

WOHNBAUFORSCHUNG
NIEDERÖSTERREICH;
WOHNBAUFORSCHUNGSERFASSUNG 2008

ERFASSUNGSNUMMER: 822052

SIGNATUR: WBF2008 822052

KATALOG: A, INDEX ST. PÖLTEN

STATUS: 22 2

BESTART: E

LIEFERANT: WOHNBAUFORSCHUNG
DOKUMENTATION 20036, WBF2008,
WBFNOE

ERWAR: B

EXEMPLAR: 1

EINDAT: 2008-03-06

BDZAHL: 1 Mappe

HAUPTETRAGUNG: Solares Energiekonzept für ein typisches
Niederösterreichisches Alt-Reihenhaus

TYP: 1

VERFASER – VORL: DI Andreas Weingartner

NEBEN – PERSONEN:

NEBEN – SACHTITEL: Zwischenbericht
Vorläufiger Endbericht = Endbericht
Mit Mail vom 24.01.2008 hat der Projektwerber
erklärt, dass der am 10.10.2006 fertig gestellte
„vorläufige Endbericht“ als endgültiger Endbericht
anzusehen ist.

ZUSÄTZE: F 2052

VERLAGSORT, BEARBEITERADRESSE: DI Andreas Weingartner
Feldgasse 13, 2100 Korneuburg

VERLAG, HERAUSGEBER: DI Andreas Weingartner

Eigenverlag

E-Jahr: 2006
UMFANG: 2 Seiten Abstract + 22 Seiten Endbericht

FUSSNOTEN HAUPTGRUPPEN
ABGEKÜRZT: PLAGL, TEGL

SACHGEBIET(E)/ EINTEILUNG
BMWA: Demobau, Energie, Sanierung
ARBEITSBEREICH (EINTEILUNG
NACH F-971, BMWA): Technik

SW – SACHLICHE (ERGÄNZUNG) Solarenergie

PERMUTATIONEN: S1 / S2

BEDEUTUNG FÜR NIEDERÖSTERREICH:

Mit dem Bauvorhaben wurde die Anpassung eines typischen Niederösterreichischen Reihenhauses der Jahrhundertwende an heutige Wohnbedürfnisse bezweckt. Es wurde versucht, ein von der Wohnqualität, Energietechnik und Ökonomie her optimiertes Konzept umzusetzen.

BEDEUTUNG FÜR DEN WOHNBAUSEKTOR:

Die Abschnitte „Lessons learned“ aus den Teilbereichen: Luft-Kollektoren, Steinspeicher, Hypocaust-Luftsystem, Warmwasserbereitung und Wohnraumentlüftung mit einer Reihe von Empfehlungen aus der Praxis beschreiben auch negative Erfahrungen.

An das
Amt der NÖ Landesregierung
Abt. F2-A, B Wohnbauforschung
Landhausplatz 1
3109 St. Pölten

VORLÄUFIGER ENDBERICHT

ÜBER DEN FORSCHUNGS-AUFTRAG

Kurztitel: Solarkonzept NÖ Altreihenhaus

Projektcode: F2-B-F2052

1 Auftragnehmer und Projekttitle

Dipl.Ing. Andreas Weingartner

Feldgasse 13
2100 Korneuburg

Tel.: 02262 74071 oder 0676 524652

Voller Projekt-Title: „Solares Energiekonzept für ein typisches Niederösterreichisches Alt-Reihenhaus“

INHALT

1	Auftragnehmer und Projekttitle	1
2	Zusammenfassung	2
3	Bearbeitete Projektschritte	2
	3.1 Planung / Konzeptoptimierung	2
	3.1.1 Energiebedarf	2
	3.1.2 Berechnung der Systemvariablen, Systemauswahl	4
	3.2 Solaranlage / Haustechnik	6
	3.2.1 Solardach	6
	3.2.2 Luft-Kollektoren	8
	3.2.3 Steinspeicher	13
	3.3 Hypocaust Luftsystem	17
	3.4 Softwareentwicklung	22
	3.5 Einbau Datenerfassung und Sensoren	22
4	Weitere Vorgangsweise	22

2 Zusammenfassung

Ziel des Projektes waren:

- Renovation und Umbau des Hauses Weingartner, Feldgasse 13, 2100 Korneuburg.
- Solare Warmwasserbereitung und teilsolare Raumheizung nach einem neuartigen Konzept.
- Erprobung, Optimierung und wissenschaftliche Begleitung des Vorhabens.

Der Umbau erfolgte nach der Baugenehmigung GZ 31-21819-96, CNR 523 vom 15.10.1996, bzw. den zugrundeliegenden Bauplänen. Der Umbau ist großteils fertiggestellt; im Bereich der Haustechnik fehlen zum Zeitpunkt des vorläufigen Projektendes noch einige Bauteile (v.a. Heiz-Wärmepumpe).

Mit dem Bauvorhaben wurde die Anpassung eines typischen Niederösterreichischen Reihenhauses der Jahrhundertwende an heutige Wohnbedürfnisse bezweckt. Es wurde versucht, ein von der Wohnqualität, Energietechnik und Ökonomie her optimiertes Konzept umzusetzen.

Weitere wesentliche Bestandteile des Vorhabens sind dem Projekt-Antrag zu entnehmen und wurden zum Grossteil projektgemäß umgesetzt. Aufgrund ausführungstechnischer Mängel sind jedoch wesentliche Bauteile bereits wieder schadhaf und renovierungsbedürftig. Da Teile des Solar-Systems (v. a. das Solardach) aufgrund dieser Schäden nicht bestimmungsgemäß in Betrieb genommen werden konnten, konnte das gesamte Konzept nicht entsprechend Plan umgesetzt werden, und es konnten keine entsprechenden Messungen und Evaluierungen durchgeführt werden. Es kann daher das Projekt aus wissenschaftlicher Sicht leider noch nicht als erfolgreich betrachtet werden.

3 Bearbeitete Projektschritte

3.1 Planung / Konzeptoptimierung

3.1.1 Energiebedarf

An der ersten Stelle der Energie-Optimierung stand die Untersuchung und Optimierung des zu erwartenden Heizbedarfs. Bei einem bestehenden Haus sind die Möglichkeiten der Optimierung begrenzt.

Das Haus mit 150 m² beheizter Wohnfläche weist eine gemessene maximale Heizlast von etwa 60 W/m² bei -20°C Außentemperatur auf (gerechnet aus der Differenz Speicher-Vorlauf- zu Rücklaufemperatur, ohne Zusatzheizung; dann validiert ohne Speichernutzung nur mit der Herstellerangabe des Zusatzofens). Ziel war 50 W/m² gewesen. Das wäre zwar für einen Neubau immer noch nicht sehr günstig, ist in Anbetracht der Bauweise jedoch vertretbar:

- Die straßen- und gartenseitigen Außenwände (50 cm Vollziegel) waren nicht isoliert und können straßenseitig auch nicht außen isoliert werden. Eine Isolation mit 80 mm Stärke wurde 2004 gartenseitig angebracht, brachte jedoch keine wesentliche absolute Verbesserung, da der gemauerte Außenflächenanteil an sich schon gering war.
- Aufgrund der günstigen Lage als Reihenhaus sind die Wärmeverluste zu den Nachbarhäusern geringer.
- Nord-Ost-seitig ist eine Haushälfte über beide Geschosse verglast mit 25 m² / k=1,1 (1995 bester Stand der Technik) in einer Aluminiumkonstruktion, welche teilweise nicht kältegetrennt ist. Die Verglasung wird im Untergeschoss über Nacht innen thermisch verschlossen (30 mm Styropor in Holzrahmen), im Obergeschoss durch einen wattierten Vorhang über die gesamte Geschosshöhe, trotzdem sind die Verluste an sonnenarmen Wintertagen bei tiefer Außentemperatur erheblich. Aufgrund der gewonnenen Wohnqualität infolge der sehr guten Belichtung der gartenseitigen Wohnräume wurde dies bewußt in Kauf genommen, und soll eben durch die großen südseitigen Kollektorflächen ausgeglichen werden. Eine dritte Glasschicht ist konstruktiv vorgesehen und soll nach Maßgabe der finanziellen Möglichkeiten später eingebaut.



Abbildung 1: Haus von der Gartenseite; rechts der verglaste „Turm“.

