



Bundesamt für Energie

3003 Bern

JAHRESBERICHT 2000

Über die Arbeiten gemäss Auftrag:

Titel des Projekts: Messprojekt "Mehrfamilien-Passivhaus mit solarem Luftsystem"

Projekt-Nr. 36726; Verfügung Nr. 76523

Zusammenfassung:

Die Datenerfassung konnte direkt nach Fertigstellung des Gebäudes und Vorliegen der Verfügung des BFE im März 2000 aufgenommen werden. Daher liegen aus der Übergangszeit und der Sommerperiode erste Resultate vor, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Eigentümer erst im April/Mai nach und nach einzogen, und dass die Datenerfassung laufend verfeinert und ausgebaut wurde.

Bis jetzt hat die Anlage die Betriebsoptimierungsphase (mit guten Resultaten) überstanden. Vor allem die aufwendige Optimierung der Steuerungsprogrammierung war ein Thema. Die Steuerung, welche auch noch den grossen Teil der Daten für das Messprojekt liefert, ist für diesen Prototyp sinnvoll. In zukünftigen Objekten könnte man für die vier (unabhängigen) Funktionsgruppen je eine einfache, kostengünstige ΔT -Steuerung einsetzen. Es ist Aufgabe des laufenden Messprojektes die Abhängigkeiten der Parameter darzustellen und den Gesamtwirkungsgrad der Anlage im Winter 2000/2001 zu dokumentieren.

Die Wärmenutzungskaskade des Solaren Luftsystems (Warmwasser – Hypokauste - Lüftung) funktioniert gut und energetisch wie exergetisch optimal, wobei bei einer Gesamtleistung der Solarfassade von 20KW (gemessen) rund 10 kW für die Warmwasserbereitung "ausgekoppelt" wird.. Die solare Warmwasserdeckung durch die konvektive Fassade ist im Sommer bei Schönwetterperioden 100% und entspricht somit der Planung.

Der Erdregister - Wärmetauscher (Aussen-/Fortluft) trägt 20% zur Gesamtleistung der WRG (80%) bei und damit deutlich mehr als ein reines Zuluftregister.

Dauer des Projekts: März 2000 bis November 2001

Beitragsempfänger: amena ag

Berichterstatter: Andreas Gütermann

Adresse: Tösstalstrasse 12, 8400 Winterthur

Telefon: 052/214'14'41

Email: amena.ag@energienetz.ch

1. Einleitung



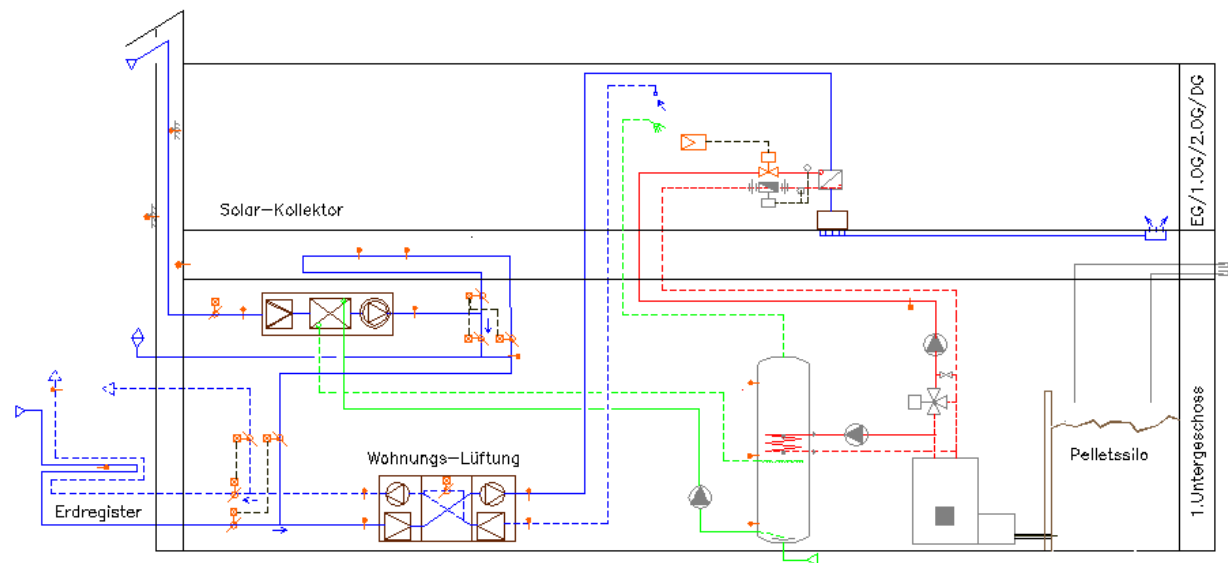
Dieser Neubau eines MFH mit 6 Wohnungen wurde nach den neuesten Erkenntnissen geplant mit dem Ziel, komfortable und preiswerte Eigentumswohnungen mit einem minimalen Restheizenergiebedarf (Passivhausstandard) zu erstellen.

