MFH ist definitiv kein "Sonntagsspaziergang", vor allem "das erste Mal". Sicher ist es aufgrund der hier gemachten Erfahrungen möglich, das Eine oder Andere leicht zu vereinfachen. Die Illusion, echte Plusenergie sei ohne Technik möglich, ist was sie ist: Eine Illusion. Diese Erfahrung machte seither mancher Planer. Wie die höheren Primaten (Mensch, Delphine, usw.) die "Krone der Schöpfung" einen ausserordentlich komplexen Metabolismus aufweisen, so ist das bei "der Krone der Gebäudekunst", den Plus-Energie-Bauten, nicht anders. Natürlich und richti-

gerweise wird auch hier ein "evolutionärer Prozess" das Zusammenspiel im Metabolismus "Plus-Energie-Haus" noch optimieren, sodass am Schluss ein kleines "Wunder", wie es auch der Körper der höheren Primaten darstellt, zur Verfügung stehen wird.

Aber wie beim menschlichen Körper, ist der Mensch selber derjenige, der das "genialste System" zum entgleisen bringen kann. "Gesundheit" gibt es weder von selbst, noch gratis. Bewegung, Ernährung und psychisches Wohlbefinden sind zwingende Voraussetzungen um das "genialen System - menschlicher Körper" voll zur Geltung zu bringen.

Genau so verhält es sich mit dem Metabolismus eines Plus-Energie Hauses, dessen "Bewohner" (Verhalten) und deren "Besitzer" (Pflege, Unterhalt, Service) darüber entscheiden, ob es voll zur Geltung kommt.

Wie der menschlichen Körper "Warnsignale" aussendet, gibt die Steuerung des Plus-Energie-Hauses Alarmmeldungen heraus. Diese können (vom Menschen) entweder beachtet werden oder nicht.

Das dieses "Prinzip" in einem Einfamilienhaus möglicherweise besser funktioniert, da dort der Bewohner und der Besitzer (Investor) in der Regel derselbe ist, leuchtet zwar ein, in einem MFH ist dies deswegen nicht weniger wichtig....

4. Messprojekt

4.1. Messperiode

Die Messperioden wurden von Mitte Jahr (1. Juli) bis Mitte Folgejahr festgelegt und entsprechen damit dem "Abrechnungsjahr" (Heizkosten) der Verwaltung. Ausserdem ergab sich dieses Datum, da die Anlagen im Laufe des 1. Quartal 2009 in Betrieb gingen, eine Messperiode vom 1. Januar an also nicht sehr aussagekräftig gewesen wäre. Neben dem Vorteil der Synchronizität mit dem Abrechnungsjahr, ist ein weiterer Vorteil die Bilanzen "über einen ganzen Winter". Nachteil ist, dass solche Perioden nicht mit den Kalenderjahren und damit auch nicht mit dem meteorologischen Klimajahr übereinstimmen.

4.2. Energiebilanzen

Eines hat dieses Messprojekt mit grosser Deutlichkeit gezeigt: Der an sich bekannte Effekt, dass je kleiner der Energiebedarf eines Gebäudes "im Prinzip" ist, desto grösser der Benutzereinfluss, wird bei "Plus-Energie Häuser", zumal bei solchen, bei denen die Benutzer auch noch selber (und nach Gutdünken..) nachheizen, noch mal deutlich verschärft.

Ein Aspekt dieses Benutzereinflusses ist die Belegung: Hier gibt es gegenläufige Tendenzen, so dass dieser Zusammenhang nicht linear ist. Auf der einen Seite wird bei "Nicht - Vollbelegung" weniger Strom und Warmwasser verbraucht, auf der anderen Seite wird die Wohnung passiv durch die anderen Bewohner mitgeheizt. Es ist daher wichtig, wie die Belegung war, jedoch ist die Interpretation dieses Umstandes einigermaßen schwierig. Das Messprojekt kann und muss sich darauf beschränken, "den Zustand wie er während der Messperiode (Juli 2009 bis Juni 2011) war" zu beschreiben:

Wohnung	2009 / 10												2010 / 11											
	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun
EG Süd	[Orange bar]																							
EG Nord	[Orange bar]																							
1. OG Süd	[Orange bar]												[Orange bar]											
1. OG Nord	[Orange bar]																							
2. OG Süd	[Orange bar]																							
2. OG Nord	[Orange bar]												[Orange bar]											
DG-Loft	[Orange bar]																							

Abbildung 4-1: Wohnungsbelegungen in den Messperioden. Die Balkenstärke steht für die Anzahl Personen. 2 Erwachsene oder 2 Erwachsene und 1-3 Kinder.

Aus der *Abbildung 4-1* geht die Belegungsdichte hervor. Diese entspricht nicht dem vertraglichen Mietbeginn bzw. -Ende, sondern der Anwesenheit, also von wann bis wann wurde Strom und Warmwasser gebraucht. Bei der Planung wurde eine durchschnittliche Belegung von 3 Personen pro Wohnung (Loft: 2 Personen) ausgegangen. Gemessen daran betrug die durchschnittliche Belegung:

2009 / 10 69 %

2010 / 11 98 %

Damit kann vor allem die Messperiode 2010 / 11 als "normal" bezüglich der Belegung angesehen werden.

4.3. Bilanz Wärme

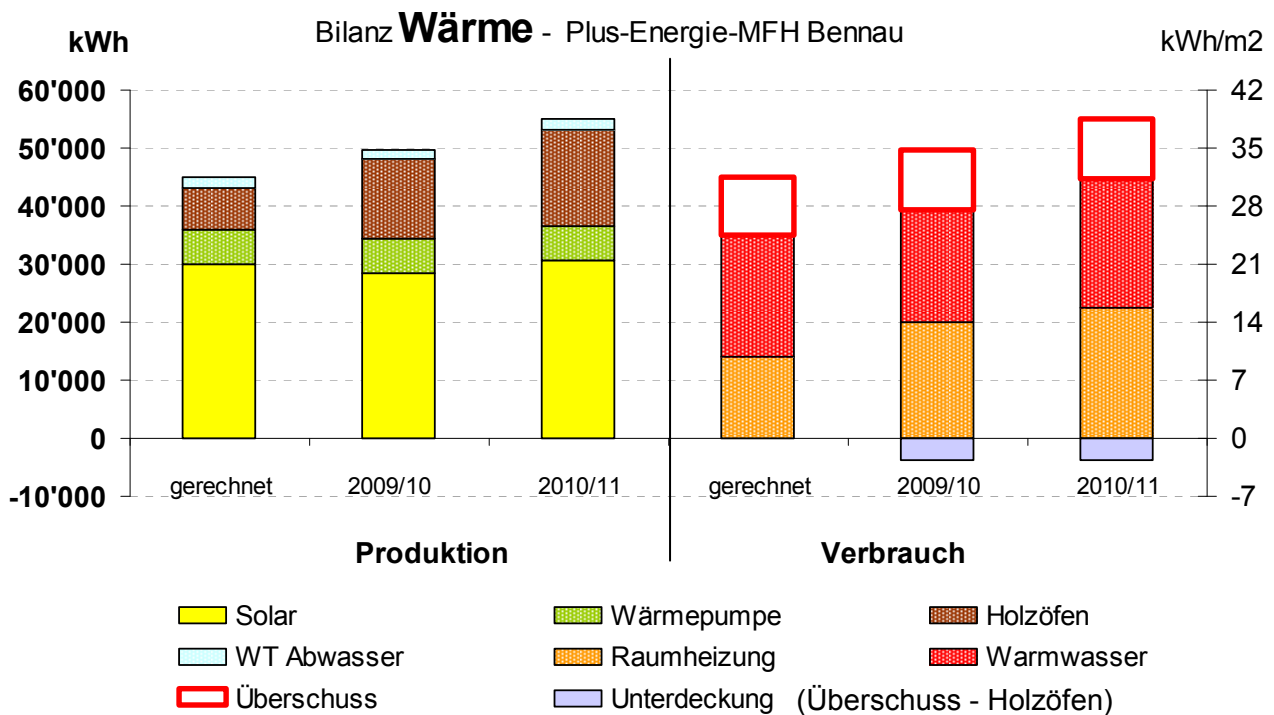


Abbildung 4-2: Bilanz Wärme

Das obige Diagramm ermöglicht verschiedene Vergleiche: Der Produktion (linke Diagrammhälfte) steht der Verbrauch (rechte Diagrammhälfte) gegenüber und zwar für die theoretisch gerechnete Auslegung und dem gemessenen Istzustand der Messperioden. Beim Verbrauch bedeutet der "Überschuss" den Export zum Nachbarn (Warmwasservorwärmung). Wenn mehr Brennholz verbraucht wird, als Überschuss exportiert werden kann, entsteht wärmemässig eine "Unterdeckung".

Während der Solarertrag mit kleinen, klimabedingten Schwankungen und die Energieproduktion der Wärmepumpe recht gut der Prognose entspricht, fällt auf, dass der Holzverbrauch durch die Mieter für die Wohnungsöfen deutlich über den Prognosen liegt. Dies hat seine Entsprechung auf der Verbrauch -Seite: Dort ist der Raumwärmebedarf ebenfalls deutlich höher als erwartet. Der Energiebedarf zur Warmwasserproduktion entspricht hingegen den Prognosen.

Interpretation

Bis auf den Wärmeverbrauch entsprechen alle Werte etwa den Prognosen. Der Verbrauch für Raumwärme ist höher als gerechnet, bzw. etwa gleich hoch wie der Warmwasserverbrauch. Trotzdem ist die Annahme, dass eine Passiv- bzw. Minergie-P Gebäude mehr oder gleichviel Energie für die Warmwasserbereitung wie für die Heizung benötigt nach wie vor richtig, was die Ausrichtung der Solarenergienutzung primär auf das Warmwasser (Angebot und Nachfrage besser abgestimmt) rechtfertigt. Das der Raumwärmebedarf und damit auch der Holzverbrauch so deutlich über den Prognosen liegt, kann prinzipiell 2 Ursachen (bzw. eine Kombination davon) haben:

1. Das Haus verliert mehr Wärme als geplant
2. Die Bewohner betreiben ihre Wohnungen auf höherem Temperaturniveau und/oder verlieren mehr Wärme als geplant (z.B. Fensterbedienung)

Beide möglichen Ursachen wurden analysiert mit folgendem Resultat:

4.3.1. Schwachpunkte Gebäudehülle und Haustechnik:

Fenster

Die Fenster entsprechen zwar alle den Vorgaben (u.a. 3-fach Wärmeschutzverglasung mit thermisch verbessertem Randverbund) und der, durch Minergie vorgeschriebene blower-door Test ergab nichts Negatives. Dennoch ist das Fenster immer ein thermischer Schwachpunkt in einem hochisolierten Gebäude. Insbesondere:

- Der *Fensterrahmen*, vor allem der Flügelrahmen aus Vollholz ist eine Wärmebrücke.

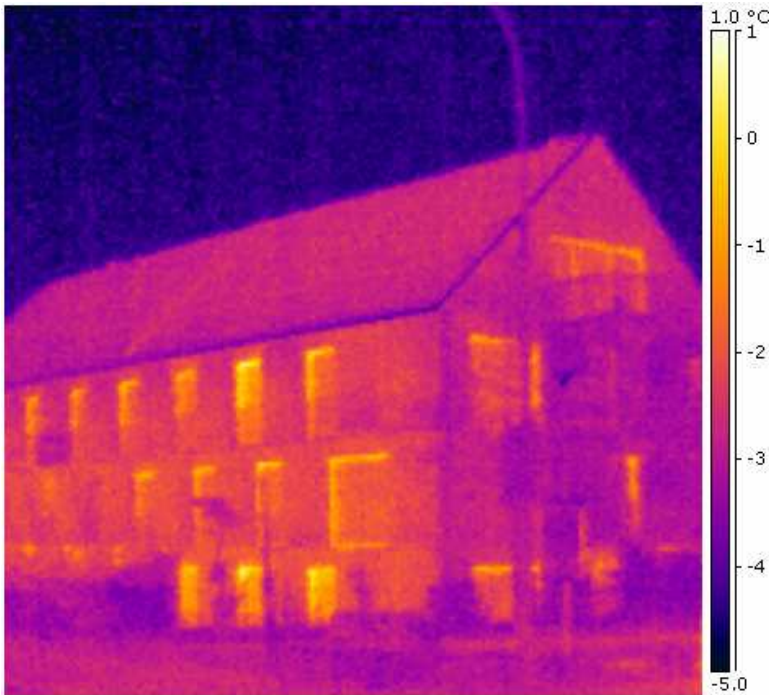


Abbildung 4-3: Infrarotaufnahme Gebäude aus Richtung Süd.

09:45 Uhr am 11.1.11, Aussentemperatur 3°C, Seit 24 Stunden bedeckt mit etwa gleich bleibender Aussentemperatur.

Die Oberflächentemperaturen der opaken Flächen (Dach, Wand) sind nahe bei der Aussentemperatur was auf den guten Dämmwert zurückzuführen ist. Die Südwestfassade ist leicht wärmer wegen der Pufferwirkung der nicht hinterlüfteten Kollektoren, die sich bereits durch die Diffusstrahlung auf 8°C erwärmt haben.

Deutlich (gelb) herausstechend sichtbar sind die Fensterrahmen, was nicht weiter erstaunt, da nur wenige cm Vollholz. Hier ist noch einiges an Verbesserungspotential an die Adresse der Fensterbauer (in der Schweiz) vorhanden. Unsere deutschsprachigen Nachbarn (Deutschland, Österreich) haben da mit Verbundkonstruktionen und Mehrfachdichtungssystemen (siehe unten) noch immer die Nase vorne.



Die *Dichtung*. Hier kam eine Einfachdichtung zum Einsatz, welche der Hersteller zwar so sauber verarbeitete, sodass die Fenster tatsächlich am Anfang "dicht" sind. Wie das Langzeitverhalten allerdings aussieht (Holz hat nun mal Verzug und "arbeitet" je nach Klima) ist unbekannt und dafür ist eine Mehrfachdichtung wahrscheinlich besser. Ausserdem werden dadurch mehrere "dichte" Luftkammern geschaffen,

was auch eine Verbesserung des Wärmedurchganges bedeutet.

- Die *Beschläge*. Gerade grosse, geschosshohe Fenster mit 3-fach-Verglasung sind schwer, zu schwer für "normale" Beschläge, welche den Mietern ausgesetzt sind. Es kam daher auch schon zu ersten Schäden.



Abbildung 4-4: Geländerkonstruktion.

Die offenen, geschosshohen Fenster hatten als zusätzliches Handicap die vorgeschriebenen, 1 Meter hohen, aussenliegenden Geländer. Diese waren in einem frühen Planungsstadium als möglichst filigrane Konstruktion angedacht und entsprechend in den Berechnungen berücksichtigt worden, welche die Solareinstrahlung auf das Fenster nur unwesentlich reduziert. Realisiert wurde dann aber eine Holzkonstruktion, welche die Solarenergienutzung dort fast vollständig verunmöglicht. Die Aufnahme zeigt, wie bei Sonnentiefstand der unterste Bereich des EG durch das vorgebaute Pavillon

nur leicht beschattet ist. Der Sonnenwinkel entspricht etwa dem Aufnahmewinkel der Fotografie, so dass deutlich wird, dass leider keine direkte Solarstrahlung die Geländerkonstruktion durchdringen kann, und damit die passive Solarnutzung eingeschränkt wird.

Wärmedämmung gegen das UG / Tiefgarage und in der Technikzentrale

Das unbeheizte UG und die dortige Tiefgarage müssen thermisch besonders sorgfältig gegen die EG-Wohnungen abgeschirmt werden. Daher war eine durchgehende Isolationsschicht zwischen der UG Decke und der Betongrundplatte des Gebäudes aus Schaumglas vorgesehen (Sandwich). Dies ist eine, für Niedrigenergie-MFH bewährte, Konstruktion, welche eine weitgehend Wärmebrückenfreie Konstruktion ermöglicht, umso mehr, als dass das ganze Treppenhaus als nordseitiger Anbau ausserhalb der Wärmedämmebene realisiert wurde. Bei der Ausführung kam es jedoch zu Lieferengpässen beim Foamglas, sodass an einigen Stellen auf Ersatzmaterialien zurückgegriffen werden musste. Gerade bei der Tiefgarage, welche nicht nur via die offenen Lichtschächte belüftet werden muss, sondern in die auch noch die, nach der Fortluftwärmepumpe (sehr kalte) Luft der Wohnungslüftung ausgeblasen wird, ist dies besonders kritisch. Es wurde daher vorgeschlagen, die Decke der Tiefgarage zusätzlich zu isolieren.

Die sehr kalte Tiefgarage generiert noch eine andere Schwachstelle: Die Wand zur Heizzentrale. Die Heizzentrale ist auf einem mittleren Temperaturniveau durch die Abwärme der Solarspeicher und der technischen Einbauten. Je mehr Wärme durch die längsseitige Betonwand zur Tiefgarage abfließt, desto kühler wird die Heizzentrale. Obwohl dort im Grundsatz sehr gut isoliert wurde, ist der Wärmeverlust (Speicher, Leitungen, usw.) eine lineare Funktion des Temperaturunterschiedes zur Umgebung.

Trotzdem in der Heizzentrale "im Prinzip" sehr gut isoliert wurde, gab es hier Ausnahmen:

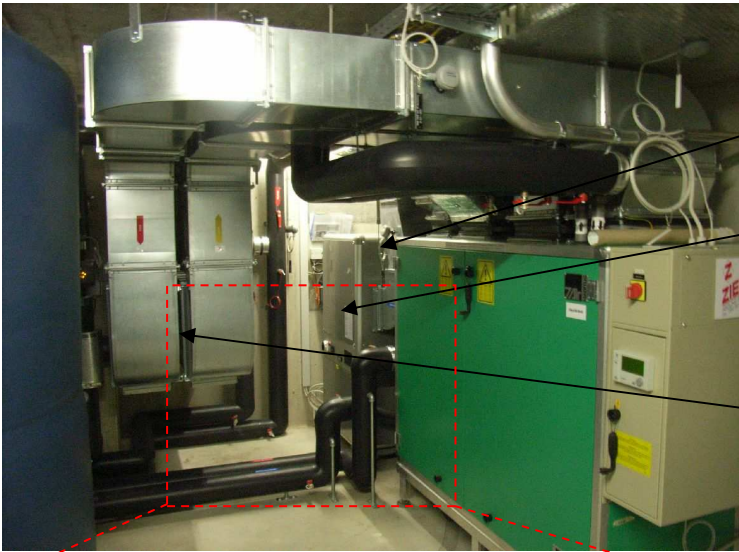


Abbildung 4-5: Lüftungsmonoblock mit Fortluftwärmepumpe mit Ausschnitt als IR-Aufnahme.

Der kalte Fortluftkanal zwischen Lüftungsmonoblock und Wärmepumpe

Die Wärmepumpe, vor allem der obere, sehr kalte Teil mit dem Verdampfer ist nur mit der Schalldämmung versehen (ungenügende Wärmedämmwirkung), die Kantenprofile aus Aluminium waren "blank".

Der Zu- und Abluftkanal, der Verteiler und die entsprechenden Wohnungstichleitungen bis zu UG-Decke (= Dämmperimeter) waren unisoliert. Dies ist besonders ungünstig, da diese sich auf etwa 20°C befinden - in einer Heizzentrale, die im Winter gegen 10 °C kalt wurde (aktiv gekühlt durch die unisolierten Fortluftkanäle, den Kälteverlust der WP und die kalte Betonwand gegen die Garage. Erst im Februar 2011 wurden die Zu- und Abluftkanäle isoliert, nicht jedoch die Fortluftkanäle und die WP.

Die Infrarotaufnahme offenbart auch die gravierende Kältebrücke der sehr kalten, unisolierten Betonwand zur Tiefgarage.