Das neu ausgebaute Dachgeschoss ist mit 250 mm eingeblasenen Zelluloseflocken ausreichend isoliert und es sind auch die großen Dachflächenfenster energetisch optimal ausgeführt: 3 Polycarbonat - Doppelstegplatten mit Abstand 10 mm, angegebener k-Wert insgesamt ca. 0,3 - also besser als jede Dachfensterkonstruktion.

Die gerechnete Heizlast im Obergeschoß liegt daher unter 50 W/m^2 , im Untergeschoß bei etwa 80 W/m^2 .

Beurteilung aus heutiger Sicht:

Als einziger Mangel ist das Vorhandensein von Wärmebrücken in der Aluminium-Fenster-Konstruktion zu nennen. Eine bessere Ausführung war zum Zeitpunkt der Auftragsvergabe nicht leistbar. Eine Elimination der Wärmebrücken allein wäre nur durch Austausch der Aluminiumkonstruktion und damit auch sämtlicher Glasflächen möglich und daher unwirtschaftlich. Eine dritte Glasschicht würde zu einer Reduktion der Wärmebrückenfläche und zu einer erheblichen Verbesserung der Energielast führen, und soll nach Maßgabe der finanziellen Möglichkeiten zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden.

3.1.2 Berechnung der Systemvariablen, Systemauswahl

Es waren folgende Komponenten zu berechnen bzw. zu optimieren:

Luftkollektoren (Ausführung, Dimensionierung, Beschickung)

- Wärmespeicher (Trägermaterial, Größe, Isolation)
- Luftverteilsystem (Dimensionierung, Beschickung, optimierter Netzplan)
- Heizsystem (Wandheizungen, Bodenheizungen; Materialien, Dimensionierung / Leistung, Beschickung)
- Zusatzheizung (Leistung, Einbindung, Detailplanung)
- Warmwasserbereitung (Systemwahl, Dimensionierung Wärmetauscher, Dimensionierung Wärmepumpe, Leitungsplan, Umwälzregelung)
- Datenaufzeichnung, Überwachung, Regelung (Sensoren, Aktuatoren, Elektronik, Software)

In Tabelle 1 werden die Ergebnisse der Variantenrechnungen verglichen. Aufgrund der Kosten-Optimierung wurde die Variante „geringe Speicherung - im Keller untergebracht“ gewählt, wobei aber nicht 93.700kg sondern nur ca. 80.000 kg Steine eingebracht werden konnten..

3.2 Solaranlage / Haustechnik

3.2.1 Solardach

Das Solardach bedeckt die komplette straßenseitige, süd-westlich orientierte Dachhälfte. Die Fläche beträgt ca. 60 m² effektiv (Gesamtfläche minus 2 Lichtbänder über Fenster minus Anschlussflächen minus Rahmen), die nominale thermische Leistung beträgt max. 30 kW.



Abbildung 2: Luftsolaranlage, ins Hausdach integriert

Die Luft wird in Abbildung 2 rechts unten über den Kollektorvorlauf-Verdichter (Abbildung 3) durch die Dachebene geblasen und dann durch einen horizontalen Verteilerkanal entlang der Dachkante dem Kollektorfeld zugeführt. Danach streicht die Luft entlang der Dachneigung durch die Kollektoren hoch und wird im Dachfirst wiederum durch einen horizontalen Kanal gesammelt und dem Abzug links oben in Abbildung 2 zugeführt, und dort durch die Durchführung (Abbildung 4) über einen vertikalen Kanal im Hausinneren dem Steinspeicher im Keller zugeführt (sh. auch Abbildung 5).



Abbildung 3: Kollektorvorlauf-Verdichter



Abbildung 4: Kollektorrücklauf Durchführung, rechts Abzweigung zum Sommer-By-Pass

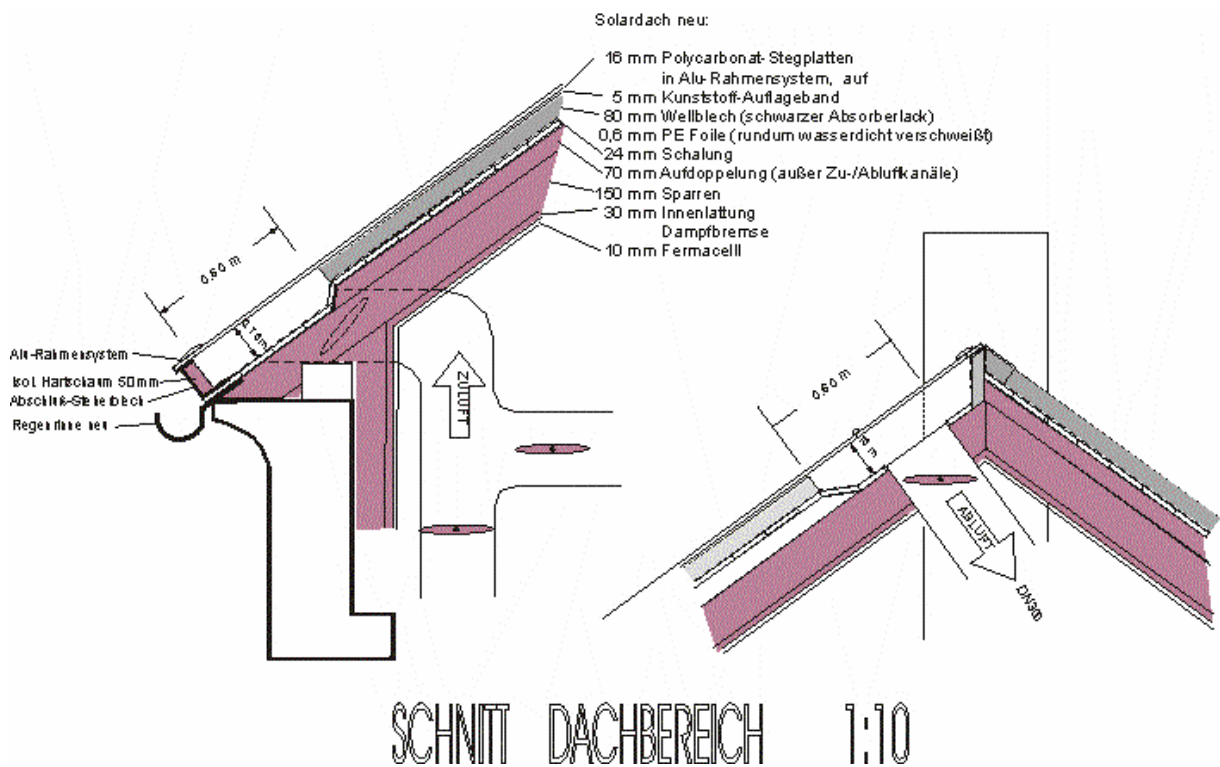


Abbildung 5: Längsschnitt durch die Dachhaut, es lassen sich die technischen Details der Luft- Zu- und Abfuhr nachvollziehen

Dieses Prinzip eines in die Dachhaut integrierten Luft-Solardaches wird auch nach einigen Jahren Erfahrung immer noch als technisch und ökonomisch absolut sinnvoll beurteilt. Allerdings ist bei der Ausführung größere Sorgfalt anzuwenden, und es sollte die Ausführung nur einem erfahrenen Professionisten übergeben werden.



Abbildung 6: Details am Solardach, und Schäden nach 5 Jahren Betrieb aufgrund mangelhafter Ausführung.

Leider wurde diese Anlage von einem Professionisten mit geringer Erfahrung mit derartigen Konstruktionen erreicht weshalb die Anlage nicht ausreichend luft- und wasserdicht ist. In Abbildung 6 sind die Details der baulichen Schwächen deutlich zu erkennen und sollen als Warnung dienen. Eine vollständige Neuerrichtung ist erforderlich jedoch aus finanziellen Gründen zur Zeit noch nicht machbar.

