

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

Schlussbericht November 2002

FIIFA

F*assadenkollektor zur *I*ntegration in *I*solierFA***ssaden**

ausgearbeitet durch

Andres Weber
KORONA Energie GmbH
Bergstrasse 108
8708 Männedorf

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

1 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt ein komplettes System für die Nutzung thermischer Sonnenenergie mit Fassaden-Kollektoren, welche zu wärmegeprägten, hinterlüfteten Fassaden kompatibel sind.

Ursprünglich gingen die Projektverfasser davon aus, ausschliesslich den Kollektor zu konstruieren, der von Fassadenbauunternehmen als Ergänzung ihres Leistungsspektrums verkauft und montiert werden kann. Die Schnittstelle am Bau ist aus Gründen der Gewährleistung vorgegeben; der Fassadenbauer muss die Verrohrung des Kollektors auch beherrschen, damit beim Übergang von der Fassade zu den Haustechnikgewerken eine klare Trennung möglich ist.

Die Arbeiten am Projekt haben sich einige Jahre hingezogen. Im Verlaufe dieser Zeit hat sich herauskristallisiert, dass ein solches System idealerweise als Drainback-System in Low-Flow-Technik arbeiten sollte. Damit war klar, dass der Kollektor als Teil eines Gesamtsystems entwickelt wurde und die Anforderungen an dieses System auch definiert werden mussten.

Der konkreten Produkteentwicklung ging eine Studie an 100 fassadensanierten Mehrfamilienhäusern voraus, um die Umsetzbarkeit bezüglich solarem Nutzen zu überprüfen.

An einem Musterobjekt konnte bereits in einem frühen Stadium ein Kollektor realisiert werden. Es wurden konkrete Erfahrungen gesammelt mit einem Montageteam der Fassadenbaufirma, die in die Verbesserung der Konstruktion einfließen.

Ein Pflichtenheft macht die Vorgaben für ein einfach montierbares und dadurch effizientes System, welches auf ein wichtiges Marktsegment ausgerichtet ist: Die Fassadensanierung von Bauten mit hohem Warmwasserbedarf. Dieses System soll dem Gewerbe der Fassadenbauer ein neues Marktsegment öffnen; als Ergänzung zu ihrem Kerngeschäft. Für eine Abschätzung des Marktpotentials werden aus einer Studie vom Frühjahr 2002 Grundlagen angegeben.

Die Konstruktion des Kollektors ist ausführlich beschrieben und mit Schnittzeichnungen dokumentiert. Eine Kalkulation der Herstellungskosten dient als Grundlage für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Die Resultate zeigen, dass vor allem bei hinterlüfteten Fassaden mit teuren Abdeckungsmaterialien die Einbindung eines Kollektors wirtschaftlich gerechnet werden kann.

Der FIIFA-Kollektor zeichnet sich dadurch aus, dass sein Gehäuse direkt an die Wärmedämmung der Fassade gekoppelt ist. Dadurch wird Material gespart und es entsteht ein energetischer Zusatznutzen, weil die nach hinten abfliessende Wärme der Fassade zugute kommt. Das Potential dieser nutzbaren Wärme wird diskutiert. Der effektive Nutzen könnte mit dynamischen Simulationen ermittelt werden, was nicht im Umfang dieser Arbeit geleistet wurde. Die weiteren marktgängigen Systemkomponenten, welche das System zu einem funktionsfähigen Drainback-System ergänzen, werden beschrieben.

Der nächste Schritt in diesem Projekt wäre der Bau einer oder mehrerer Anlagen mit den vorgegebenen Konstruktionen. Die dafür noch offenen Fragen werden diskutiert.

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

<u>1</u>	<u>Zusammenfassung</u>	<u>3</u>
<u>2</u>	<u>Marktstudie an Mehrfamilienhäusern 1993</u>	<u>5</u>
2.1	Einleitung	5
2.2	Zielsetzung	5
2.3	Bewertung und Resultate	5
<u>3</u>	<u>Das erste Referenzobjekt : FaKo Kreuzstrasse Stäfa</u>	<u>7</u>
3.1	Allgemeiner Objektbeschrieb	8
3.2	Beschrieb des Kollektorsystems	8
3.3	Energiebilanz (Vergleich Messung und Simulation)	8
3.4	Erfahrungsbericht	9
<u>4</u>	<u>Pflichtenheft</u>	<u>11</u>
4.1	Einsatzgebiet, Zielmarkt- und Nutzer	11
4.2	Erscheinungsbild	11
4.3	Wärmetechnische Leistung und Ertrag	11
4.4	Preise	11
4.5	Anschlüsse am Bau, Unterkonstruktionen	12
4.6	Montage	12
4.7	Bauphysik	12
4.8	Hydraulik	12
4.9	Fertigungstechnik, Lagerhaltung, Logistik und Lieferbereitschaft	13
4.10	Herstellung und Vertrieb	13
<u>5</u>	<u>Beschreibung des Systems</u>	<u>14</u>
5.1	Das Gesamtsystem	14
5.2	Der Kollektor	16
5.3	Die weiteren Systemkomponenten	22
<u>6</u>	<u>Energie-Ertragsvergleich zum konventionellen thermischen Kollektor</u>	<u>23</u>
<u>7</u>	<u>Der Markt für Fassadenkollektoren</u>	<u>24</u>
<u>8</u>	<u>Kosten</u>	<u>26</u>
8.1	Kostenvergleich FIIFA – hinterlüftete Fassade - konventionelle Flachkollektoren ...	26
8.2	Kalkulation Herstellungskosten	27
<u>9</u>	<u>Offene Fragen</u>	<u>28</u>
<u>10</u>	<u>Impressum, Referenzverzeichnis</u>	<u>29</u>
<u>11</u>	<u>Anhang :</u>	<u>30</u>
11.1	Konstruktionszeichnungen FIIFA-Modulkollektor	30
11.2	Unterlagen Wohnsiedlung Unterächer Stäfa	35

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

2 Marktstudie an Mehrfamilienhäusern 1993

2.1 Einleitung

1993 erarbeitet das Ingenieurbüro energa [1] eine Marktstudie an 100 Mehrfamilienhäusern, an denen bereits eine Fassadensanierung ausgeführt worden war. Die Objekte wurden anhand der Referenzliste der GADOLA FASSADEN AG [2] zufällig ausgewählt.

2.2 Zielsetzung

Man ging von der Situation aus, dass sich bei wärmetechnischen Fassadensanierungen ein Synergieeffekt für den Einbau von thermischen Sonnenkollektoren in die betroffenen Fassaden ergeben würde. Konkret wurden die Möglichkeiten überprüft, wie viel Kollektorfläche in diesen Objekten zu integrieren sind, um nutzbringende Anwendungen realisieren zu können.

2.3 Bewertung und Resultate

Die 100 Objekte wurden fotografisch und mit Stichwortlisten aufgenommen und im Büro ausgewertet. Die berücksichtigten Kriterien beziehen sich ausschliesslich auf die Möglichkeiten, eine der Hausgrösse angepasste Fläche integrieren zu können :

- Ausrichtung der möglichen Flächen
- Grösse zusammenhängender Flächenabschnitte
- Beschattung, Hindernisse
- Fassadentyp : 1 = Kompaktfassade, Wärmedämmung geklebt und direkt verputzt
 2 = vorgehängte Fassade mit Hinterlüftung
- Anzahl Wohnungen

Es resultierte eine pro Wohnung zu integrierende nutzbare Fläche mit allfälligen Einschränkungen. Um eine übersichtliche grafische Darstellung zu ermöglichen, wurde ein Benotungssystem entworfen mit folgenden Beurteilungen.

Note 1 = optimale Integrierbarkeit ohne Abstriche

Die zur Verfügung stehenden Flächen sind bezüglich Dimensionen und Ausrichtung ideal. Für eine Nutzung ist eine einfach zu integrierende Form gegeben. Normalerweise besteht diese Form aus einem oder mehreren grossflächigen Feldern. Weil keine künstlichen Beschattungen stören, ist eine günstige Flächennutzung gewährleistet.

Note 2 = einzelne Abweichungen vom Idealfall

Technisch wäre ein Kollektor problemlos realisierbar, aufgrund von behindernden Faktoren wird er aber teurer. Folgende verschiedene Kriterien führen zu Abstrichen gegenüber dem Idealfall :

- künstliche Beschattung von Bäumen oder anderen Häusern oder durch Vorbauten
- nicht optimale Ausrichtung hat zur Folge, dass mehr Fläche nötig ist
- Aufteilung des Kollektors in verschiedene Felder, was den Installationsaufwand erhöht

Note 3 = Kummulation einzelner Abweichungen vom Idealfall

Eine Summierung von behindernden Kriterien, wie sie bei Note 2 aufgezählt sind, erschweren die Realisierbarkeit. Sie verlangen genauere Abklärungen für einen seriösen Bauherrenentscheid. Grundsätzlich scheint aber eine Integration immer noch möglich.

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

Note 4 = untauglich für jegliche Integration

Der Versuch einer Integration ist sinnlos, weil eines der folgenden Negativkriterien zu stark wiegt oder weil sich mehrere summieren :

- zu wenig Fläche steht zur Verfügung
- Ausrichtung schlecht
- gut ausgerichtetes Satteldach ist günstiger für eine Integration
- unverrückbare künstliche Beschattung

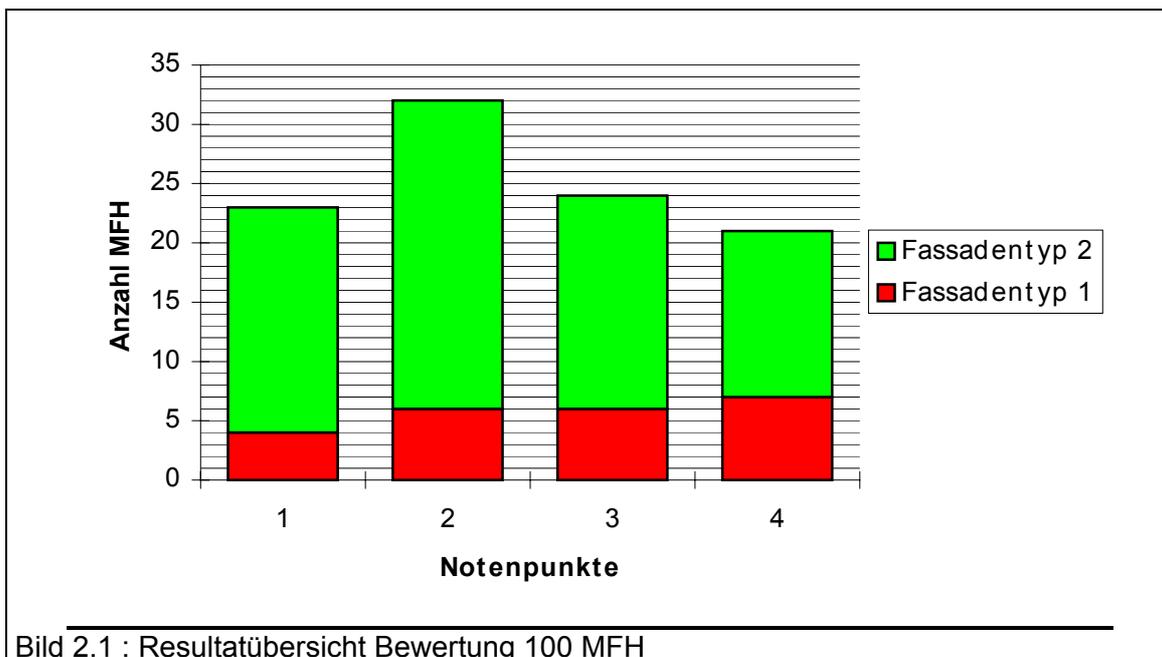


Bild 2.1 : Resultatübersicht Bewertung 100 MFH

Legende zu Bild 2.1:

- Fassadentypen: 1: Kompaktfassade 2: Hinterlüftete Fassade
- Notenpunkt 1: optimale Integrierbarkeit ohne Abstriche
- Notenpunkt 2: einzelne Abweichungen vom Idealfall
- Notenpunkt 3: Kummulation einzelner Abweichungen vom Idealfall
- Notenpunkt 4: untauglich für jegliche Integration

Interpretation

Die grösste Ansammlung von Objekten erhielt eine Note 2. Die Noten 1 und 2 zusammen genommen ergeben 55% der Objekte, an welchen aus technischer Sicht ein Kollektor sinnvoll einzubauen wäre.

Vom Fassadentyp 2 (hinterlüftete Fassade) wurden mehr Objekte für die Untersuchung ausgewählt, weil er ein grösseres Anwendungspotential verspricht. Einerseits sind die Gestaltungsmöglichkeiten grösser, andererseits dürfte die Bereitschaft zu Mehrinvestitionen grösser sein bei den teureren, hinterlüfteten Fassaden.

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

3 Das erste Referenzobjekt : FaKo Kreuzstrasse Stäfa



Abbildungen 3.1 und 3.2: Südansichten: Gesamtansicht und einzelne Häuserzeile

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

3.1 Allgemeiner Objektbescrieb

Die Siedlung im Unterächer in Stäfa wurde ins Programm Energie2000 Öko-Bau aufgenommen. Es existiert ein entsprechendes Objektblatt, welches wichtige Daten dieser Siedlung beschreibt (siehe Kap.11.2).

3.2 Beschrieb des Kollektorsystems

Das Objekt bot sich aufgrund der Lage optimal für einen Fassadenkollektor an, weil die Stirnseiten der beiden Häuserzeilen praktisch gegen Süden ausgerichtet sind und keinerlei beschattende Hindernisse den Weg verstellen. Die davor liegende, abgesenkte Eisenbahnlinie garantiert auch, dass diese Lage nicht verbaut wird. Der Wunsch nach einer gestalterisch guten Lösung brachte die Forderung für Flexibilität bezüglich Flächenausmassen mit sich. Die wenigen Fenster sollten im Kollektorfeld integriert werden. Als besondere Merkmale bezüglich Aesthetik können auch die glatte Oberfläche und der Einsatz von klarem Solarglas bezeichnet werden. Die praktisch durchgehende glatte Oberfläche wurde durch das Weglassen von Dichtungsprofilen realisiert. Durch die schmalen Abstände zwischen den Kollektorelementen eindringendes Wasser wird hinter den Elementen abgeleitet.

