



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Erneuerbare Energien

Schlussbericht 1. Dezember 2005

Solarbetriebene Absorptions-Kältemaschine MGB - Zürich

Projektnehmer

Ingenieurbüro
RMB Engineering AG
Technoparkstrasse 1
8005 Zürich
Tel 044 406 80 20
Fax 044 406 80 21
Email info@rmb.ch
Homepage www.rmb.ch





Projektleiter:
Fredy Beuchat

Verfasser:
Cyril Corbaz
Cornel Utz

Dieses Projekt wurde im Rahmen des Forschungsprogramms Solarenergie des Bundesamts für Energie BFE unterstützt.
Für den Inhalt ist allein der Projektnehmer verantwortlich.



Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage	5
1.1.	Gebäude	5
1.2.	Nutzung	5
1.3.	Anforderungen	6
2.	Ziele des Projektes	7
2.1.	Projektidee	7
2.2.	Rahmenbedingungen	7
3.	Beschreibung der Anlage	8
3.1.	Informationen zum Gebäude	8
3.2.	Absorptionskältemaschine	8
3.3.	Solaranlage	11
3.4.	Hybridrückkühler	12
3.5.	Verbraucher	12
3.6.	Prinzipschema	13
3.7.	Regulierungs- und Messkonzept	15
4.	Messergebnisse	16
4.1.	Messdaten	16
4.2.	Zusammenfassung Energiebilanz Wärme	19
4.3.	Zusammenfassung Energiebilanz Kälte	22
4.4.	Wirkungsgrad Absorber	24
5.	Investitionskosten	25
5.1.	Gesamtkosten der Anlage	25
5.2.	Nicht amortisierbare Mehrkosten der Anlage	25
5.3.	Subventionen für die Anlage	25
6.	Wirtschaftliche Aspekte	26
6.1.	Grundlagen und Berechnungswerte	26
6.2.	Wirtschaftlichkeitsrechnung	27
6.3.	Dynamische Kostenbetrachtung	28
7.	Schlussfolgerung und Perspektiven	29
7.1.	Einsatzgebiet	29
7.2.	Kostenbetrachtung	29
7.3.	Optimierungspotential Absorptionsanlage MGB - Zürich	30
7.4.	Fazit	30
8.	Involvierte Unternehmungen und Personen	31
9.	Anhang	33
9.1.	Fotoverzeichnis	33
9.2.	Abbildungsverzeichnis	33
9.3.	Tabellenverzeichnis	33
9.4.	Literaturverzeichnis	34
9.5.	Links im Internet	34



Management Summary

Die realisierte Absorptionskälteanlage durch den Migros-Genossenschafts-Bund befindet sich zwischen dem Limmatplatz und der Heinrichstrasse in Zürich.

Die Antriebskraft der Absorptionskältemaschine liefern Vakuumröhrenkollektoren, die auf dem Flachdach platziert sind. Die Kühlung erfolgt in erster Linie über ein Kühldeckensystem und in zweiter Linie über die Lüftungsanlage. Der installierte Hybridkühler führt die entstehende Kondensationswärme ins Freie. Es handelt sich um die erste funktionierende und erfolgreiche monovalente Absorptionskältemaschine mit Solarsystem in der Schweiz (ohne zusätzliche Heizungsunterstützung).

Die Nutzung von Sonnenenergie für solare Kühlung wird zunehmend zu einem interessanten Thema. Mit der Verwirklichung dieses Projektes und der durchgeführten Auswertung konnten Erfahrungen für zukünftige Anlagen gewonnen werden. Es ist auch ein wichtiger Beitrag an die Umwelt und kann das Bewusstsein für den sparsamen Verbrauch unserer Ressourcen fördern. Demonstrationsanlagen und Vorzeigeprojekte mit solarer Kühlung sind besonders wichtig, um das Vertrauen zu dieser neuen Technologie zu verstärken.

Die solare Klimatisierung ist heute gegenüber den derzeit dominierenden elektrischen Klimatisierungssystemen wirtschaftlich noch nicht konkurrenzfähig. Der Grund liegt in den höheren Investitionen und den niedrigen Preisen für gebräuchliche Brennstoffe bzw. elektrische Energie.

Bei der ausgeführten Solaranlage besteht in der Aufheizphase noch ein erhebliches Optimierungspotential. Bisher wurde die überschüssige Solarenergie der Speicheranlage zugeführt und nicht weiter verwendet. In Zukunft wird aber diese gespeicherte Energie am Vormittag für die Aufheizung des Solarnetzes verwendet, um dadurch die Kälteproduktion der Absorptionskältemaschine zu erhöhen.