3.2.2 Luft-Kollektoren

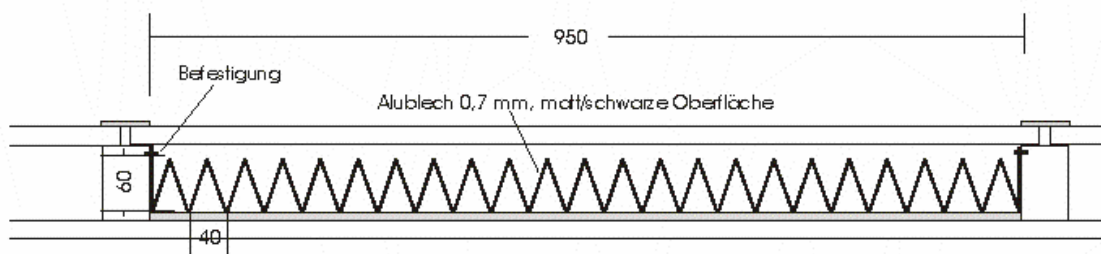
Text im Antrag: „kostengünstige, neue Luft-Kollektorbauweise (anbringen einer zusätzlichen Dachhaut aus 2-Kammer-Polycarbonat auf Absorbern aus konventionellem Wellblech); ca. 1/4 der üblichen Kosten für Luft-Kollektoren“

Bauweise:

Aus Abbildung 7 geht die Bauweise des Luft-Kollektors hervor.

Es handelt sich dabei um einen beidseitig umströmten Absorber.

Absorberbleche Solaranlage Haus Weingartner



ca. 3 m Blech pro 1 m Absorber
insgesamt 40 Elemente zu 1 m² Auftragsfläche ... ca. 120 m² Blech

Abbildung 7: Querschnitt durch ein Kollektor - Element

Die Abdeckung besteht aus Polycarbonat-Doppelstegplatten mit einem angegebenen k-Wert von 1,0. Die Transmissivität für Sonnenlicht im sichtbaren Wellenlängenbereich wird mit 83% angegeben. Der Absorber besteht aus gefaltetem Alublech mit einer spezifischen Oberfläche von $3 \text{ m}^2 / \text{m}^2$ und einer einseitigen Beschichtung mit Absorberlack. Dadurch ist ein sehr effektiver beidseitiger Wärmeübergang möglich. Er wurde selbst auf einer Blechbiegemaschine hergestellt.

Bauartbedingter Nachteil ist der relativ große Wärmeverlust durch die Abdeckung bei großem Temperaturgradienten Innen gegen Außen. Dies wurde als weniger wichtig erachtet da eine sehr große Fläche zur Verfügung steht wodurch die Verluste wettgemacht werden. Weiters ist die Kollektorfläche während der Betriebszeiten mit hohem Temperaturgradienten (v.a. im Sommer) ohnehin stark überdimensioniert. Während der energetisch interessantesten Betriebszeiten zur im Winter, wenn der Vorlauf mittels Wärmepumpe abgekühlt ist, ist der Temperaturgradient geringer und der Vorteil der großen Wärmetauscherfläche ausschlaggebend.

Beurteilung aus heutiger Sicht:

Die gewählte Bauweise des Luft-Sonnenkollektors hat sich „grundsätzlich“ (aber nur grundsätzlich) als preisgünstige und trotzdem leistungsfähige Variante bewährt und ist ein wichtiges Ergebnis dieses Forschungsprojektes. Sie ermöglicht bei technisch ordentlicher Ausführung v.a. in Fällen, wo eine Dachsanierung ohnehin ansteht, die Ausführung eines leistungsfähigen Energiedaches zu den Kosten eines guten Normaldaches, und ist in den üblichen Bestand auch eines älteren Hauses gut einzubinden. Es finden sich in der seit Projektbeginn publizierten Literatur, v.a. IEA Task 19, ähnliche Vorschläge bzw. Beispiele. Die volle Integration eines Kollektors im Hausdach zu Heiz- und Kühlzwecken könnte zu einem absolut sinnvollen Standard auch bei Neubauten werden. Es kann mit einem derartigen System zu extrem geringen Kosten sehr viel Energie bereitgestellt werden, was gegenüber den flüssigen Kühlmitteln einen großen Vorteil darstellt. Relativ teure Einzel-Luftkollektoren, welche extern gebaut und auf einer fertigen Dachhaut zusätzlich montiert werden müssen, sind im Vergleich zu dachintegrierten Kollektoren grundsätzlich unattraktiv. Was diese Arbeit leider nicht plangemäß beantworten kann ist die Frage, ob man bei der Luft auch als Wärmeträger- und Heizmedium bleiben soll, oder ob schon auf dem Dach die Wärme auf Wasser übertragen und dann konventionell weiterverwendet werden soll. Überlegungen dazu folgen jedoch weiter hinten.

Anfang September 2000 wurde aufgrund der Undichtigkeiten des Kollektordaches ein zusätzlicher Verdichter im Kollektor-Rücklauf eingebaut (Abbildung 12), zusätzlich wurde 2003 ein Abzug zur schadlosen Abfuhr der Überhitze eingebaut (Abbildung 8).



Abbildung 8: Abzugskanal für Überhitze $> 80^\circ\text{C}$)

Die maximale erzielbare effektive Leistung wurde mit 30 kW (15°C Vorlauf, 95°C Rücklauf, 1000 m³/h im By-Pass, Verdichterleistung 250W bei 150 Pa Druckverlust) an einem klaren Tag, also ca. 500 W/m² Kollektorfläche, nach Plan erreicht. Dies ist für eine thermische Luft-Solaranlage ein guter Wert (vgl. Messungen von Fechner in IEA Task Solar Air Systems). Allerdings wird aus materialtechnischen Gründen jetzt der Rücklauf bei 80°C abgeregelt. Damit wären max. ca. 23 kW verfügbar, was immer noch einige Reserven bietet.

Im Normalbetrieb bei der Herbstladung des Speichers wird an trüben Spätsommertagen bei einer Außentemperatur von 15 °C mit 5 - 10 kW im Tagesverlauf geladen. Damit wäre gewährleistet, dass der Speicher zu Beginn der Heizsaison entsprechend Plan gefüllt ist, und damit ca. 900 kWh (ohne Wärmepumpe) bzw. 1500 kWh (mit Wärmepumpe) verfügbar sind.

Diese Leistung könnte zu Beginn der Ladesaison Anfang September auch an den Wärmespeicher abgegeben werden, wenn die lufttechnische Anlage nicht erhebliche Mängel aufweisen würde. Größter Nachteil war die Beschränkung des Vorlaufverdichters auf ca. 500 m³/h Förderleistung aufgrund von zu starken Druckverlusten in Querschnittsverengungen und Umlenkungen (sh. Abbildung 9). Dieser Mangel wurde 2004 durch den Einbau eines zweiten Verdichters im Kollektorrücklauf behoben, allerdings stieg damit der Leistungsverbrauch der Verdichter auf 250W bzw. 500W (Stufe I bzw. Stufe II). Damit ist ein Betrieb der Anlage erst ab 15°C Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf Speicher energetisch sinnvoll, und damit die Dauer der Solarernte reduziert.

Die starken Verluste im Rohrsystem sollen durch mehrere Maßnahmen (geringere Krümmungsradien, partiell vergrößerte Rohrdurchmesser, By-Pass des Wärmetauschers im Winterbetrieb) verbessert werden, wodurch der Plan-Druckverlust von max.300 Pa bei 1200 m³/h erreicht werden sollte. Danach kann auf einen der Verdichter wieder verzichtet werden, oder 2 Verdichter geringerer Pressung eingebaut werden.