Ein wichtiges Ziel des Projekts wurde bei der Konstruktion dieses Kollektors aus terminlichen Gründen nicht realisiert: Die direkte Anbindung des Kollektors an die Wärmedämmung der Fassade, um einerseits Material zu sparen und andererseits die thermische Bilanz der Fassade im Bereich des Kollektors während der Heizsaison zu verbessern. Hydraulisch sind die einzelnen Elemente mit quergestellten mäanderförmig verrohrten Fahnenabsorbem versehen. Die Sammelleitungen laufen links und rechts des Feldes im Raum zwischen der äusseren und der inneren Mauerschale senkrecht bis unter die Decke des Untergeschosses. Die Verrohrung wurde in Kupfer mit wechlöten ausgeführt. Die Abbildung 3.3 auf Seite 10 zeigt das Prinzipschema der Gesamtanlage einer von zwei praktisch symmetrischen Häuserzeilen.

3.3 Energiebilanz (Vergleich Messung und Simulation)

Jedes Kollektorfeld hat eine Absorberfläche von 27 m² und bedient damit eine Zeile mit fünf zusammengebauten Einfamilienhäusern. Der solare Ertrag wird mit einem Wärmezähler bei der Speicherladung gemessen. Der Warmwasserverbrauch liegt bei ca. 35 Liter Warmwasser à 55°C pro Tag und Person. Der Ertrag an den Speicher beträgt 260 kWh/m². Der solare Deckungsgrad für Warmwasser liegt ohne Einbezug der Zirkulation, die nicht ausgewertet wurde, über 55%. Eine Simulation mit POLYSUN 3.0 [9] zeigt bei folgenden Kollektorparametern Übereinstimmung mit den gemessenen Werten: $\eta_0=82\%$, $c_1=4.0\text{W/m}^2\text{K}$, $c_2=0$, $K_{s0}=90\%$. Diese Werte entsprechen einem guten Flachkollektor mit entsprechender Konstruktion. Sie können als realistische Werte angenommen werden. Die Simulation zeigt weiter, dass die gerechneten Leitungsverluste zwischen Kollektor und Speicher mehr als 15% des Kollektorfeldertrages betragen, welcher 310 kWh/m² beträgt.

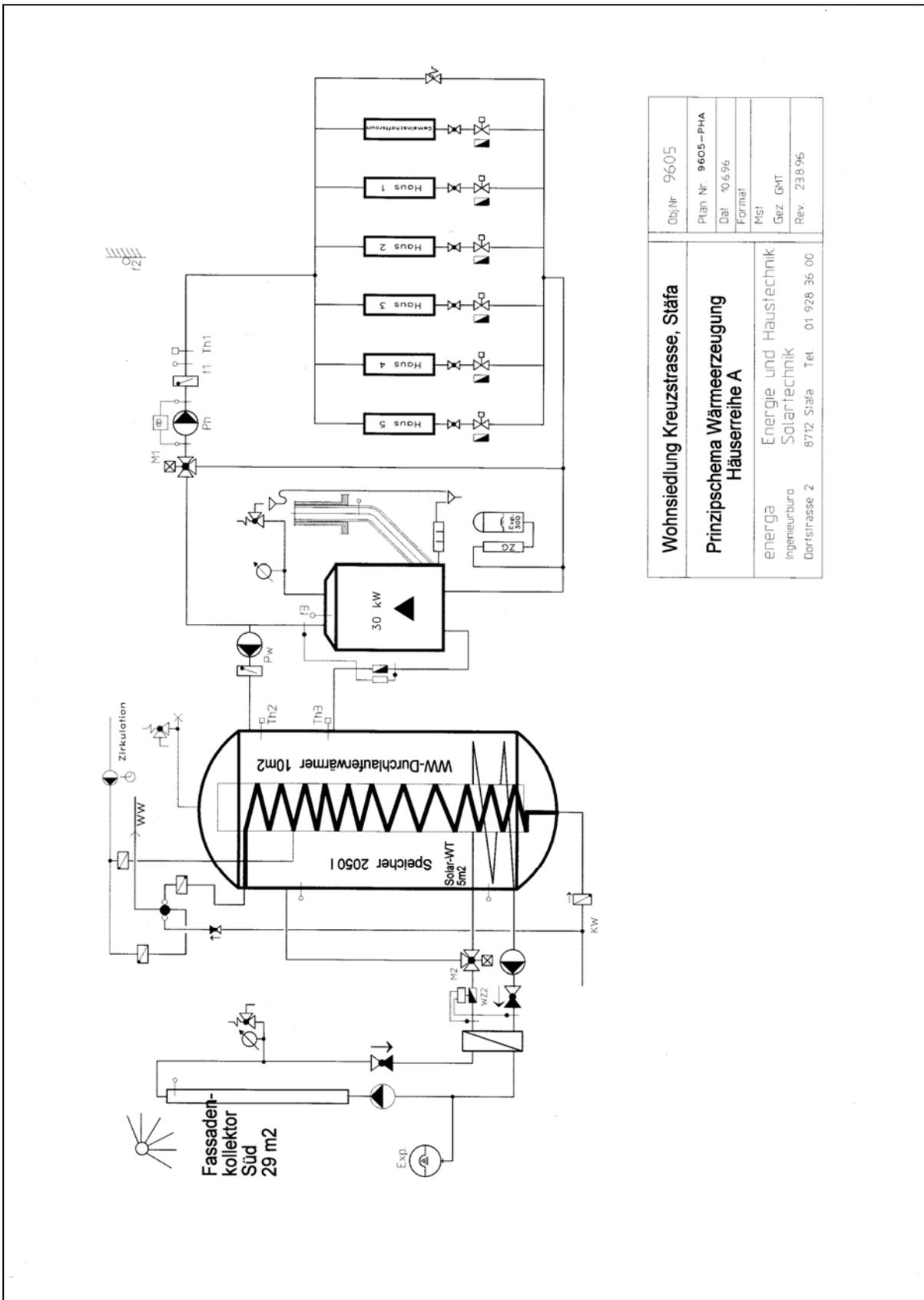
Im Kap. 11.2.1 befindet sich ein Resultatblatt mit Auswertungen, das einer der Bauherren für die Überbauung zusammengestellt hat. Dabei ist zu beachten, dass die Simulation für nur eine Häuserzeile, also nur die Hälfte der gesamten Kollektorfläche dargestellt ist.

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

3.4 Erfahrungsbericht

Aus Sicht des Projektes war das Ziel, den Kollektor von einer Fassadenbaufirma montieren zu lassen. Die dabei gemachten Erfahrungen sollten der Weiterentwicklung dienen. Folgende Punkte wurden festgestellt :

- Module von mehr als 2 m² Fläche konnten dank der leichten Konstruktionsweise gut vom Gerüst aus auf die Höhe gebracht und massgenau versetzt werden.
- Der Aufwand für die Lötverbindungen war viel zu gross. Er wurde nur dank einem guten, interessierten Montageteam einwandfrei bewältigt. Zudem zeigte sich, wie wichtig gute Platzverhältnisse für die hydraulischen Verbindungen sind.
- Das Kollektorfeld sollte vom Fassadenbauer fertig verrohrt und mit der Dichtigkeitsprobe versehen werden. Diese Schnittstelle ist nicht nur wegen der Gewährleistung wichtig, sondern auch, um mögliche Komplizierungen im Bauablauf zu vermeiden.



Wohnsiedlung Kreuzstrasse, Stäfa		Obj.Nr. 9605
Prinzipschema Wärmezeugung Hauserreihe A		Plan Nr. 9605-PHA
		Dat. 10.6.96
		Formst.
		Mst.
		Gez. GMT
		Rev. 23.8.96
energa Ingenieurbüro Dorfstrasse 2	Energie und Haustechnik Solartechnik 8712 Stäfa	Tel. 01 928 36 00

Abbildung 3.3 Prinzipschema Wärmezeugung

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

4 Pflichtenheft

4.1 Einsatzgebiet, Zielmarkt- und Nutzer

Einsatzgebiet

- Solare Wasservorwärmung
- Brauchwasser und Heizungswasser

Ziel-Markt

- Fassadensanierung
- Fassadenneubau

Ziel-Nutzer

- Mehrfamilienhäuser
- Hotels
- Spitäler
- Heime
- Prestigeobjekte

4.2 Erscheinungsbild

- Individuelle Fassadenkonzeption
- Kombination mit mehreren Wärmedämm-Fassaden-Systemen
- Farbgestaltung möglichst vielfältig : Möglichkeiten benennen
- Grosser Gestaltungsspielraum bezüglich Formen
- Minimale Elementabmessung : 60cm x 60cm
- Maximale Elementabmessung : 150cm x 300cm
- Nur ebene Bauelemente, also keine gebogenen Elementkonturen
- Oberfläche möglichst plan, Farbe einheitlich

4.3 Wärmetechnische Leistung und Ertrag

- Aktiver solarer Ertrag entsprechend zeitgemässer verglaster Kollektoren
- Zusätzlicher energetischer Nutzen für die Energiebilanz des Gebäudes soll abgeschätzt werden.

4.4 Preise

- Der Mehrpreis im Vergleich zur konventionellen opaken Fassadenkonstruktion sollte in 15 Jahren amortisiert werden können. Berechnungsvorschlag: Die Zusatzinvestitionen berechnen sich aus der Differenz (Preis Fassadenkollektor+ Preis Kollektorkreis + Mehrpreis WW-Erzeugung) minus (Preis Fassadenelement ohne Kollektor). Die Energie-Gestehungskosten ergeben sich durch Multiplikation dieser Zusatzinvestitionen mit einer Annuität von 10%, entsprechend 15-jähriger Kapitalamortisation bei knapp 5% Zins, und Division durch den nutzbaren solaren Ertrag. Wenn diese Energie-Gestehungskosten maximal 10 Rappen pro erzeugte kWh Solarwärme betragen dürfen, **entspricht dies Zusatzinvestitionen im Bereich von 300 Franken pro m² Kollektoranlage.**

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

4.5 Anschlüsse am Bau, Unterkonstruktionen

- Kompatibilität zu Ickler-Systemen (Zu Beginn des Projektes wurde die Firma ICKLER [4] für die Mitarbeit in diesem Projekt ausgewählt nach einer Umfrage bei den wichtigen Lieferanten dieses Marktes. Ausschlaggebend waren damals das Interesse, die Marktpräsenz und die Flexibilität der Systemtechnik)
- Windlasten gemäss SIA
- Dilatationen und Fugen genügen den Richtlinien für hinterlüftete Fassaden des SFHF (Schweiz. Fachverband für hinterlüftete Fassaden)
- Korrosionsbeständigkeit garantiert in Kombination mit sämtlichen angrenzenden Systemen
- Einzelnes Kollektorelement auswechselbar
- Belüftung : Im Gegensatz zur hinterlüfteten Fassade, welche an die Kollektorflächen anschliesst, soll der Kollektor nur minimal, kontrollierbar belüftet werden. Es wird ein Klima mit erhöhten Temperaturen im Kollektor angestrebt, um neben dem Energieertrag im Flüssigkeitskreis auch eine energetische Verbesserung der Fassade zu erreichen. Die Fassadenisolation ist also gleichzeitig Rückwandisolation des Kollektors.
- Montage der Kollektorelemente mittels eines speziellen Einhängeverfahrens
- Hydraulischer Anschluss nach dem Einhängen eines Elementes, nur einseitig, Durchdringung der vertikalen Montagekonsolen
- Abdichtung : Es darf kein Wasser in die Kollektorelemente eindringen. Eine zu prüfende Variante ist die Möglichkeit, hinter die Kollektorenoberfläche eindringendes Wasser sekundär ableiten zu lassen. Diese Variante soll favorisiert behandelt werden, weil das Erscheinungsbild an der Fassade ohne primäre Dichtungen viel eleganter gehalten werden kann.

4.6 Montage

- Montage generell durch Fassadenbaufirma
- Montage mit bauüblichen Hilfsmitteln möglich
- Spezifisch nötige Hilfsmittel sind zu definieren

4.7 Bauphysik

- Das Diffusionsverhalten der Wandkonstruktion darf nicht negativ beeinflusst werden.
- Berücksichtigung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei hinterlüfteten Fassaden nach einer Richtlinie des BfE und verschiedener Verbände.

4.8 Hydraulik

- Verbindungstechnik am Bau für Montagepersonal (siehe 4.6) geeignet
- Die Konstruktion des Absorbers bietet hohe Flexibilität für die Verrohrung des Kollektorfeldes.
- Prüfdruck : 12bar
- Entlüftung des hydraulischen Kreises muss im fertig montierten Zustand gewährleistet werden.
- Absorber drainback-tauglich
- Leitungs-Verbindung und Kollektoranschluss können vom "normalen" Fassadenhandwerker bewerkstelligt werden (kein Löten), nur Stecken, Klemmen, Schrauben

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

4.9 Fertigungstechnik, Lagerhaltung, Logistik und Lieferbereitschaft

- Objektorientiert
- Flexibles Bausystem auf Ickler-Konstruktionselementen aufbauend
- Möglichst wenig Einzelteile an Lager (→ Lagerkosten minimieren)
- Lieferung direkt vom Hersteller aufs Objekt, kein Zwischenhandel
- Lieferfristen inkl. Herstellung max. 8 Wochen pro Objekt
- Liefergrenze des Herstellers : anschlussfertiges Kollektorfeld ab Werk

4.10 Herstellung und Vertrieb

Es sind Richtlinien oder Vorschriften zu erstellen zu folgenden Punkten :

- Qualitätsmanagement
- Instruktionen, Dokumentationen
- Vertriebskette
- Produktionsmengen
- Auftragsabwicklung
- Projektorientiertes Engineering

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

5 Beschreibung des Systems

5.1 Das Gesamtsystem

Im Verlaufe der Zeit hat sich aus verschiedenen Gründen herauskristallisiert, dass sinnvollerweise ein Gesamt-System mit Lowflow-Technik und Drainback-Einrichtung konstruiert wird. Unterstützt wurden diese Ideen durch eine Zusammenarbeit mit der Firma TISOL [4], die ein umfassendes selbstentwickeltes Systemsortiment einsetzt, das die folgenden Anforderungen gut erfüllt:

Platzverhältnisse fordern Lowflow-Technik :

Die Erfahrungen bei der Montage am Testobjekt in Stäfa haben gezeigt, wie schwierig die Platzverhältnisse im Fassadenbereich sein können. Lowflow heisst, dass man mit sehr geringen spezifischen Durchflussmengen arbeitet, im Bereich von 10 bis 15 l/h pro m² Absorberfläche. Dank Lowflow werden die Verbindungsleitungen kleiner im Durchmesser. Der Platzgewinn wird durch die entsprechend tieferen Wärmedämmstärken ergänzt.