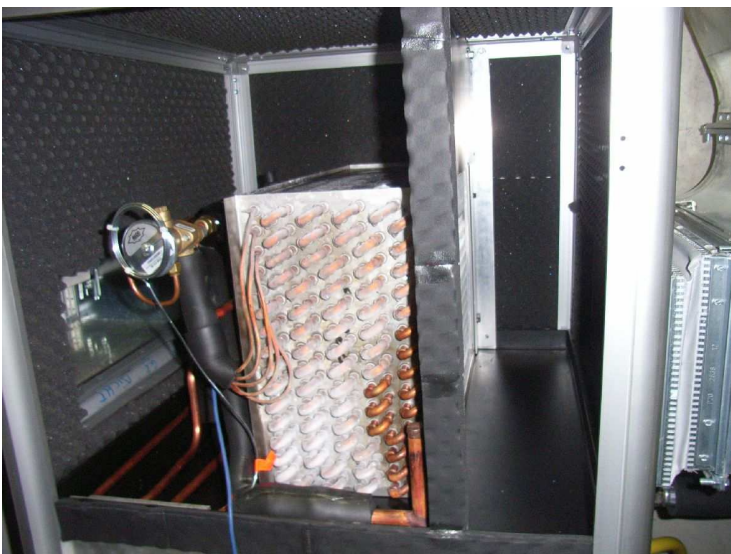
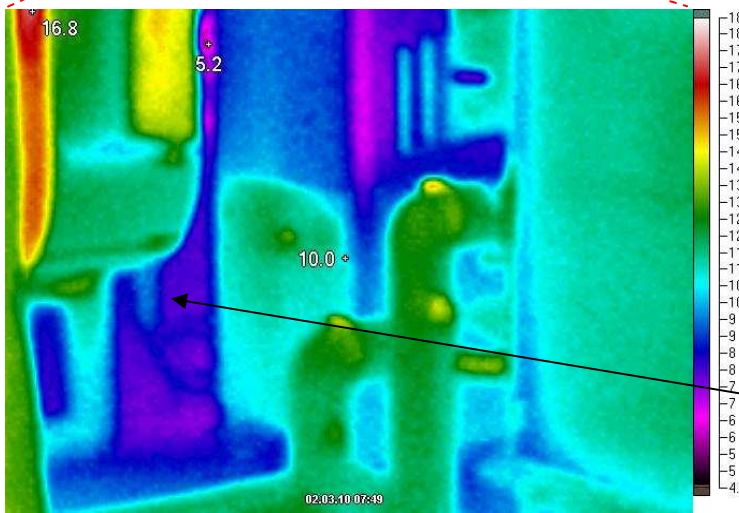


Abbildung 4-6: Innenleben der Fortluftwärmepumpe: Luftführung und Kältemittelverdampfer/Wärmetauscher

Die Wände sind nur mit einer dünnen Schallschutzmatte gedämmt, die Eckprofile vollständig blankes Aluminium. Luftstrom von rechts nach links.



Abbildung 4-7: Nachisolation der Zu- und Abluftkanäle

Diese konnten zusammen "eingepackt" werden, da sie praktisch dasselbe hohe Temperaturniveau aufweisen. 22 °C Abluft und 19°C Zuluft haben jetzt im gemeinsam isolierten "Kanalwärmetauscher" Gelegenheit ihrer Temperaturdifferenz weiter zu reduzieren - ein durchaus gewollter, willkommener Effekt.

Die "kalte Seite" (Fortluftkanäle, Wärmepumpe und Garagenwand) sind weiterhin nicht isoliert, womit die Technikzentrale stärker auskühlt und damit höhere Verluste (Speicher, Leitungen, Kanäle) bewirkt werden.

4.3.2. Schwachpunkte Benutzerverhalten

- **Raumtemperaturen:** Statt auf der Grundlage nach SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband), also mit 20°C Raumtemperatur wurden die Wohnungen auf 22 - 23 °C betrieben. Pro °C höherer Raumtemperatur, wird jedoch 6% mehr Wärmeenergie benötigt. Dieser 15 % Mehrverbrauch mag ja für sich alleine noch angehen (selbst wenn in einem Plus-Energiehaus jede kWh zählt), jedoch hat dieser Umstand Folgeerscheinungen: So wird u.a. das Fenster- Lüftungsverhalten kritischer, da dort jetzt wärmere Luft entweicht.

Nov - Feb	EG Süd	EG Nord	1 OG Süd	1 OG Nord	2 OG Süd	2 OG Nord	Loft	Mittel alle	Mittel belegt
2009 / 10	22.0	21.2	22.4	20.5	22.2	22.2	19.0	21.4	22.0
2010 / 11	22.2	22.7	22.4	22.7	23.4	21.0	22.6	22.4	22.7
Mittel	22.1	22.0	22.4		22.8			21.9	22.3

Tabelle 1: *Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern während den Wintermonaten.*
Fett-Kursiv: Nicht belegt.

Die Raumtemperaturen in den Wohnzimmern wurden ebenfalls kontinuierlich aufgezeichnet. Aus *Tabelle 1* geht hervor, dass:

- Alle Temperaturen immer über 22°C lagen, mit Ausnahme des EG-Nord über der Tiefgarage, welches im ersten Winter "nur" 21.2°C hatte, dies aber im 2-ten Winter durch vermehrtes Einfeuern des Wohnzimmerofens wettmachte.
- Generell im 2-ten Winter höhere (+ 1°C) Raumtemperaturen herrschten weil 1) Die durchschnittlichen Aussentemperaturen 09/10 (1.2°C) und 10/11 (2.4°C) im 2-ten Winter deutlich (1.2 K) höher waren. 2) Mehr Belegung auch mehr interne Wärmequellen (Personen, Geräte) bedeutet sowie entsprechend mehr Holz in den Wohnungsöfen verbrannt wurde (*Abbildung 4-2*).

Fazit: Das Haus war ausreichend beheizt. Das, vor allem im ersten Winter, vorübergehend während kürzerer Zeit infolge Störungen der technischen Anlagen, die oft nicht bemerkt wurden (trotz Alarmierung) - und wenn sie dann bemerkt wurden nicht optimal reagiert wurde, sei an dieser Stelle nicht verschwiegen. Dies unterstreicht nur die Wichtigkeit einer sorgfältigen Betreuung einer solchen "High-Tech-Anlage".

- **Fenster- Lüftungsverhalten:** Obwohl eine Komfortlüftung immer für ausreichend Frischluft (für Nichtraucher) sorgte, waren die Raucher ein Problem.

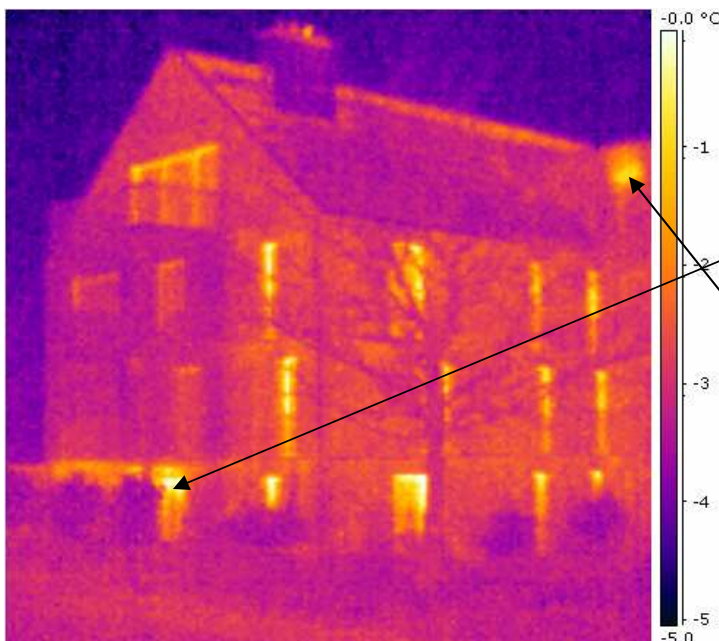


Abbildung 4-8: *Infrarotaufnahme (aus Südost)*

Um nicht in der Wohnung rauchen zu müssen gingen die Raucher auf die Balkone, was zu mehr oder weniger offenen, verglasten Balkontüren führte.

Eine besondere Variante fand in der DG-Loftwohnung statt. Um nicht auf den Balkon zu müssen, wurde im unbeheizten, verglasten Vorraum, dem obersten Teil des Treppenhauses, geraucht (Begründung: Dort zieht es nicht und ist etwas

wärmer als auf dem Balkon). Anschliessend wurde dort das Fenster geöffnet (und über Stunden so belassen). Damit kühlte der Vorraum, der als thermische Pufferzone gedacht war, aus, was nicht nur den Wärmeverlust der Loft-Wohnung erhöhte, sondern die Pufferwirkung des Treppenhauses für alle Stockwerke beeinträchtigte.

Die Pufferwirkung des, extra zu diesem Zweck ausserhalb der thermischen Gebäudehülle realisierten Treppenhauses, wurde auch dadurch untergraben, dass tagsüber oft die Eingangstüre trotz Türschliesser offen gehalten wurde, damit die Kinder, die hinter dem Haus spielten, wieder hinein konnten...



Abbildung 4-9: "Blockierter" Hauseingang.



Abbildung 4-10: Das externe Treppenhaus.

Gut sichtbar ist die Blockierung der Eingangstüre sowie (nur schwach erkennbar) das gekippte Seitenfenster im obersten Stock. In der Infrarotaufnahme (Abbildung 4-8) wird dies jedoch gut sichtbar.

- **Fenster-Beschattung:** Diese, im Sommer wichtige Möglichkeit ist im Winter völlig kontraproduktiv, da sie die passive Solarenergienutzung, also die Sonneneinstrahlung durch die Fenster, verunmöglicht. Diese Solarenergienutzung wird in den Energiebedarfsrechnungen aber offiziell mit einbezogen! Leider waren die Storen zum grossen Teil auch im Winterhalbjahr gesenkt. Die Mieter "sparten" sich so einen innen liegenden Blend- und Sichtschutz - bewirkten aber einen deutlichen höheren Energiebedarf der Wohnung.



Abbildung 4-11 Südwestansicht des "Normalfalles" bezüglich Storenstellung:

Ganz geschlossen oder geschlossen, leicht gekippt. Richtig (ganz) offen waren nur wenige. Auch die, durch einzelne Mieter montierten Tagesvorhänge (Sichtschutz) wurden leider nicht "richtig" eingesetzt.

Fazit: Die meisten Mieter sind sich der Bedeutung der passiven Solarenergienutzung nicht bewusst (gilt übrigens auch für Dienstleistungsbauten).

Lösung: Helle, durchscheinende Tagesvorhänge (oder ähnliches), sollte durch den Besitzer (wie z.B. der Geschirrspüler) als Bestandteil des Mietobjektes vorinstalliert werden. Gleichzeitig muss eine rudimentäre Storensteuerung dafür sorgen, dass die Storen aussentemperaturabhängig (im Winter) *tagsüber* automatisch hochfahren und nicht mehr gesenkt werden können. Damit kommt der interne Blend- und Sichtschutz zum "richtigen" Einsatz.

Einfuerverhalten Einzelholzöfen

Dieser "Hightech-Absorberholzofen" konnte sein Potential oft nicht ganz ausschöpfen, da er mehr oder weniger falsch bedient wurde. Dies trotz umfangreicher Dokumentation, welche nach Angaben des Besitzers bei Mietantritt abgegeben wurde. Hier zeigte sich deutlich, dass dies nicht ausreicht. Der grosse Ordner, der den Mietern abgegeben wird und indem sich alle relevanten Informationen (nicht nur über den Ofen) befinden, genügt nicht (und wird nicht immer gelesen). Eine persönliche Instruktion mit Inbetriebnahme des Ofens ist unumgänglich, wobei der Instruierende selber schon durch den Ofenbauer "gut ausgebildet" sein muss.

So kam es vor, dass ein Mieter monatelang den Ofen als offenes Cheminée brauchte und diesen Fehler erst bemerkte, als er zufällig mit seinen Nachbarn darüber ins Gespräch kam. Die Rauchrohrklappen standen oft offen, auch wenn der Ofen nicht in Betrieb war. Inwieweit die Zuluftklappe nach dem Abbrand immer geschlossen wurde, konnte nicht festgestellt werden. Dass das Einfuern und der Abbrand nicht immer "optimal" verlief zeigten auch die Verrussungserscheinungen an der verglasten Ofentüre.



Abbildung 4-12: Stark verrusste Ofentüre

Das verglaste Ofentüren, trotz interner Belüftung (die Verbrennungsluft wird unten der Scheibe entlang eingeblasen) mehr oder weniger verrussen ist normal (und sollte öfters mal geputzt werden...). So stark wie im Bild sollte dieses Phänomen aber nicht sein. Trotzdem dies (zum Glück) eine Ausnahme war, stellt sich die Frage nach den Gründen der ungenügenden "Zugverhältnisse"?:

- Zu- und Abgasklappen ganz offen?
- Wurde "richtig" angefeuert ("oben" mit viel Anfeuerholz ein "loderndes" Feuer entfachen, damit die Züge und das Kamin angewärmt werden (= Zugverstärkung?).
- Wie bei den meisten Öfen ist die Zuluft in der Anfeuerphase eher zu schwach (Querschnitt), da ja dann die warmen Züge/Kamin noch nicht helfen.



Abbildung 4-13: Normal verrusste Ofentüre

In einer anderen Wohnung ein anderes (besseres) Bild der verglasten Ofentüre, welches auf eine bessere Bedienung hinweisen könnte. So ist z.B. die Zuluftklappe (mit Türhebel verbunden) ganz offen.

Die Absorbertechnologie und das Entladeregime haben sich jedoch sehr bewährt: Sowohl konnten die jeweiligen nordseitigen Badezimmer über den dortigen Radiator im Komfortbereich gehalten werden, als auch die Überschusswärme an die zentrale Warmwasserbereitung abgegeben werden. Durch den Standort der Öfen war natürlich das Wohnzimmer privilegiert, da dort auch die direkte (Strahlungs-) Ofenwärme abgegeben wurde. Auf den Raumtemperaturunterschied gegenüber den 3 anderen Südwest orientierten Zimmern (bei offenen Türen), welche als Schlaf-, Kinder- oder Arbeitszimmer genutzt wurden, ergaben sich bei Stichprobenmessungen nur ein minimales Raumlufttemperaturgefälle von 0.5 - 0.6 °C. Allerdings fehlt dort die "Strahlungswärme" welche nur dem Wohnzimmer (und via Radiator etwas dem Badezimmer) zugute kommt. Diese fehlende Strahlungswärme kann, in langen sonnenlosen, kalten Winterperioden in denen die Bodenheizung wegen der leeren Speicher nicht ihre volle Wirkung entfalten kann und bei längerer sitzender Tätigkeit in der Nähe des Fensters (kühlere Oberflächentemperatur als die Wand), durchaus spürbar sein. Es müssen also mehrere ungünstige Randbedingungen zusammentreffen.

Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile von Wohnungseinzelöfen:

Vorteile:

- Wohnwertsteigerung für die Mieter (Stimmung mit Feuer)
- Raumtemperaturen können selber beeinflusst werden
- nachhaltiger, CO²-freier Brennstoff (je ländlicher desto mehr)

Nachteile:

- Holz muss vom UG in die Wohnung "geschleppt" werden
- Aufmerksamkeit und Sorgfältigkeit beim Einfeuern, Reinigungsaufwand
- Der Ofen und das Kamin (Zuluft, Abgas) sind, auch bei sorgfältiger Ausführung, zusätzliche Wärmebrücken, welche jedoch bei unsorgfältiger Bedienung wesentlich dramatischer werden.

Die Summe all dieser vorstehend aufgeführten "Kleinigkeiten-Schwachpunkte" führen, bei einem Gebäude bei dem jede kWh zählt erst recht, zu einem erheblichen Mehrverbrauch an Raumwärme, was sich in einem höheren Holzverbrauch und damit schliesslich zu einem, glücklicherweise nur geringen Defizit (Unterdeckung) in der Wärmebilanz führte, welche mit der Überproduktion an "hauseigener" Elektrizität mehr als kompensiert werden konnte.

Der Autor schätzt den Anteil der "wärmebedarfssteigernden Schönheitsfehler" zu:

- Schwachpunkte Gebäude (20 - 30 %)
- Schwachpunkte Benutzerverhalten (70 - 80 %)

Dies soll aber nicht missverstanden werden: Das Haus ist ein Erfolg, der durch diese Mängel (nichts ist perfekt - schon gar nicht "das erste Mal") in keiner Weise in Frage gestellt werden soll. Es ist jedoch die Aufgabe eines Messprojektes im Rahmen der Pilot- und Demonstrationsprojekte (P&D), wie sie vom Bundesamt für Energie unterstützt werden, neben den messtechnischen Fakten auch auf das Verbesserungspotential hinzuweisen.

4.4. Bilanz Elektrizität

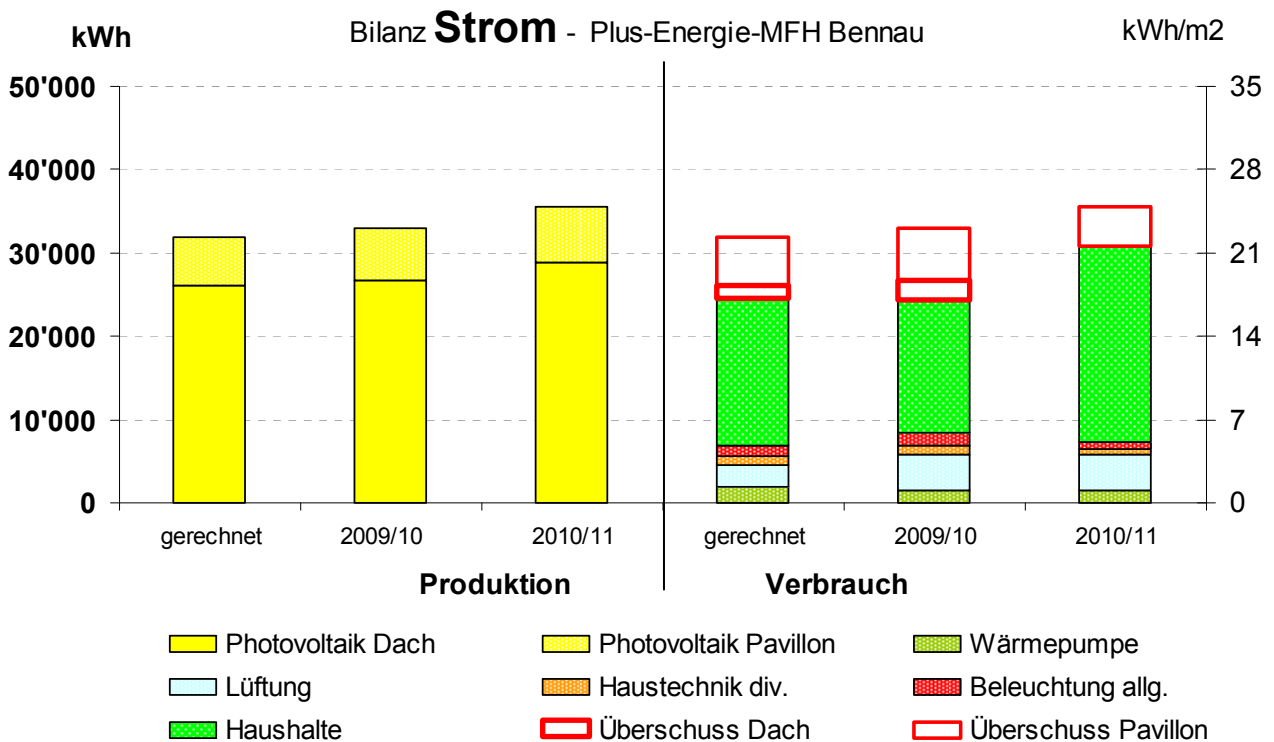


Abbildung 4-14: Bilanz Elektrizität

Das obige Diagramm ermöglicht verschiedene Vergleiche: Der Produktion (linke Diagrammhälfte) steht der Verbrauch (rechte Diagrammhälfte) gegenüber und zwar für die theoretisch gerechnete Auslegung und dem gemessenen Istzustand der Messperioden.

- Die *Produktion* an solarer Elektrizität (Photovoltaik) entspricht im ersten Messjahr den Erwartungen, im Zweiten liegt sie deutlich darüber (mehr Solareinstrahlung).
- Beim *Verbrauch* ist das erste Messjahr ebenfalls nahe an den Prognosen, jedoch braucht bei der "Haustechnik" die **Lüftung** deutlich mehr. Dies liegt daran, dass, entgegen den Prognosen, die Lüftung auch im "Sommer" durchlief. Der Grund war: Die Mieter sollten sich daran gewöhnen, dass die Fenster unabhängig von der Saison nicht geöffnet werden müssen um "frische Luft" (für Nichtraucher...) zu garantieren. Ausserdem konnte die Luft durch das Erdregister im Sommer leicht gekühlt werden. Es ist jedoch nicht zu übersehen, dass die Ventilatoren des Lüftungsmonoblocks anteilmässig einen hohen Verbrauch aufweisen, die Abluftwärmepumpe und die restliche Haustechnik eher bescheiden ins Gewicht fallen.

Fazit: Die Lüftung sollte wenn immer möglich "stillstehen" und nur im Winter und im Hochsommer bei Kühlbedarf "durchlaufen". WP-Betrieb hat immer Priorität. Ob das bei den Mietern "ankommt" und wie diese merken sollen, wann sie manuell lüften sollen und wann nicht und dies dann auch noch konsequent und energieeffizient handhaben, ist zumindest fraglich.

Im 2-ten Messjahr stieg dann der Elektrizitätsverbrauch der Haushalte stark an und zwar mehr, als alleine nur durch die bessere Belegung der Liegenschaft gerechtfertigt gewesen wäre. Es wurde also generell "sorgloser" mit diesem Energieträger umgegangen. Andererseits reduzierte sich der Aufwand für die Allgemeinbeleuchtung und "Haustechnik diverse" (Pumpen, Ventile usw.) was auf den reibungsloseren Betrieb derselben zurückzuführen ist, so dass, zusammen mit der höheren Produktion, trotzdem ein komfortabler Überschuss resultierte.