- Massive Tragkonstruktion mit vorgefertigten Aussenwänden in Holz-Modul-Bauweise
- Überdurchschnittliche wärmegeklämmt (30-50 cm, Verglasung: 0,5 W/m²K)
- Überdurchschnittlich wärmebrückenarme Gebäudehülle
- Bedarfsgerechte Lüftung mit Wärmerückgewinnung und zusätzlichem **Aussenluft-Fortluft Erdregisterwärmetauscher**
- **Restwärmebedarfzuführung** (Holz-Pellets-Kessel) **direkt mit der Zuluft**, wobei die Wärme vor allem **massegebunden** abgegeben wird (tiefere Ausblastemperaturen)
- **Solares Aussenluftsystem** an der Südfassade optisch und konstruktiv voll integriert
- Die Lüftungsanlage ist das dominierende Haustechniksystem in das alle anderen Systeme (Solarfassade/Erdregister/**Warmwassererzeugung**/Zusatzheizung) eingebunden sind.

Ziel: Mittels Messungen soll belegt werden ob die Realität den Planungswerten entspricht:

- Energiebedarf und Temperaturverhalten des Objekts und seiner Subsysteme.
- Komfortbedingungen und Luftqualität (Stichprobenanalyse)

Daraus sollen Erkenntnisse über das Systemverhalten und dessen Optimierung / Vereinfachung abgeleitet werden sowie Planungshinweise für die Praxis erarbeitet werden.



Figur 1: Prinzipschema

2. Projektziele 2000

- Steuerung des in die Lüftung integrierten Solarsystems optimieren; dieses liefert auch den Hauptteil der Messdaten.
- Datalogger für weitere Messdaten (z.B. Solarstrahlung) installieren.
- Wärmezählerauslesung (elektronisch) sicherstellen.
- Sommerbetrieb ausmessen.
- Winterbetrieb und dessen spezifischen Messungen vorbereiten.

3. Geleistete Arbeiten und erste Resultate

Die Arbeiten richteten sich nach den Projektzielen, welche alle erreicht werden konnten.

Die Datenerfassung konnte direkt nach Fertigstellung des Gebäudes im März 2000 aufgenommen werden. Daher liegen aus der Übergangszeit und der Sommerperiode erste Resultate vor, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Eigentümer erst im April/Mai nach und nach einzogen, und dass die Datenerfassung laufend verfeinert und ausgebaut wurde.

Erschwerend wirkten sich einige "Kinderkrankheiten" des Pellets-Kessels bzw. der Pellets-Aus- und Eintragung aus. Es kam zu mehreren Kesselabschaltungen infolge mechanischer Probleme des Austragungsmechanismus. Dieser wird momentan total erneuert. Obwohl mit dem Messprojekt und dem Funktionieren des solaren Luftsystems nicht in direktem Zusammenhang, sorgt dies doch für so viel Unruhe das die komplette Einrichtung der Messung erst Ende November 2000 abgeschlossen werden kann. Das ist nicht weiter von Bedeutung da die wenigen fehlenden Messpunkte vor allem in der kalten Jahreszeit interessanten Daten liefern.

Im folgenden sind die ersten Resultate zusammenfassend dargestellt.