Drainback :

Drainback heisst, dass ein Kollektor sich selbst entleert, sobald die Pumpe abstellt; umgekehrt wird das System für den Betrieb von der Pumpe selbständig gefüllt. Aufgrund seiner prinzipiellen **Vorteile** sollte dieses System eigentlich den Markt beherrschen:

- Die Inbetriebnahme der Anlage geht sehr schnell
- Die Steuerung und die Sicherheitsfunktionen sind sehr einfach und daher leicht verständlich (siehe Bild 5.1).
- Der Kollektor könnte mit Wasser betrieben werden, die Frostsicherheit wird durch Entleerung garantiert. Dazu braucht es die sichere automatische Entleerung. Die Firma TISOL [5] hat bereits entsprechende Anlagen mit schräg gestellten Modulkollektoren in Betrieb.

Die Drainback-Technik braucht also folgende **Voraussetzungen**:

- Die Entleerung muss perfekt funktionieren, damit keine Frostschäden entstehen. Genau diese Anforderung ist in der Fassade einfacher zu erfüllen, weil man immer eine Neigung von 90° zur Verfügung hat; ein stetiges Gefälle ist daher einfach realisierbar durch entsprechendes Gefälle der mäanderförmigen Absorber, was in Bild 4 schematisch angedeutet ist.
- Die Pumpen müssen die Anlagenhöhe spielend überwinden können, um den Kollektor zu füllen. Im Verhältnis zur Förderhöhe sind die Durchflussmengen beim Lowflow-Betrieb gering. Die Pumpen aus der Heizungstechnik entsprechen nicht dieser Charakteristik.
- Die einzige wirkliche Einschränkung für die Drainback-Technik ist die Notwendigkeit, dass der Speicher tiefer liegen muss als der Kollektor (h_{\min} im Bild 4). Viele typische Anwendungen erfüllen diese Forderung in der Praxis. Dieses Kriterium kann (muss) beim ersten Kundenkontakt geklärt werden. Falls es nicht erfüllt ist, wird die Anlagenkonzeption auf einen geschlossenen Kollektorkreis angepasst. Durch den Einsatz eines separaten Entleerungsgefässes könnte h_{\min} zulasten einer aufwenigeren Hydraulik mit entsprechender Steuerung noch verringert werden.

Schichtladungsspeicher :

Eine konsequente Umsetzung der Lowflow-Technik erfordert einen Speicher mit Schichtladung. Das wichtigste Kriterium ist, dass dem Speicher immer möglichst kaltes Wasser entnommen werden kann. Die Fa. TISOL betreibt seit einigen Jahren eigene Speicher mit Schichtlanzen, bekannt ist auch der Speicher vom SOLKIT. Es gibt auch in Deutschland und Oesterreich Anbieter von Schichtladespeichern. Die verschiedenen Systeme sollten auf ihre Funktionalität und Lebensdauer überprüft werden, bevor sie zum Einsatz kommen.

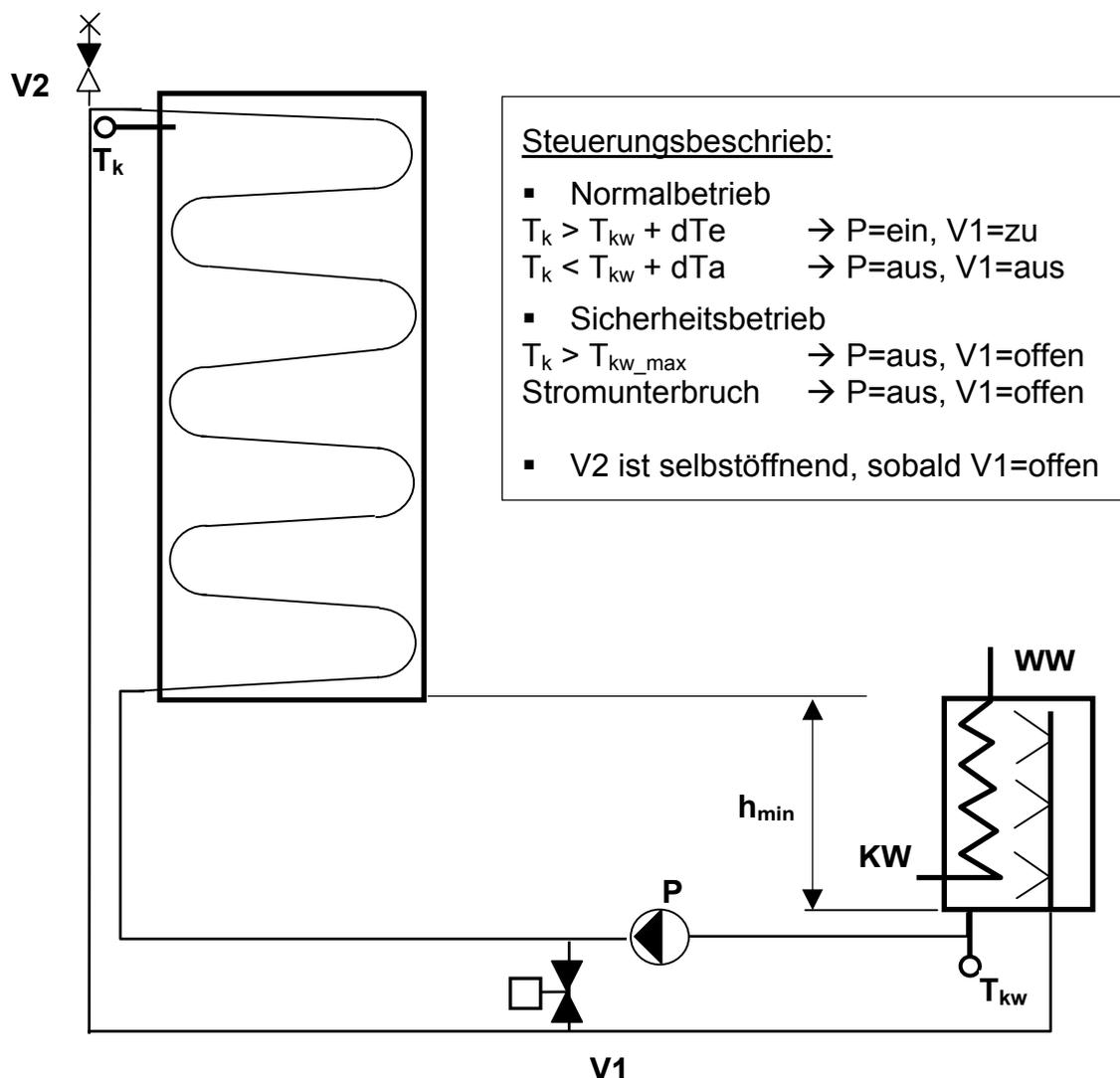


Bild 5.1 Prinzipschema Drainback-System mit Steuerungsbeschreibung

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

5.2 Der Kollektor

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Konstruktionszeichnungen im Kap. 11.1. Zudem dienen die Bilder 5.2 und 5.3 des Funktionsmodells zur Illustration.

Rahmen, Gehäuse

Das Gehäuse besteht aus einem Rahmen, der entweder aus gefalztem CrNi-Stahlblech, max. 0,8mm dick oder aus gepressten Aluminium-Profilen hergestellt wird.

Der Rahmen übernimmt folgende Funktionen :

- Aufnahme und Kantenschutz des Glases. Das Glas wird mit einem transparenten Acryl-Klebstoff auf den Rahmen geklebt (Referenz [6]).
- Aufnahme der Kräfte für die Aufhängung des Kollektors an 4 Zapfen
- Wasserdichtigkeit : Im horizontalen Stoss wird das Wasser über eine EPDM-Fugendichtung (Pos.6 im Vertikalschnitt) abgeleitet. Für das Wasser, welches in den offenen vertikalen Spalt eintritt, ist der Rahmen so konstruiert, dass eine sekundäre Entwässerung (Pos.12 im Horizontalschnitt) stattfindet. Dieses Wasser wird im Raum der Fassadenhinterlüftung abgeleitet.
- Luftdichtigkeit : Der Abschluss zur Wärmedämmung der Fassade ist so konstruiert, dass keine unerwünschte Belüftung des Kollektors entsteht.
- Kontrollierbare Lüftungsöffnungen sollen einen Luftaustausch derart gewährleisten, dass im Kollektor keine Kondensation entsteht bzw. einmal entstandenes Kondensat weggelüftet wird. Das Prinzip ist in der Zeichnung Kap. 11.1.4 skizziert. Die Öffnungen werden so ausgebildet, dass sie mit einem Schieber einfach verstellt werden können. Damit können praktische Erfahrungen gesammelt werden mit verschiedenen Situationen von Wandkonstruktionen und Innenraum-Nutzungen.
- Aufnahme der Randdämmstreifen
- Aufnahme der Absorberhalterung : Wichtig ist, das Gefälle für das Funktionieren des Drainback überall zu gewährleisten
- Aufnahme der Anschlussnippel für den hydraulischen Anschluss

Erfahrungen mit Klebstoffen als Verbindung von Rahmen und Glas

Klebstoffe durchdringen zunehmend die Konstruktionstechniken in praktisch allen technischen Anwendungen. Was im Flugzeug- oder Autobau hält, kann auch in der Bautechnik nutzbar gemacht werden. Entscheidend für eine gute Lebensdauer der Verbindungen sind die Auswahl und die Verarbeitung der Klebstoffe sowie die Vorbehandlung der zu verbindenden Teile. Die Verfasser dieser Arbeit haben 1995 erstmals einen Kollektor konstruiert, bei dem die Scheibe auf den Rahmen geklebt wurde. Die Festigkeit des Glases wurde damit benutzt, um einen absolut leichten Rahmen zu stabilisieren. Die wichtigsten zu beachtenden Kriterien sind :

- Dehnungsausgleich (Dilatation) der zu verbindenden Materialien : Mit entsprechend elastischen Klebstoffen kann durch die Wahl der Dicke die mögliche Dilatation bestimmt werden.
- Oberflächenbeschaffenheit : Die Vorbehandlung der zu klebenden Flächen ist von zentraler Bedeutung. Dieser Arbeitsschritt kann nur in einer Werkstatt mit der nötigen Qualität vollzogen werden. Die Techniken sind mit den Lieferanten der Klebstoffe zu evaluieren (Referenz [6]).

Für die vorgestellte Konstruktion ist ein Reinacrylat-Klebstoff vorgesehen mit hoher Temperatur- und UV-Beständigkeit, der absolut transparent ist, was eine ästhetisch

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

optimale Lösung ergibt. Die Scheibe wird auf den Rahmen geklebt ohne nötige Abdeckung.

Absorber

Die Firma INNOVAR [3] hat an diesem Projekt wertvolle Inputs gegeben. Ihre Fabrikations-Techniken eignen sich bestens für eine sehr effiziente kundenspezifische Herstellung von Absorbern. Als besonderer Anspruch gilt die zu erreichende stetige Neigung für die Entleerung im Drainback-System.

Auswechseln von Scheiben

Aus Erfahrung kann gesagt werden, dass eine Reparatur bei Scheibenbruch entweder durch Glasersatz mit relativ aufwendigem Wegschneiden der Klebstoffe oder durch Auswechseln eines ganzen Elementes möglich ist.

Wärmedämmung

An den Seitenwänden wird der Kollektor mit schwarz kaschierter Glaswolle gedämmt, damit das Kollektorinnere komplett dunkel erscheint. Nach hinten benutzt der Kollektor die Hauswanddämmung. Hier gilt es, klare Anforderungen an die Wanddämmung bezüglich Temperaturbeständigkeit und Ausgasungsverhalten zu formulieren. Die Lieferanten von Steinwolle und Glaswolle kennen die Problematik aus Erfahrung mit Kollektorbau. Zudem ist es wahrscheinlich wichtig, welche Dichte und Elastizität die Dämmschicht aufweist. Bei Sanierungen sind die Oberflächen von Fassaden um einige Zentimeter uneben. Diese Unebenheiten werden vom Kollektorrahmen ausgeglichen, indem der Rahmen in die Dämmschicht eingedrückt wird. Hierzu können noch keine Erfahrungswerte angegeben werden.

Entwässerung

Regenwasser wird bei den horizontalen Stößen durch ein Standard-Fugenprofil an der Oberfläche abgeleitet. In den vertikalen Stößen kann Wasser hinter den Rahmen eindringen und wird dort von durchgehenden U-Profilen abgeleitet. Diese Variante erlaubt, mit sehr wenig Dichtungen zu arbeiten, was bezüglich Ästhetik und Alterung optimale Verhältnisse schafft.

Wärmedämmung und Kollektorbelüftung

Der Kollektor soll direkt an die Wärmedämmschicht der Fassade gekoppelt werden. Das verspricht einerseits zusätzliche Wärmegewinne bzw. weniger Wärmeverluste der Fassade im Bereich des Kollektors, andererseits hat der Kollektor infolge der Feuchtigkeitsdiffusion aus der Fassade andere klimatische Bedingungen auszugleichen als ein konventioneller Kollektor. Die angestrebte Lösung ist ein einfaches einstellbares Belüftungssystem, mit dem im Betrieb praktische Erfahrungen gemacht werden können.