4.5. Vergleich Strom- Wärme- und Gesamtbilanz

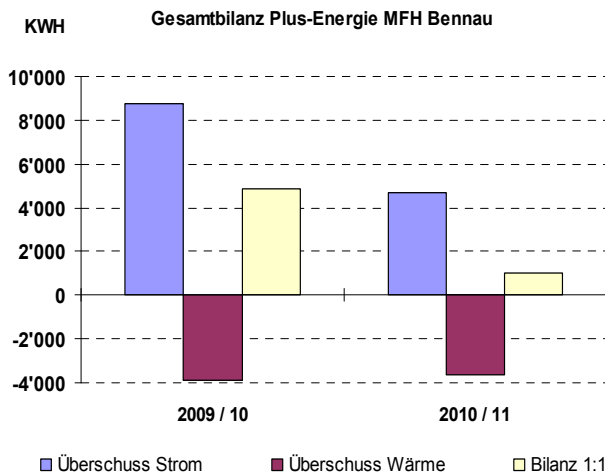
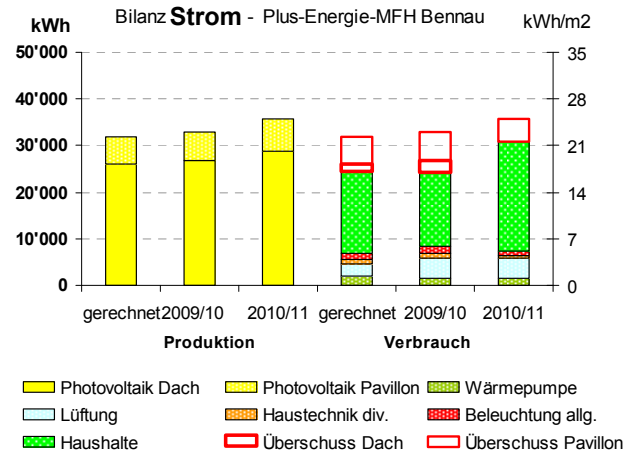
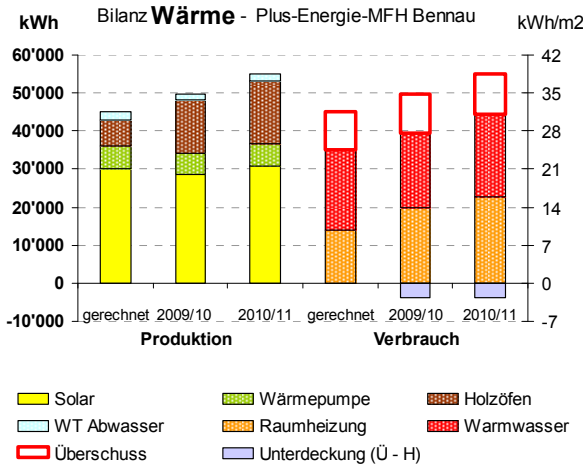


Abbildung 4-15: Darstellung der Energiebilanzen beider Messjahre.

In der Gesamtbilanz (links) ist deutlich erkennbar, wie die Unterdeckung "Wärme" für beide Jahre etwa gleich ausfällt, der Stromproduktionsüberschuss jedoch im 2-ten nur noch halb so gross ist (Mehrverbrauch Haushalte). Trotzdem resultiert auch im 2-ten ein (wenn auch kleiner) Überschuss von 1000 kWh.

1:1 bedeutet, dass 1 kWh Wärme gleiches Gewicht hat wie 1 kWh Strom. Würde man hier ein einen Primärenergiefaktorunterschied von 3 berücksichtigen (es braucht ca. 3 kWh Wärme um 1 kWh Strom zu produzieren) so wäre der Überschuss entsprechend grösser.

Ausserdem ist in *Abbildung 4-15* gut ersichtlich, dass der Wärmeumsatz (Heizung und Warmwasser), im konkreten Fall in diesem Klima, doch noch deutlich höher (+30%) ausfällt, als der Stromumsatz. Jedoch ist der Unterschied nur noch klein, was die Wichtigkeit der Stromversorgung bzw. dessen effiziente Nutzung unterstreicht. Ganz klar steht im MFH dabei der private Konsum der Mieter im Vordergrund.

Fazit: Das Plus-Energie-MFH in Bennau hat den Tatbeweis erbracht, ein echtes Plus-Energie Gebäude zu sein. Dies ist jedoch nicht sowohl bei der Wärme als auch beim Strom separat der Fall, da der, aus den vorgängig dargelegten Gründen, erhöhte Raumwärmebedarf zu einer leichten Unterdeckung bei der Wärmebilanz führte. Der komfortable Überschuss der Elektrizitätsbilanz kompensiert dies jedoch.

4.6. Detailauswertungen

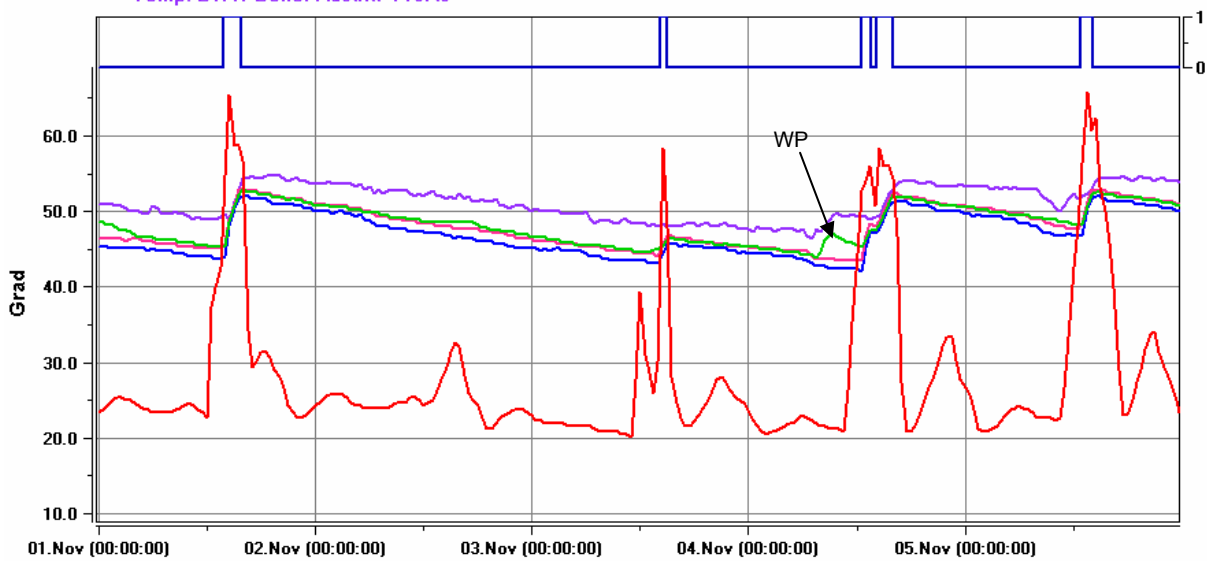
Im Folgenden soll das Zusammenspiel der einzelnen Haustechnikkomponenten dargestellt werden.

4.6.1. Übergangszeit

Als diese gilt, zumindest bei einem Plus-Energie-Haus, der November. Aussentemperaturen um 10 °C und mässig sonnig bei tiefem Sonnenstand, eher trüb, nass und neblig.

- Solar Ladeventil Sp1 (BWW) 120Y3
- Temp. Solar Vorlauf (Sp1 - BWW) 112R3
- Temp. BWW Speicher oben 125R2
- Temp. BWW Speicher mitte 125R4
- Temp. BWW Speicher unten 125R6
- Temp. BWW Boiler Austritt 710R5

Abbildung 4-16 :Lade-Entlade-Verhalten des Solarboilerkreises im November.



- Solar Ladeventil Sp2 (Hauptspeicher oben) 130Y3
- Solar Ladeventil Sp3 (Hauptspeicher unten) 140Y3
- Temp. Solar Vorlauf Sp2 (Hauptspeicher oben) 120R1
- Temp. Solar Vorlauf Sp3 (Hauptspeicher unten) 130R1
- Temp. Hauptspeicher oben 135R2
- Temp. Hauptspeicher mitte oben 135R4
- Temp. Hauptspeicher unten 135R8

Abbildung 4-17: Lade-Entlade-Verhalten des solaren Heizungsspeicherkreises im November.

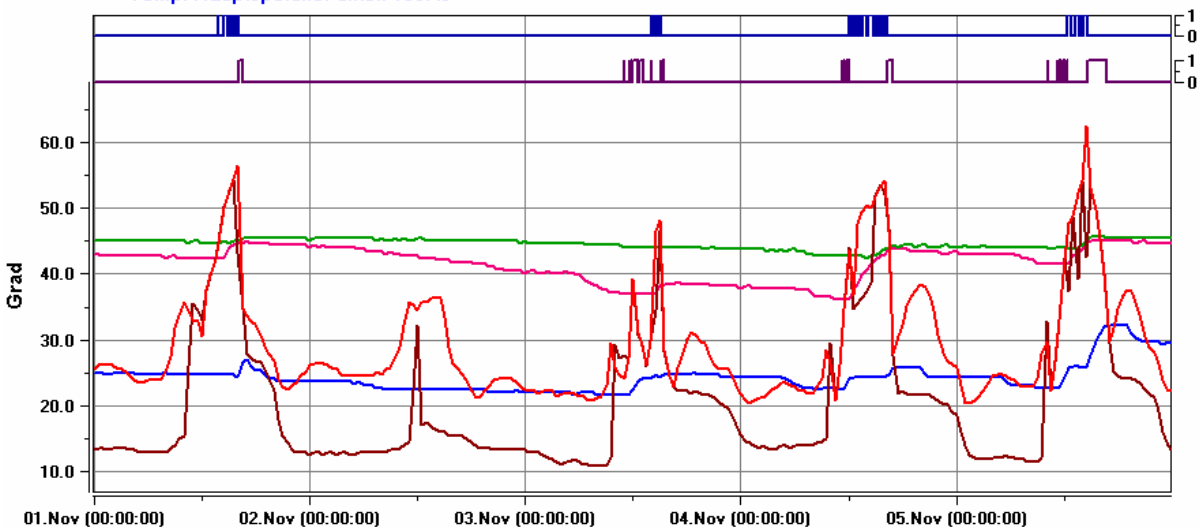
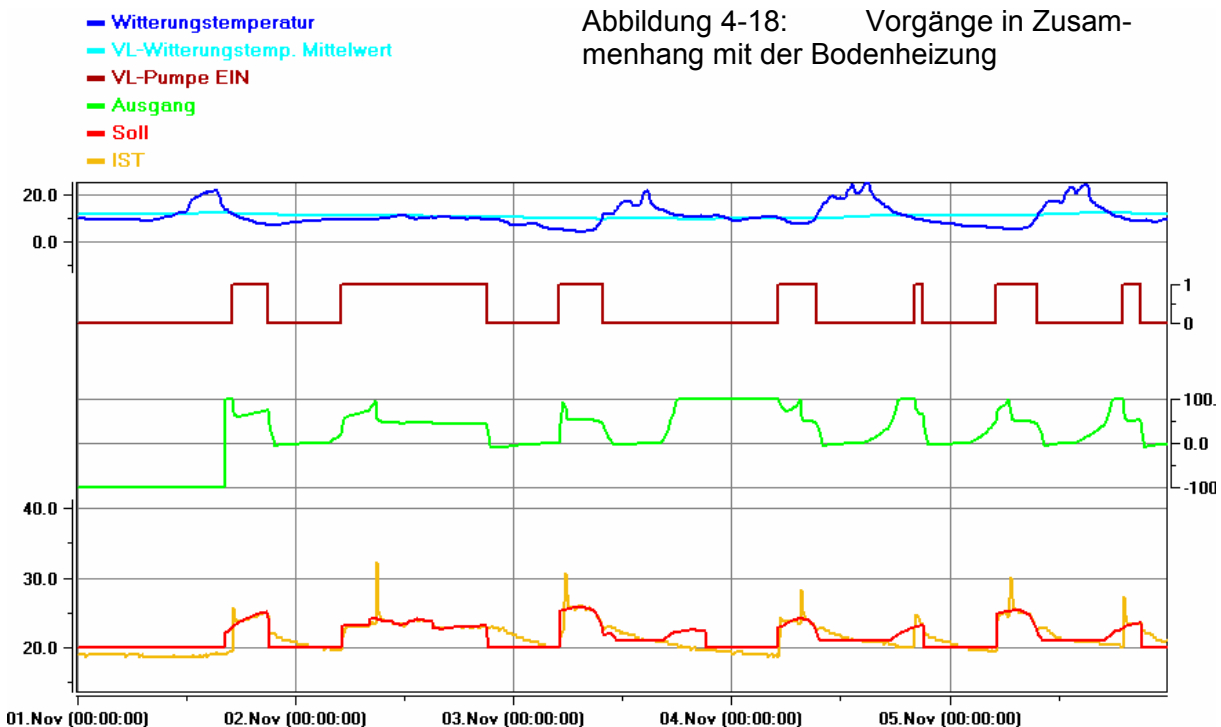


Abbildung 4-16 zeigt eine Periode, in der erkennbar ist, wie sich das System selbst erhält. Gut sichtbar ist der Abfall in den Boilertemperaturen infolge des Warmwasserverbrauches. Nach zwei trüben Tagen ist die Warmwassertemperatur unter die Einschaltgrenze der WP gesunken. Diese wärmt am Morgen des 4. November aber nur kurz den oberen Bereich um wenige Grade, im unteren Bereich (mit dem Solarregister) sinken die Temperaturen weiter - optimale Bedingungen für den solaren Ladevorgang, welcher kurz darauf einsetzt. Zu beachten wäre, dass die solaren Vorlauftemperaturen in *Abbildung 4-16* und *Abbildung 4-17* direkt vor den Speicherventilen gemessen sind und daher tiefer sind als die 3 Kollektorfeldtemperaturen (je Stockwerk) in *Abbildung 3-9*. Die 3 Kollektorfeldtemperaturen geben nur das Einschaltsignal für die Kollektorkreispumpe (positive Temperaturdifferenz zu irgendeinem der Speicher). Der Kollektorkreis befindet sich solange "im Leerlauf", bis die Zuschaltkriterien (Temperaturdifferenzen) der jeweiligen Speicher unter Berücksichtigung des Vorrangmanagements erfüllt sind. Dabei werden nur jeweils ein Vorrang und ein Nachrangspeicher(-register) ermittelt, welche, bei jeweilig genügender Vorlauftemperatur auch gleichzeitig arbeiten können und sollen, damit das Exergiepotential möglichst ausgenutzt wird.

Diese Vorgänge sind in *Abbildung 4-16* und *Abbildung 4-17* gut nachvollziehbar und entsprechen der Vorgabe an die Steuerlogik (Kapitel 3.5.1). Entweder ist das Warmwasserregister aktiv (Vorrang) und / oder fallweise das obere Register des Heizungsspeichers (Nachrang). Ist der Warmwasserspeicher bis zum ersten Solltemperaturniveau geladen oder das solare Vorlaufniveau nicht ausreichend für das Warmwasserregister, dann wird "umgeschaltet", d.h. das obere Heizungsspeicherregister hat Vorrang vor dem Unteren (Nachrang). Diese Vorrang-Nachrang-Philosophie setzt sich auch für den Warmwasservorwärmerspeicher des Nachbarn (Export) fort, wobei zwischen "Winterbetrieb" (tiefste Prioritätsstufe) und "Sommerbetrieb" (höhere Priorität) unterschieden wird.

In der ganzen Steuerungsprogrammierung war dieses solare Vorrang-Nachrang-Management der anspruchvollste Teil, welcher auch während des Betriebes noch bereinigt werden musste, was in Zusammenarbeit mit dem Steuerungslieferanten (Eicotec) relativ gut gelang. Alle anderen Steuerungselemente waren problemloser und brauchten nur das übliche "Feintuning" (Parameter optimieren, etc.).



Die oben erwähnte Saisonumschaltung von Sommer- auf Winterbetrieb ist in *Abbildung 4-18* sichtbar, in der die Vorgänge rund um die Bodenheizung aufgezeichnet sind. Die grüne Linie "Ausgang" ist die Aufzeichnung der Mischventilstellung. -100 (%) ist die Sommerstellung (= Pumpe aus, Ventil geschlossen). Am 2. November ca. 17:00 wird auf Winter umgestellt, Pumpe und Mischventil freigegeben, die Pumpe jeweils nur tagsüber (Nachtabstaltung). Die Nachtabstaltung wurde auch gewählt, damit in dieser Zeit die WP nicht auf die Bodenheizung arbeitet, was den Betrieb auf der (hohen) Stufe 2 der Lüftung provoziert hätte. Der "Soll" - "Ist" - Vergleich (rote und gelbe Linie) zeigt, dass immer genügend Wärme (aus dem Heizungsspeicher) zur Verfügung steht.

Das Führungssignal des Bodenheizungsmischventiles ist nicht die (übliche) Aussentemperatur an der unbesonnten Nordseite, sondern das Mittel zwischen dieser und der besonnten Südseitentemperatur ("Witterungstemperatur"). Dies hat sich schon bei vielen Projekten bewährt, ist es doch die einzige Methode, um auf einfache Art den Nutzen der passiven Solarenergienutzung auch einer witterungsgeführten Heizung zugänglich zu machen, ohne auf die (meist falsch eingestellten) Thermostatventile zurückgreifen zu müssen. Das Prinzip: "Wenn die Sonne scheint muss nicht (bzw. weniger) geheizt werden", wird damit umgesetzt. Am nur teilweise sonnigen 3. November (*Abbildung 4-18*) beträgt die Maximaltemperatur "Nord" (nicht dargestellt) 15°C die Mitteltemperatur Nord + Süd (blau) jedoch 21 °C, das Mischventil läuft komplett zu - die Raumtemperaturen überschwingen nicht, die passive Solarenergienutzung wird optimiert und niemand öffnet das Fenster "weil es zu warm wird".

Die hellblaue Linie "Witterungstemp. Mittelwert" ist der langfristige (50 Stunden) Mittelwert der Witterungstemperatur (welche, wie oben beschrieben, das Mittel zwischen Nord- und Südtemperatur ist). Dieser 50 h -Mittelwert ist das Führungssignal der Sommer-Winter-Umschaltung (Heizgrenze) und berücksichtigt die Klimaentwicklung der letzten 2 Tage und zwar nicht nur der Aussentemperatur (Nord) sondern auch "wie sonnig es war" (Aussentemperatur Süd).

Kritik an konventionellen Heizungssteuerungen

Leider bestimmen "einfache" Heizungssteuerungen die Heizgrenze immer noch anhand der momentanen Aussentemperatur (Nord), was maximal ineffizient ist. Wieso soll nach einer klaren (Sommer-) Nacht (12° C Aussen) für ein paar Stunden geheizt werden, wenn nachmittags, bei strahlendem Sonnenschein die Temperaturen (innen und aussen) über 25 °C steigen?

"Einfache" Heizungssteuerungen hat übrigens (leider) nichts mit der "Grösse" der Steuerung zu tun. Es gibt grosse Institutionen mit teuren Gebäudeleitsystemen, wo dies ebenfalls der Fall ist...