Winter

Gleich nach Inbetriebnahme wurden erste Datenauswertungen vorgenommen. Das Gebäude war noch teilweise offen und befand sich im Endausbau. Der WW-Speicher wurde nur gelegentlich (Reinigungsarbeiten) nacherwärmt. Aus der Graphik (22.2., kaltes Winterwetter) ist klar ersichtlich, dass die Wärmeabgabe an das Warmwasser, den Speicherboden (Hypokauste) und die Lüftung funktioniert. Mit der Fortluft der WRG (welche während des Kollektorbetriebes etwa jener der Rückluft entspricht) lässt sich die Temperatur des Erdregisterwärmetauschers ebenfalls deutlich anheben. Die Temperatur "WW-Speicher mitte" reagiert sofort auf die Einspeisung des im Wärmetauscher erwärmten Wassers (Ventilatorstufe 2). Sobald das etwas höhere Temperaturniveau im oberen Teil erreicht ist, wird auch dieses angehoben. Nach 2 Stunden erreicht das erwärmte Wasser den unteren Speicherbereich und in der Folge steigen die Rücklaufftemperaturen zum Wärmetauscher. (Figur 3)

Übergangszeit

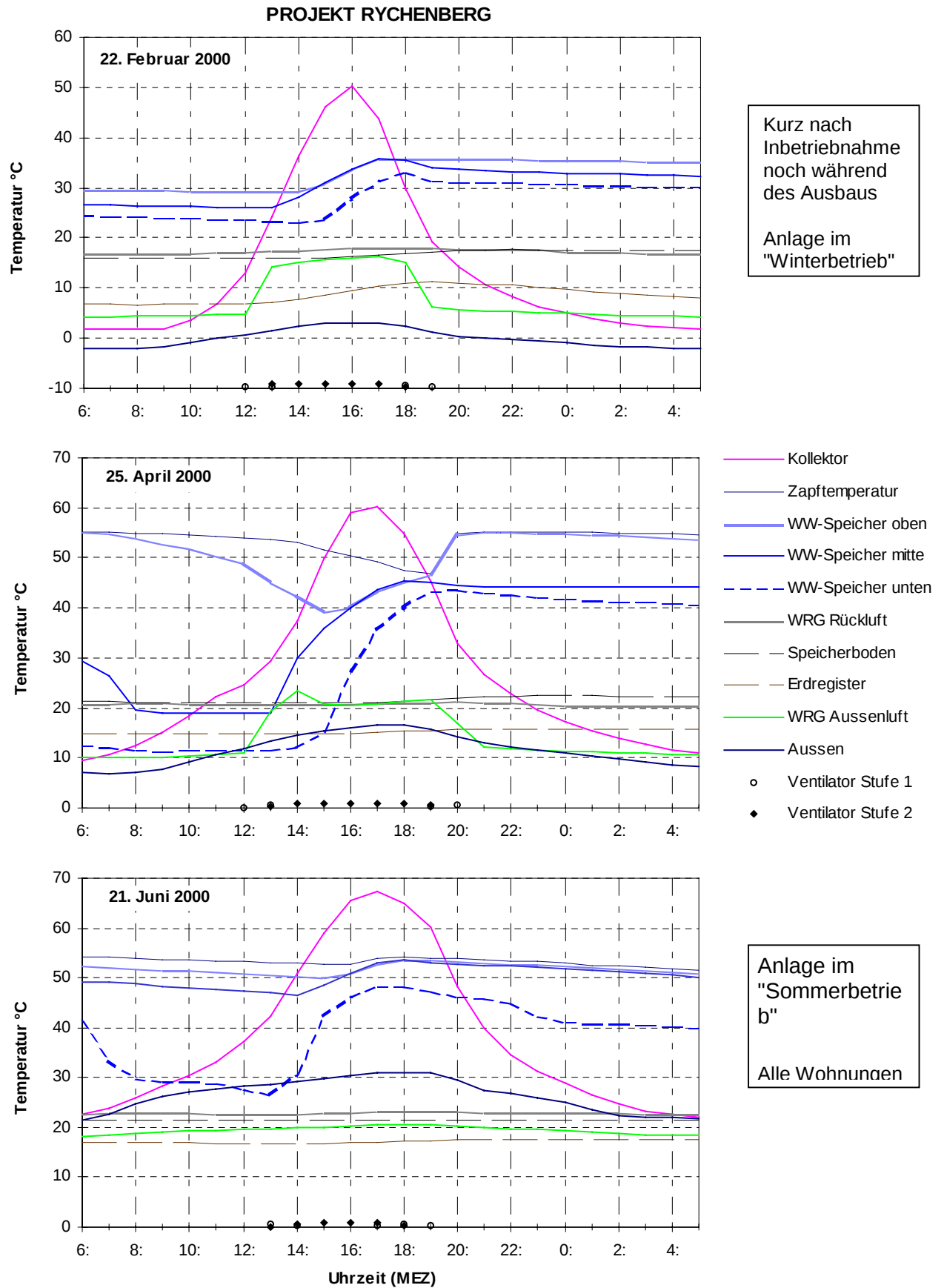
Ende April (25.4), kühles Frühlingswetter (WRG-Winterbetrieb), Pelletsheizung ausgeschaltet. Das Gebäude ist zu 80% bezogen. Das Verhalten ist ähnlich wie im Winter, nur viel ausgeprägter. Der Warmwasserbedarf am Morgen sorgt für tiefe Temperaturen im unteren Bereich des WW-Speichers. Beim Einsetzen des Kollektorbetriebs steigen die Speichertemperaturen deutlich, jedoch nicht hoch genug, daher startet der Pelletskessel um 18:00 automatisch um den oberen Teil des Speichers von 45 auf 55 °C zu heben. Der Warmwasserkomfort (Zapftemperatur) ist gewährleistet und sinkt nur kurzzeitig auf 47°C. Die Wohnungsrückluft beträgt komfortable 21°C und der Speicherboden wird von 21° auf 23°C "geladen".