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

Verankerung in der Fassade

Der Kollektor wird an ein bestehendes Unterkonstruktions-System montiert. Dadurch ist gewährleistet, dass das Knowhow für die Verankerungen im Tragwerk zur Aufnahme von statischen und dynamischen Lasten übernommen werden kann. Als Verbindungsmaterialien werden nichtrostende Stähle und eloxiertes Aluminium in Kombinationen verwendet, die keine beschleunigte Korrosion verursachen.

Funktionsmodell für die Montage am Bau

Für die Überprüfung des Montagesystems wurde ein Funktionsmodell gebaut (s. Bilder 5.2 und 5.3) Dabei wurden die Funktion der Montagebolzen, an denen der Kollektor aufgehängt wird und die Pressung des Rahmens in die Wanddämmung überprüft.



Bilder 5.2 und 5.3: Prinzip der Aufhängung: Die Führungsnut ist hier direkt in das Profil der Unterkonstruktion gefräst. Die definitive Lösung sieht eine separate Montageschине vor, um das UK-Profil nicht zu schwächen.

Farbgestaltung

Die Möglichkeiten beschränken sich auf die Angebote der Absorberhersteller. Mit gesputterten Absorbern können in Ergänzung zu reinem schwarz auch blaue Töne erreicht werden. Eine weitere Möglichkeit der Gestaltung bietet die Verwendung von strukturierten oder klaren Gläsern.

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

Modulkollektor versus objektspezifische Grösse

Zwei entscheidende Kriterien setzen voraus, dass normalerweise mit Modulgrössen gearbeitet werden muss :

- Das definitive Ausmass der Fassade bei Sanierungen geschieht vom Fassaden-Unternehmer direkt am Bau. Die Baugerüste sollen möglichst kurze Zeit stehen. Diese Ausgangslage ergibt klare Anforderungen an eine schnelle Lieferbereitschaft des Kollektors. Sekurisierte Solar-Gläser sind nicht in der nötigen Frist verfügbar, es braucht also eine gewisse Lagerhaltung von Glas. Die Kollektor-Herstellung selbst kann logistisch in der nötigen Frist abgewickelt werden.
- Die Herstellungspreise können durch die Verwendung von Modulgrössen optimiert werden beim Materialeinkauf und beim Engineering.

Der Kollektor ist in seiner Bauweise so konzipiert, dass bis zu einer maximalen Scheibengrösse beliebige Masse fabriziert werden können. Diese Möglichkeiten können bei besonderen architektonischen Ansprüchen genutzt werden, sie bedingen aber ein objektspezifisches Layout mit entsprechenden Kosten und die Berücksichtigung entsprechender Herstellungstermine.

Montageablauf

Die Kollektormontage und die Verrohrung fügen sich optimal in den Bauablauf einer wärmedämmten hinterlüfteten Fassade :

- Zuerst wird die Unterkonstruktion (UK) eingemessen und montiert. Dabei werden Unebenheiten der Fassade ausgeglichen.
- Im nächsten Schritt wird die Fassade gedämmt, wobei die Dämmung durchgehend auch unter dem Kollektorfeld verlegt wird.
- An den vertikalen durchlaufenden Profilen der UK werden die **Profile für die Sekundär-Entwässerung** und die **Montageschienen** für die Kollektoren befestigt (geschraubt oder genietet)
- Die Kollektoren werden in die Montageschienen eingehängt und arretiert, dann seitlich hydraulisch angeschlossen.
- Die vertikale Verrohrung geschieht direkt neben dem Kollektorfeld im Luftspalt der Fassadenhinterlüftung, wobei die vertikalen Leitungen an Rohrschellen aufgehängt werden.
- Die horizontalen Luftspalte zwischen den Kollektoren werden mit einem Nutenprofil gefüllt.
- Vor der definitiven Fassadenverkleidung wird das Kollektorfeld mit Wasser gefüllt, um allfällige Leckagen zu orten und zu beheben.
- Die Fassadenabdeckung wird als letzter Schritt ausgeführt.

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

Beispiel eines Kollektorfeld-Layouts

Anhand einer Fotografie eines Mehrfamilienhauses wird im folgenden Abschnitt das Layout eines Kollektorfeldes exemplarisch gezeigt (Bilder 5.4 und 5.5):

<p>Objektdaten :</p> <ul style="list-style-type: none"> - MFH mit 16 Wohnungen - durchschnittlich 3 Pers. pro Wohnung - Kollektorfeldgröße ca. 60 m² - Ausrichtung nach Süden - Verbrauch WW 30...40 MWh - Ertrag Solar ca. 60x250 kWh/m²=15 MWh 	
<p>Bild 5.4 : Bsp. MFH ohne Kollektor</p>	

Die Verrohrung des Kollektors im Bild 5.5 verläuft in zwei vertikalen Zonen zwischen den Kollektoren. Die Kollektor-Anschlüsse gehen jeweils nach links oder nach rechts weg.

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

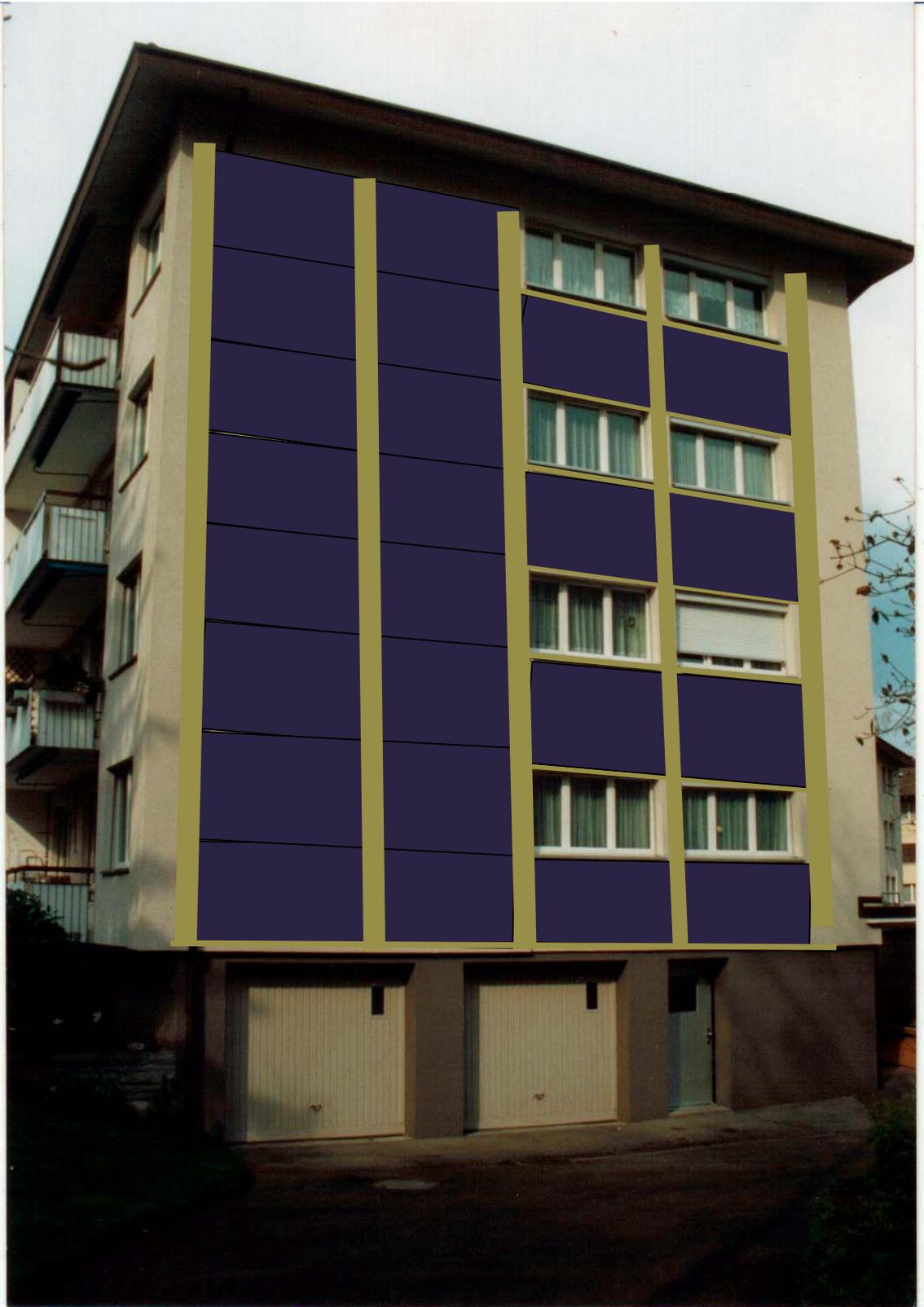


Bild 5.5: Musterlayout (Fotomontage) für ein zu sanierendes Mehrfamilienhaus.

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

5.3 Die weiteren Systemkomponenten

Verrohrung

- **Kunststoffleitungen** : Der Einsatz von Kunststoffleitungen verstärkt die Vorteile der Lowflow-Technik. Die Verlegetechnik von flexiblen Leitungen ist sehr einfach, die Aufnahme von Dilatationen unproblematisch und infolge des tieferen Strömungswiderstandes erhält man auch bei der Leitungsdimension einen Gewinn. Diese Vorteile kompensieren den Mehrpreis von teuren PTFE-Leitungen. Das vorgesehene Verrohrungs-System TISOLFlex [5] vereinigt alle nötigen Eigenschaften, um eine hohe Qualität zu garantieren: Die langzeitstabile und hochtemperaturfeste Kunststoffleitung wird durch einen flexiblen Chromstahlmantel geschützt, dadurch wird unvorsichtigem Handling bei der Montage vorgebeugt.



Bilder 5.6 und 5.7: armierte Kunststoffleitungen mit einfachster Verbindungstechnik

- **Verbindungstechnik** : Diese wurde mittlerweile vom Systemhalter des TISOLFlex soweit perfektioniert, dass sie von Fassadenmonteuren problemlos angewendet werden kann. Sie basiert auf dem System der "Gartenschlauch"-Verbindung mit Raccords und Schlauchbriden. Die Konstruktionszeichnungen (Horizontalschnitt im Kaptel 11.1.2) zeigen noch eine Pressring-Schraubverbindung, die durch die Anwendung der genannten Technik bereits vereinfacht wird.

Pumpentechnik

Dem Verfasser sind zwei Fabrikate von Pumpen mit einem konkurrenzfähigen Preis bekannt, die den gemachten Vorgaben genügen :

- hohe Druckdifferenz für das Füllen des Drainback-Systems
- kleine Durchflussmengen für das Lowflow-System

Mit der neuen Solarpumpe von Eckerle (www.eckerle.com), einer speziellen Zahnradschraumpumpe, hat der Verfasser noch keine Erfahrungen gemacht.

Die Sato-TM (www.satoaq.ch) Solarpumpen stehen schon seit einigen Jahren im Einsatz diverser Anlagen von verschiedenen Solarfirmen. TISOL hat eigene, insgesamt gute Erfahrungen damit zu verzeichnen.

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

Steuerung

Die Funktionen der Steuerung sind im Bild 5.1 beschrieben. Es gibt viele Regler auf dem Markt, die diese Funktionen erfüllen können.

Spezialventil

Für die automatische Kollektorentleerung im Drainback wird von TISOL ein Ventil mit Unterdruckbetrieb eingesetzt (V2 im Bild 5.1).

6 Energie-Ertragsvergleich zum konventionellen thermischen Kollektor

Im Unterschied zu einem hinterlüfteten Kollektor hat der FIIFA-Kollektor durch seine direkte Anbindung an die Wanddämmung einen energetischen Zusatznutzen. Das entsprechende Potential soll mit den folgenden Abschätzungen quantifiziert werden. Als Grundlage für die Berechnungen wurden Simulationen mit dem POLYSUN [9] gemacht und Datensätze aus der METEONORM [10] verwendet.

Definition: Das Potential Q_{pot} der zusätzlich nutzbaren Wärme ist die Energiemenge, welche **während der Heizsaison** im Kollektor nicht vom Absorberkreislauf abgeführt wird.

Q_{pot} ist in der Tabelle 6.1 für zwei Stationen dargestellt. I_{90} ist die jährliche Energiemenge, die bei freier Lage auf die optimal südorientierte Fassadenfläche auftrifft. Beim Durchtritt durch das Glas reduziert sich diese Menge durch das Transmissionsverhalten der Scheibe, welches bei Solargläsern über 90% ist. Im Kollektor steht also die Energie I_{90}' für eine Umsetzung in Wärme zur Verfügung. Von dieser Energie wird Q_{abs} vom Kollektorkreis absorbiert. Q_{abs} ist von Anlagenparametern abhängig. Die dargestellten Werte entsprechen einer guten Ausnutzung von solaren Warmwasseranlagen mit Wasservorwärmung (solarer Deckungsgrad im Bereich von <40%)

Meteostandort	I_{90} [kWh/m ²]	I_{90}' [kWh/m ²]	Q_{abs} [kWh/m ²]	Q_{pot} [kWh/m ²]
Zürich	360	330	205	125
Davos	900	830	560	270

Tabelle 6.1: Potential der zusätzlichen Energienutzung durch den FIIFA-Kollektor

Interpretation: Grosse Unterschiede ergeben sich durch die Lage der Objekte. Schneesichere Stationen haben in der Fassade infolge der Strahlungsreflexionen vom Schnee im Winter deutlich mehr Erträge in der Fassade.

Die entscheidende Frage ist, wieviel von diesem dargestellten Potential genutzt werden kann. Für diese Abschätzung müssen die Verluste infolge der Kollektorbeflüchtung und die Transmissionsverluste gegen aussen gerechnet werden. Eine rein statische Betrachtung zeigt relativ grosse Transmissionsverluste, weil der U-Wert nach aussen viel schlechter ist als gegen innen. Es ist aber zu erwarten, dass diese Verluste infolge des Speicherverhaltens der gedämmten Wand reduziert werden. Bei den Lüftungsverlusten ist für den Fassadenkollektor eine Optimierung möglich im Vergleich zu Standard-Modulkollektoren, welche für verschiedene Neigungswinkel ausgelegt sind. Diese Rechnungs-Aufgaben können mit einem Werkzeug für dynamische Strömungs-Simulationen gelöst werden. Damit könnten wichtige Parameter variiert werden (Wandkonstruktion, Lüftungsschlitze), mit dem Ziel, bei minimaler Lüftungsrate den energetischen Nutzen zu optimieren. Im Rahmen dieses Projektes wurden keine Simulationen durchgeführt. Heute liegt der Aufwand für eine solche Simulation im Bereich von 10'000 bis 20'000 Franken, um wichtige Resultate für die Konstruktion zu erhalten.