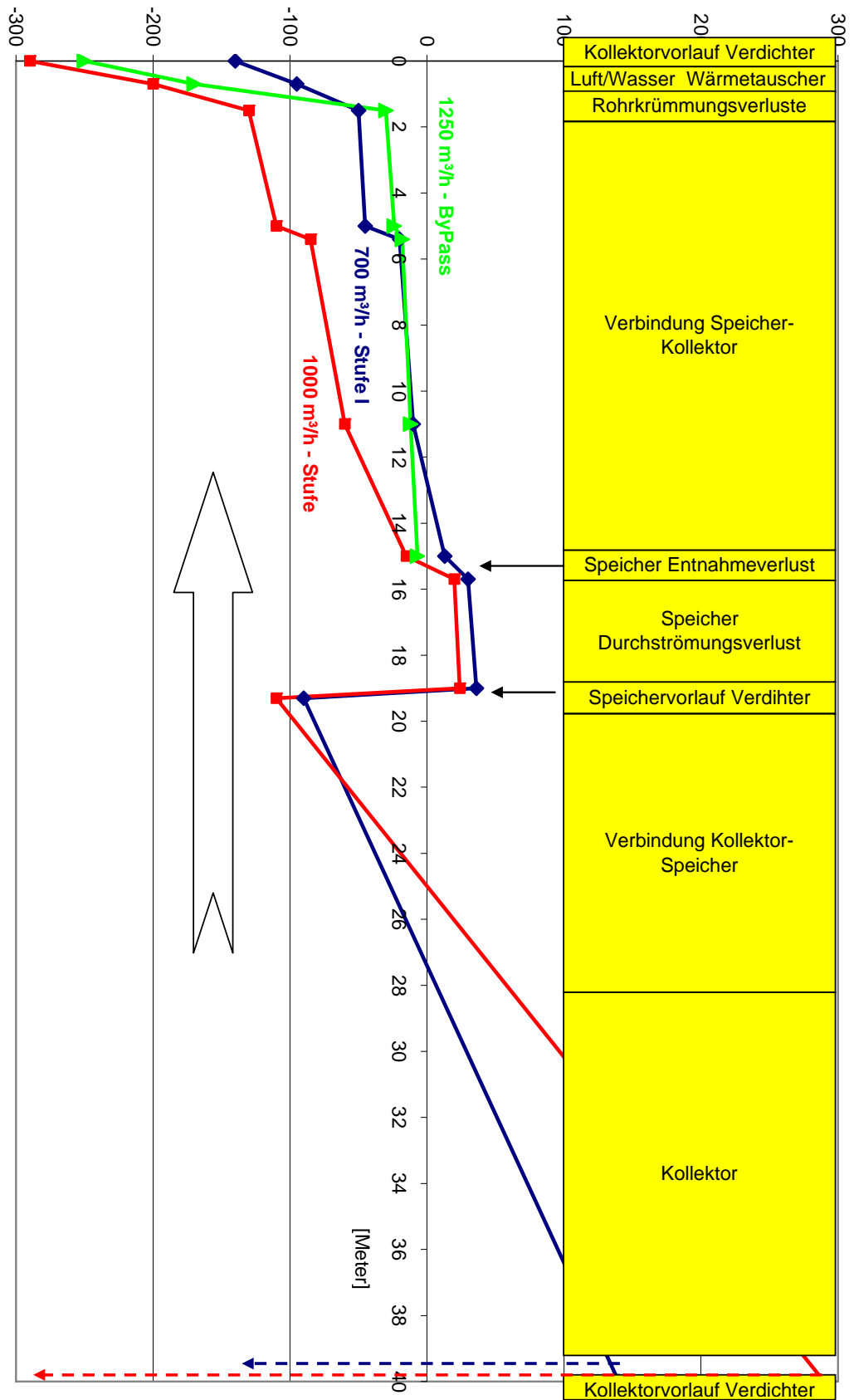


Abbildung 9: Lufttechnisches Anlagenprofil

Die folgenden *Praxis-Erkenntnisse* beruhen zum Großteil auf eigenen Erfahrungen in diesem Projekt und sind in keiner Literatur nachzulesen.

Lessons learned

- Mit den üblichen Methoden der Dachspengerei ist es schwierig, den Kollektor zufriedenstellend dicht und stabil herzustellen. Entweder ein erfahrener Fachbetrieb sollte die Arbeiten durchführen, Betriebe mit Erfahrung im dachintegrierten Luftkollektorenbau existieren jedoch - noch - nicht. Es gibt Firmen die eigene, wesentlich kostspieligere Kollektoren aufsetzen wollen, welche dann nicht in das Hausdach integriert sind, wodurch jedoch die Wirtschaftlichkeit einer derart großen Anlage auch theoretisch nicht mehr herstellbar ist. Alternativ hätten die Arbeiten sehr detailliert geplant und ausgeschrieben und von einem geschulten Techniker penibel überwacht werden sollen.
- Selbst bei bester Ausführung wird eine durchgehende Dichtheit nicht erreichbar sein. Empfehlung: Es ist darauf zu achten, daß bei einem Überdruck von ca. 300 Pa die Luftverluste im Kollektor geringer sind als etwa 5 % In der Literatur wird für Umlaufsysteme - v.a. aus energetischen Gründen - empfohlen, die Verluste durch Undichtheiten auf 1% zu beschränken. Das scheint jedoch aufgrund der gewonnenen Erfahrungen - auch bei sorgfältigster Verarbeitung - praktisch unmöglich sein.
- Es ist sinnvoll, bei einem Druckverlust von > 100 Pa die rechnerisch erforderliche Druckerhöhung durch 2 Verdichter, einen im Vorlauf, einen im Rücklauf des Kollektors anzubringen, und die Ventilatoren auf entsprechend geringere Druckdifferenz und damit geringeren Energieverbrauch auszulegen. Damit wird der Differenzdruck im Kollektor geringer gehalten, es entsteht an keiner Stelle ein zu hoher Überdruck und es sind die Verluste minimiert. Allerdings sollten die Verdichter 2-stufig gefahren werden, d.h. dass der Verdichter im Vorlauf erst ab einer entsprechenden Temperatur zugeschaltet wird.
- Die Plexiglas-Doppelstegplatten neigen zur Kondenswasserbildung. Es ist daher für eine gewisse minimale Durchlüftung der Stegzwischenräume zu sorgen, auch wenn dadurch etwas Energie verloren geht. Nur einem erfahrenen Fachbetrieb wird es möglich sein, dieses Problem hintanzuhalten.
- Zur Stromversorgung der Verdichter wäre die Montage eine PV Anlage auf dem Solardach eine denkbare Alternative. Zur Projektzeit war das wirtschaftlich noch nicht sinnvoll, v.a. da die benötigten Gleichstromverdichter nicht erhältlich waren.
- Bei der Auswahl der verwendeten Materialien ist größtes Augenmerk auf die Hitzeverträglichkeit zu legen: Die Materialien sollten bis 120 °C, besser 150°C zu 100% hitzefest sein und keinerlei schädliche flüchtige Stoffe abgeben. Auch bei Versagen der Überhitzeklappe sollte es zu keinen Schäden bei Konstruktion und Abdeckungen kommen. Es empfiehlt sich der Verzicht auf Kunststoffe mit Weichmachern, Styropor etc.
- Es ist unbedingt eine Übertemperatur-Mischklappe vorzusehen, welcher in der Regelhierarchie zuoberst steht und, je nach verwendeten Materialien, die Rücklauftemperatur des Kollektors bei etwa 80° abregeln und auf 80°C konstant halten sollte bis die Speicher gefüllt sind.
- Es wurde zur Verhinderung von Kondenswassereintritt von außen in die Dach-Isolation (aus Zelluloseflocken) eine wasserdichte Schicht ausgeführt. Diese wäre wahrscheinlich nicht erforderlich gewesen, bringt aber zusätzliche Sicherheit gegen Undichtheiten der Kollektorabdeckung. Andererseits ist dadurch der Dampfaustritt von Innen verhindert, weshalb eine zweite Sperrschicht an der Dachinnenseite angebracht werden musste. Die Anordnung funktioniert gut, aufgrund der giebelhohen Innenräume und der entsprechenden Zirkulation, sowie der Zwangsentlüftung der Räume über das Luftsystem kann es zu keiner Beeinträchtigung der Wohnqualität durch Feuchte kommen.
- Leider wurde die Dachfolie aufgrund deiner Empfehlung des Spenglers aus PVC Folie hergestellt, welche nicht hitzebeständig ist. Diese Folie muss nunmehr entfernt werden da damit gerechnet werden muss dass Weichmacher entweichen und in die anstehenden Bauteile oder über die Ventilation sogar in die Innenluft gelangen. Ein Ersatzmaterial wurde noch nicht gefunden, weshalb sich die Reparatur des Daches verzögert.

Inzwischen hat das System im Waldviertel bereits einen Nachahmer gefunden, welcher aus diesen Fehlern gelernt und ein besser funktionierendes Kollektordach gebaut hat.

3.2.3 Steinspeicher

Allgemeines

Der Speicher ist auf ca. 1500 kWh Speicherinhalt (im Wärmepumpenbetrieb, d.h. bei Entnahme bis auf +5°C) ausgelegt. Er besteht aus ca. 80 t gewaschener Steinen mit 25/50 sowie, oben und unten als 2 Verteil-schichten, 70/130 mm (sh. Abbildung 11).

Der Speicher wurde zweiteilig ausgeführt, wobei ein kleiner Speicher als Tages-Puffer ausgelegt ist, und der größere als Monatsspeicher. Im Verein mit der Luft-Wärmepumpe soll der Heizwärmebedarf ganzjährig aus Sonnenenergie gewonnen werden.