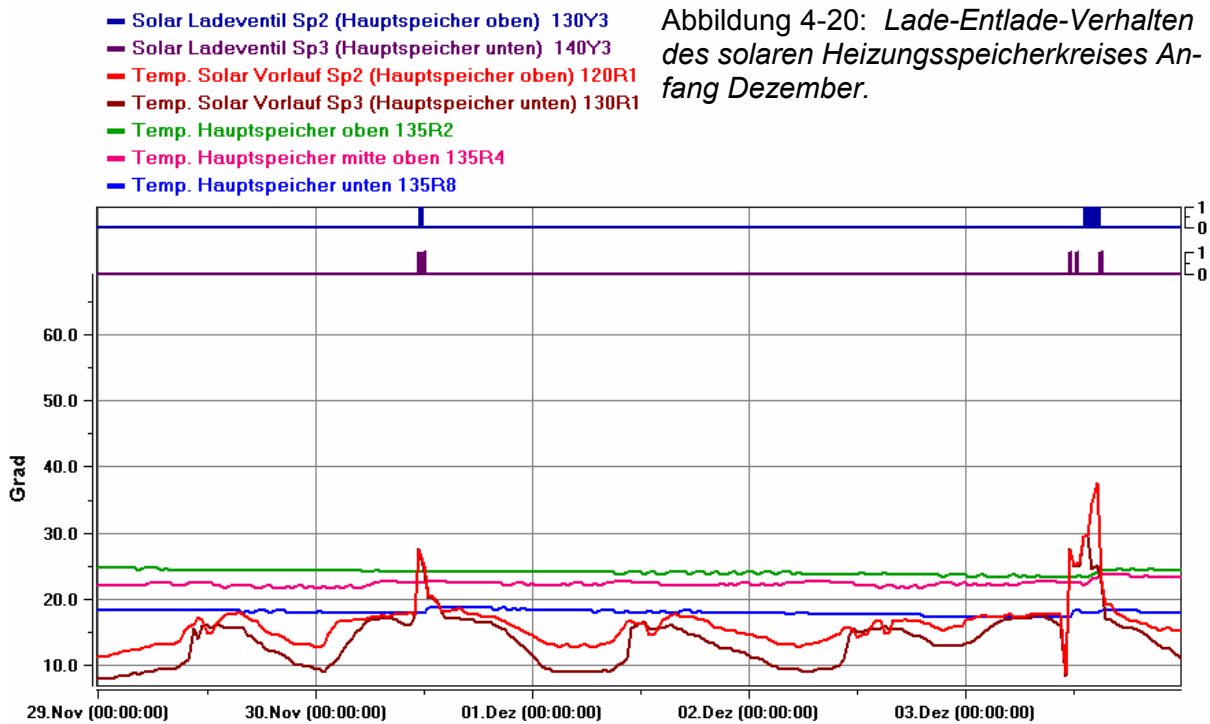
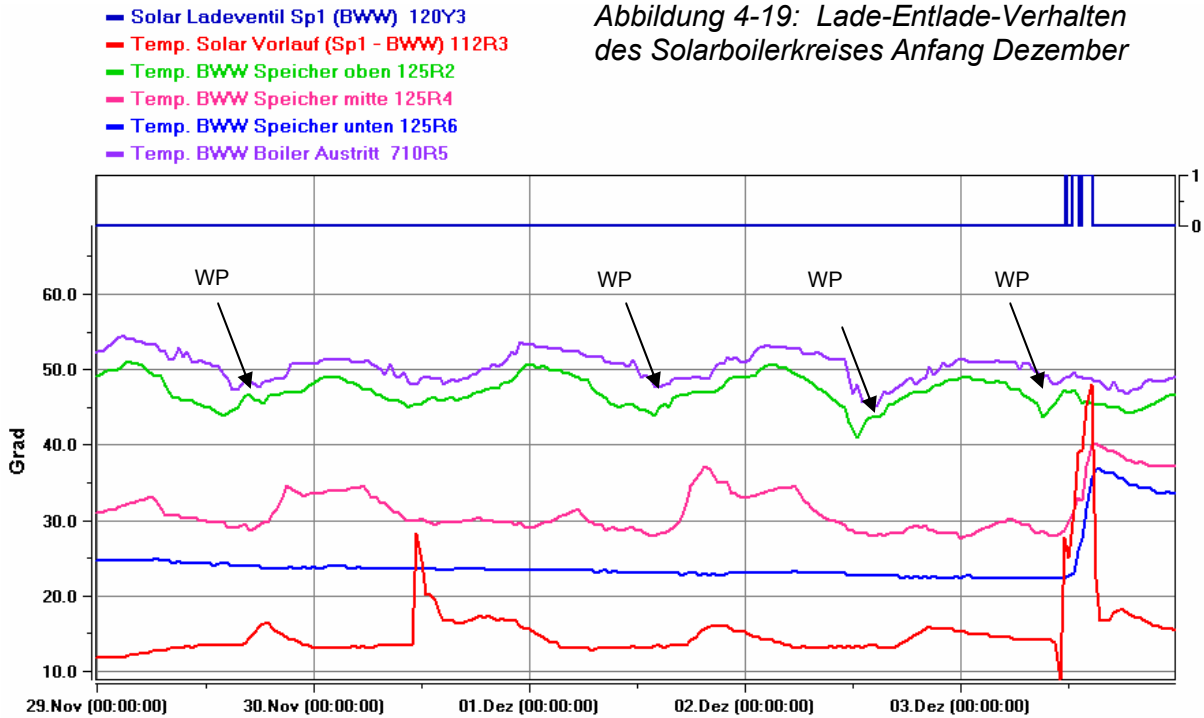
Es gibt (zum Glück) aber auch Steuerungen, die zumindest den langfristigen Mittelwert bilden und diesen sogar noch "gewichten", d.h. je nach Gebäudeträgheit (Masse) den Werten der jüngeren Vergangenheit mehr Gewicht bei der Mittelwertbildung geben. So weit so schlecht, denn mit der reinen Nord-Aussentemperatur wird die Solareinstrahlung bei der langfristigen Mittelwertbildung nicht berücksichtigt, dabei wäre dies über die zusätzliche Aufschaltung der Aussentemperatur Süd (Mitteltemperatur Nord + Süd) einfach möglich.

Manchmal ist es komisch (oder eher tragisch..) mit wie viel Regulierungseifer der Gebäudesektor angegangen wird - kleine und effektive Massnahmen aber nirgends Erwähnung finden....

Durch die langsamen Bewegungen dieses Mittelwertes wird auch vermieden, dass dauernd (je nach Situation bis 4 mal pro Tag...) zwischen Sommer- und Winterbetrieb gewechselt wird und trotzdem auf die Klimaentwicklung (z.B. mehrtägige Temperaturstürze) angemessen (und vor allem automatisch "richtig") reagiert wird.

4.6.2. Winterperiode 1

Einen Monat später, Anfang Dezember 2010, ist der Winter bereits Tatsache: Mit typischen Aus-sentemperaturen um 0°C, wenig Sonne und "leergefahrenem" Heizungsspeicher, da auch der No-vember 2010 ein typischer November, nämlich kühl und neblig-trüb, war.



Die obigen Abbildungen zeigen deutlich, dass ohne Sonne "nichts läuft" ausser die Zusatzheizung (Holzwohnungsöfen) und die Abluftwärmepumpe, welche in erster Linie die Warmwassertemperaturen auf Gebrauch-Niveau halten. Die grossen Wellen (grün und violett) werden durch den Betrieb der Wohnungs-Holzöfen verursacht, welche vor allem Abends eingefeuert werden. Sinken die Warmwassertemperaturen tagsüber dann unter die Einschaltsschwelle der Fortluft-WP (44°C), so hilft auch diese kurzfristig nach, bis wieder genügend Wärme der Holzöfen zur Verfügung steht.

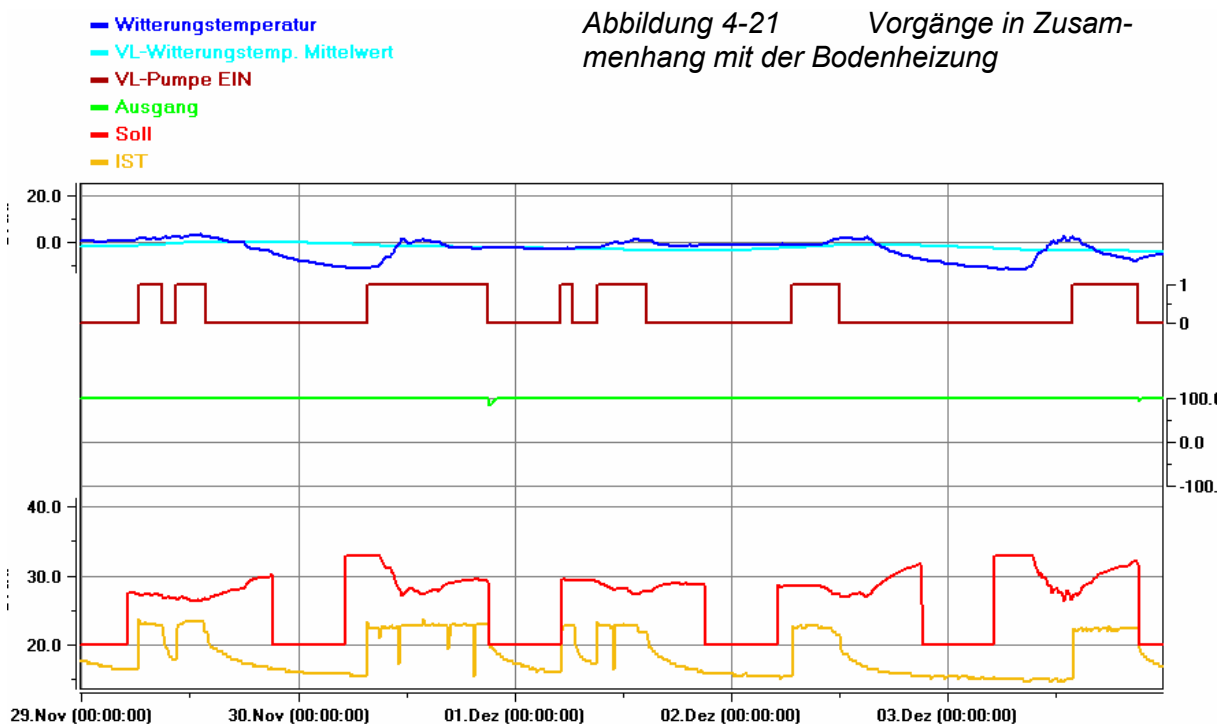
Teilweise laden die Holzöfen den Warmwasserspeicher nicht nur im oberen Speicherbereich sondern bis in die Mitte (pink), was dort ebenfalls zu einem Temperaturanstieg führt.

Fazit: Die Warmwasserbereitung kann auch ohne Solarenergie mit den Wohnungsöfen und der Fortluft-WP sichergestellt werden.

Solarenergie steht erst am letzten Tag der dargestellten Periode wieder zur Verfügung und trifft dort dank der Temperaturschichtung optimale Bedingungen an (kalter Warmwasserspeicher im unteren Bereich). Der Warmwasserspeicher absorbiert den grössten Teil der Solarenergie. Auch der Heizungsspeicher bekommt etwas ab, jedoch ist, wegen des grossen Speichervolumens, der Temperatureffekt nur klein.

Auch am 30. November schien die Sonne kurz und milchig durch die Wolken. Für eine Warmwasserladung reichte das Vorlaufniveau nicht aus, jedoch konnte der grosse Heizungsspeicher die Wärme aufnehmen.

Die grüne Linie (Hauptspeicher oben) ist auch jene Temperatur, mit der das vorgewärmte Boilerwasser in den Warmwasserspeicher einströmt - immer hin mit rund 25°C statt mit 5 - 10 °C ab Kaltwasserleitung. Dieser Vorwärmeffekt stammt nicht nur vom Heizungsspeicher, sondern auch von der Abwasser-WRG.



In *Abbildung 4-21* wird deutlich, dass es schon länger "kalt" war (helblau). Leicht unter 0°C mit Tiefstwerten in den klaren Nächten von unter -10°C. Die Bodenheizung kann, wegen dem "leergefahrenen" Heizungsspeicher den Vorlauf-Sollwert der Bodenheizung nicht mehr erreichen - es bleibt eine "Lücke" welche die Wohnungsholzöfen füllen (müssen). Zudem wird die eingebaute Sicherung sichtbar: Bei Vorlauftemperaturen unter 22°C (Heizungsspeicher zu tief und WP gerade

mit Warmwasserbereitung beschäftigt) wird die Bodenheizung abgestellt (z.B. 2. Dez mittags bis 3. Dez mittags) um zu vermeiden, dass die Bodenheizung "gekühlt" wird.

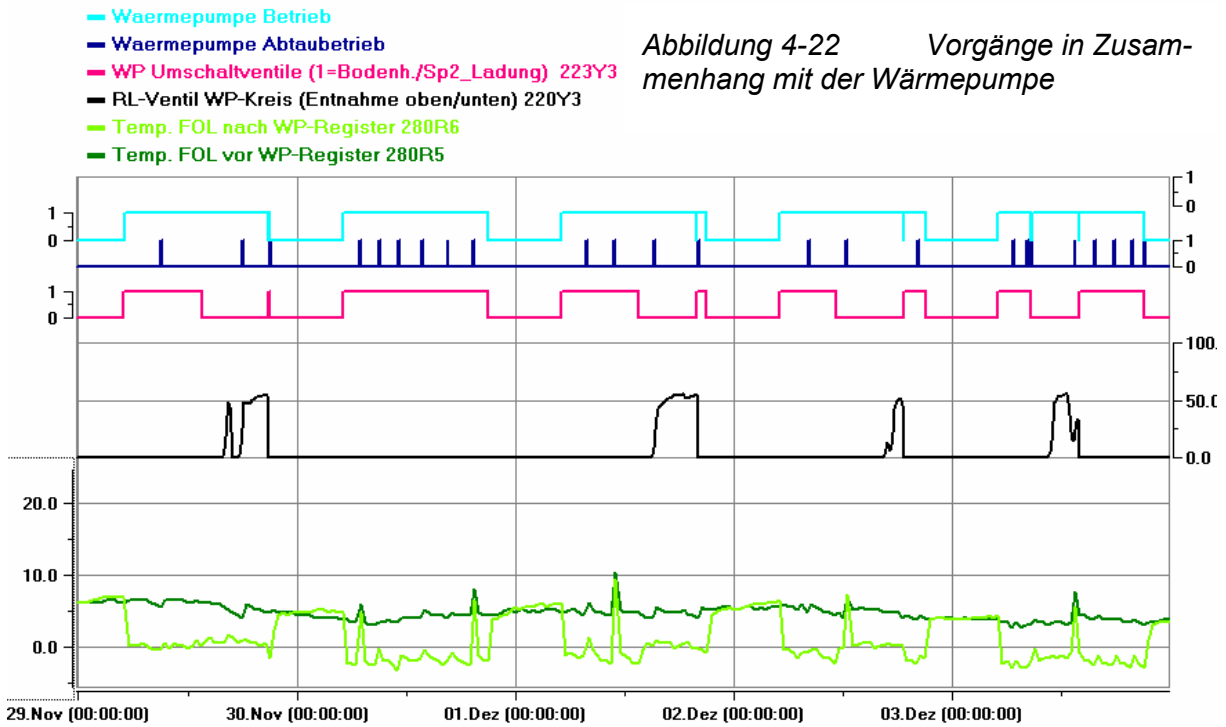


Abbildung 4-22 Vorgänge in Zusammenhang mit der Wärmepumpe

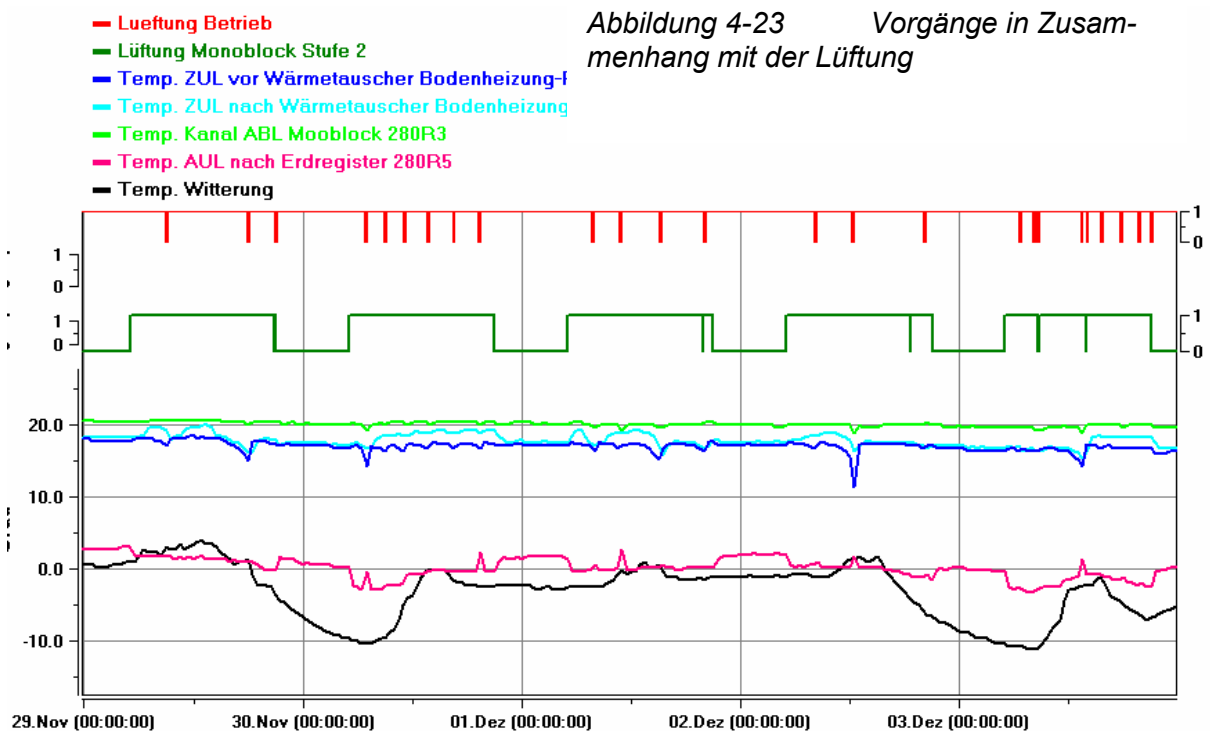


Abbildung 4-23 Vorgänge in Zusammenhang mit der Lüftung

Obige Abbildungen gehören "zusammen" da die Wärmepumpe (oben) mit der Fortluft der Lüftung arbeitet (unten).

Die Linie "WP-Betrieb" (hellblau) in *Abbildung 4-22* läuft synchron mit der Linie "Lüftung Monoblock Stufe 2" (*Abbildung 4-23*) weil die Steuerung immer die 2 Lüftungsstufe anfordert, wenn die WP Wärme produzieren muss. Die WP befindet sich zudem "im Dauerlauf" (ausser während der Nachtabschaltung), was bedeutet, dass sie immer entweder den Boiler lädt oder auf die Bodenheizung und/oder den Heizungsspeicher wirkt (pinke Linie 0 resp. 1, *Abbildung 4-22*).

Die schwarze Linie (*Abbildung 4-22*) zeigt die Stellung des Rücklauffhaltungs-Mischventiles der WP, welches bei Boilerladung den Rücklauf auf 45°C beschränkt, indem kühleres Wasser aus der unteren Zone des Warmwasserspeichers zugemischt wird (*Abbildung 3-18*). Damit werden folgende Vorteile erreicht: Die WP arbeitet "nicht zu hoch" (Wirkungsgrad) und eine Hochdruckstörung wird wirkungsvoll vermieden.

Die hellgrüne und die dunkelgrüne Linie unten in *Abbildung 4-22* zeigt das Temperaturniveau der Fortluft und die Abkühlung derselben. Die WP bekommt etwa 5°C und kühlt diese ca. 5 K ab (etwa gleichviel beträgt der Temperaturhub auf der Wärmeabgabeseite.). Hier liegt alles im erwarteten Rahmen.

Die Zustände "Wärmepumpe Abtaubetrieb" (dunkelblau *Abbildung 4-22*) sowie "Lüftung Betrieb" (rot *Abbildung 4-23*) sind ebenfalls synchron, da die Lüftung nur während des Abtaubetriebes stillsteht, dort aber zwingend, da beim Heissgasabtauen der WP-Prozess umgekehrt wird (Gebäude bzw. Heizungsspeicher wird kurzfristig Wärme entzogen und damit der vereiste Wärmetauscher in der Fortluft abgetaut). In *Abbildung 4-23* ist ersichtlich, dass dieser (ineffiziente) Prozess je nach Temperaturniveau der Aussenluft "AUL nach Erdregister" öfters stattfindet - was auf die eminente Wichtigkeit des Erdregisters hinweist... (siehe unten).

Die Wirkung des Erdregisters (Aussenluft wird in erdverlegten Rohren temperiert) ist beim Vergleich der Aussenluft (schwarz "Temp. Witterung") und der pinken Linie (AUL nach Erdregister) erkennbar. Primär dämpft das Erdregister die Aussentemperaturschwankungen. Ein leichter Vorwärmeeffekt ist ebenfalls erkennbar. Leider fällt dieser Vorwärmeeffekt nicht stärker aus, sollte doch auch bei widrigen Umständen (Aussentemperatur < -10°C) mindestens "Frostfreiheit" erreicht werden können, was 1.: Das Vereisen des WRG-Wärmetauschers der Lüftung unterbinden würde und 2.: Die (ineffizienten) Abtauzyklen der Fortluft WP drastisch reduzieren würde.

Hinweis bezüglich Erdregister zur Aussenlufttemperierung

Es hat sich herausgestellt dass das Erdregister eher knapp dimensioniert und noch knapper (zu knapp) realisiert wurde. Die Vorwärmleistung ist (wie bei jedem Wärmetauscher) in erster Linie eine Funktion der Tauscherfläche - sprich der genügend grossen Oberfläche (primär = Länge) der erdverlegten Rohre, die zudem nicht zu nahe beieinander liegen dürfen, um sich nicht zu stark gegenseitig zu beeinflussen. Warum die Länge bei vielen Projekten eher zu knapp realisiert werden hat vermutlich primär Kostengründe.

- Aushub ist teuer und Rohrlängen kosten (Material, Arbeit)

Gespart wird hier aber eindeutig am falschen Ort - wenn man die Konsequenzen bedenkt (vereisende Lüftungs-WRG und viele Abtauzyklen der Fortluft-WP). Der Lüftungsmonoblock reagiert nämlich auf "Vereisungsgefahr" mit einer eingebauten Sicherung: Die Bypassklappe wird soweit geöffnet, dass die Fortluft ausserhalb des "kritischen Bereiches" bleibt - mit der unangenehmen Folge, dass die Zuluft in die Wohnungen "kalt" (bzw. kälter) eingeblasen wird - was den Komfort deutlich beeinträchtigt.

Hinweis bezüglich Einzel-Komponenten (Lüftungsmonoblock, Fortluft-WP, usw.)

Bei den Lieferanten hat das "Systemdenken" noch nicht genügend Einzug gehalten und jeder schaut nur für "sein Produkt".