7 Der Markt für Fassadenkollektoren

Die Suche nach Daten über den potentiellen Schweizer Markt von FIIFA-Kollektoren hat neben älteren Daten (mitunter solche ohne Quellenangabe) zwei neuere Arbeiten hervorgebracht. Eine Broschüre von FLUMROC [14] beleuchtet den Wohnungsmarkt. Die ergiebigste und aktuellste Arbeit wurde im Frühjahr 2002 von der Schweizerischen Zentralstelle für Fenster- und Fassadenbau bei WÜEST&PARTNER in Auftrag gegeben [11]. Aus diesen Studien werden im folgenden einige Daten, die für den FIIFA-Markt interessant sind, dargestellt.

Der Schweizer Immobilienmarkt hat sich im Laufe der 90er Jahre von einem Anbieter- zu einem Nachfragemarkt gewandelt. Der verschärfte Wettbewerb unter den Anbietern hat die Solarbranche doppelt getroffen, einerseits durch steigende Kapazitäten von Anbieterseite, andererseits durch einen markanten Rückgang der Nachfrage für Solaranlagen. Die SOFAS-Solarstatistik [13] weist diese Entwicklung nach.

Der Markt für FIIFA-Kollektoren ist in erster Linie bei Bauten mit regelmässigem Warmwasserverbrauch zu suchen. Dazu gehören zuerst Wohnbauten (davon vor allem Mehrfamilienhäuser), dann Heime, Spitäler und einige Typen von Schul- und Sportbauten. Die Abbildung 7.1 zeigt den Fassadenanteil dieser Bauten am totalen Hochbau-Bestand in der Schweiz.

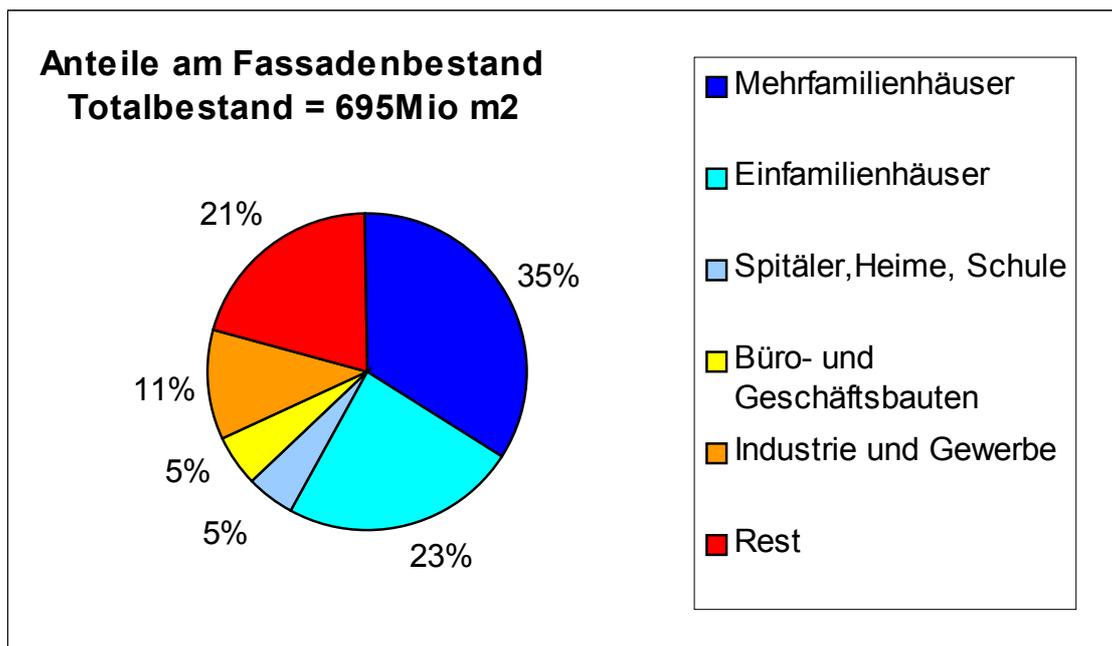


Abbildung 7.1: Anteil Bauten mit regelmässigem WW-Verbrauch am Gesamtvolumen

Der potentielle Markt sind die Mehrfamilienhäuser und Bauten aus dem Segment „Spitäler, Heime, Schule“, beim Segment „Rest“ sind auch einige Gebäude auszumachen wie z.Bsp. Kasernen.

Eine wichtige Information ist der Anteil Sanierungen am Gesamtvolumen, weil ein typischer Einstieg für solche Projekte bei Sanierungen geschehen könnte.

Die Abbildung 7.2 zeigt anhand von Baubewilligungen, dass das Sanierungsvolumen in den 90er Jahren im Vergleich zum Neubauvolumen zwar kleiner ist, dafür aber stabil. WÜEST&PARTNER gehen davon aus, dass der Anteil von Sanierungen am

Gesamtvolumen langsam aber kontinuierlich wächst bei stagnerenden Neubauinvestitionen. Interessant sind drei zusätzliche Feststellungen:

- Die Quote für Sanierungen ist bei privaten Eigentümern über dem Schnitt, sie sind quasi die Trendsetter bezüglich Wohnbau-Erneuerung.
- Die Pensionskassen haben ihre Erneuerungsinvestitionen in den letzten Jahren markant gesteigert.
- Einen Nachholbedarf haben die Genossenschaften, welche sich lange auf Neubaütätigkeiten ausrichteten.

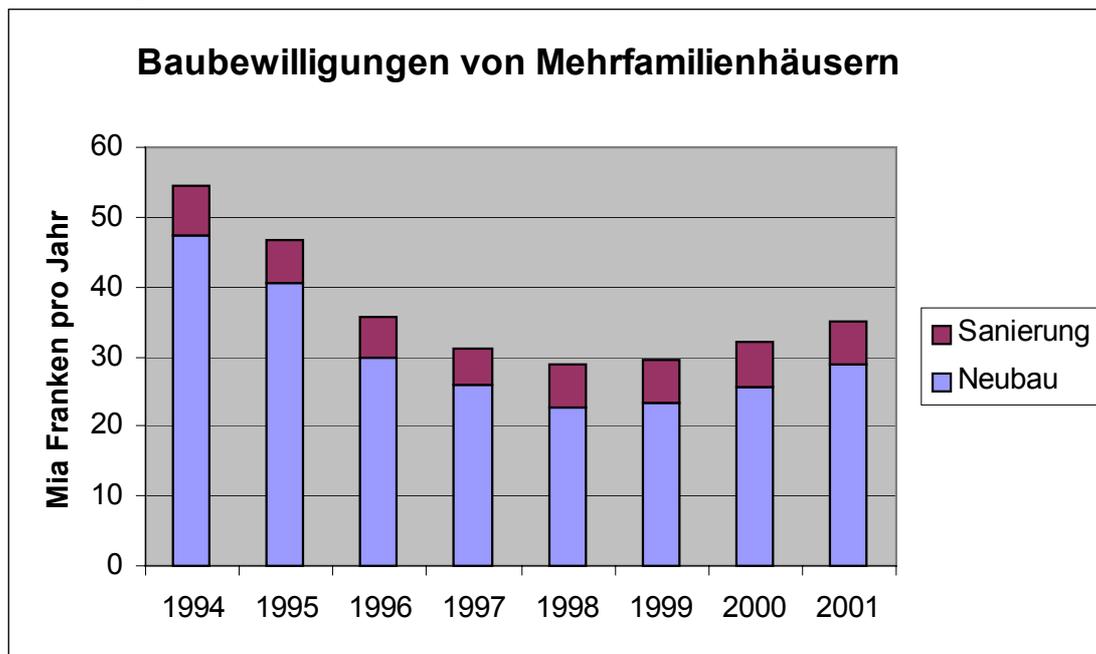


Abbildung 7.2: Investitionsvolumen für Mehrfamilienhäuser

Aus der in Bild 7.3 gezeigten zeitlichen Bauentwicklung bei Mehrfamilienhäusern können Rückschlüsse auf die Konstruktionen der Fassaden gemacht werden.

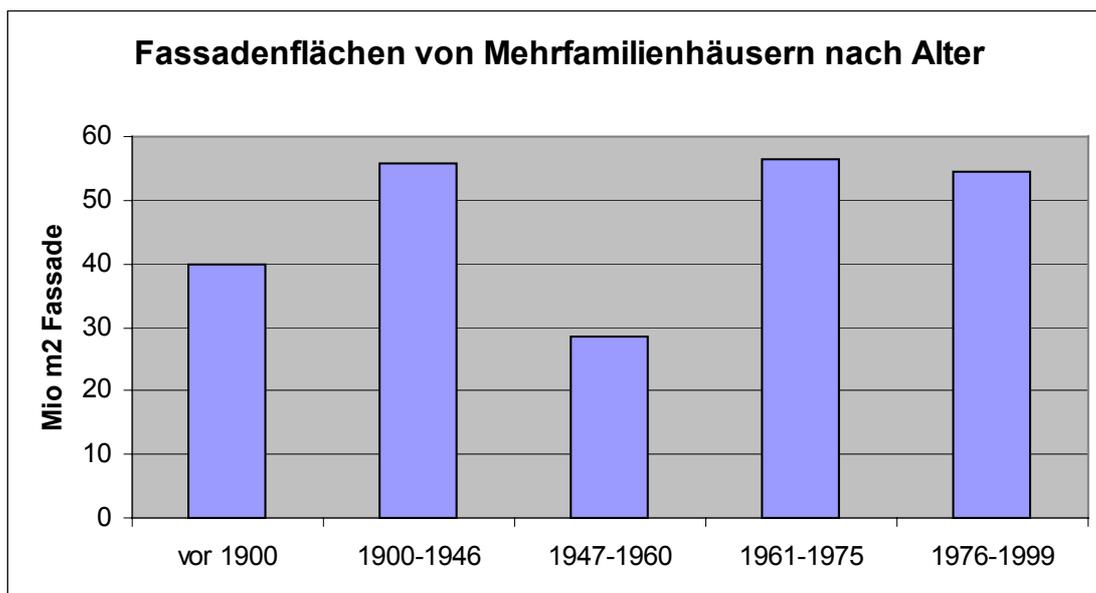


Abbildung 7.3: Fassadenflächen von Mehrfamilienhäusern

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

8 Kosten

8.1 Kostenvergleich FIIFA – hinterlüftete Fassade - konventionelle Flachkollektoren

Die Grundlagen für die in Tabelle 8.1 angegebenen Preise stammen für die hinterlüfteten Fassaden von der Firma Ickler [4]. Für die Preise der konventionellen Flachkollektoren wurde ein Durchschnitt gebildet aus dem „Kollektorkatalog 2002“ der SPF [12]. Für die Position Kollektormontage und Feldverrohrung wurden eigene Markterfahrungen der Firmen KORONA und TISOL [5] ausgewertet. Für den Preis des FIIFA dient die Berechnung der Herstellungskosten im Kapitel 8.2 als Grundlage. Dazu wurde eine Marge von Faktor 1.5 für den Vertrieb eingerechnet.

Kosten-Position	Hinterlüftete Fassade	FIIFA	Delta 1	Konventionelle Flachkoll.	Delta 2
Unterkonstruktion inkl. Montage	110	110		-	
Wärmedämmung inkl. Montage	80	80			
Abdeckung Fassade inkl. Montage	170 (bis 460 möglich)				
Verkaufspreis Kollektor		440		480	
Kollektormontage mit Feldverrohrung	0	300		320	
Total pro m²	360 (bis 650 möglich)	750	390	800	50

Tabelle 8.1: Kostenvergleich mit Endkundenpreisen

Diskussion des Kostenvergleichs

Der Preisvergleich zwischen dem FIIFA-Kollektor und hinterlüfteten Fassaden ohne Kollektor gibt Aufschluss über die Vorgabe im Pflichtenheft (Kap. 4.4), wonach die Mehrkosten für einen Quadratmeter FIIFA-Kollektor im Bereich von 300 Franken liegen sollten, damit sie mit Energieerträgen amortisiert werden können. Der ausgewiesene Mehrpreis (Tabelle 8.1, Delta 1) von 390 Franken pro m² liegt über dieser Forderung. Wenn man aber berücksichtigt, dass hinterlüftete Fassaden vor allem infolge unterschiedlicher Abdeckungsmaterialien eine grosse Preisspanne abdecken (Preis ab 360 Franken bis ca. 650 Franken pro m² sind möglich), so liegen diese Mehrkosten im Rahmen der Vorgaben.

Der Vergleich mit konventionellen Kollektoren kann auch als Abgleich zur Marktsituation angesehen werden. Die Kostenstruktur des FIIFA-Kollektors liegt bei den durchschnittlichen Kosten von Flachkollektoren. Die ausgewiesene Differenz im Kollektorpreis ergibt sich durch die Ersparnisse beim FIIFA-Kollektor, dessen Rückwand mit entsprechender Dämmung in der Fassade mitgerechnet ist. Die Montage- und Verrohrungskosten des Kollektorfeldes sind bei den konventionellen Kollektoren etwas höher angesetzt. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein FIIFA-Kollektorfeld im Durchschnitt etwas günstiger abschneidet infolge von Materialersparnissen und der einfachen Verrohrungstechnik. Im Gegensatz zu den konventionellen Anlagen, bei denen diese Preise auch stark variieren (250 Fr. bis 450Fr. pro m²) gibt es noch keine Erfahrungswerte.

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

8.2 Kalkulation Herstellungskosten

Die folgenden Bemerkungen beziehen sich auf die untenstehende Tabelle 8.2. Es sind für drei verschiedene Mengen einer Modulgröße die Herstellungskosten zusammengestellt. Eine Kleinserie dient der Kalkulation einer Prototypen-Anlage, die grösseren Stückzahlen zeigen die Preisentwicklung bei einer Fertigung von Serien. Die Kalkulation weist reine Herstellungskosten aus ohne Margen, ohne Versicherungs- Lager- und Infrastrukturkosten. Die Material- bzw. Halbfabrikatpreise beziehen sich auf Offerten Stand Ende 2001 von jeweils einem Hersteller. Als Anschlussystem ist hier noch eine SERTO-Verschraubung kalkuliert. Die Positionen korrespondieren zu jenen der Zeichnungen im Kap. 11.1.