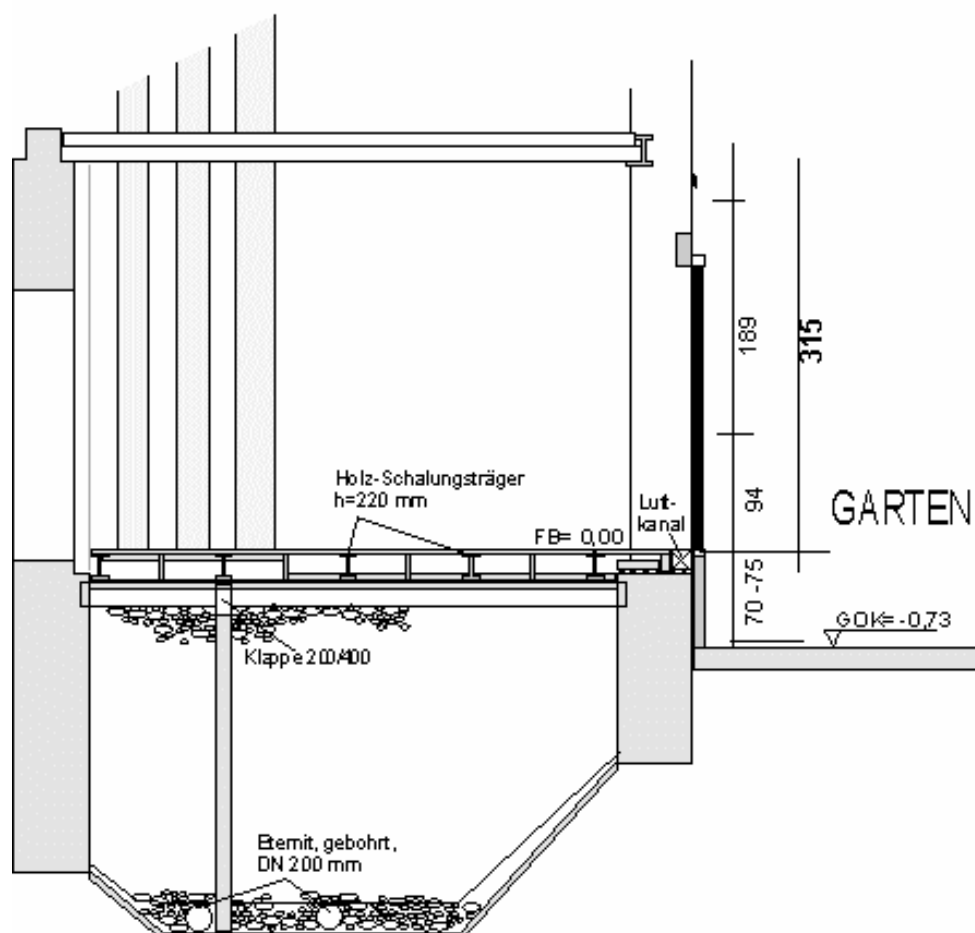


Abbildung 10: Schnitt durch den Steinspeicher

Bisher konnte der Speicher noch nicht ganz entsprechend der Planung genutzt werden, da das Dach aufgrund größerer Undichtigkeiten nur ca. 2/3 der verfügbaren Energie in den Speicher abgeben konnte. Im Herbst 2006 konnte allerdings erstmals eine einigermaßen plangemäße Füllung erreicht werden. Damit erreichte der Speicher maximal ca. +35°C (unten) bis +55°C (oben). Erst nach Erneuerung des Solardachs wird ein vollständig plangemäßer Betrieb möglich sein. Aktuell nimmt der Speicher maximal 70 kWh pro Tag auf und es ist immerhin die vollständige Abdeckung des Energiebedarfs in der Übergangszeit bis etwa Anfang Dezember bzw. ab Mitte Februar möglich.



Abbildung 11: Steinspeicher Oberkante

Wahl des Monatspeichers

Es wurden die Varianten Wasserspeicher, Steinspeicher und Erdspeicher verglichen (vgl. Tabelle 1). Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, der besten Kompatibilität mit dem Luft-Kollektor und der besseren Wärmetauscher-Effizienz bei gleichbleibendem Medium wurde ein Steinspeicher bevorzugt.

In der Literatur waren fast keine Hinweise zur Dimensionierung zu finden. Aus den praktischen Erfahrungen dieses Projektes wird es möglich sein, Empfehlungen je nach Einsatzzweck abzugeben, wenn die Anlage vollständig und funktionsfähig sein wird.



Abbildung 12: Vorlaufverdichter des Steinspeichers von oben

Der Steinspeicher ist ausgelegt auf die Speicherung von etwa 900 kWh Energie zwischen 70° und 30°C, d.h., sollte in einem Normaljahr die Übergangszeit bis Ende November ohne zusätzliche Beheizung ausgleichen können. Allerdings wird nach neueren Erfahrungen eine Speichertemperatur > 60°C höchstens kurzzeitig zu halten sein, die Temperaturverluste sind einfach zu groß. Zur Erreichung eines höheren Temperaturniveaus hätte der Speicher stärker isoliert werden müssen, was aus Kostengründen leider nicht möglich war. Wirklich sinnvoll ist allerdings die Nutzung des Energielevels bis 5°C durch eine Wärmepumpe, dadurch wird die Speicherung von ca. 1.500 kWh möglich sein.

Die theoretische Speicherfähigkeit des Steinspeichers konnte bisher nur mittels Lade- und Entladeversuchen überprüft werden und entspricht in etwa den Erwartungen (sh. Abbildung 13 und Abbildung 14).

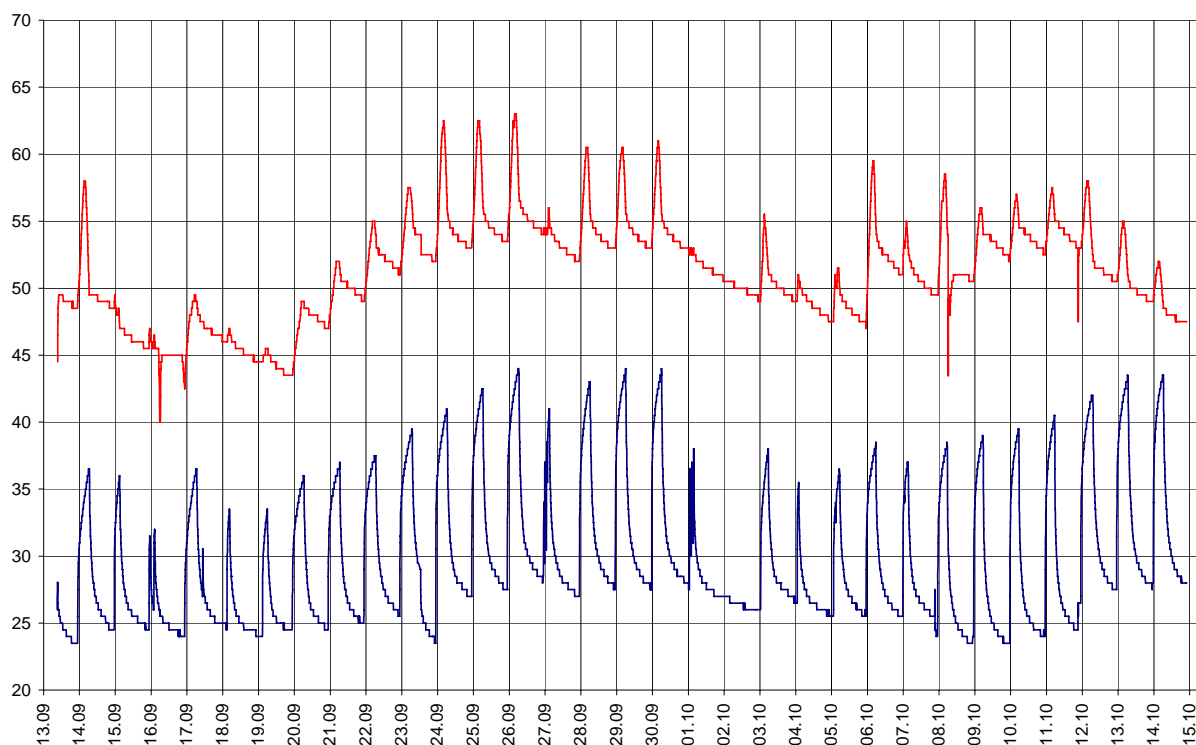


Abbildung 13: Monatsgang der Zu- und Ablufttemperatur: Zuluft rot, Abluft blau.