Sommer

Am 21.6. wird es (wie bei den vorhergehenden 2 Tagen) über 30°C warm. Die Anlage befindet sich im Sommer-Kühl-Betrieb d.h. die Lüftungs-WRG wird umgangen (Bypass) und die Rückluft wird direkt nach Aussen abgeführt. Die Aussenluft wird durch das Erdregister vorgekühlt. Zusammen mit der grosszügigen Speichermasse und den nur mässig grossen, beweglich beschatteten Fenstern bewirkt dies Temperaturen (23°C), die von den Bewohnern als sehr angenehm geschildert werden. Ausreichende Beheizung im Winter ist man gewohnt, angenehm kühle Wohnräume bei Sommerhitze scheinbar (noch) nicht. Die solare Warmwasserbereitung arbeitet ohne Nacherwärmung im Volldeckungsbetrieb.

Warmwasser

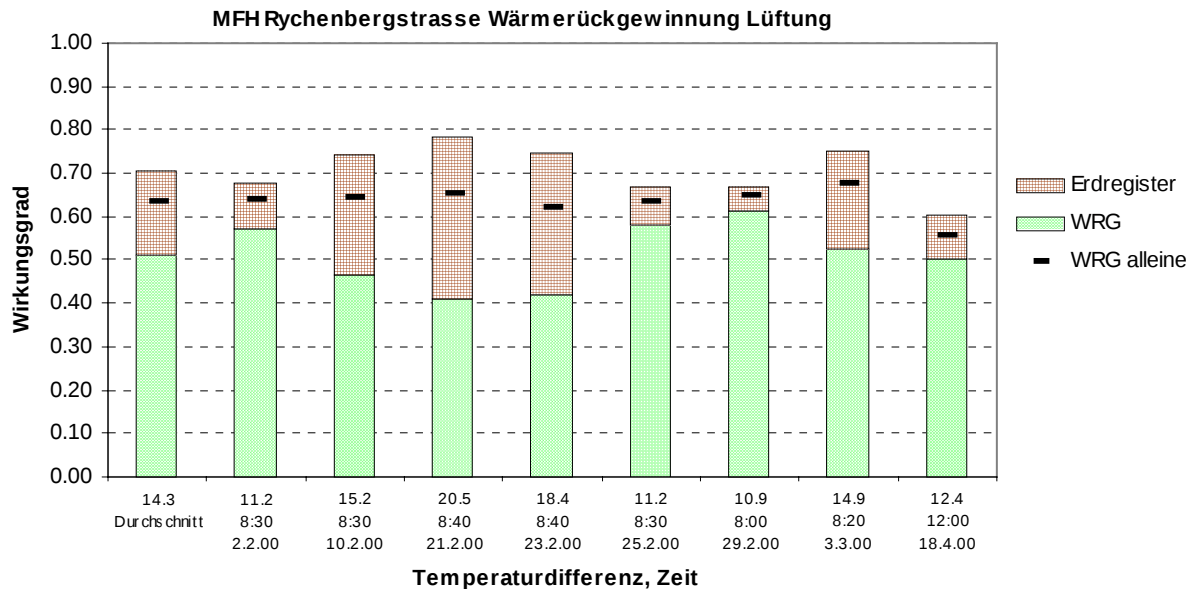
Auch hier galt es die Versorgung auf Komfortniveau sicherzustellen sowie den Solaren- und den Nachheizbetrieb zu optimieren. Die Warmwasserzirkulation erfolgt dank der Anordnung des Speichers und der Zapfstellen ohne Pumpe durch Thermozirkulation. Die Messung sowie die Rückmeldungen der Bewohner bestätigen deren einwandfreie Funktion. Der Nachheizbetrieb durch den Pelletsofen wird nur am Abend und am Morgen je drei Stunden freigegeben und nur dann wenn die Temperatur auf 2/3 Speicherhöhe unter 45°C sinkt (Zapftemperatur ca. 50°C). Die Aufheizung der oberen Speicherhälfte erfolgt dann auf 55°C. Durch dieses Nachheizregime ist eine einwandfreie Schichtung des Solarboilers und ein optimaler Solarbetrieb sichergestellt. Der offene solare Ladekreis (Trinkwasser) funktioniert (ohne zusätzlichen Wärmetauscher und Expansion) sehr effektiv mit dem