- Beim Lüftungsmonoblock ist der Betrieb weder einer Fortluft-WP noch eines Aussenluft-Erdregisters vorgesehen (bzw. angedacht). Dabei wäre es wichtig das alle 3 Komponenten bestens aufeinander abgestimmt sind und als Gesamtsystem optimal funktionieren. Da der Lüftungsmonoblock das zentrale Element ist, wäre es an dessen Lieferanten, genaue Vorgaben sowohl an das Erdregister als auch an eine Fortluft-WP zu machen und dafür zu sorgen, dass die Steuerung entsprechend ausgerüstet ist.

Ausserdem ist der "Frostschutz" des Wärmetauschers (Öffnen der Bypassklappe) bei Auslieferung viel zu hoch eingestellt (bei + 3°C Fortluft besteht keine Vereisungsgefahr) und man erfährt erst nach dem der Schaden (Mieter frieren, weil kalte Luft eingeblasen wird...), dass die Sache auch bei -2°C noch funktioniert.....

- Bei der Fortluft-WP gilt dasselbe (Systemdenken fehlt). So ist diese zwar "auf dem Prüfstand" super, bei der realen Einbindung in eine Gesamtanlage aber mangelhaft (z.B. bewirkt die fehlende Isolation eine "Kühlung" des Aufstellraumes (Heizung), was dazu führt, dass im gleichen Raum geheizt und gleichzeitig gekühlt wird....

Die Wirkung eines weiteren zentralen Elementes, des Nachwärmregisters in der Zuluft, ist ebenfalls in *Abbildung 4-23* sichtbar. Da es auch beim besten Lüftungswärmetauscher unvermeidlich ist, dass die Zuluft leicht kühler ist als die Abluft der Wohnungen (17 - 18 °C gegenüber 20 - 21 °C). Oft wird behauptet, dass diese Differenz "kein Problem" sei, da ja interne Wärmequellen und die passive Solarenergienutzung vorhanden seien, und sonst einfach "etwas mehr geheizt" wird. Etwas mehr heizen, liegt bei einem Plus-Energie Haus schlicht nicht drin und die Mähr von den internen Wärmequellen ist meist unzutreffend, vor allem dann, wenn die Wohnung tagsüber leer steht.... Passive Solarenergienutzung ist bei trübem Wetter zu 90 % reines Wunschdenken. Belüftet man nun eine leerstehende Wohnung oder einzelne leerstehende Zimmer während mehrerer Stunden mit 17- 18 °C, so liegt es auf der Hand, dass es dort bald auch genau so warm (bzw. kühl) ist. Um diesen Effekt zu vermeiden, ist es wichtig, die Luft, zumindest tagsüber, möglichst ohne "Untertemperatur" einzublasen. Dazu eignen sich zwei Massnahmen, welche sich fallweise auch ergänzen:

- Zu und Abluftkanäle der einzelnen Wohnungen sind zusammen in einem zentralen Steigschacht zu führen. Damit wird der Gegenstromwärmetauscher der Lüftung gleichsam "verlängert" und die Zulufttemperatur um zusätzliche 2°C auf (problemlosere) 19 - 20 °C angehoben (die Ablufttemperatur natürlich um den selben Betrag gesenkt). Diese Möglichkeit wurde in Bannau realisiert.
- Ein zusätzlicher Wärmetauscher im Zuluftstrom wird (ungeregelt) vom Rücklauf der Bodenheizung durchströmt (ca 22 - 24°C). Dieser hebt die Zulufttemperatur ebenfalls um ca 2 - 3°C an. Die damit einhergehende, zusätzliche Abkühlung des Rücklaufs ist willkommen, da der Rücklauf im unteren Teil des grossen Heizungsspeichers eingeführt wird - dort soll es auch möglichst kühl sein (Schichtung), damit das dortige Solarregister mit hoher Effizienz arbeiten kann. Das dieser zusätzliche Wärmetauscher nicht immer zur Verfügung steht (Nachtabschaltung der Bodenheizung, Minimaltemperatur Bodenheizungsvorlauf unterschritten) kann bis zu einem gewissen Grade verkraftet werden, da die erste Massnahme (Gegenstrom-Steigkanal) ja trotzdem noch greift.

Das oben gesagte ist anhand *Abbildung 4-23* gut nachvollziehbar. Die hellgrüne (Kanal ABL Monoblock) Linie ist mehr oder weniger konstant zwischen 20 und 21°C, mit der Tendenz zu höheren Temperaturen zu den Zeiten, in denen das Nachwärmregister arbeitet. Dann hebt sich die hellblaue Linie (ZUL nach Wärmetauscher Bodenheizung) deutlich von jener der "ZUL vor Wärmetauscher Bodenheizung" (dunkelblau) ab.

4.6.3. Grösse des Heizungsspeichers

Die Frage stellt sich immer, nicht nur in der Konzept- und Planungsphase, sondern auch anhand der Messungen, die das (erwartete) Resultat liefern: Spätestens nach 10 Tagen trübem und kaltem Wetter ist der Heizungsspeicher (23'000 lt) "leer".

Wäre ein Saisonspeicher besser?

Eine Art Saisonspeicher (115'000 lt) wurde in einer frühen Konzeptphase ebenfalls angedacht. Dieser übersteht zwar 5 mal längere Perioden "trübe und kalte" Tage (immerhin ca 1 ½ Monate) und in dieser Zeit ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass die Sonne mal wieder scheint, womit die Leistungsdauer eines Saisonspeichers verlängert wird und (im besten Fall) schlussendlich die Wintersaison überdauert (= Saisonspeicher). Solche Saisonspeicher sind wegen ihrer Grösse über mehrere Stockwerke realisiert, was den Vorteil hat, dass die Speicherverluste dem beheizten Volumen zugute kommen (aufpassen muss man hingegen im Sommer...). MFH mit Saisonspeicher wurden erfolgreich realisiert (Jenni, Oberburg bei Burgdorf). Dieses MFH war von vergleichbarer Grösse und Wohnungsanzahl, hatte jedoch sogar einen 205'000 lt Saisonspeicher und 276 m² Kollektoren auf dem (ebenfalls 45° geneigten) Süddach.



Abbildung 4-24: Plus-Heizenergie- MFH der Firma Jenni in Oberburg bei Burgdorf

Anfang 2007 fertig gestellt (2 Jahre vor Bennau), konnte erstmals nachgewiesen werden, dass, selbst im nebligen Schweizer Mittelland, eine 100% solare Wärmeversorgung auch für ein MFH realisierbar ist.

Gewichtige Nachteile:

- Teurer, riesiger Speicher der über alle Stockwerke reicht.
- Sehr viel Kollektoren, die die gesamte Dachfläche belegen, für Photovoltaik bleibt kein Platz. Selbst wenn man die neben den Fensterflächen verbleibende Südfassadenfläche zur Stromgewinnung nutzen würde, würde der Stromertrag den ganzen Bedarf (inkl. Haushaltstrom) nicht decken können. Daher ist das oben erwähnte MFH mit Saisonspeicher auch kein Plus-Energie Gebäude, sondern ein Plus-Heizenergie-Haus.

Daher wurde beim Plus-Energie-MFH in Bennau kein Saisonspeicher sondern ein rund 10 mal kleinerer, aber natürlich immer noch grosser "Jahreszeitspeicher" eingesetzt, der zwar entsprechend schneller "leer" ist, aber die folgenden Vorteile besitzt:

- Günstiger in der Anschaffung
- Kein Verbrauch an (teurer) Wohnfläche
- Kleinere Kollektorfläche (Südfassade)
- Dachfläche steht vollständig für die photovoltaische Stromgewinnung zur Verfügung.

Da die Vorgabe "Plus-Energie" (Wärme + Strom) das klare Ziel war, wurde diese Lösung favorisiert.

4.6.4. Winterperiode 2

Wiederum einen Monat später, Anfang Januar 2011, ist die Situation nur insofern "besser", da bei der dargestellten Periode häufiger die Sonne scheint, vor allem in der 2. Hälfte (mit den schönen Tagen) ist es sogar noch kälter als Anfang Dezember, sodass es durchaus interessant ist, diesen (im Winter zwar leider eher seltenen) Zustand darzustellen.

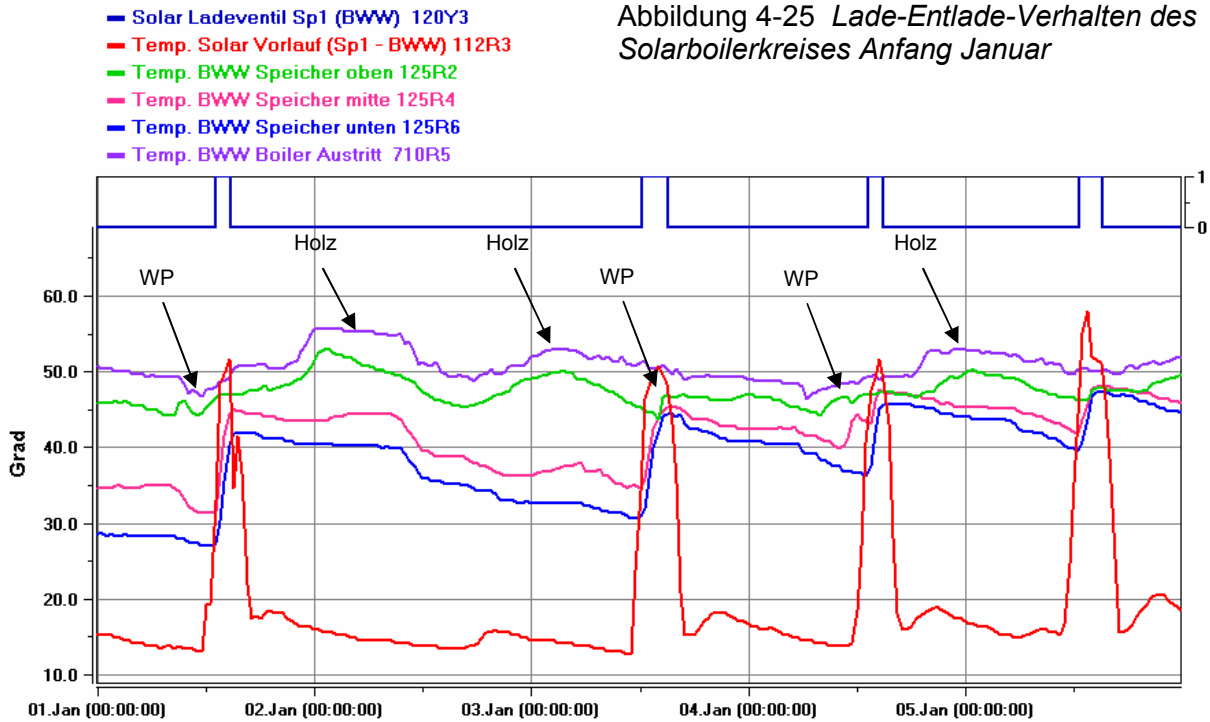


Abbildung 4-25 Lade-Entlade-Verhalten des Solarboilerkreises Anfang Januar

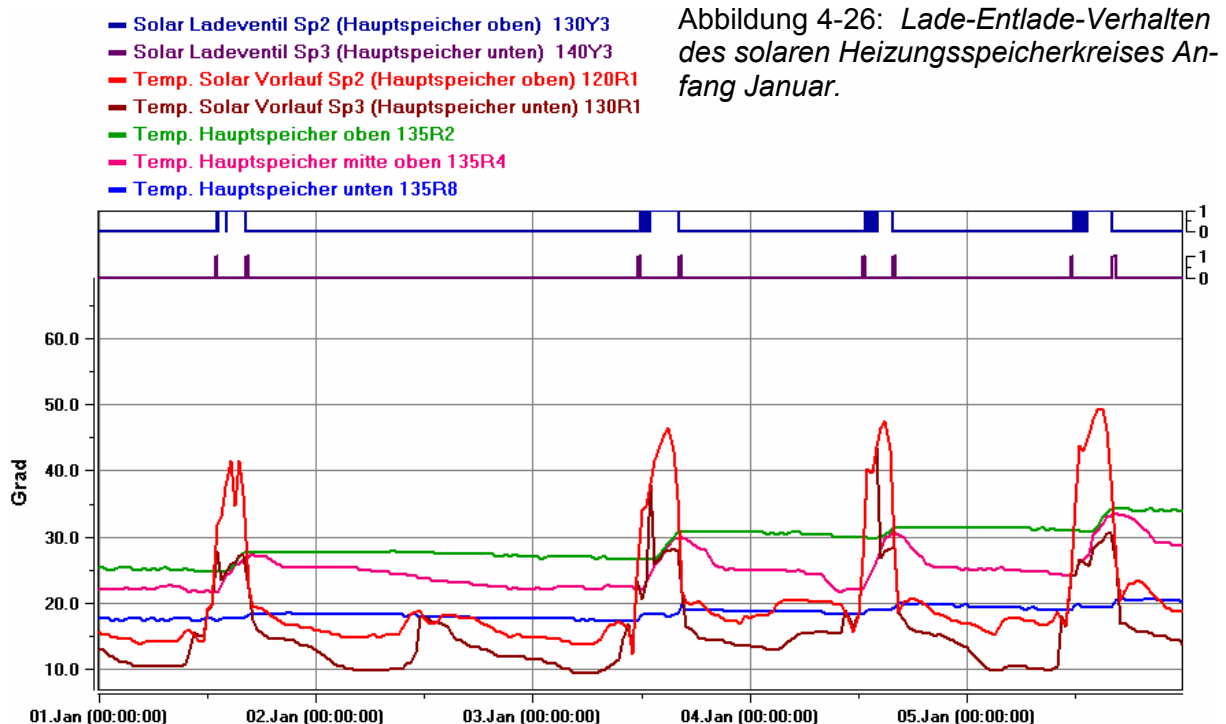


Abbildung 4-26: Lade-Entlade-Verhalten des solaren Heizungsspeicherkreises Anfang Januar.

Die obigen Abbildungen zeigen deutlich, dass mit Sonne "einiges läuft" (ganz im Gegensatz zur Winterperiode 1).

Die "Vorgeschichte" dieser Winterperiode 2 war "schlecht", sodass alle Speicher heruntergefahren waren, als am 1. Januar (seit langem wieder das erste mal) die Sonne schien. Die Speicher nehmen auf, was sie können und die Speichertemperaturen gehen deutlich nach oben.

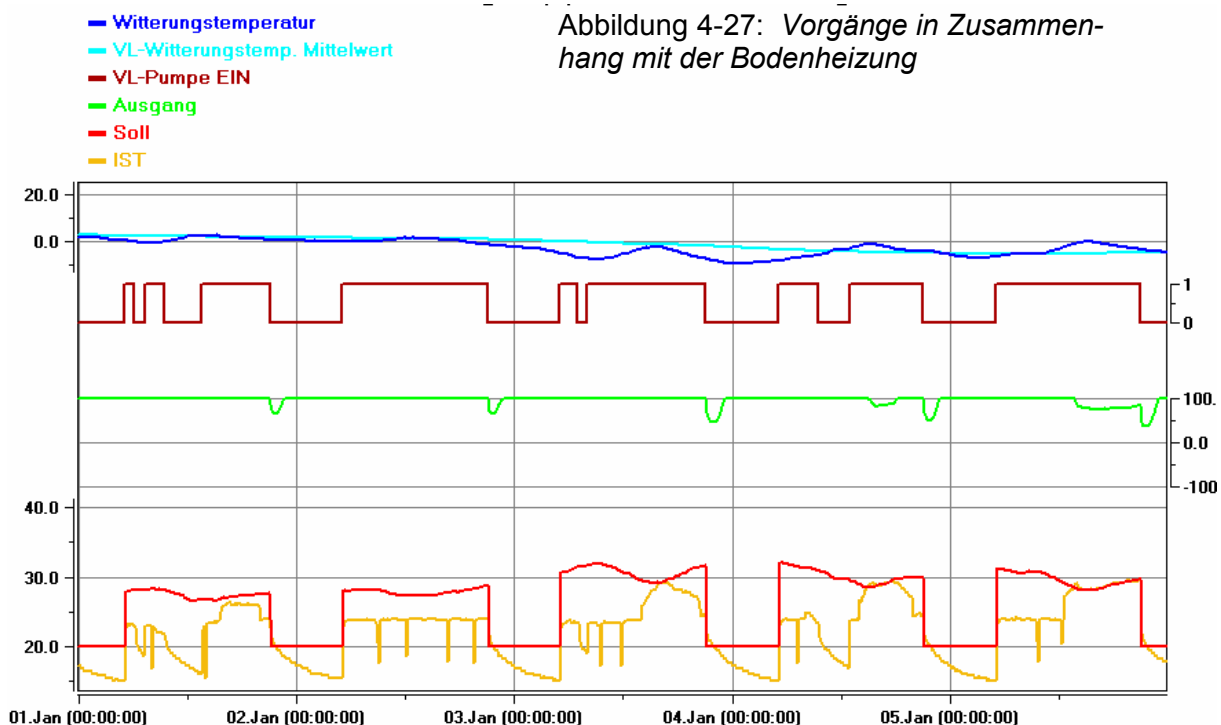
Wegen der SW-Ausrichtung der Kollektorfassade wirkt die Sonne erst ab ca. 13:00, sodass die WP vorher noch kurz für ausreichende Zapftemperaturen beim Warmwasser sorgen muss.

Wieso an diesem Abend des 1. Januar 2011 dann trotzdem so "fleissig" eingefeuert wurde, könnte man mit dem "Gewöhnungseffekt" der vorangegangenen Schlechtwetterperiode erklären: Die Leute sind sich einfach gewöhnt, den Wohnungssofen einzufeuern, auch wenn das von den Raumtemperaturen (nach einem sonnigen Tag) gar nicht unbedingt nötig wäre.

Es folgt ein sonnenloser Tag, an dem die Speichertemperaturen wieder abgebaut werden. Erst danach folgt am 3. Januar eine Schönwetterphase. Trotzdem wird am 4. Januar abends noch mal kräftig eingefeuert.

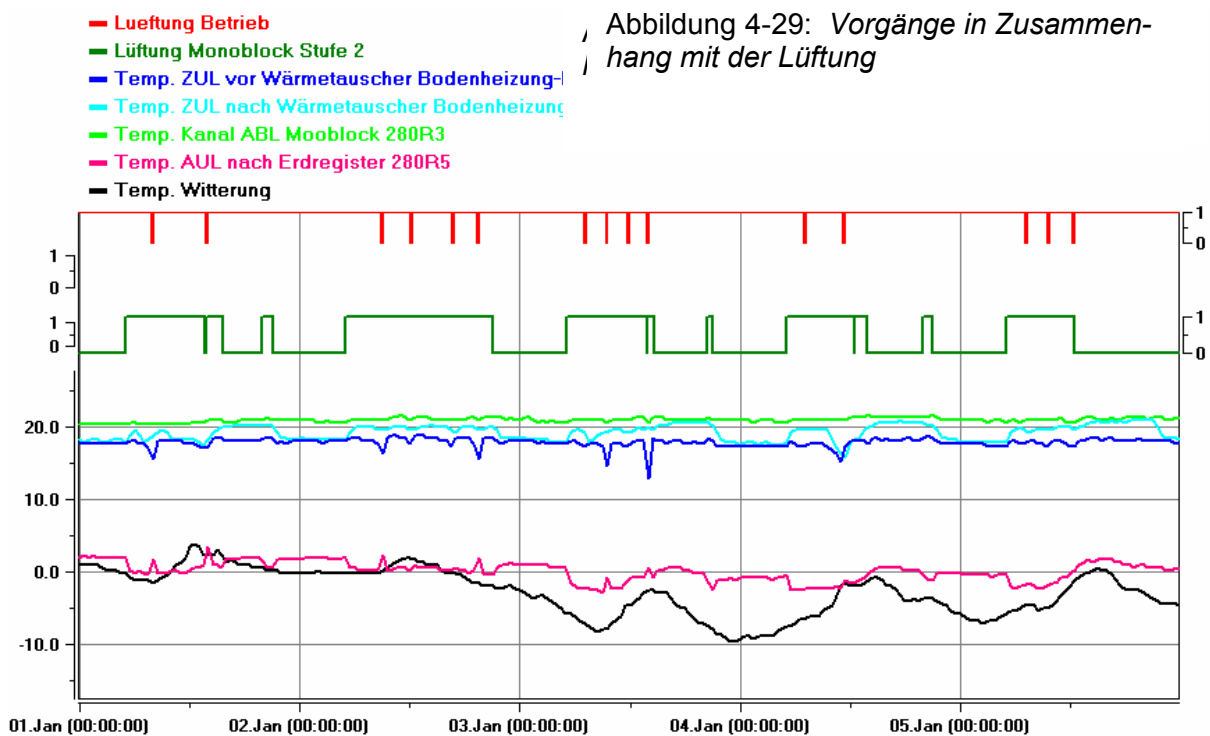
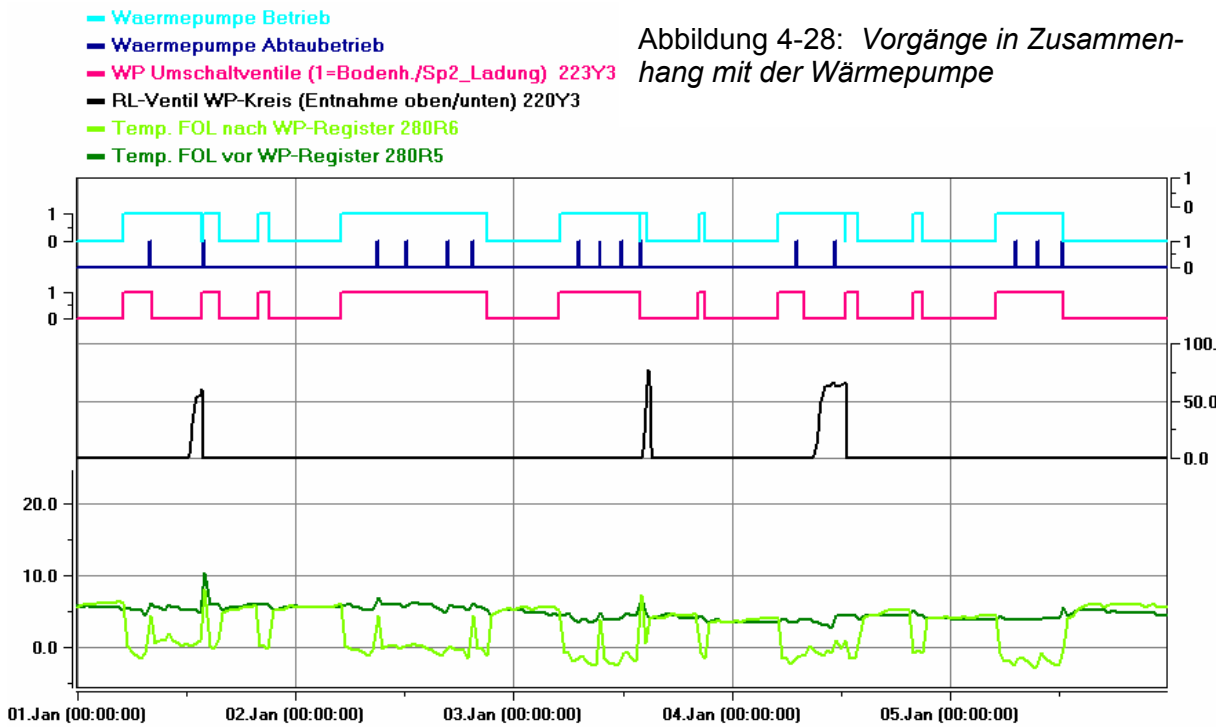
Die Speichertemperaturen erholen sich und am 5. Januar ist ein guter Ladezustand für diese Jahreszeit erreicht; sowohl im Warmwasserspeicher (1. Priorität), als auch im Heizungsspeicher "oben".(2. Priorität). Heizungsspeicher "unten" (3. Priorität) kommt nur selten zur Ladung (Randstunden - wenn es noch nicht "reicht" ein Register mit höherer Priorität zuzuschalten).