Die Jahres-Nutzungsdauer des Kollektors läßt sich also wesentlich erweitern, und damit die Abschreibungszeit reduzieren, wenn im Winter auch die diffuse eingestrahelte niedrigere Temperatur (< erf. Vorlauftemperatur) genutzt werden kann. Dazu ist die Integration einer Wärmepumpe erforderlich. Dieses System ist völlig neu und wurde nur rechnerisch dimensioniert und bisher erst mittels einer kleinen Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung getestet. Die Leistung dieses Gerätes (1,8 kW Wärmeleistung) reichte bisher gerade aus, den Speicher auf 20°C O.K. abzukühlen.

Es sollte im Rahmen des Projektes eine Heiz-Wärmepumpe eingebaut, welche auf 6 - 8 kW Heizleistung je nach Speichertemperatur bemessen ist (eine größere Leistung ist aus lufttechnischen Gründen nicht möglich). Dieses Gerät sollte mit Niedriglast-Strom betrieben werden und soll den Tagesbedarf an Wärmeenergie im Jahresmittel zu praktisch 100 % abdecken. Ein allfälliger Restbedarf bei Extremtemperaturen soll weiterhin durch einen Kachelofen beigesteuert werden.

Eine handelsübliche Luft/Luftwärmepumpe ist aufgrund auslegungstechnischer Unterschiede nicht verwendbar. Leider konnte trotz intensiver Recherche kein Fachbetrieb gefunden werden, welcher eine geeignete Luft/Luft Wärmepumpe zu bauen bereit gewesen wäre. Es wurden in 3 Jahren 3 Ausschreibungen gemacht, zuletzt 2006 - ohne Erfolg. Damit ist ein Teil des Energiekonzeptes noch nicht umgesetzt, und es kann die Energie aus dem Speicher nur genutzt werden solange sie über der erforderlichen Vorlauftemperatur des Hypocaust-Systems, also über 30°C, liegt.

Die Wärmepumpe ist jedoch noch nicht aufgegeben, es soll jedenfalls noch 2006 eine Wärmepumpe versuchsweise eingebaut werden. Die Installationen sind bereits großteils vorhanden.

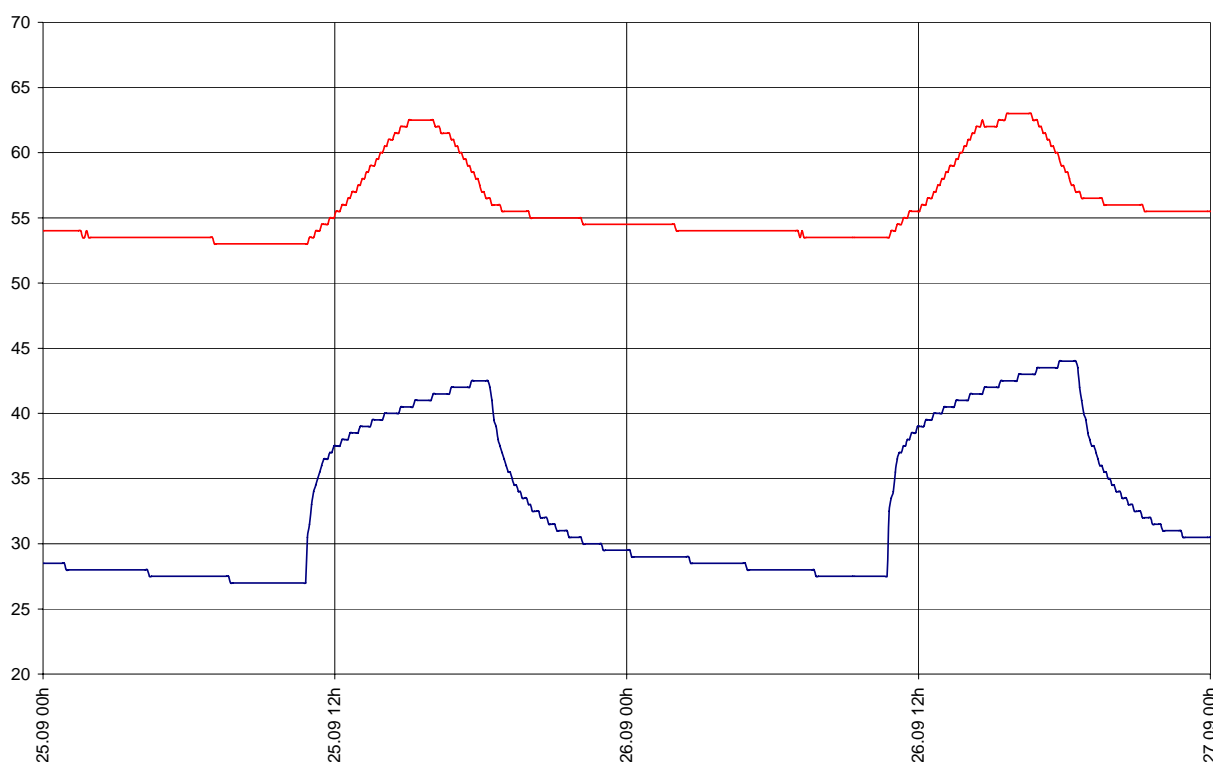


Abbildung 14: Tagesgänge Steinspeicher Zuluft und Abluft. Zuluft rot, Abluft blau

Isolation des Speichers

Der Speicher wurde mit 80 mm Styropor zum Haus hin isoliert. Die Idee dabei war, daß der Keller, als Hobbyraum genutzt, zumindest in der Übergangszeit mitgeheizt werden soll und durch die Warmwasser-Wärmepumpe auf ca. 18 °C gehalten wird. Weiters sollen die umgebenden Erdmassen unterhalb des Hauses mitaufgeheizt werden und bei Tiefentladung des Speichers auf 5 °C durch die Heiz-Wärmepumpe noch temperiert bleiben.

Lessons learned

- Es bestanden und bestehen größte Schwierigkeiten, den Steinspeicher dicht zu bekommen.
- Aufgrund der unkontrollierbaren Querundichtigkeiten zwischen dem HT- und dem NT-Speicher wurde das 2-Speicher-Prinzip des ursprünglichen Konzeptes aufgegeben.
- Auch der Speicher insgesamt lässt sich nicht mit ausreichend Über- oder Unterdruck betreiben. So können z.B. 1000 m³/h Luft mit gerade 200 Pa Gegendruck in den Speicher eingeblasen werden, selbst wenn alle Ablaufklappen verschlossen sind; die Luft entweicht daher fast vollständig und unkontrolliert. Es wurden große Anstrengungen unternommen um die Undichtigkeit aufzuspüren, leider bisher vergeblich. Vor einem sinnvollen Einbau und Betrieb einer Wärmepumpe muss die Undichtigkeit jedoch gefunden werden, ansonsten sind 1) die Temperaturverluste, 2) der Energieverbrauch der Venrdichter zu groß.
- Die beiden Luft-„Drainage“-Rohre sind mit 200 mm DN und Bohrungen von 10mm zu knapp dimensioniert, der Druckverlust lässt eine Entnahme von > 1.200 m³/h nicht zu. Zum Einsatz der handelsüblichen Luft/Luft Wärmepumpen - für Freiaufstellung - wäre jedoch eine Entnahme von 2.000 m³/h erforderlich. Es kann daher kein handelsübliches Produkt für Freiaufstellung verwendet werden, es muss ein

Gerät mit geringerer Luftleistung und höherer Pressung, dafür höherer Quelltemperatur (5 - 30°C), daher auch größerem Wärmetauscher gebaut werden. Dafür wurde trotz größter Bemühungen bisher kein Hersteller gefunden.

- Zur Vermeidung von Kondenswasserbildung und Schimmelbildung wurde aufgrund eines Hinweises eines US-amerikanischen Experten der Speicher durch Aufbringen von Folie **wasserdicht** ausgeführt. Dies war sicherlich ein Fehler, da die Feuchtigkeit des umgebenden Erdreichs durch die Wärmepumpe sogar gewinnbringend genutzt hätte werden können. Die Luft im Speicher ist völlig trocken, es gibt nirgends im System auch nur annähernd ein Kondenswasserproblem.
- Es bereitete große Schwierigkeiten, ein geeignetes, **sauberes Steinmaterial** zu bekommen. Die gelieferten Qualitäten waren entgegen entsprechender Abmachungen schlecht gewaschen, und die Reinigung bedeutete einen erheblichen Mehraufwand.