kleinen Nachteil, dass trotz ausgefeilter "Einströmschikanen" die Schichtung während des Ladevorgangs gestört wird, was im oberen Drittel des Speichers bei Ladebeginn zu kurzzeitigen Temperatureinbrüchen führt, ohne aber die Zapftemperatur (ganz oben) gross zu beeinflussen.



Figur 2: Verhalten der Anlage an drei schönen Tagen mit unterschiedlichen Aussentemperaturen (Die Symbollegende gilt für alle Diagramme).

Luft-Luft-Wärmerückgewinnung

Die Rückwärmzahl des Kreuzstromwärmetauschers und des Erdregisterwärmetauschers konnte stichprobenweise bestimmt werden. Durch die relativ niedere Luftwechselzahl (0.44) ist nicht nur die Leistungsaufnahme der (rückwärts gekrümmten) Zu- und Abluftventilatoren minimal, die sich (zwangsläufig) ergebene "Überdimensionierung" des Lüftungsmonoblocks führt auch zu sehr guten Wirkungsgraden (63%) des Kreuzstromwärmetauschers.



Figur 3: Stichprobenmessungen der Wärmerückgewinnung.
Temperaturdifferenz = (Rückluft - Aussentemperatur)

Daraus lässt sich folgern, dass der Erdregisterwärmetauscher zwar eine Wirkung hat, diese aber, ausser bei kalten Aussentemperaturen, eher klein ist verglichen mit dem (theoretisch) reinen WRG-Betrieb. Erdregister und Kreuzstromwärmetauscher ergänzen sich, konkurrieren sich aber auch (ein Prinzip, dass für alle in Serie geschalteten Wärmetauscher gilt). Der Auslegungswirkungsgrad der Gesamtanlage (80% bei 20K) konnte erreicht werden. Hier sind im kommenden Winter Detailmessungen vorgesehen, die dem potentiellen Wirkungsgrad des Erdregisterwärmetauschers näher auf den Grund gehen sollen.