In Abbildung 4-26 ist zudem gut zu beobachten, wie sich der oberste Speicherbereich des Heizungsspeichers (dunkelgrüne Linie - reserviert für Warmwasservorwärmung) kontinuierlich steigert, was die Warmwasserbereitung natürlich stark unterstützt. Ausserdem ist gut sichtbar, dass der Speicherbereich "mitte oben" (hier wird die Bodenheizung abgenommen) nach dem Ladevorgang wieder sinkt, da die Heizung ja Wärme anfordert.



In *Abbildung 4-27* wird deutlich, dass die Soll-Vorlauftemperaturen jeweils Nachmittags bei schönem Wetter erreicht werden können (die Aussentemperaturen waren in dieser Periode sehr kalt). In den folgenden, milderen aber bedeckten) Tagen (nicht dargestellt) reichte es dann jeweils ganztags.

Die Graphiken (unten) zeigen für den WP-Betrieb und die Lüftung ein ähnliches Bild wie für die Winterperiode 1, allerdings mit einigen kleinen aber wichtigen Unterschieden: Bei schönem Wetter (immer ausser 2. Jan.) stellt die WP am Nachmittag ihren Betrieb ein, da genügend Wärme vorhanden. Auch der Warmwasserbetrieb der WP ist seltener. Das Erdregister vermag die Aussen-temperaturen zwar anzuheben, jedoch (wie in Winterperiode 1) nicht ganz "frostfrei" bei Aussen-temperaturen unter -5°C und Lüftungsstufe 2 (für WP). Für die Lüftungsstufe 1 ist das Erdregister jedoch knapp ausreichend und vermag (Nacht zwischen 4. und 5. Jan.) die Aussenluft (-10°C) auf ca. -1°C zu erwärmen. Die Wohnungsablufttemperaturen liegen bei sehr hohen 22°C .



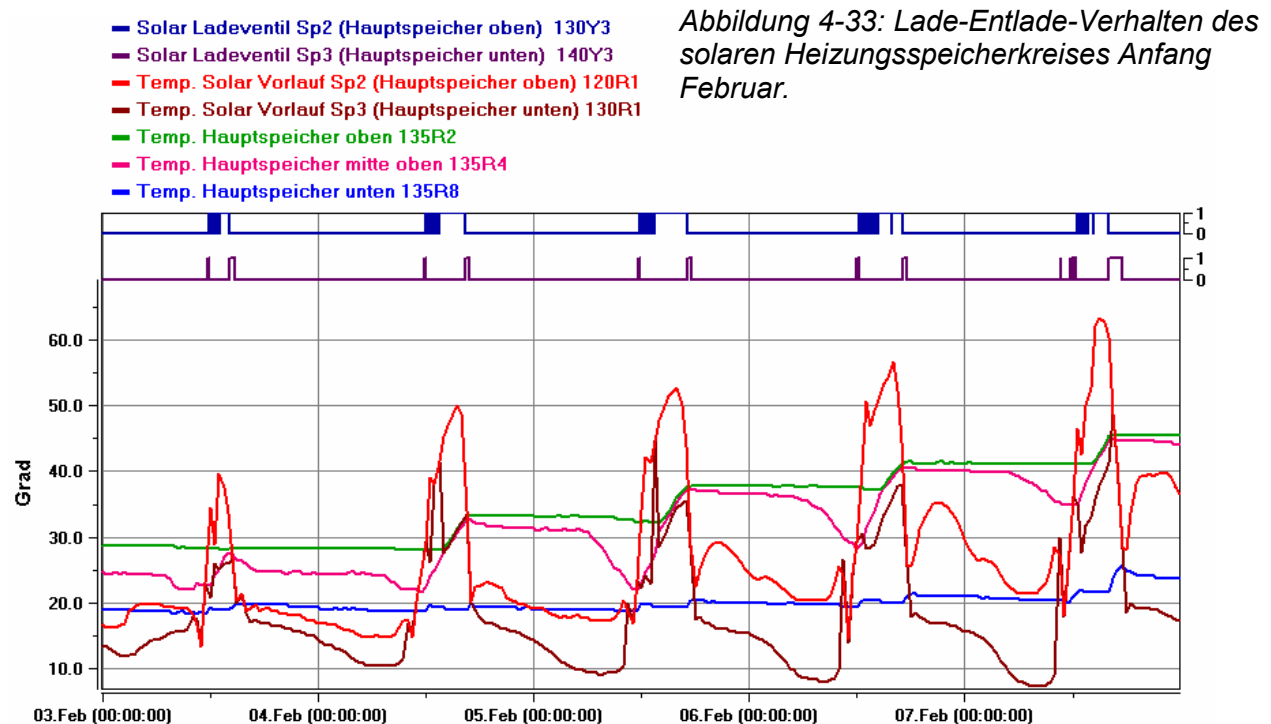
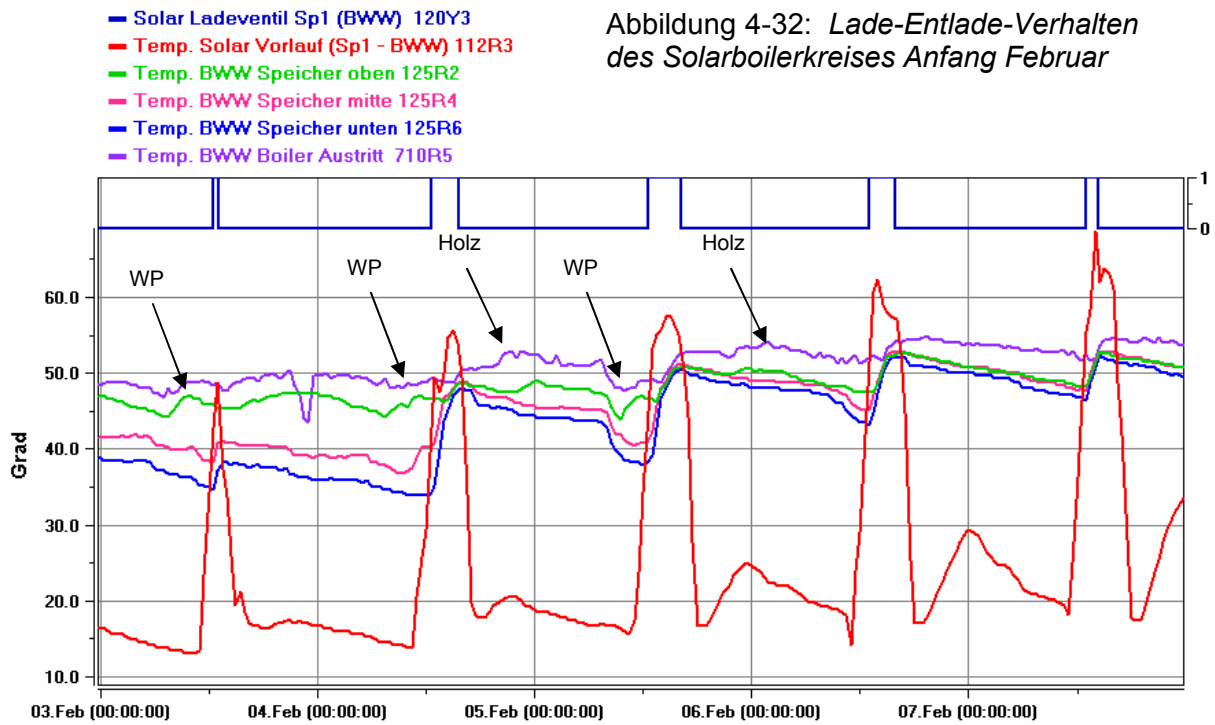
Das Nachheizregister erwärmt die Zuluft öfters als in Winterperiode 1 auf über 20°C. Einen wirklichen "Grund" um die Wohnungsöfen einzufeuern, gab es also keinen. Der übermächtige Benutzereinfluss konnte auch hier festgehalten werden. All das viel Holz, dass zu solchen "Unzeiten" verbrannt wurde, belastet natürlich die Energiebilanz.

Fazit:

- Im Winter ist im Schweizerischen Mittelland, selbst auf 800 M.ü.M, mit der Solarnutzung zu Heizzwecken nicht viel zu holen. Zwar sind die Nebellagen mit Obergrenze unter 800 M.ü.M eine "statistische Tatsache", dass nützt aber wenig, wenn sich das aktuelle Klima nicht an die Statistik hält. Hochnebellagen (mit Obergrenze über 1000 M.ü.M) sind viel häufiger, vor allem in den vorliegenden Messperioden.
- In einem gut wärmegeämmten Gebäude reichen 3 Tage Sonnenschein auch bei -10 °C aussen, um das Gebäude und die vorhandenen Solarspeicher aufzuladen. Das "Problem" sind nicht die sonnenreichen, beliebig kalten Tage, sondern die im Winter häufigen, sonnenlosen Perioden um 0 °C.
- Ohne "Ergänzungsheizung" oder wirklich sehr grossem Saisonspeicher (MFH Oberburg, *Abbildung 4-24*) geht es nicht. Für Ergänzungsheizungen in Plus-Energie-MFH gibt es mehrere Lösungen - die Einzel-Wohnungs-Holzöfen sind eine, welche ihre Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen konnte. Auf Vor- und Nachteile verschiedener Varianten wird am Schluss des Berichtes eingegangen.
- Der Gewöhnungseffekt der Mieter aus "schlechten Zeiten" (ich muss einfeuern, sonst ist es zu kalt in der Wohnung) ist deutlich und stark. Selbst wenn dann mal wieder die Sonne scheint, geht es lange, bis darauf reagiert wird.

4.6.5. Winterperiode 3

Noch mal einen Monat später, Anfang Februar, ist der Sonnenstand schon wieder etwas höher und sonnige Perioden werden häufiger, begleitet von ersten "Einbrüchen" relative milder Luftmassen. Eine solche Periode ist im folgenden dokumentiert.

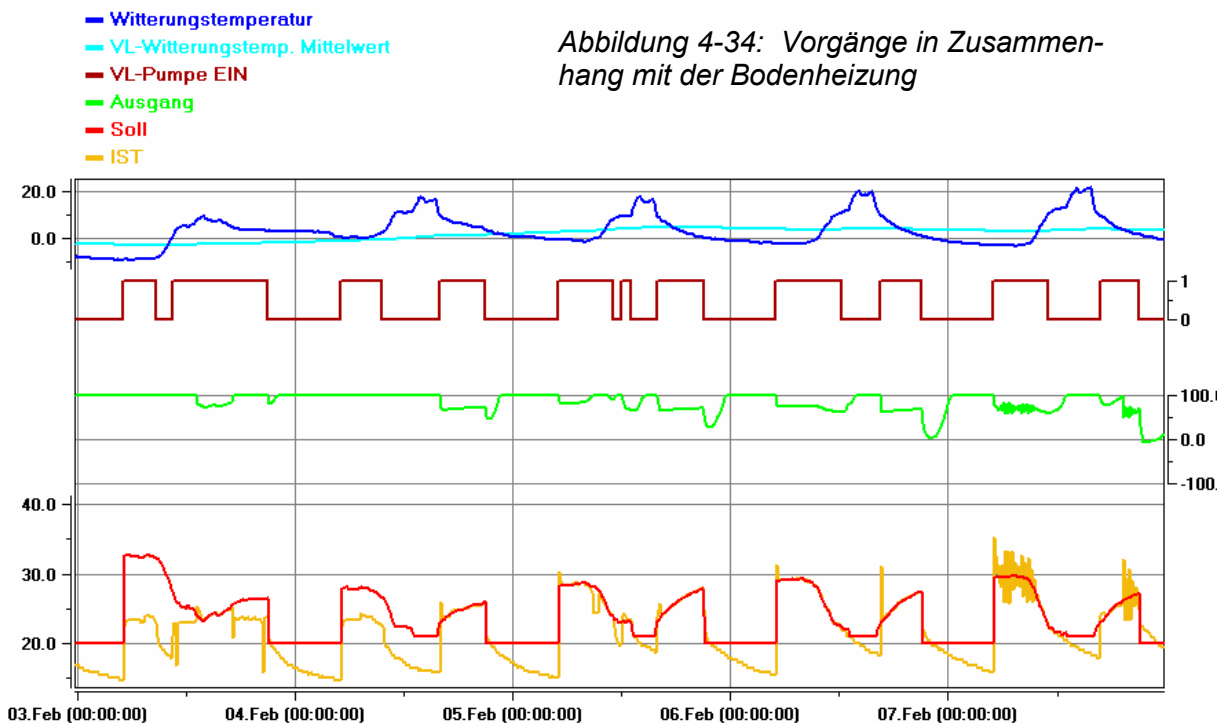


Während die Sonne am 3. Februar nur schwach scheint, beginnt ab 4. Februar eine eigentliche Schönwetterperiode. Nach dem ersten richtigen Sonnentag am 4. Feb. reicht das Temperaturniveau im Warmwasserboiler zwar noch nicht aus, um den morgentlichen Bedarf ganz ohne WP abzudecken, ab dann braucht es diese jedoch nicht mehr, unterstützt auch durch die zunehmende solare Vorwärmung des Brauchwarmwassers im Heizungsspeicher (dunkelgrün, *Abbildung 4-33*).

Die solaren Vorlauftemperaturen erhöhen sich sukzessive, da das Temperaturniveau in den Speichern von Tag zu Tag höher wird.

Der Heizungsspeicher wird ebenfalls kräftig geladen, prioritär im oberen Bereich. Ist jedoch die 1. Sollwertstufe für den Boiler und das obere Register des Heizungsspeichers erreicht, dann wird auch der untere Bereich kräftig geladen (7. Feb.). Das sehr gute Schichtungsverhalten des Heizungsspeichers ist in diesen Tagen gut erkennbar, wie auch das solare Beladen und die Entnahmevorgänge für die Bodenheizung (pink, *Abbildung 4-33*) gut nachvollziehbar sind.

Trotz dieser "guten, sonnigen Umstände", wird das Einfeuern der Wohnungsöfen durch die Bewohner erst am 7. Februar merklich gedrosselt.

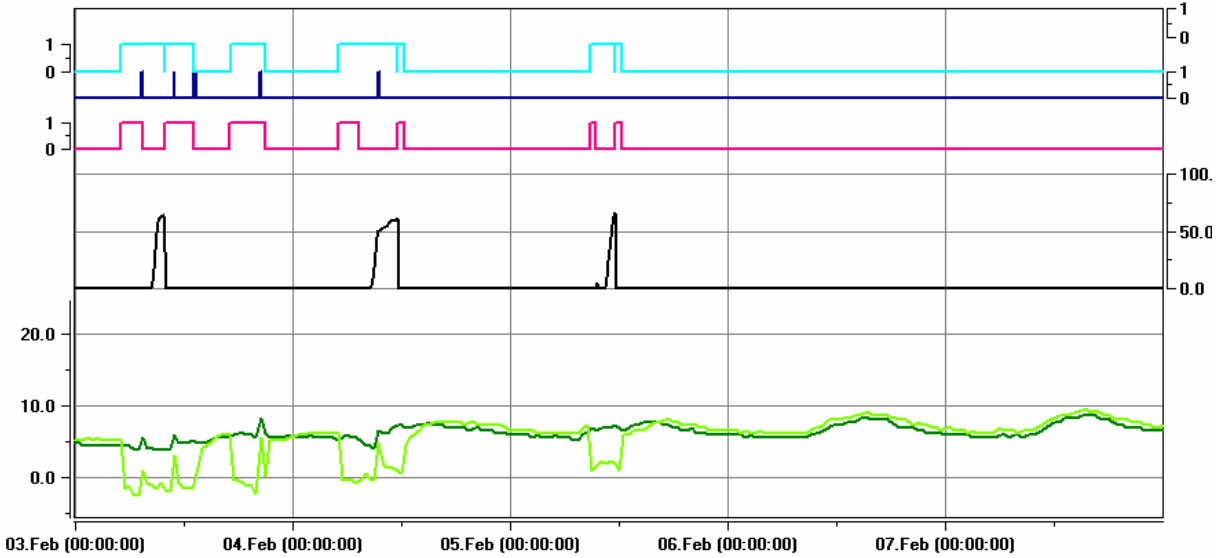


Aus *Abbildung 4-34* ist ersichtlich, wie "rasant" die Entwicklung gehen kann. Während am Vormittag des 3. Februars noch die Nachwehen der vorgängigen trüben Kälteperiode wirken und die Speicher bei -10°C aussen leer sind, reicht schon ein einziger schöner Tag (4. Feb) mit etwas milderen Temperaturen (um 0°C) aus, um das System wieder voll in Gang zu bringen.

Die für die Bodenheizung massgebenden Witterungstemperaturen (dunkelblau), als Mittel zwischen Nord und Südaussentemperatur, sorgen dafür, dass am Nachmittag die Heizung zurückgefahren wird und die Solarenergie voll den Speichern zur Verfügung steht. Das reicht bereits nach einem sonnigen Tag um die Sollvorlauftemperaturen der Bodenheizung für die nächsten 24 h sicherzustellen. Folgen (wie in der dargestellten Periode) weitere schöne Tage, so wird der Ladezustand der Speicher natürlich laufend gesteigert.