3.3 Hypocaust Luftsystem

Dimensionierung

Die Dimensionierung der Luftverteilanlage wurde gemeinsam mit dem ausführenden lufttechnischen Betrieb auf Basis der eigenen theoretischen Berechnungen ausgeführt. Die Dimensionierung wurde mit den üblichen Richtwerten der Lüftungstechnik durchgeführt und hat sich damit als teilweise fehlerhaft bzw. zu klein herausgestellt. Die Lage und Führung der Verteilleitungen wurden sehr stark den Gegebenheiten angepasst, so z.B. in einem stillgelegten Kamin eingebaut. Die sich ergebenden Querschnitte, Verengungen und Richtungswechsel führen zu teils starken Druckverlusten. Der Über- bzw. Unterdruck beträgt bis zu 500 Pa absolut.



Abbildung 15: Wohnsituation mit integrierten Komponenten der Luft-Heizanlage: links die Heizwand, an der Rückwand die Luftrohre - 2 links für Heizanlage. 1 rechts für Speicherbefüllung

Energieverteilung

Die Heiz-Energie wird an das Haus über

- a) Luftkanäle im Boden (Vorlauf 30° C)
 - b) Vorgehängte Heizwände aus Alu-Wellblech (Vorlauf max. 45°C)
 - c) direkte Strahlung des Wärmetauscher-Holzofens
- abgegeben.

Das System konnte sich aufgrund der noch fehlenden Wärmequelle (Wärmepumpe) im Echtbetrieb bisher nur in der Übergangszeit bewähren.



Abbildung 16: Heizwände des Hypocaust-System in den Schlafräumen

Es wurde jedoch der Holzofen mittels eines Wärmetauschers an das Hypocaust-System angeschlossen und damit wurden entsprechende Vorlauftemperaturen erzielt. Die Vorlauftemperaturen sind ausreichend, um das Haus auch bei niedrigen Außentemperaturen auf komfortablem Temperaturniveau zu halten. Die Wärmeabgabe insbesondere der Alu-Wellblechwände ist hoch, die Bodentemperatur, gespeist vom Rücklauf der Heizwände, angenehm.

Lediglich im Bad ist die Wärmeabgabe über den Boden zur Beheizung ungenügend, da die Betondecke eine zu große thermische Trägheit für die abgeschwächte Heiz-Leistung am Ende des Systems hat (Vorlauf Bad 30°C). Hier wird ein zusätzlicher kleiner Verdichter in den Boden eingebaut werden, um die Durchströmung der Heizkanäle im Betonboden zu vergrößern.

Komplexere Berechnungen wurden mit den Optimierungsalgorithmen von MS-Excel durchgeführt. Aufwendigere Simulationen wären zwecklos gewesen, da die baulichen Gegebenheiten (Deckendurchführungen, Wandstärken etc.) sowieso wenig Freiheit bei der Wahl der Durchmesser zuließen.

Eindeutig hat sich erwiesen, daß unter den beengten Raumverhältnissen, mit den verfügbaren Kanalquerschnitten, engen Richtungsänderungen und geringen Vorlauftemperaturen ein rein konvektiv massebewegtes Luft-Heizsystem nicht zu ausreichenden Heizleistungen führen kann.

Im System ist bei Vollast ein **Luftverlust** von etwa 30 % zu verzeichnen. Allerdings gestaltet sich die Diskussion mit dem zuständigen Lufttechnik Unternehmen darüber etwas schwierig. Nach Ansicht des Lufttechnikners wäre dieser Verlust normal bei den gegebenen Pressungen, und hätte die Anlage bezüglich Dichtheit nach dem Standard für Hochdruckanlagen > 500 Pa gebaut werden müssen. Dies war aus Kostengründen und aufgrund der Energieverluste vermieden worden.

Jedoch ist noch zu hoffen, daß mittels einer genauen Analyse der Druckverteilung im System die Lecks aufgespürt werden können, da vermutlich keine systematischen Undichtheiten vorhanden sind. Die Verluste sind aus heiz-energetischer Sicht nicht so ungünstig wie aus lufttechnischer Sicht, da die warme Luft in die Räumlichkeiten und nicht nach außen befördert wird.

Ein Bedenken bei der Planung der Anlage galt den zu erwartenden **lärmetechnischen Problemen** des Luftsystems. Das ganze System wurde im Bereich der Rohrkanäle bei der Bemessungsluftmenge von 1000 m³/h mit DN250 ausgeführt. Besser wäre eine Ausführung in > DN300 oder noch besser in Rechteckkanälen 200/500mm gewesen, jedoch fehlte dazu der Platz. Problematischer als die gestreckten Abschnitte erwiesen sich lärmetechnisch die Umlenkungen und Verzweigungen, und der eingeeengte Querschnitt im stillgelegten Kamin. Hier sind noch wesentliche Verbesserungen durch größere Volumen im Umlenkungs- Verzweigungsbereich zu erreichen.

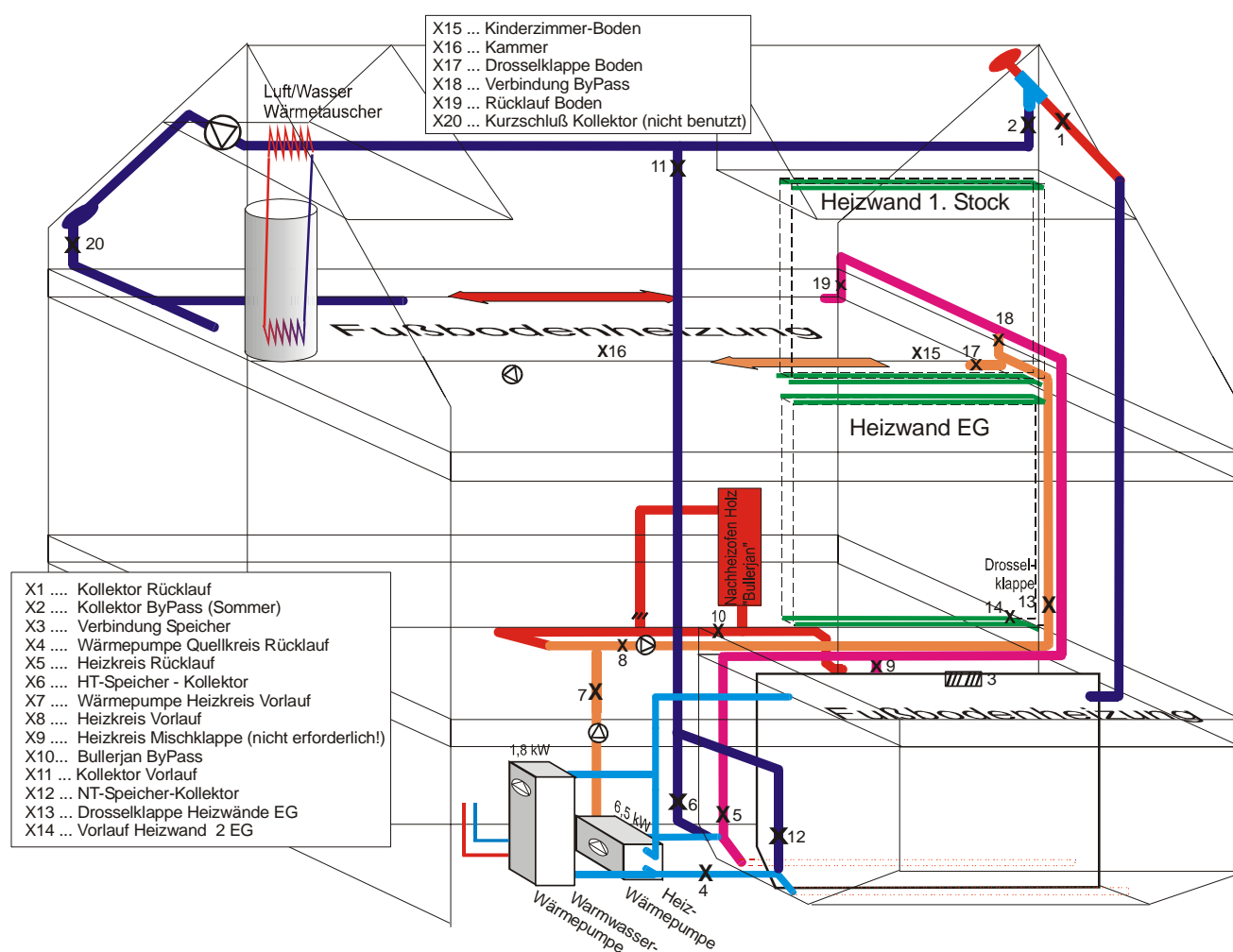


Abbildung 17 Schemaplan des Heiz- und Solarkreislaufs

Die Verdichter sind bei sauberer Ausführung mit ca. 2 m Schalldämpfer im Zu- und Ablauf im Haus nur durch ein leises Summen hörbar.