Während des Solarbetriebes steht der Lüftung nach der Wärmenutzungskaskade (Warmwasser und Hypokauste) temperierte Aussenluft (20° - 25°C) zur Verfügung. Der Wärmetauscher ist in dieser Zeit ohne Wirkung und die Fortluft hat etwa das gleiche Temperaturniveau. Da die Mehrkosten der parallelen Rückführung der Fortluft via Erdregister sehr bescheiden sind lohnt sich diese, falls eine Solare Luftherwärmung eingebunden ist, da sonst die warme Fortluft während des Solarbetriebes nutzlos abgeführt würde. Anders sieht es aus, falls die Lüftungs-WRG vollständig unabhängig von einer allfällig vorhandenen Solaranlage ist. Dort gilt: Je besser der WRG-Wärmetauscher (Gegenstrom), desto tiefer das Temperaturniveau der Fortluft, desto weniger lukrativ ist eine Restwärmenutzung, sei es in einem nachgeschalteten (Erdregister-) Wärmetauscher oder via Wärmepumpe. Das Erdregister ist dann ein reiner Zuluft-Frostschutz bzw. ermöglicht eine Vorkühlung im Sommer. Damit ist auch klar das Anlagen, welche sinnvollerweise einen möglichst hohen Luft-Luft Wärmeaustausch bei möglichst kleinem Gesamtluftumsatz anstreben keine Wärme mehr für irgend eine andere "Nachheizung" übrig haben. Die Physik ist da stur: Wärme kann nur einmal umgesetzt werden. Bei Missachtung droht eine Strafe in Form von schlechten WP-Wirkungsgraden, Komforteinbussen und elektrischen Direkt-Nachheizungen.

Luft-Wasser-Wärmetauscher ("Luftkühler")

Dies ist die zentrale Komponente des solaren Luftkreislaufes, welche das ganze Jahr hindurch einen möglichst hohen Ertrag, auf einem möglichst hohen (Warmwasser-) Temperaturniveau bei minimalem Druckverlust (Ventilator und Pumpenenergie) liefern sollte. Ein Optimierungsproblem. Zum Einsatz gelangt ein Wärmetauscher mit 30 trinkwasserführenden Rohrreihen (zu 16 Gegenstromkreisen verschaltet) und 5 mm WT-Lamellenabstand.

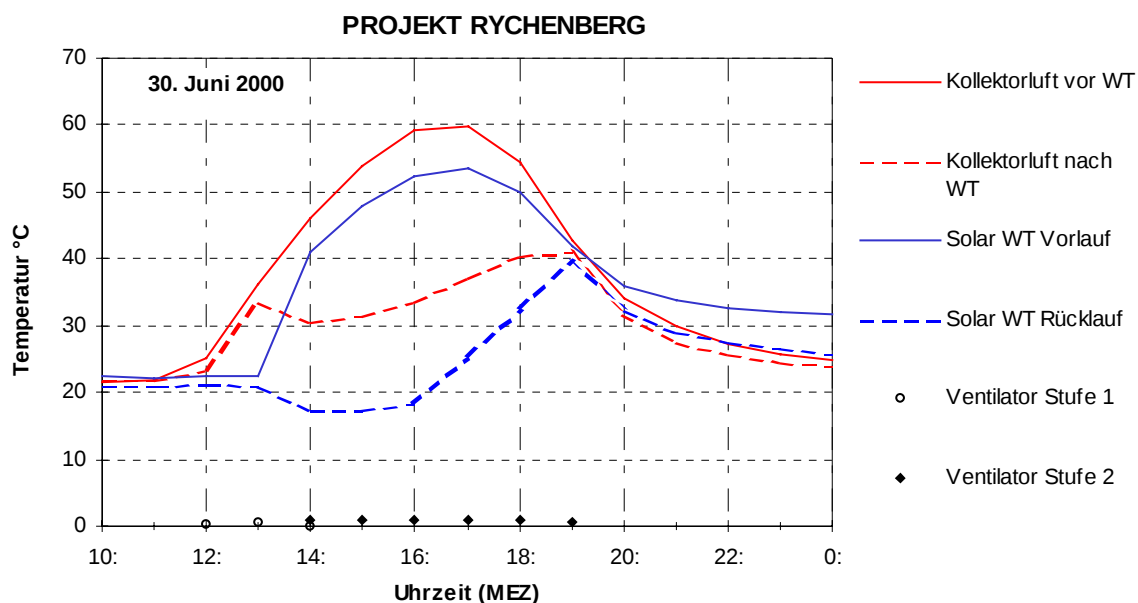
Dimension (Anströmfläche; Gegenstromtiefe): 700x450; 700 mm