Pos	Beschreibung	Einheit	Mengen			Preise in sFr. Ohne MWSt		
			für 1St	für 100St	für 500St	für 2St	100	500
1	Rahmen 1130mm x 1870mm	komplett	1	100	500	2'000.00	14'800.00	70'000.00
2	Dämmmaterial ISOVER PS81, 25/22, m. Schw. Glasvlies	m2	0.36	36	180	7.99	399.60	1'998.00
3	Absorber, 10Finnen à 108mm x 1820mm, in Serie, MS-Nippel gelötet	komplett	1	100	500	760.00	18'000.00	75'000.00
4	MS-Anschluss-Nippel auf Absorber	St	2	200	1000	10.00	300.00	1'000.00
5	EPDM-Rundschnur, 4mm : Dichteinlage	m	2.25	225	1125	31.50	652.50	2'936.25
6	EPDM-Fugenprofil	m	1.9	190	950	40.47	636.50	2'864.25
7	Anschlussmutter + Klemmring SERTO SO40021, 8mm Arm.anschluss	St	2	200	1000	4.00	200.00	1'000.00
8	Stützhülsen SERTO SO40003-8	St	2	200	1000	0.20	10.00	50.00
9	Klebband, transparenter Acryklebstoff	m	6	600	3000	50.00	1'545.00	6'907.00
10	Glas, eisenarm, sekurisiert, klar, d=4mm, l x b = 1862mm x 1126	m2	2.097	209.7	1048.5	162.84	5'168.06	25'840.28
11	Montageschienen, vorkonfektioniert, für durchschnittliche Anlage	m	2.5	250	1250	190.00	2'075.00	10'000.00
12	U-Profil f. Sekundärentwässerung, für durchschnittliche Anlage	m	2.5	250	1250	20.00	720.00	3'500.00
13	Kollektormontage, Arbeitsaufwand für Herstellung in der Werkstatt	h	5	200	1000	425.00	17'000.00	85'000.00
14	Lagerkosten							
15	Finanzierungskosten							
16	allgemeine Infrastruktur- und Versicherungskosten							
17	Werkzeugkosten INNOVAR					820.00	8.20	1.64
18	Abschreibung Werkzeug Pyrosil-Gerät					-	26.50	5.30
19	Total					4'522	61'541	286'103
20	HK pro Kollektor					2'261	615	572
21	HK pro m2 Absorber					1'150	313	291

Tabelle 8.2 : Herstellungskosten einer Standardgröße in verschiedenen Stückzahlen

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

9 Fazit und Offene Fragen

Das Projekt hat sich über mehrere Jahre hingezogen. Der Nachteil daran war, dass der vorgesehene Markt immer noch brach liegt. Andererseits wurde während dieser Zeit dieser Markt auch nicht von anderen Anbietern besetzt. Die Zeit wurde genutzt, um innovative Systemlösungen einzubinden, die inzwischen erprobt sind. Man darf davon ausgehen, dass der angestrebte Markt inzwischen offener ist für neues. Es ist zu hoffen, dass engagierte Firmen gefunden werden, die in die Vermarktung dieses Produktes investieren wollen. Für die Produktion Wege zu finden ist viel einfacher. Es kann mit kleinen Initalisierungskosten für erste Serien gerechnet werden. Das Produkt selbst hat ein Reifestadium erreicht, das es erlaubt, konkrete Bauobjekte zu realisieren. Ein Vergleich des Pflichtenheftes mit dem aktuellen Projektstand ergibt etwa folgende Aufgaben, die im Rahmen erster Projekte bearbeitet werden müssen :

- **Simulation des Kollektorklimas** : Mit einer dynamischen Strömungssimulation des Kollektorklimas könnten konkrete Angaben für die Lüftungsöffnungen erarbeitet werden. Ebenso könnte mit diesen Simulationen der energetische Zusatznutzen durch die Anbindung des Kollektors an die Wanddämmung berechnet werden. Die Idee, eine Simulation durchzuführen, ist dem Autor im Rahmen seiner neuen Tätigkeit bei Amstein + Walthert AG gekommen. Dort befassen sich zwei Spezialisten praktisch hauptamtlich mit dynamischen Simulationen. Mit der entsprechenden Erfahrung ist diese Aufgabe relativ einfach zu lösen. Ein wichtiger Nutzen liegt darin, dass relativ aufwendige und zeitraubende praktische Übungen am Objekt vorweggenommen werden können.
- In der Konstruktion ist die **Aufhängung des Absorbers** noch nicht gezeichnet. Wichtig ist bei der Mäandrierung , dass ein minimales Gefälle berücksichtigt wird. Die Frage, wieviel Gefälle wirklich nötig ist, muss in der Praxis beantwortet werden. Es kann in der Konstruktion von 5mm pro m ausgegangen werden. Die Konstruktion richtet sich nach dem verwendeten Rahmenmaterial.
- **Montageablauf** : Sowohl die Kollektoraufhängung wie die hydraulischen Verbindungen müssen sich in der Praxis noch bewähren.
- **Aluminium-Profil versus Cr-Ni-Stahlblech für Kollektorrahmen:** Für einen Prototypen könnte der Rahmen in der gezeichneten Form mit rostfreiem Blech angefertigt werden. Für eine spätere Serienproduktion empfiehlt sich die Konstruktion eines Aluprofils.
- Die Praxistauglichkeit der vorgesehenen sekundären Regenwasser-Ableitung muss überprüft werden
- **Tests an der SPF:** Neben „normalen“ Leistungsmessungen wären Beregnungs- und Belüftungstests auf dem Prüfstand effizient durchführbar.
- Die Anforderungen gemäss Pflichtenheft (Kap. 4.10) zu Herstellung und Vertrieb sind erst umsetzbar, wenn jemand in dieses Projekt investiert.

DIS-Projekt Nr. :23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
--	-------------------------------	--

10 Impressum, Referenzverzeichnis

Autor :

Andres Weber

KORONA Energie GmbH, Bergstrasse 108, 8708 Männedorf

Am Projekt haben folgende Firmen / Personen mitgewirkt, bzw. Knowhow beigesteuert:

- [1] energa Ingenieurbüro, Bahnhofstrasse 1, 8712 Stäfa
heute energa GmbH, Ingenieure und Planer, Dorfstrasse 2, 8712 Stäfa
Urs Gadola
- [2] GADOLA FASSADEN AG, Willikon, 8618 Oetwil am See
Markus Gadola
- [3] INNOVAR, Studenmatt 127, 1791 Courtaman
Christian Käsermann
- [4] ickler ag, bausysteme, Hôtel-de-Ville 107, CH-2300 La Chaux-de-Fonds 2
Charles-André Huguenin
- [5] TISOL SA, Fischmarktplatz, 8640 Rapperswil
Andi Mayr
- [6] Berger Klebe-Systeme, 9230 Flawil, www.kleben.ch
Peter Berger
- [7] steigerpartner, Architekten und Planer AG, Zürich
Chrisopf Nauck
- [8] Auswertung Energie- und Wasserverbrauch Siedlung Unterächer, Stäfa
Andreas Fröhlich, Mitbewohner der Siedlung
- [9] POLYSUN, Simulationsprogramm für thermische Solaranlagen
SPF Institut für Solartechnik, HSR Rapperswil, www.solarenergy.ch
- [10] METEONORM, ein Produkt der METEOTEST, Bern, www.meteotest.ch
- [11] „ Fassaden in Metall/Glas – Markanalyse 2002“,
Schweizerische Zentralstelle für Fenster- und Fassadenbau SZFF
- [12] Kollektor-Katalog auf CD, SPF Institut für Solartechnik, HSR Rapperswil
- [13] SOFAS Sonnenenergie Fachverband Schweiz, www.sofas.ch
- [14] „Bauen, Markt und Energie“: Hrsg. FLUMROC, Flums, Autor WÜEST&PARTNER

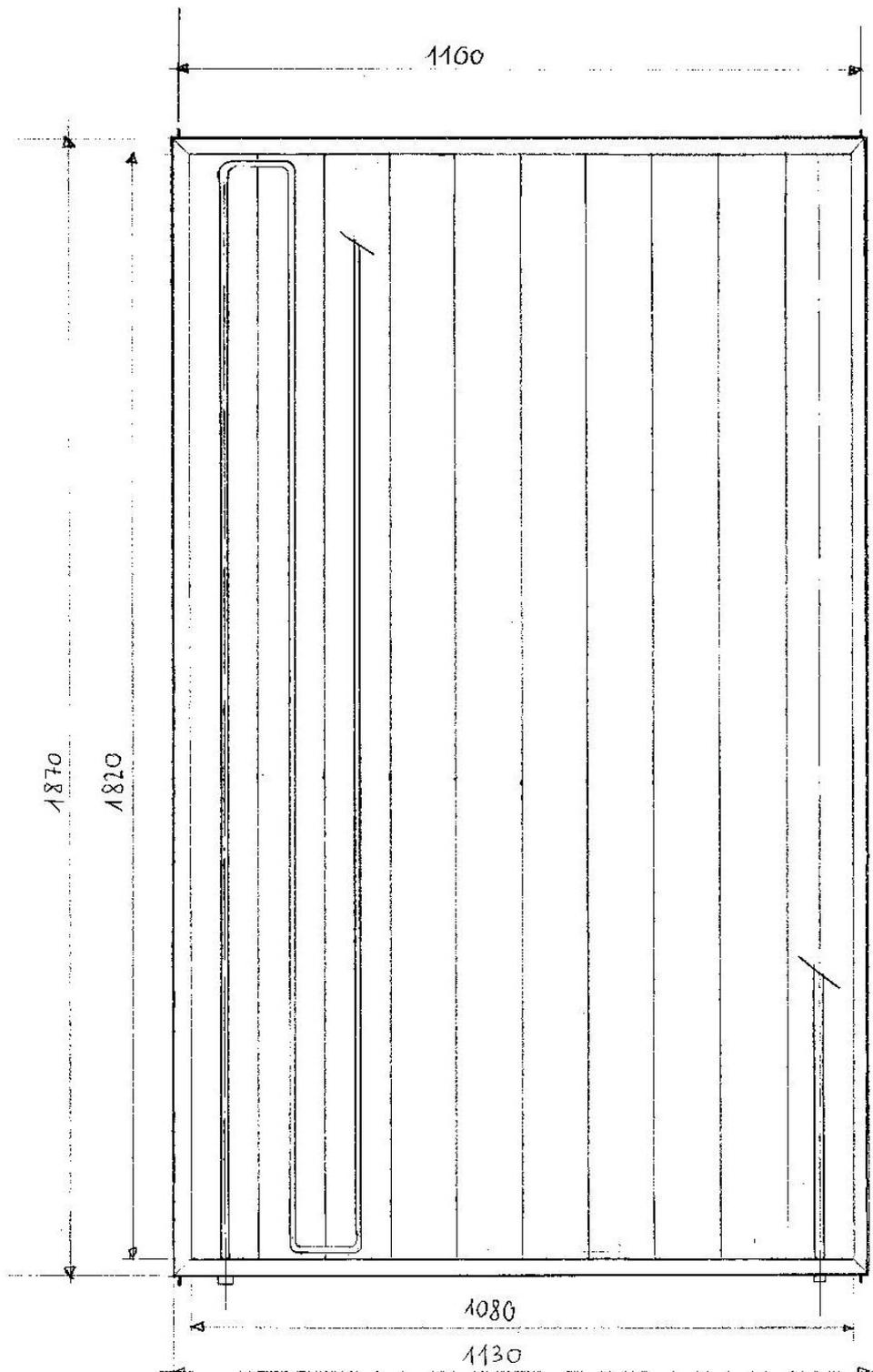
Ein Dank gebührt Pierre Krummenacher vom Ingenieurbüro Planair für die kritische Durchsicht des Entwurfs. Das Büro Planair war vom BfE beauftragt für die Begleitung des Projekts.

DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

11 Anhang :

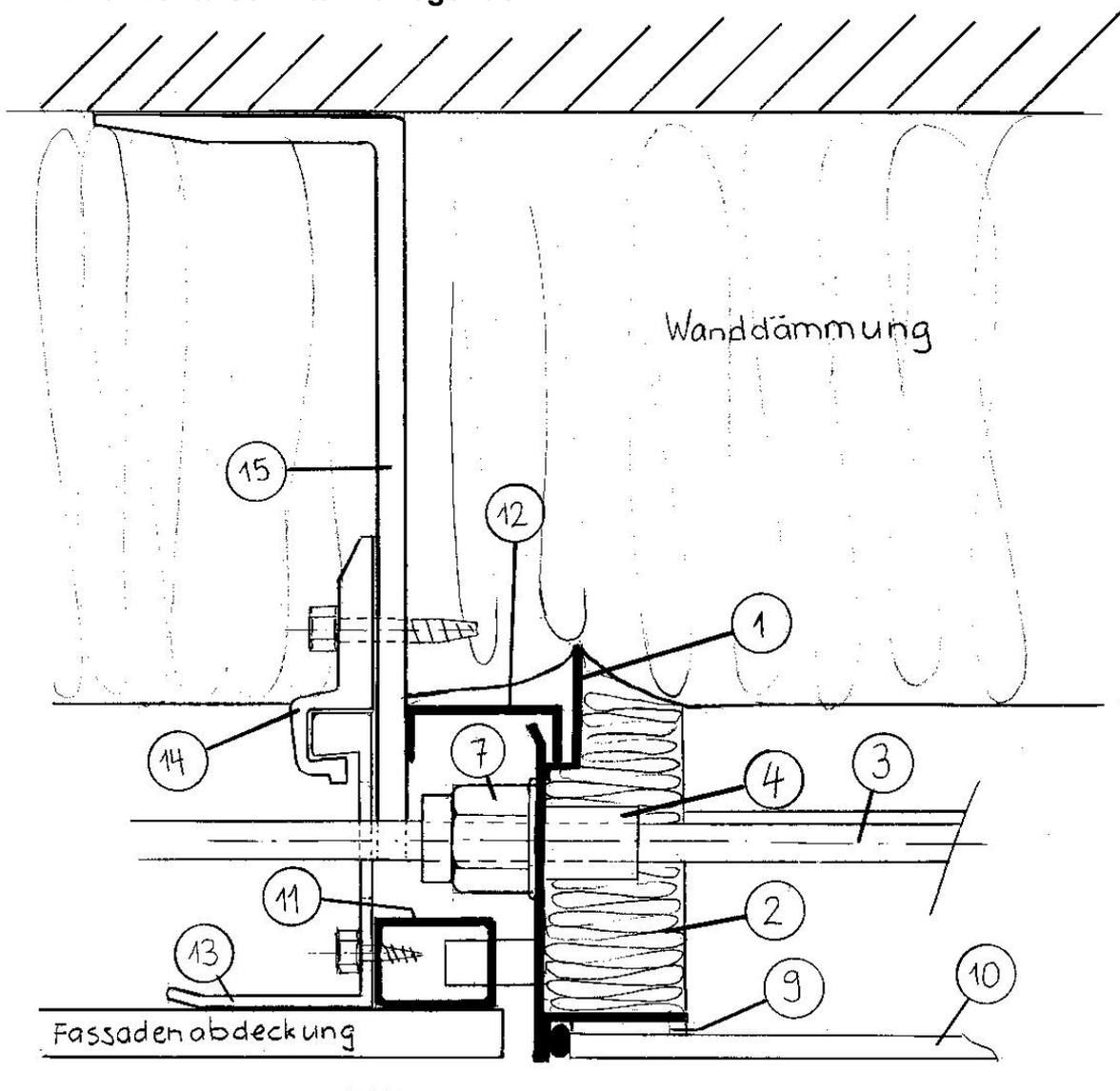
11.1 Konstruktionszeichnungen FIIFA-Modulkollektor

11.1.1 Aufsicht



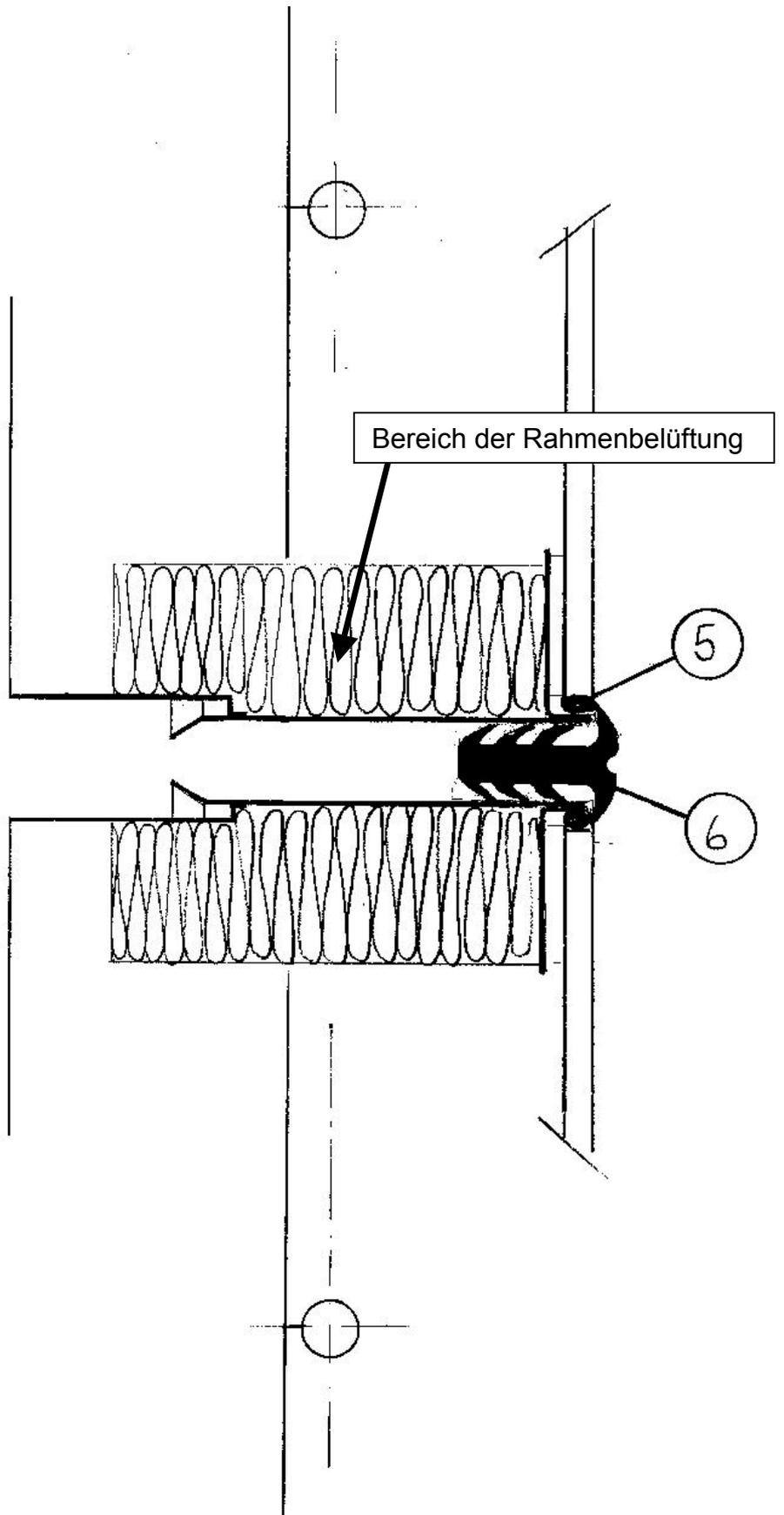
Vertikale Seite mit Kollektoranschlüssen

11.1.2 Horizontalschnitt mit Legende



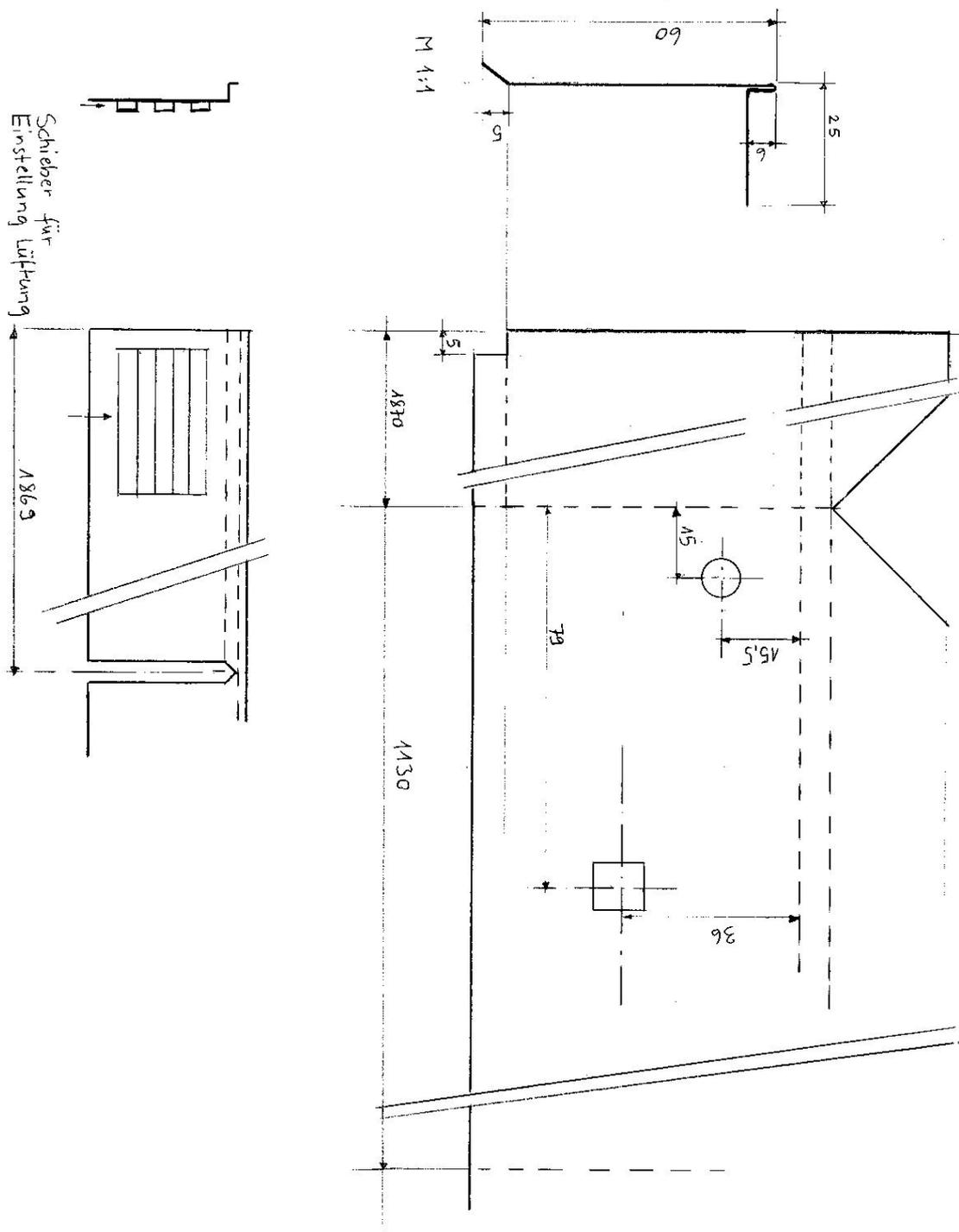
Pos.	Beschreibung
1	Cr-Ni-Stahl-Rahmen, Blechdicke 1mm
2	Dämmmaterial : verdichtete Mineralfaser mit schwarzem Deckflies, z.B. ISOVER PS81, 25/22
3	Absorber : 10Finnen à 108mm x 1820mm, mäanderförmig in Serie verrohrt
4	Anschlussnippel MS, am Absorber gelötet
5	Dichtungseinlage : EPDM-Rundschnur, 4mm
6	Horizontal-Fugenprofil : EPDM, Angst+Pfister Art. Nr. 10.2520.8980
7	Anschlussmutter mit Klemmring : SERTO Armaturenanschluss SO 40021 -8
8	Stützhülse zu 7 : SERTO Stützhülsen SO 40003 -8
9	Klebeband d=2mm, b=19mm : transparenter Reinacrylat-Klebstoff
10	Solarglas, klar, sekurisiert, d=4mm, l=1862, b=1126mm
11	Montageschienen gem. sep Zeichnung
12	U-Profil für Sekundärentwässerung
13	Alu-Tragprofil : Ickler-System Clickpress 1000, Pos. 1520
14	Alu-Klammer : Ickler-System Clickpress 1000, Pos. 1518
15	Alu-Schiebeverankerung : Ickler-System Clickpress 1000, Pos. 1512, 1513, 1514

11.1.3 Vertikalschnitt

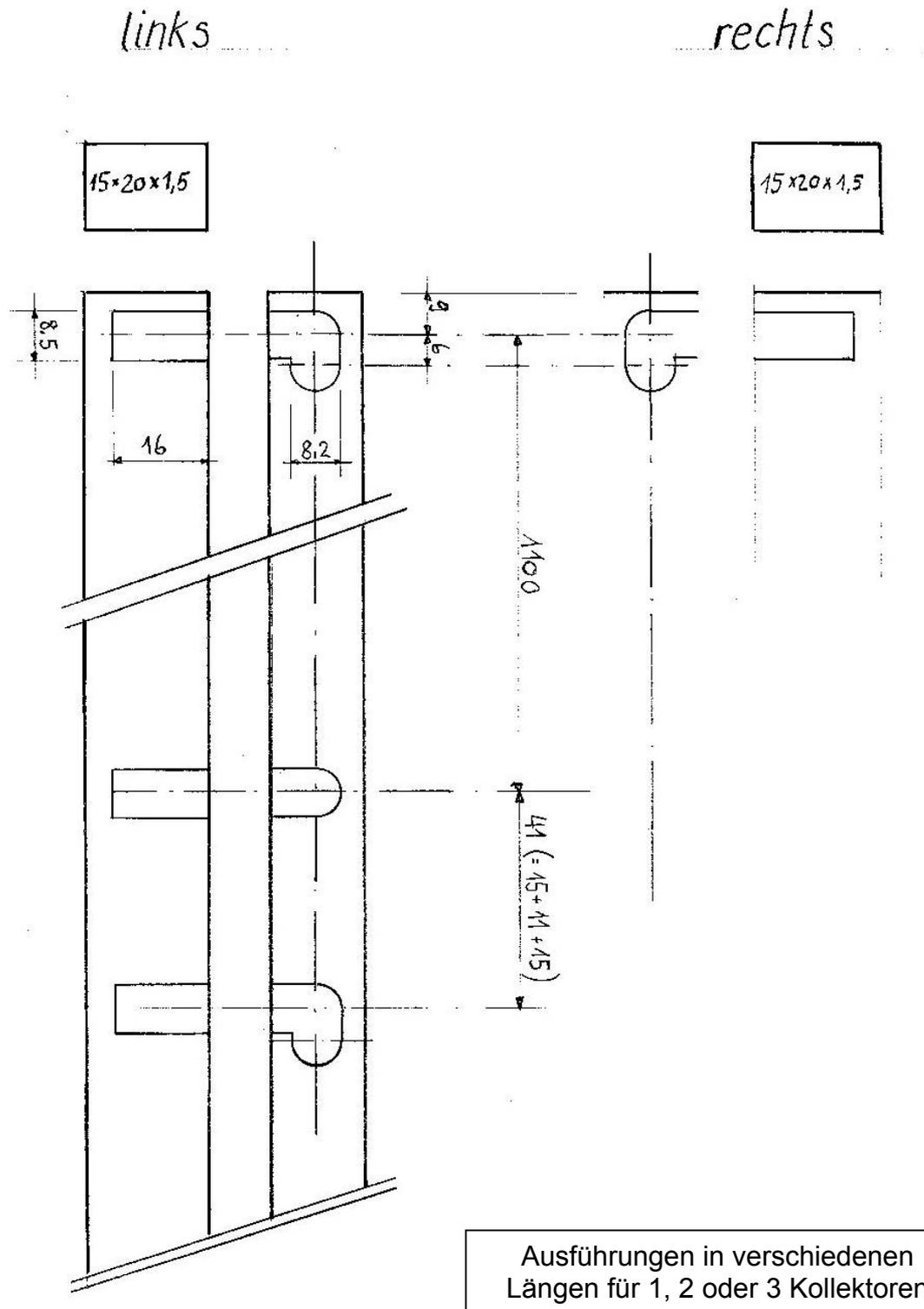


DIS-Projekt Nr. : 23851 Vertrags Nr. : 63500	Förderprogramm Solar Aktiv	Im Auftrag des Bundesamtes für Energie
---	-------------------------------	--

11.1.4 Abwicklung Rahmenblech mit Detail "Einstellbare Lüftung"



11.1.5 Montageschienen links und rechts



11.2 Unterlagen Wohnsiedlung Unterächer Stäfa

11.2.1 Entwicklung Energie- und Wasserverbrauch Gesamtsiedlung

Die folgenden Angaben beziehen sich auf die ganze Siedlung mit zwei Häuserreihen. Jede Häuserreihe hat einen Fassadenkollektor mit je 27m² Absorberfläche. Der spezifische Kollektorsertrag an den Speicher ist also 14'000 kWh/54m² = 260kWh/m². Infolge des relativ sparsamen Umgangs mit Warmwasser (um 35 Liter pro Person und Tag) wird damit ein Deckungsgrad von ca. 55% erreicht (Zirkulationsverluste nicht mitgerechnet).