Bei der Planung von Absorptionsanlagen ist vor allem darauf zu achten, dass sich die Technikzentrale in der Nähe des Rückkühlers und der Solaranlage befindet. Durch die kurzen Leitungswege können die Investitionskosten gesenkt und die Wärmeverluste der Solarleitungen verringert werden.



1. Ausgangslage

Der Verkauf des Versicherungsgeschäftes „Secura“ an die Generali Versicherungen führte zur Zusammenlegung von Arbeitsplätzen und zur Leerung der Gebäude am Limmatplatz.

Die Verwendung der Flächen und deren Zustand entsprachen nicht mehr den Vorstellungen einer künftigen Mieterschaft. Dies führte zur Entscheidung einer Gesamtanierung der drei Liegenschaften.

1.1. Gebäude

Das Objekt des Migros-Genossenschafts-Bundes befindet sich zwischen dem Limmatplatz und der Heinrichstrasse in Zürich. Das Gebäude weist drei klare Gebäudestrukturen auf. Die Limmatstrasse 4/6 und die Heinrichstrasse 70/74 wurden als eigenes Gebäude über fünf Geschosse in den Zwanzigerjahren des letzten Jahrhunderts realisiert. In den Jahren 84/85 wurden die beiden Gebäude durch den Mittelbau verbunden.



Foto 1: Gebäude

1.2. Nutzung

Das Ziel war es, nach der Sanierung die Geschossflächen unterschiedlich zu nutzen. Im Untergeschoss befinden sich Lager und Technik, das Erdgeschoss wird als Laden und Restaurant betrieben und in den Obergeschossen befinden sich Büros. Abgerundet wird der Mix durch fünf Wohnungen in den obersten Geschossen der Heinrichstrasse 70/74.



1.3. Anforderungen

Sämtliche Sitzungszimmer vom 1. bis 4.OG sowie das Grossraumbüro der Handelsabteilung müssen im Sommer zur Behaglichkeitsverbesserung klimatisiert werden. Aus diesem Grund wurde zur Deckung des zukünftigen Kälteleistungsbedarfs eine Absorptionsanlage mit einer totalen Kälteleistung von 46 kW installiert. Die Antriebskraft der Absorptionskältemaschine liefern Vakuumröhrenkollektoren, die auf dem Flachdach des 4.OG platziert sind. Die Kühlung erfolgt in erster Linie über ein Kühldeckensystem und in zweiter Linie über die Lüftungsanlage. Die entstehende Kondensationswärme wird über den Hybridkühler abgeführt.

Die Kombination der monovalenten Absorptionskältemaschine mit Solaranlage ohne Heizungsunterstützung wurde in der Schweiz noch nie erfolgreich realisiert.

Insbesondere fehlen Erfahrungswerte bezüglich der notwendigen Solarkollektorfläche, die für einen vernünftigen Betrieb notwendig sind. Eine zu geringe Kollektorfläche hätte ein Nichtfunktionieren der Raumkühlung zur Folge. Der Innovationswert dieses Projektes liegt hauptsächlich in der Konzeption, weniger im Einsatz alternativer Komponenten für Wärme- und Kälteerzeugung. Diese haben sich – separat betrachtet – längst bewährt und sind schon jahrzehntelang erprobt.

Mit diesem Projekt haben wir die Möglichkeit die Betriebswerte zu analysieren und die gewonnenen Erkenntnisse für zukünftige Anlagen zu nutzen. Es ist auch ein wichtiger Beitrag an die Umwelt und kann das Bewusstsein für den sparsamen Verbrauch unserer Ressourcen fördern. Die solare Klimatisierung ist heute gegenüber den derzeit dominierenden elektrischen Klimatisierungssystemen wirtschaftlich noch nicht konkurrenzfähig. Der Grund liegt in den höheren Investitionen gegenüber herkömmlichen Anlagen. Ein weiterer Faktor sind die niedrigen Preise für gebräuchliche Brennstoffe bzw. elektrische Energie. Diese und andere wirtschaftliche Aspekte werden in diesem Bericht erörtert.



2. Ziele des Projektes

2.1. Projektidee

Die Nutzung von Sonnenenergie für solare Kühlung wird zunehmend zu einem interessanten Thema. Absorptions-Kältemaschinen und Vakuumröhrenkollektoren sind erprobte Teilsysteme. Ein Absorber mit einer reinen Solaranlage zu betreiben, stellt als Gesamtsystem ein interessantes und gutes Pilotprojekt dar. Im Zusammenhang mit weiteren solaren Kühlprojekten kann ein breiter Erfahrungsschatz ähnlicher Technologien aufgebaut werden. Demonstrationsanlagen und Vorzeigeprojekte mit solarer Kühlung sind besonders wichtig, um das Vertrauen zu dieser neuen Technologie zu verstärken. Dieses Pilotprojekt wurde mit Unterstützung des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BFE) realisiert. Die Anlage wurde im August 2003 in Betrieb genommen.