Druckverlust luftseitig bei Auslegung (siehe unten) 133 Pa

Druckverlust wasserseitig bei Auslegung (siehe unten) 3.1 kPa

	Auslegung	30.06.00 16:00
Leistung (kW)	12	11
Luftvolumen (m ³ /h)	1500	1695
Luft Ein (°C)	60	59.2
Luft Aus (°C)	31.1	33.6
ΔT_{Luft} (K)	28.9	25.6
Wasservolumen (lt/h)	300	260
Wasser Ein (°C)	20	18.1
Wasser Aus (°C)	55	52.3
ΔT_{Wasser} (K)	35	34.2

Tabelle mit Vergleich der Wärme-tauscherauslegung (Soll) und den auf der Anlage gemessene Werte (Ist).



Figur4: Temperaturverhältnisse am Luft-Wasser Wärmetauscher an einem mässig schönen, 26°C warmen Sommertag zur Kontrolle der Auslegedaten.

4. Nationale und internationale Zusammenarbeit

Über das Projekt findet ein reger Erfahrungsaustausch mit nationalen Fachleuten die auf dem Gebiet die "Nase vorne haben" statt.

International ist das Projekt eingebettet in IEA Task 28 (Sustainable Solar Housing) und dort in Subtask D (Monitoring and Evaluation) vertreten.

5. Umsetzung

Beitrag und Präsentation am Statusseminar 2000 "Energie- und Umweltforschung im Bauwesen"

Es ist vorgesehen (Anmeldung) das Projekt am Symposium "Thermische Solarenergie" (Otti-Kolleg) in Regensburg, Deutschland zu präsentieren.

Das Objekt gewann den Solarpreis 2000 als "Bestintegrierte Anlage"

6. Perspektiven

Bis jetzt hat die Anlage die Betriebsoptimierungsphase (mit guten Resultaten) überstanden. Vor allem die aufwendige Optimierung der Steuerungsprogrammierung war ein Thema. Die Steuerung, welche auch noch den grossen Teil der Daten für das Messprojekt liefert, ist für diesen Prototyp sinnvoll. In zukünftigen Objekten könnte man für die vier (unabhängigen) Funktionsgruppen je eine einfache ΔT -Steuerung einsetzen. Es ist Aufgabe des laufenden Messprojektes die Abhängigkeiten der Parameter darzustellen und den Gesamtwirkungsgrad der Anlage im Winter 2000/2001 zu dokumentieren.

Die Funktionieren der Anlage ist bereits erwiesen. Abzuklären bleibt die Effizienz (energetisch und kostenmässig) wozu der weitere Verlauf des Messprojekts dient.

Neue Erkenntnisse ergaben sich auch für die Umschaltung der Lüftungs.- WRG auf Kühlbetrieb, welche im Mehrfamilienhaussektor bei einer zentralen Anlage zwingend automatisch erfolgen muss. Der gewählte einfache Algorithmus mittels der gewichteten Tagesmittel (Aussenluft und Strahlungstemperatur) der letzten 7 Tage hat sich hervorragend bewährt. Diese "Kühlgrenze" berücksichtigt das sehr ausgeprägte klimatische "Gedächtnis" eines gut isolierten, massiven Gebäudes. Das gleiche Prinzip liesse sich auch auf die Heizgrenze der Zusatzheizung anwenden, da die "üblich" Heizgrenze für solche Gebäude absolut unzureichend und damit falsch ist.

7. Publikationen

Das Projekt wurde in verschiedenen Fachzeitschriften und in der Tagespresse bereits ausführlich interessierten Fachleuten sowie einem breiten Publikum präsentiert (Oerlikon Journalisten).

Publikationen erfolgten ebenfalls im Rahmen der Solarpreisverleihung und der Seminarbeiträge.