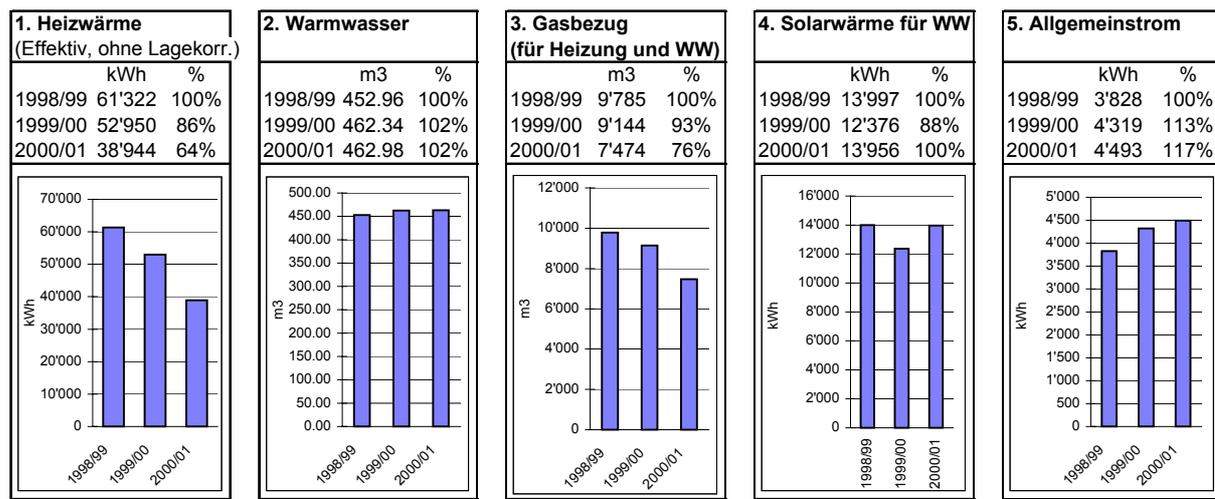


Abbildung: Entwicklung des Energieverbrauchs Gesamtsiedlung

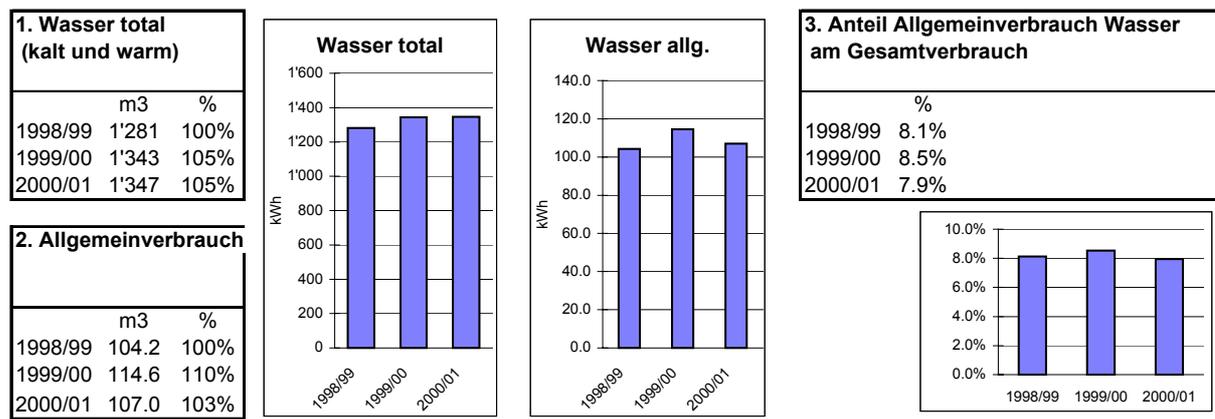


Abbildung: Entwicklung des Wasserverbrauchs Gesamtsiedlung

11.2.2 Energie 2000 Öko-Bau Referenzblatt

Energie 2000 Öko-Bau

Ein gutes Raumklima: Lehmputz und Kaseinfarben bürgen



Siedlung im Unterägeri, Stäfa ZH

Die Idee

Mit der Reihenhaussiedlung Unterägeri haben junge Familien ihre Vorstellung vom Wohnen gemeinsam realisiert:

- einen eigenen Hausteil besitzen
- zusammen verwalten und pflegen
- kinderfreundlicher Wohnraum
- ökologische Materialien
- die Sonnenenergie aktiv nutzen
- auf dem Land leben mit besten öffentlichen Verbindungen nach Zürich und Umgebung

Mitdenken und -organisieren

Der Architekt und die Baugruppe, bestehend aus fünf Vertretern der Bewohnerschaft, fällen die Entscheide im Team. Bauleitung und Verantwortung liegen beim Architekten.

Lehmputze und Kaseinfarben

Die gemauerten Wände sind mit Lehmputz beschichtet, ausgenommen die ge-

plättelten Bereiche. Dank neuen, maschinellen Verarbeitungsweisen eignet sich Lehm auch problemlos beim Bau von Mehrfamilienhäusern.

Wände und Decken sind nach Belieben mit Kaseinfarben weiss gestrichen.

Aussenräume auf jeder Etage

Die zwei Nord-Süd gerichteten Häuserzeilen sind in je fünf Hausteile unterteilt. Jede Wohnung erstreckt sich über drei Etagen. Im EG verläuft auf der Hofseite eine durchgehende Veranda. Sie erschliesst die Wohnungen. Der Hof ist gleichzeitig Spiel- und Begegnungsraum für Kinder sowie Erwachsene. Gegenüber, auf Seite der Wohnräume, liegt der private Garten. Im OG öffnet sich ein gedeckter Balkon gegen den Hof hin, im Dachgeschoss gibt die Terrasse den Blick auf den Zürichsee und die Glarner Alpen frei.

Projektstand:

Bezogen seit März 1997

Bauträgerschaft:

Gemeinschaft für Stockwerkeigentümerinnen, Unterägeri, Stäfa

Architektur:

Reichling und Hausammann
Architekten
Mühlerain 7
8712 Stäfa
Tel. 01-926 23 53
Fax 01-926 23 53

Kontakt:

Rudolf Reichling

Energie:

energa
Ingenieurbüro
Bahnhofstrasse 1
8712 Stäfa
Tel. 01-926 66 00
Fax 01-926 64 72

Kontakt:

Urs Gadola



Das Aktionsprogramm Energie 2000:
Energie-Partnerschaft, die nachhaltig wirkt.
Wir machen mehr – mit aller Energie.

E2000 Öko-Bau

Niedrigenergiehäuser in
ökologischer Bauweise

Gesund und umweltbewusst wohnen.

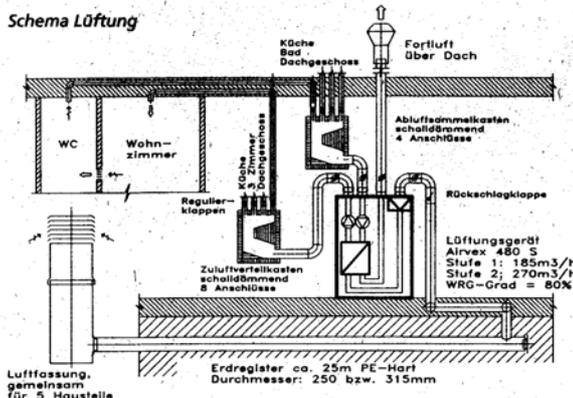
1. Wohnqualität

- ausgeglichene Luftfeuchtigkeit mit Lehm und Kaseinfarben
- dampfdurchlässige Gebäudehülle
- Bodenbeläge aus Massivparkett geölt, Keramik und Klinker
- Schreinerarbeiten nur in Massivholz und 3-Schichtplatten

2. Ökologische Qualitäten

- einfache, kompakte Gebäudehülle
- Wärmedämmung mit Holzfaserplatten, Zellulose und Kork
- Fassade aus unbehandelter Lärche verschalt
- vertikaler Fassadenkollektor für Heizung und Warmwasser
- sämtliche Dächer extensiv begrünt (Hausdächer, Schopf und Garageunterstand)
- ableiten des Regenwassers in den nahen Bach
- gemeinsame Kompostieranlage
- Gasheizung auf 20°C dimensioniert, individuelle Holzöfen
- umrüsten der WCs auf Regenwasser möglich

Schema Lüftung



Bauvolumen:
8372 m³

Heizenergiebedarf:
155 MJ/m²a

Energie:
Beheizt gegen unbeheizt und Dachterasse 12 cm Kork
k-Wert 0.37 W/m²K
Fassade Ost und West 18 cm Zellulose
k-Wert 0.20 W/m²K
Fassade Süd und Nord 18 cm Weichfaserplatten
k-Wert 0.17 W/m²K
Dach 24 cm Zellulosedämmstoff
k-Wert 0.17 W/m²K
Fenster (Holz) West und Nord
k-Wert 1.0 W/m²K
Süd und Ost
k-Wert 1.4 W/m²K

Energiebezugsfläche:
2636 m²

Heizung und Warmwasser:
Kondensierender Gaskessel, Fassadenkollektor 2x27 m² für Warmwasservorwärmung

Lüftung:
Pro Haus ein Lüftungsgerät mit WRG

Konstruktion:
Ost- und Westfassade Holzrahmen-Elemente, Nord- und Südfassade (mit Fassadenkollektoren nach Mass) Massiv-Kalksandstein

Elektrobiologie:
Elektroinstallationen sternförmig verlegt, zum Teil Netzfreeschalter in der ganzen Wohnung

Kosten:
Fr. 526.-/m² (BKP2)

Musterguppe Region D:
Mehrfamilienhäuser Unterächer, Stäfa ZH

E2000 Öko-Bau

Projektleitung:
Walter Moser
Basler & Hofmann
Forchstrasse 395
8029 Zürich
Tel. 01-387 11 22
Fax 01-387 11 00

Projektleitungsteam:
Heini Glauser
Dr. Werner Hässig
Niklaus Hodel
Christophe Mercier

Energie

1. Gebäude: Der Schwerpunkt liegt bei der Wärmedämmung. Da die Gebäude West-Ost orientiert sind, ist die passive Sonnenenergienutzung zweitrangig.

2. Heizung: Die Wärme wird zentral pro Hauszeile mit einem modulierenden Kondensationsgaskessel erzeugt.

3. Lüftung: Gelüftet wird mechanisch mit WRG. Pro Hausteil ist ein separates Lüftungsgerät installiert. Die Luft wird in den Geschossdecken verteilt. Die Zuluftöffnungen befinden sich über den Heizkörpern. Die frische Luft wird über Erdregister mit gemeinsamer Luftfassung angesaugt.

3. Warmwasser: Pro Hauszeile ist ein massgefertigter Fassadenkollektor vorhanden. Der Deckungsgrad beträgt 42%. Der Sonnenenergieeintrag deckt 13% des Nutzenergiebedarfes. Die Mehrkosten für die Kollektoren pro Haus und

Monat belaufen sich auf 22.- Franken. Der Speicher ist mit einem integrierten Brauchwasser-Wärmetauscherrohr ausgerüstet. Nachgeheizt wird mit dem Gaskessel.

Material/Konstruktion

Das Sichtmauerwerk der Nord- und Südfassade besteht aus Kalksandstein. Die Ost- und Westfassaden sind aus vorgefertigten Holzrahmen-Elementen horizontal mit rohen Lärchenholzbrettern verschalt.

Die tragenden Trennwände in den Wohnungen sind in Backstein gehalten. Diese Backsteinwände sind mit einem 1 cm dicken Lehmputz versehen der mit Kaseinfarbe gestrichen ist.

Umgebungsgestaltung

Zum Sitzen dienen ehemalige Beton-Fundationssteine einer Traglufthalle.

Diese Firmen wirkten am Bau mit und unterstützten die Herstellung dieses Infoblattes

- energa Ingenieurbüro, 8712 Stäfa, 01-926 66 00
- Reichling und Hausammann, Architekten, 8712 Stäfa, 01-926 23 53
- E. Keller AG, Gipserarbeiten, Lehmputztechnik, Trockenbau, Flawil/Degersheim, 071-393 33 45
- Gadola Fassaden AG, Solarfassadenelemente, 8618 Oetwil am See, 01-929 61 61
- Lehmann u. Bilttetter AG, Heizung, Sanitär, Energie, 8706 Meilen, 01-923 08 80
- Franz Hasler AG, Zimmerei Fassadenelemente in Holz, 9487 Camprin-Bendern, 075-373 13 59