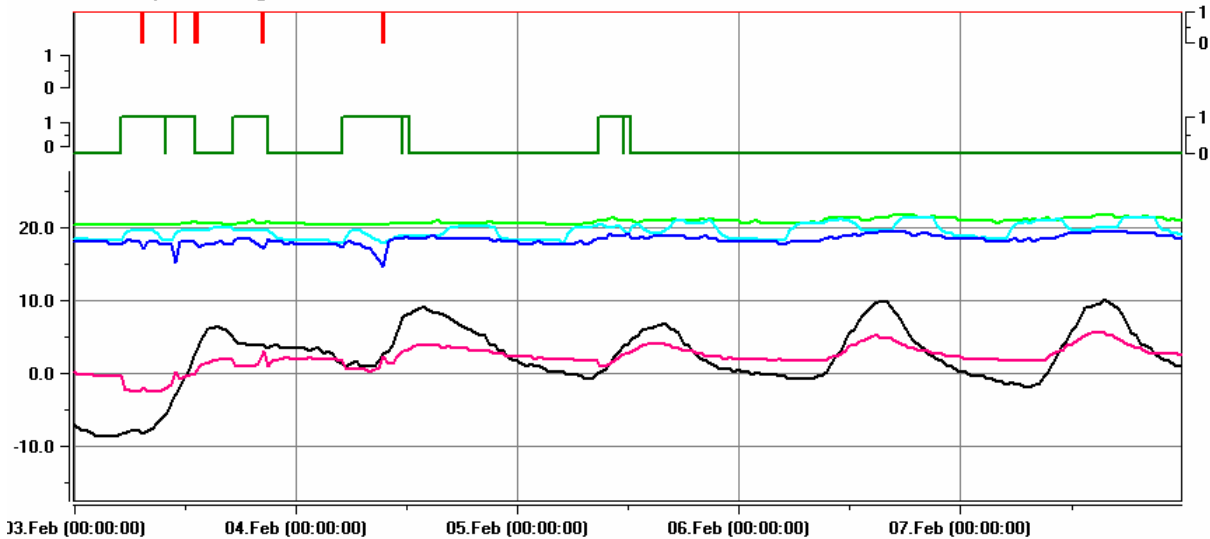
- Waermepumpe Betrieb
- Waermepumpe Abtaubetrieb
- WP Umschaltventile (1=Bodenh./Sp2_Ladung) 223Y3
- RL-Ventil WP-Kreis (Entnahme oben/unten) 220Y3
- Temp. FOL nach WP-Register 280R6
- Temp. FOL vor WP-Register 280R5

Abbildung 4-35: Vorgänge in Zusammenhang mit der Wärmepumpe



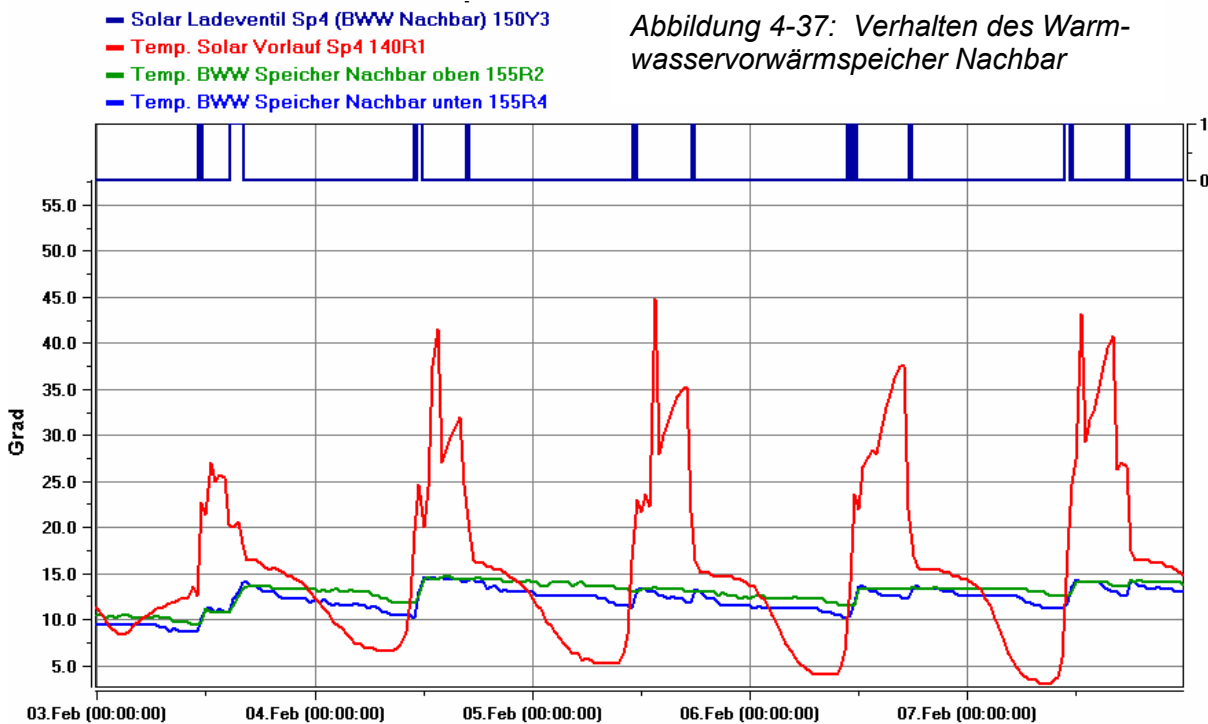
- Lüftung Betrieb
- Lüftung Monoblock Stufe 2
- Temp. ZUL vor Wärmetauscher Bodenheizung-RL 280R1
- Temp. ZUL nach Wärmetauscher Bodenheizung-RL 280R
- Temp. Kanal ABL Mooblock 280R3
- Temp. AUL nach Erdregister 280R5
- Temp. Witterung

Abbildung 4-36: Vorgänge in Zusammenhang mit der Lüftung



Sowohl die WP (Abbildung 4-35) als auch die Lüftung (Abbildung 4-36) machen diese Entwicklung mit: Mehrere Abtauzyklen der WP sind nur noch am 3. Feb nötig - das Erdregister erholt sich schnell (pinke Linie). Die WP selber kommt am 4. und 5. Feb. nur noch vormittags und immer kürzer zum Einsatz (die Kollektoren an der SW-Fassade produzieren erst ab Mittag). In den folgenden Tagen braucht es die WP dann nicht mehr.

4.6.6. Winterperiode 3 - Warmwasservorwärmung Nachbar



Die Winterperiode 3 ist geeignet um aufzuzeigen, was im Winter mit der Warmwasservorwärmung für das Nachbar-MFH läuft - nämlich nichts resp. nicht viel. Dies ist durchaus richtig und gewollt, da im Winter für den Nachbarn wirklich nur die Wärme abgezweigt wird, die unter ca. 15 - 20 °C anfällt und damit nicht mal mehr für die eigene Wasservorwärmung taugt, welche ja durch die Wärmerückgewinnung aus dem warmen Abwasser bedient wird.

Im Winter hat der Nachbarspeicher die tiefste Prioritätsstufe der Vorrangschaltung. Da das Leitungswasser jedoch mit ca. 7°C hereinkommt, ist auch schon eine Vorwärmung auf 15°C wertvolle Wärme und so wird auch in der Winterzeit etwas Weniges exportiert und so der Ertrag der Kollektoren gesteigert, indem auch Wärme, welche andernfalls nicht nutzbar wäre, exergetisch optimal umgesetzt wird.

Abbildung 4-37 zeigt, wie dies nur in den Randstunden (kurz vor Mittag und gegen Abend) der Fall ist (Ventilstellung, dunkelblau). Die Vorlauftemperaturen würden zwar theoretisch ausreichen, auch nachdem sie in den vorrangigen Registern abgekühlt wurden, um auch hier vermehrt zu wirken. Dies wird aber bewusst nicht gemacht, da sonst das Temperaturniveau des ganzen Solarkreises sinkt und gegebenenfalls ein vorrangiger (eigener) Speicher plötzlich nicht mehr bedient werden könnte.

4.6.7. Vorrang- und Nachrangspeicherregister

Die Strategie der optimalen Speicherbeladung, sowohl im *Winter* als auch im Sommer, wie sie ausführlich in Kapitel 3.5 dargelegt ist, wurde überprüft.

Generell funktionierte diese gut, obwohl einiges an Betriebsoptimierung nötig war, welche, dank der flexiblen und gut aufgebauten Steuerung, kein Problem war.

Schwierig wurde die Sache erst im Sommerbetrieb, wenn der Vorrangspeicher hydraulisch plötzlich *nach* dem Nachrangspeicher ausgekoppelt wird (*Abbildung 3-9* und *Abbildung 3-18*). Das geht solange "gut", als nur der, jetzt hydraulisch nachgeschaltete, Vorrangspeicher zugeschaltet ist. Reicht das Temperaturniveau aber auch für den Nachrangspeicher, wird plötzlich nicht mehr nach sonder vor dem Vorrangspeicher Wärme (und Temperaturniveau) ausgekoppelt.... Dies führt meist zu einer Abschaltung des Vorrangspeichers, weil das Temperaturdifferenzkriterium nicht mehr erfüllt ist....

Die Lösung besteht darin, das man für die, im Sommerbetrieb vertauschten hinteren Prioritäten 3 und 4, eben kein Vorrang- Nachrang Regime mehr führt, sondern die letzten beiden Speicherregister (Heizungsspeicher unten und Warmwasservorwärmung Nachbar) exklusiv bewirtschaftet und nicht versucht diese gleichzeitig zu laden. Da im Sommer in der Regel ein ausreichendes Solarangebot vorhanden ist, ist es tolerierbar, hier nicht das letzte Quäntchen Exergie auszunutzen.

Fazit: Das (sinnvolle) serielle Zuschalten eines jeweiligen Nachrangspeicherregisters funktioniert nur, wenn das Nachrangspeicherregister hydraulisch *hinter* dem Vorrangspeicherregister ausgekoppelt wird.

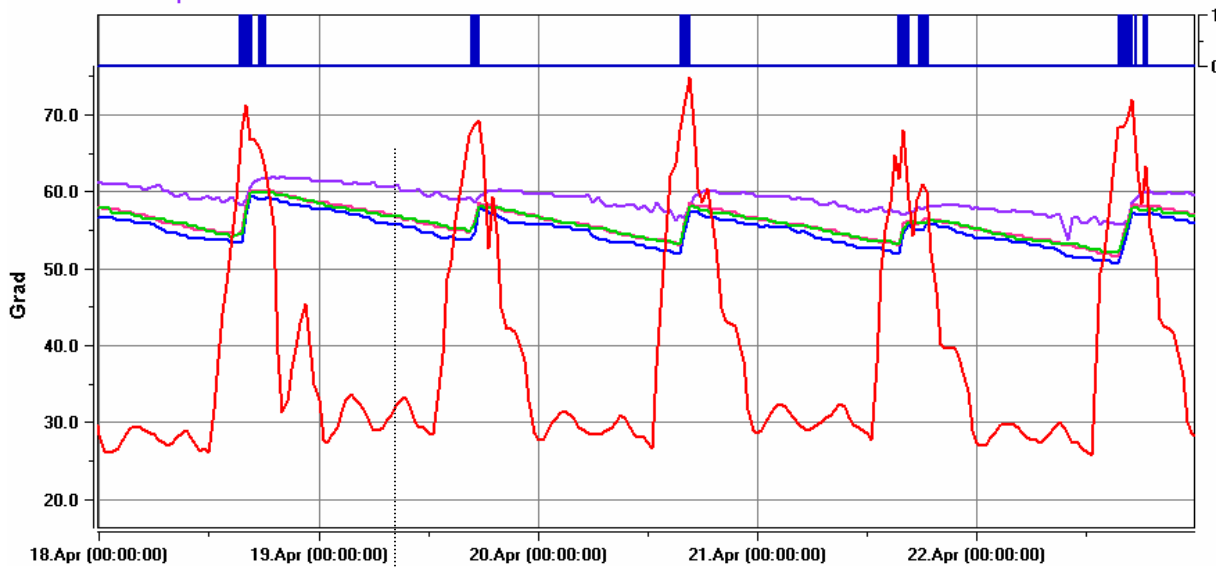
Soll die Vorrangreihenfolge im Sommer geändert werden und damit obige Bedingung in dieser Zeit nicht mehr erfüllt sein, so sollten die von der Umstellung betroffenen Register im Sommerbetrieb "exklusiv" und einzeln angesteuert werden.

4.6.8. Sommerbetrieb 1

Da ja ausserhalb der "Heizsaison", welche bei einem Minergie-P Haus sowieso denkbar kurz ist, sowieso mehr Solarwärme zur Verfügung steht, als für den Eigenbedarf der Warmwassererwärmung benötigt wird, interessiert in dieser Zeit vor allem der Export der Wärme, welche bei diesem Projekt in Form einer Warmwasservorwärmung für das Nachbar-MFH realisiert wurde. Das Nachbar MFH hat einen rund doppelt so hohen Warmwasserbedarf (ca. doppelt so viel Wohnungen und Bewohner) und ist daher für eine solche Nutzung prädestiniert, welche dort die Ölheizung entlastet.

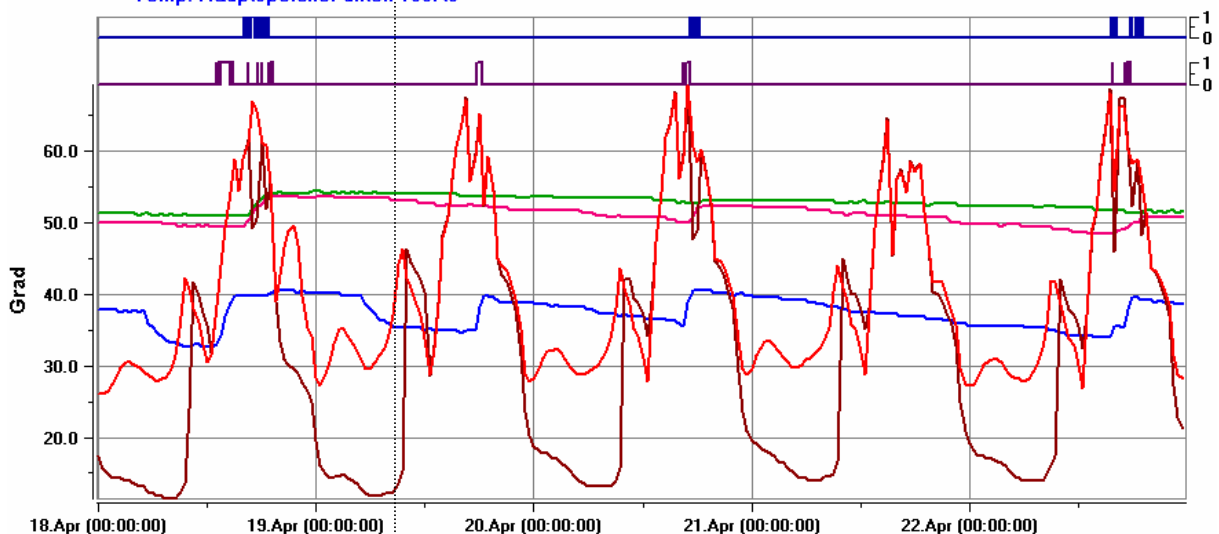
- Solar Ladeventil Sp1 (BWW) 120Y3
- Temp. Solar Vorlauf (Sp1 - BWW) 112R3
- Temp. BWW Speicher oben 125R2
- Temp. BWW Speicher mitte 125R4
- Temp. BWW Speicher unten 125R6
- Temp. BWW Boiler Austritt 710R5

Abbildung 4-38: Lade-Entlade-Verhalten des Solarboilerkreises Mitte April



- Solar Ladeventil Sp2 (Hauptspeicher oben) 130Y3
- Solar Ladeventil Sp3 (Hauptspeicher unten) 140Y3
- Temp. Solar Vorlauf Sp2 (Hauptspeicher oben) 120R1
- Temp. Solar Vorlauf Sp3 (Hauptspeicher unten) 130R1
- Temp. Hauptspeicher oben 135R2
- Temp. Hauptspeicher mitte oben 135R4
- Temp. Hauptspeicher unten 135R8

Abbildung 4-39: Lade-Entlade-Verhalten des solaren Heizungsspeicherkreises Mitte April.



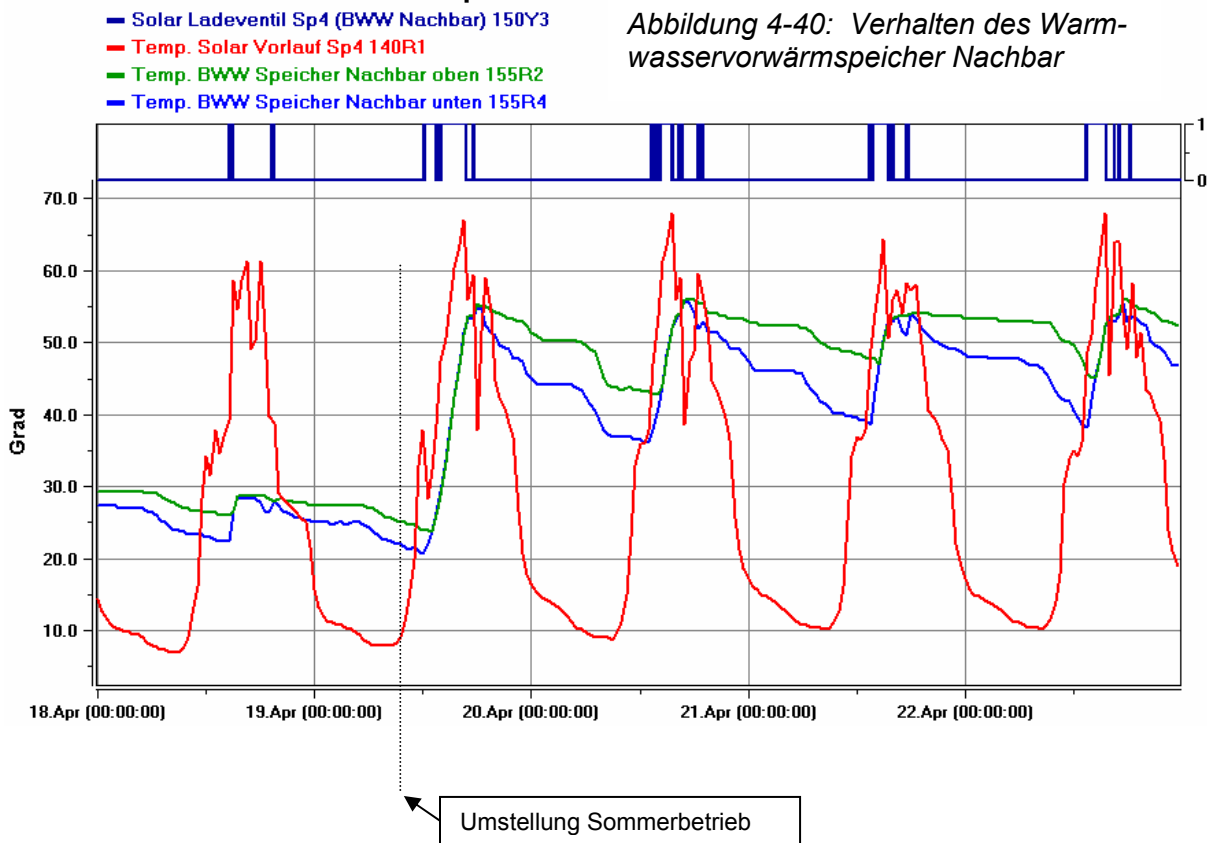
Umstellung Sommerbetrieb

Die Heizgrenze (12°C) als 50 h - Mittel des Mittelwertes der Aussentemperatur Nord +Süd wurde am 19. April 2011 überschritten und demzufolge automatisch auf Sommerbetrieb umgestellt (Bodenheizung abgestellt und höhere Priorität für die Warmwasservorwärmung Nachbar).

Die Heizgrenze wurde in diesem eher warmen und sonnigen April 2011 schon Anfang Monat erstmals überschritten. In der "Übergangszeit" wird, je nach Klimaverlauf, mehrmals zwischen Sommer- und Winterbetrieb gewechselt. Das dies nicht zu oft und zu schnell passiert, dafür sorgt der 50 h - Mittelwert, der sich nur langsam verändert. Durch den hohen Ladezustand der Speicher ist ein mehrtägiger trüber Kälteeinbruch in diese Zeit aber so oder so kein Problem (daher auch der Name Jahreszeitspeicher).

Das Verhalten des Warmwasser- und des Heizungsspeichers (oben) sind vor- oder nach der Saisonumstellung prinzipiell gleich. Bei ausreichend Solarangebot ist der Warmwasserspeicher "durchgeladen" (55 - 60 °C) und jeden Tag wird wieder etwas nachgeladen um die Entnahme (und die Speicherverluste) zu decken. Der obere Teil des Heizungsspeichers wird vor der Saisonumstellung noch so hoch wie möglich geladen (Warmwasser hat immer Priorität), nach der Umstellung auf Sommerbetrieb ist der obere Heizungsspeicherbereich mit 45 - 50°C zufrieden (genügend Reserve für etwaigen Kälteeinbruch und ausreichende Warmwasservorwärmung für den Warmwasserspeicher).