Im Bereich der Wand-Durchführungen in den Speicher wurden die Durchmesser eindeutig zu klein dimensioniert: So wird z.B. beim Rücklauf der Speicher, welcher durch die 40 cm - Wand aus Kostengründen nur DN200 ausgeführt wurde, ein Druckverlust von 180 Pa gemessen, fast gleich groß, wie der Druckverlust durch die ganze Speicherschüttung ist. Dies entspricht einer erforderlichen zusätzlichen Leistung von ca. 50 W bei 1500 m³/h im Vollastbetrieb. Die Verluste addieren sich auf ca. 500 Pa, wodurch z.Zt. eine Verdichterleistung von etwa 250W + 250W = 500W erforderlich ist.

Lessons Learned

Es wird empfohlen, die Luftverteilanlage sehr gut und von Anfang an in die Bauplanung zu integrieren, gerade wenn es sich um die Adaptierung eines Altbestandes handelt. (Bei einem Neubau können die Kanäle ohnehin von Anfang an problemlos an in die Entwürfe integriert werden.) Die Querschnitte und Richtungsänderungen bei einem Umlaufsystem sollten wenn irgend möglich eher überdimensioniert und so gewählt werden, dass an keinem Punkt ein Über- bzw. Unterdruck von mehr als 200 Pa, und keine Geschwindigkeiten von > 3m/s resultieren. Damit können Probleme mit Energieverbrauch, Undichtigkeit, und Lärm schon im Ansatz verhindert werden.

Die gegenständliche Anlage soll in diesem Sinne optimiert werden, v.a. allem durch Einbau eines großzügig dimensionierten zusätzlichen Kollektor-Volaufkanals.

Warmwasserbereitung und Wohnraumentlüftung

Ab April bis September wird das Warmwasser direkt in einem Wärmetauscher erzeugt, welcher im Speicher-Bypass (Abbildung 18) hängt und in Abbildung 19 ersichtlich ist. Damit wird das Warmwasser von April bis September fast zu 100 % abgedeckt.



Abbildung 18: By-Pass zur Luftführung im Sommer: links frei im Giebel von unten, rechts in der Dachkammer





Abbildung 19: Wärmetauscher zur Warmwassererzeugung im Sommer

Im Keller ist weiters eine Luft-Warmwasser-Wärmepumpe untergebracht. Diese übernimmt die Warmwasserbereitung, sobald die Ladung des Speichers beginnt und damit die direkte Erwärmung ausfällt. Grundlage beim Design der Regelstrategie war, dem Kollektor immer die höchstmögliche Leistung zu entnehmen, d.h., die größtmögliche Differenz zwischen Kollektor - Vor- und Rücklauf anzustreben, wobei der Steinspeicher mit einem Handikap von 20 % für die Speicherverluste aufgrund der lange verzögerten Entnahme versehen wurde. Es ergibt sich, daß die Ladung des Steinspeichers praktisch immer vorrangig ist, da er eine wesentlich größere Wärmekapazität und damit niedrigere Rücklauftemperatur hat als der Warmwasserspeicher.

Die Warmwasser-Wärmepumpe nutzt v.a. die Abwärme des Speichers zum Keller hin, womit eine noch weitergehende Nutzung der solar erzeugten Energie gewährleistet ist. Trotzdem kann der Keller als Hobbyraum genutzt werden. Die echten Verluste des Speichers sind damit reduziert auf die Wärmeableitung in das gartenseitig anliegende Erdreich.

Im Sommer hat sich die Anlage weiters sehr gut zur Wohnraumkühlung bewährt. Das Dachgeschoss ist durch die großflächigen Lichtbänder naturgemäß von starker Hitzeinstrahlung bedroht, und es war ursprünglich auch unerträglich heiß. Es wurde nun eine ByPass-Klappe installiert welche gemeinsam mit der Überhitze-Klappe auf dem Dachkollektor schaltet. Wenn das Dach zu heiß wird, öffnen beide Klappen und der Warmwasser-By-Pass wird geschlossen. Die warme Luft wird aus dem Dachgeschoss gesaugt, streicht kühlend über die Dachfläche, und wird über die Überhitze-Klappe abgegeben. Frische Luft wird aus dem Keller im Hausinneren nachgeliefert, welche über den kühlen Steinspeicher nachgeführt werden kann.



Abbildung 20: Klappe zur Absaugung der warmen Luft aus dem Hausinneren - zur Gebäudekühlung.

3.4 Softwareentwicklung

Die Software zur Überwachung und Regelung des Systems wurde entwickelt und steht zur Verfügung. Sie wurde auf Basis der Sprache LabView von National Instruments programmiert und repräsentiert den neuesten Stand der Technik.

Die Module sind:

1. Datenerfassung
2. Datenvisualisierung
3. Dateneingabe
4. Datenspeicherung
5. Regelalgorithmen
6. Steuerung und Regelung der Ausgänge

Die Software ist einfach zu bedienen und benutzerfreundlich; es können damit Luft-Solaranlagen bedient und geregelt werden, die Möglichkeiten zur Adaptierung an andere Anlagen sind sehr umfangreich.

Bis heute wurde die Anlage zwar nur in sehr geringem Umfang genutzt (Regelung der Warmwasserbereitung), jedoch wird mit dem Einbau der Heiz-Wärmepumpe die Regelung komplexer werden. Erst ab der ersten Heizsaison nach Einbau der Heizwärmepumpe wird die Datenaufzeichnung sinnvoll sein.

3.5 Einbau Datenerfassung und Sensoren

Umfaßt den Einbau der zur Regelung und wissenschaftlichen Dokumentation erforderlichen Sensoren (Kollektordach, Hypocaustsystem, Steinspeicher) und das Datenübertragungs-, -erfassung und -verarbeitungssystem. Alle notwendigen Sensoren (10), Aktuatoren (20 großteils computergesteuerte motorbetriebene Klappen zur Steuerung aller denkbaren Varianten), Leitungen und zusätzlichen Einrichtungen wurden eingebaut. Sämtliche regeltechnischen Einrichtungen funktionieren ordnungsgemäß und zuverlässig. Die Datenerfassung und Visualisierung wird auf einem PC über Schnittstellenkarten mittels LabView organisiert.

Die Datenerfassungsanlage kam nie zum eigentlichen Einsatz. Sie wird zwar verwendet, um einfache Steuerungsaufgaben zu übernehmen. Die Datendokumentation macht jedoch bis jetzt keinen Sinn da die Anlage nicht in einem sinnvollen Betriebszustand lauffähig ist. Erst nach Renovierung des Solardaches und Installation der Wärmepumpe wird die Dokumentation der Messdaten sinnvoll sein.

4 Weitere Vorgangsweise

Einige Punkte des Offertes (Datenerfassung Warmwasser, Datenerfassung Heizperiode, Datenauswertung) konnten bisher aus obengenannten Gründen nur teilweise behandelt werden. Eine Interpretation und endgültige Bewertung des Forschungsvorhabens wird erst nach Vorliegen dieser Daten möglich sein. Es konnten jedoch für sämtliche Anlagenkomponenten praxistaugliche Erfahrungen gewonnen werden, und nicht zuletzt ist die Anlage jetzt bereits seit 10 Jahren in Betrieb und hat sich in den funktionierenden Teilbereichen bewährt. Erst nach Reparatur und Fertigstellung der Anlage werden allerdings gesamthafte Aussagen über die Effizienz der Anlage und Anlagenteile möglich sein. Leider ist aufgrund der finanziellen Belastung sowie der Unmöglichkeit, entsprechend geeignete Handwerker zu finden, momentan keine eindeutige Aussage zu machen, wann dies der Fall sein wird. Jedenfalls wird das Langzeit-Projekt weiterhin intensiv bearbeitet und soll zu einem sauberen Abschluss gebracht werden.