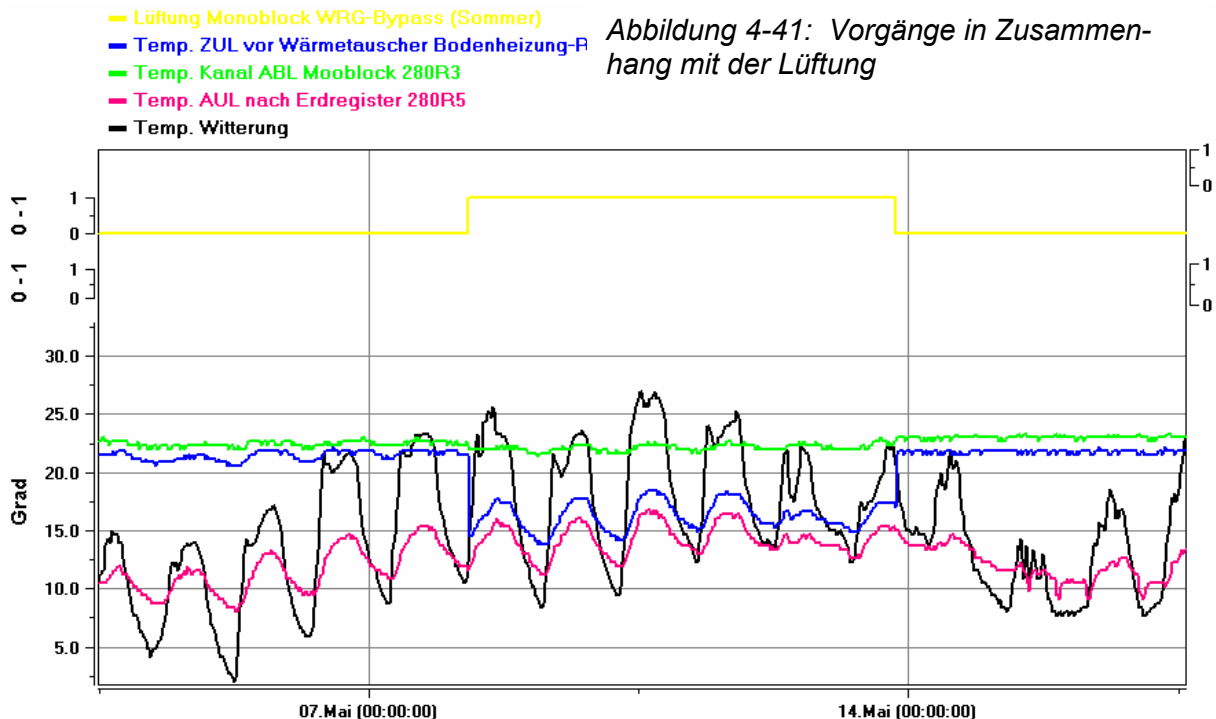
Das Verhalten des unteren Heizungsspeicherregisters ist nur insofern anders, als es jetzt im Sommerbetrieb" keine Entnahmevorgänge für die Bodenheizung gibt und dieses Register die letzte Priorität" besitzt, sich also erst einklinken kann, wenn alle anderen Speicherregister inklusive der Warmwasservorwärmung für den Nachbarn nicht mehr geladen werden können, was im Sommerbetrieb praktisch nur noch am späten Nachmittag für kurze Zeit der Fall ist. Dies reicht aber um auch diesen Speicherbereich zu regenerieren. In *Abbildung 4-39* ist zudem gut nachvollziehbar, dass dem unteren Heizungsspeicherregister am 18. und 19. April morgens noch Wärme für die Bodenheizung entnommen wird, nachher jedoch nicht mehr. Trotzdem entlädt sich dieser Speicherbereich wegen der Warmwasservorwärmung (Eigenversorgung) und der Schichtung.



Am deutlichsten sichtbar wird die Umstellung auf Sommerbetrieb logischerweise beim Warmwasservorwärmerspeicher für den Export zum Nachbar MFH (*Abbildung 4-40*). Im Winterbetrieb am 18. April geht die Solarenergie an diesem Speicher, ausser in den Randzeiten) praktisch ganz vorbei, da er die letzte Priorität hat. Ganz anders im Sommerbetrieb ab 19. April. Durch den Wechsel in eine höhere Prioritätenstufe wird der Speicher sehr stark geladen. Ausserdem ist sichtbar, dass der Entladevorgang, wegen dem rund doppelt so grossen Zapfvolumen, sehr viel vehementer stattfindet, wie im nur leicht grösseren Warmwasserspeicher für den Eigenbedarf (*Abbildung 4-38*).

4.6.9. Sommerbetrieb 2

Die 50h Mitteltemperatur der Nord+Süd Aussentemperaturen (in *Abbildung 4-41* nicht dargestellt) steuert noch eine andere wichtige Funktion: Die Bypassklappe der Lüftung für die "Sommerkühlung", da es ja wenig sinnvoll wäre, dann auch noch WRG zu betreiben, hätte man es doch zu dieser Zeit gerne möglichst kühl. Dieser Fall trat 2011 schon im zeitweise aussergewöhnlich "sommerhaften" Monat Mai auf. Dieser Mai war aber auch sehr wechselhaft. Vor dem 6. Mai war es kühl und sonnig. Der 6. + 7. Mai dann sonnig und fröhlich warm, sodass der Bypassklappengrenzwert (18°C) des oben erwähnten 50h-Mittelwertes am 8. April mittags überschritten wurde.



Die Bypassklappe wird ganz geöffnet, die Zulufttemperatur legt sich an die Aussentemperatur nach dem Erdregister an, so dass mit bedeutend kühlerer Luft gelüftet wird als wenn die Aussentemperatur direkt genommen würde (10. Mai - 27°C). Nach zwei kühleren Tagen (12. + 13. April) wird dann wieder auf WRG zurückgeschaltet. In der ganzen 14 Tage-Periode konnte, nur durch das Lüftungs-WRG-Bypassklappen-Management die Wohnungsablufttemperaturen auf angenehmen 22-23°C stabilisiert werden.

Passives Kühlen mit der Lüftung bzw. dem Erdregister?

Dieser Effekt ist zwar erkennbar, erwartungsgemäss in seiner Wirkung aber bescheiden, da:

- Richtigerweise mit minimalen Luftmengen (und entsprechend wenig Heiz- oder Kühlleistung) gelüftet wird (Antriebsenergie der Ventilatoren).
- Die meisten Erdregister eher zu klein und zu wenig tief verlegt sind. (Kosten?)

Ein Erdregister ist also weder eine "Heizung" noch eine "Kühlung" sondern eine "leichte Temperierung", welche, geschickt gesteuert, jedoch durchaus wertvoll ist.

Kritik an "üblicher" Bypassklappensteuerungen.

Dabei wird einfach ein Temperaturwert für die Zulufttemperatur gesetzt, welcher dann durch die stetige Regelung der Bypassklappe konstant gehalten werden soll. Nachteil:

- Es wird nicht (und kann nicht) zwischen Sommer (Kühlbedarf, Zuluft möglichst kühl) und Winter (Heizbedarf, Zuluft möglichst warm) unterschieden. Damit ist man gezwungen einen künstlichen Wert (z.B. 17 °C) für die Zuluft zu definieren, welcher bestenfalls ein (schlechter) Kompromiss ist, denn 17°C Zuluft sind im Winter zu kühl und in einer Sommernacht, wenn es auch mit 15°C ginge, zu warm.

Da die Lüftung die aktuelle Ausssenlufttemperatur (nach dem Erdregister) jedoch kennt, wäre es für die Steuerung ein Leichtes, einen 50h-Mittelwert zu bilden und eine saubere "Heiz-Kühlgrenze" zu definieren - eine stetige Regelung der Bypassklappe erübrigt sich. Wie bei jeder Heiz- resp. Kühlgrenze ist dieser Mittelwert wichtig um kurzfristige Schwankungen in der Aussentemperatur (z.B: Tag-Nacht) auszugleichen.

4.6.10. Abwasserwärmerückgewinnung

Beim Doppelmantelrohr (warmes Abwasser innen, Frischwasser aussen) wurde ein Wärmehähler installiert. Die durch den Wärmehähler für die Energiemessung benötigten Frischwassertemperaturen vor und nach dem Doppelrohr- Wärmehaecher wurden aufgezeichnet.

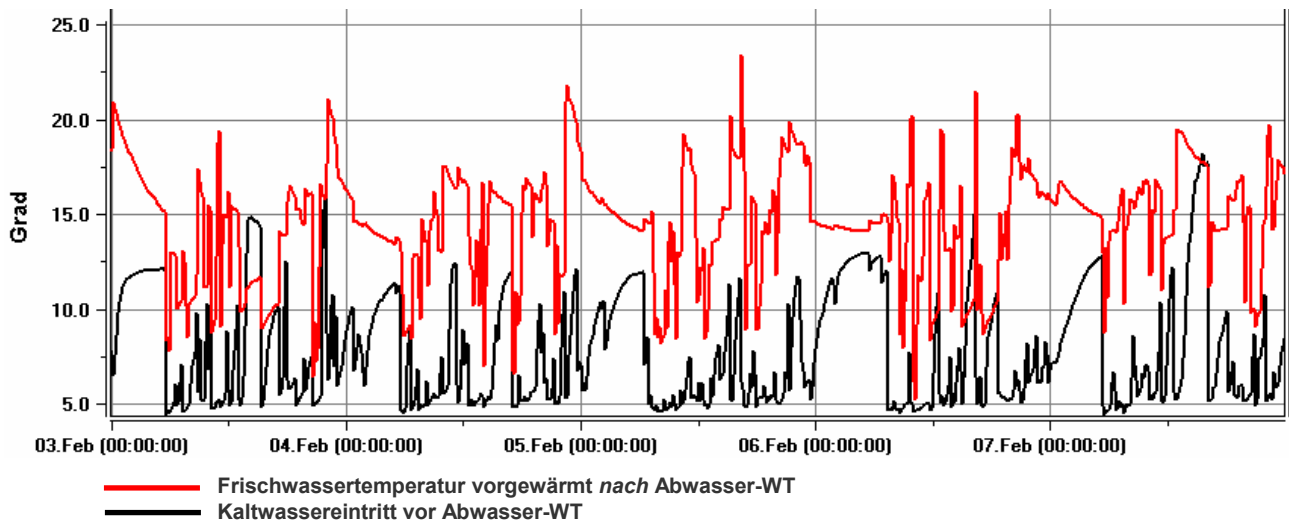


Abbildung 4-42: Wirkung des Abwasserwärmehaechers

Dargestellt für den gleichen Zeitraum wie Winterperiode 3 ist die Wirkung des Doppelrohr Abwasserwärmehaechers in *Abbildung 4-42* gut sichtbar. Die Temperaturerhöhung beträgt im Mittel ca. 7.5 K. Ein wesentlicher Beitrag (15 % des Leistungsbedarfes für die Warmwasserbereitung), ein Beitrag, der in "konventionellen" Häusern wegfällt, ein Plus-Energie-MFH aber nicht ignorieren kann.

Bei mehr als ausreichender Solareinstrahlung, mag das nicht so wesentlich sein, aber gerade im Winter ist ja genau dies nie der Fall - die Fortluftwärmepumpe sowie die Zusatzheizung mittels der Wohnungsholzöfen wird substantiell entlastet.

Auch die "Nicht-Betriebs-Zeiten" des Abwasser-WT sind in *Abbildung 4-42* gut sichtbar. In der Regel zwischen Mitternacht und 6 Uhr bleiben Zapfvorgänge mehrheitlich aus. Ausnahmen sind die Samstag und Sonntag (4./5. Feb.) wo z.T. auch noch nach Mitternacht gezapft wurde.

Ohne diese 6 Nachtstunden ergeben die Messdaten für die dargestellte Periode folgende, auf 0.5 °C gerundete Werte:

Kaltwassertemperatur: 7 °C
Nach Abwasser WT: 14.5 °C

Über die ganze Messperiode 2010/11 wurden gemäss Wärmehähler 1800 kWh zurückgewonnen. Gekostet hat das Doppelrohr 1800 CHF (inkl. Montage ca. 300 CHF). Ganz grob ohne Zins und Amortisation sowie mit einer Lebensdauer von mindestens 35 Jahren (keinerlei bewegliche Teile) gerechnet, ergeben sich kWh-Kosten von 3 Rappen - konkurrenzlos günstig.

Geschätzt wurde der Wärmeertrag der Abwasser-WRG in der Konzeptphase auf 2000 kWh jährlich, was somit fast erreicht wurde.

4.6.11. Warmwasserzirkulation

Hier konnte ein Prinzip übernommen werden, welches sich schon in einem anderen MFH an der Rychenbergstrasse in Winterthur (Ebenfalls ein Messprojekt des Bundes 2005) bestens bewährt hatte.

- Thermo-zirkulation ohne Umwälzpumpe

Zum Einsatz kamen dort wie in Bannau so genannte Rohr an Rohr- Leitungen, bei denen eine kleinere Zirkulationsleitung mit der grösseren Warmwasserleitung zusammen gemeinsam isoliert werden. Diese Doppelleitungen werden in Steigzonen bis zur obersten Wohnung geführt und zwar nahe zu den Verbrauchern (Küche und Bad müssen "Wand an Wand" zusammen liegen) damit die einzelnen Zapfstellen nur noch sehr kurze Stichleitungen (ohne Zirkulation) benötigen.

Die Thermo-zirkulation entsteht dabei durch den Dichteunterschied von Wasser unterschiedlicher Temperatur (in der Regel ist die Warmwasserleitung wärmer als die Zirkulationsleitung zum Boiler zurück). Damit unter keinen Umständen ungewünschte Rückwärtszirkulation auftritt, braucht es eine *Pendelrückschlagklappe*.

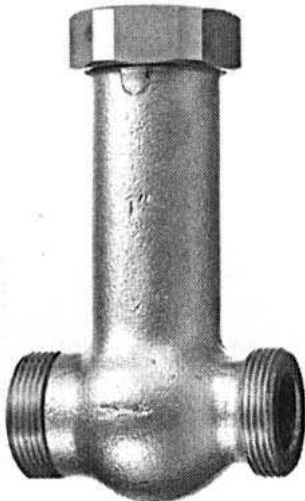


Abbildung 4-43 *Pendel-Rückschlagklappe*

Hier zeigte sich ein kritischer Punkt. Obwohl es sich beim zwingend notwendigen Pendelrückschlagventil um eine Standard-Katalogkomponente handelt (*Abbildung 4-43*), wurde, wie damals an der Rychenbergstrasse, zuerst ein "übliches", federbelastetes Rückschlagventil verbaut, dass in Thermo-zirkulationssystemen aber nicht funktionieren kann! Offensichtlich sind die Installateure mit der Technik der Thermo-zirkulation nicht (mehr) vertraut und es brauchte einige Diskussionen und den Einbau eines Passstückes für die eventuell trotzdem nötige Zirkulationspumpe....

Obwohl von der Grösse und Wohnungszahl vergleichbar, war die Situation in Bannau bezüglich Warmwassersteigsträngen anspruchsvoller, da statt nur einer mittigen Sanitär-Steigzone für alle Wohnungen, zwei separate Steigzonen für die Süd- und die Nordwohnungen realisiert wurden, welche etwa 13 Meter auseinander lagen. Der Warmwasserspeicher konnte einigermassen mittig dazwischen im UG platziert werden.

Um nun Thermo-zirkulation auch bei einem horizontalen Versatz von 5 und 8 Metern zu ermöglichen mussten die Doppelleitungen (Warmwasser/Zirkulation) vom Boiler aus zwingend leicht "steigend" an der Decke verlegt werden. Das ist zwar für Wasserleitungen unüblich, aber von den Abwasserleitungen her bekannte Vorschrift. So konnten die Installateure sich daran orientieren.

Anhand von zwei verbauten Analogthermometern in den Zirkulationsleitungen wurde nach Inbetriebnahme festgestellt: Es funktionierte sogar so gut, dass der eine Strang (mit dem kürzeren horizontalen Versatz) leicht gedrosselt wurde.... Solche Drosselorgane pro Zirkulationsleitung sind ebenfalls zwingend einzubauen. Am besten eignen sich Kugelhahnen, da diese die Thermo-zirkulation am wenigsten stören (nach dem Einregulieren die Hebel demontieren, damit dort nicht "aus Versehen" verstellt wird).

Auch die Kontrollmessungen an den Zapfstellen und das mehrmalige Nachfragen bei den Mietern ergab: Mit der Warmwasserversorgung und dessen "Promptheit" an den Zapfstellen gibt es keine Probleme.

Fazit: Warmwasser-Zirkulationspumpen (oder Begleitbandelektroheizungen) sind bei einer entsprechenden "Erschliessungslogistik" in kleineren MFH (in EFH sowieso) überflüssig.

5. Schlussfolgerungen

Plus Energie ?

Diese Frage konnte durch das Messprojekt eindeutig bejaht werden. Das MFH in Bennau genügt der schärfsten Definition von Plus-Energie: Es wird mehr Energie gewonnen, als die Bewohner darin verbrauchen.

Das trifft auf die Wärmeenergiebilanz nicht ganz zu; der Export von vorgewärmtem Warmwasser an das Mehrfamilienhaus deckt den Wärmebedarf knapp nicht. Die Gründe sind:

- Sehr hohes Temperaturniveau in den Wohnungen 22° C (statt 20°C)
- Sorgloser Gebrauch der Wohnungsholzöfen auch in Zeiten, in denen es nicht nötig wäre.

Hingegen weist die Stromproduktion (PV-Anlage) einen soliden Überschuss aus, so dass das kleine Wärmebilanzdefizit mehr als kompensiert wird, selbst wenn man eine Strom-kWh gleich bewertet wie eine kWh Wärme. Dies ist erfreulich, jedoch nicht selbstverständlich, da die Bewohner (Mietler) auch beim Strom einen eher sorglosen Umgang pflegten (z.B. mitgebrachte Glühbirnen-Leuchten).

Gebäude

Ein Minergie-P Gebäude ist eine geeignete (minimale) Voraussetzung für ein echtes Plus-Energie Haus. Der Teufel liegt aber (wie so oft) in den (Ausführungs-) Details, so dass hier noch weiteres Optimierungspotential vorhanden ist:

- Bessere Fenster(rahmen)
- Konsequente Wärmedämmung gegen und im UG. Eine Haustechnikzentrale muss u.a. gegen eine sehr kalte Tiefgarage isoliert werden.

Umso erfreulicher ist es, dass "Bennau" trotz kleiner "Schönheitsfehler" die Hürde "Plus-Energie" geschafft hat.

Haustechnik

Die Haustechnik wurde im grossen Ganzen sehr sorgfältig realisiert und funktionierte, nach den (üblichen) Kinderkrankheiten, gut. Bei ähnlichen Projekten sollte Folgendes beachtet werden:

- Konsequente Wärmedämmung von *allen* kalten (Fortluftkanal, WP usw.) und *allen* warmen (z.B. Zu-, Abluftkanälen) in der Haustechnikzentrale. Diese "Qualität" geht weit über das "übliche" Niveau hinaus, und muss das auch, sonst ist Plus-Energie nicht effizient zu realisieren.
- Bei den einzelnen Komponenten muss sorgfältig auf die Ausführungsqualität geachtet werden. Eine unisolierte Luft-Wasser-WP in der Technikzentrale welche diese über ihr Gehäuse "kühlt" ist wenig förderlich.
- Die sehr kalte Fortluft nach der Fortluft-WP der Lüftung sollte nicht einfach in die Tiefgarage "entsorgt" werden. Da diese Fortluft bei WP-Betrieb kälter als die Aussenluft ist, kühlt sie die Tiefgarage zusätzlich, was den Wärmeverlust des Gebäudes erhöht. Um diesen Kurzschluss zu vermeiden, muss die Fortluft in einem separaten, isolierten Kanal nach aussen geführt werden.

Das ein Label (wie Minergie-P) die Haustechnik weitgehend ausklammert, ist nicht zeitgemäss, denn ein Gebäude ist immer ein Gesamtorganismus. Je höher die Messlatte gelegt wird, desto wichtiger ist dies.

Haustechnikkonzept

Das gewählte Haustechnikkonzept hat sich bewährt, ist aber komplex und stellt einige Anforderungen an die Mieter-Bewohner (z.B. richtiges und bedarfsgerechtes Einfeuern der Wohnungsöfen). Es konnte gezeigt werden, dass Plus-Energie auch ohne Saisonspeicher (eine Erdsonde ist auch ein solcher) realisiert werden kann.

Trotzdem gibt es diese Alternative, welche bedeutende Vereinfachungen des Komplexitätsgerades der verbauten Haustechnik ermöglicht, hier aber aus Geologischen- und Gewässerschutzgründen nicht realisiert werden konnte. Ein solches "alternatives" Konzept wäre:

- Wärmepumpe mit Erdsonde(n).
- Solarkollektoren ausschliesslich für die Warmwasserversorgung zum Eigenbedarf (kein Export). Die Südfassade (z.B. Balkongeländer) ist hier am besten geeignet. Der Flächenbedarf und die Kosten gegenüber einer "auch Heizungsunterstützung"-Lösung sinken beträchtlich. Der sommerliche Überschuss wird zur Regeneration der Erdsonde verwendet.
- Photovoltaik - Die Fläche nimmt hingegen zu, um die zusätzliche Betriebsenergie für die Erdsonden-WP zu liefern. Ausser dem Dach muss auch ein grosser Teil der Fassade genutzt werden.

Vorteile:

- Einfachere Haustechnik
- Mieterunabhängige Beheizung und weniger "Instruktionsbedarf"

Nachteil:

- Die Kosten sind nicht wirklich kleiner, sie werden, in verstärktem Masse, an die Allgemeinheit, bzw. an den Stromversorger "externalisiert", der gefälligst dafür zu sorgen hat, dass im Winter, wenn die PV-Anlage wenig liefert, trotzdem genügend Strom verfügbar ist. Die Saisonspeicherung des Stromüberschusses im Sommer muss also "extern" (z.B. Pumpspeicherstausee) erfolgen.

Fazit: Das Plus-Energie-MFH in Bennau zeigt, dass es auch ohne Erdsonde geht. Allerdings ist die Haustechnik anspruchsvoll und komplex.