2.2. Rahmenbedingungen

Der Migros-Genossenschaftsbund, welcher sich sehr stark für die Umwelt einsetzt, sieht dieses Pilot- und Demonstrationsprojekt vor allem als Beitrag zur Förderung erneuerbarer Energien. Insbesondere bietet es die Möglichkeit, Erfahrungen im Bereich Kälteproduktion mit Solarenergie zu sammeln. Bis jetzt wurden in der Schweiz nur vereinzelte Anlagen dieser Art gebaut, jedoch verfügen diese über eine zusätzliche Heizungsunterstützung. Im Kanton Zürich dürfen Absorptionskältemaschinen nur mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Da in dieser Liegenschaft keine Abwärme zur Verfügung steht, liefert die Solaranlage die gesamte notwendige Antriebsenergie des Absorbers (einmalig in der Schweiz).

Die Betriebsdaten werden zentral erfasst und können jederzeit ausgewertet werden. Wie lange und wann die Absorptionskältemaschine im Betrieb ist, kann abgerufen werden. Die Behaglichkeit in den Büros soll während den Sommermonaten untersucht werden, um allfällige Optimierungen vorzunehmen. Ob die Anlage kostendeckend arbeiten kann, ist eine zentrale Frage auch im Hinblick auf künftige Projekte. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus der Planung und den Betriebsdaten soll bestimmt werden, ob dieses Konzept in unserem Breitengrad realistisch sein wird.



3. Beschreibung der Anlage

3.1. Informationen zum Gebäude

Das Bürogebäude des MGB's befindet sich am Limmatplatz in Zürich. Die genaue Position ist auf den Koordinaten 682500, 248770 und liegt 405 m.ü.M. Alle Gebäude in diesem Gebiet bestehen aus vier bis fünf Geschossen und somit keine Beschattungsfaktoren. Nur das MGB-Hochhaus ragt weit über alle Gebäude hinaus. Da es aber nördlicher liegt wirft es keinen Schatten auf die neuen Kollektorflächen.

Die Bruttogeschossfläche beträgt 10'000 m² und teilt sich in folgende Flächen auf:

Lager und Technik:	1'800 m ²
Laden Restaurant:	1'800 m ²
Büros:	5'750 m ²
Wohnungen:	650 m ²

Dabei sind 376 m² der Büroflächen mit Kühldecken belegt. Weiter wird die gewonnene Kälte der Lüftungsanlage der Büros zugeführt, welche mit einem Volumenstrom von 12'000 m³/h ausgelegt ist.

3.2. Absorptionskältemaschine

Das Herzstück der neuen Anlage bildet die Absorptionskältemaschine mit einer Leistung von 46 kW. Das Gerät benötigt keinen Kompressor und arbeitet geräuschlos sowie verschleissfrei. Das auf 9° bis 13°C gekühlte Kaltwasser gelangt in die Speicheranlage und von dort zu den Verbrauchern.

Fabrikat:	York AG
Typ:	WFC 10
Kälteleistung:	46 kW bei 16/9 °C
Kühlleistung:	109 kW bei 30/36 °C
Heizleistung:	63 kW bei 95/89 °C
Kältemittel:	Wasser und Lithiumbromid
El. Leistung:	0.03 kW
El. Spannung:	1x230 Volt, 50 Hz
Standort:	Kältezentrale UG

Absorptionskältemaschinen sind die am meisten verbreitete Technik für thermisch angetriebene Kälteerzeugung. Ihr Haupteinsatzgebiet ist die Kältebereitstellung unter Ausnutzung von Fernwärme, industrieller Abwärme, Abwärme eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) oder solar erzeugter Antriebswärme. Bei Absorptionskälteanlagen wird wie bei Kompressionsmaschinen die Abhängigkeit des Siede- und Taupunkts eines Kältemittels vom Druck ausgenutzt. Im Kreisprozess der Absorptionsmaschine fließt ein Wasser-Lithiumbromid-Gemisch. Wasser wird als Kältemittel und Lithiumbromid wegen den guten Absorptionseigenschaften als Absorptionsmittel bezeichnet. Lithiumbromid kann sehr gut Wasser absorbieren, wie auch gut darin aufgelöst werden.



Eine Absorptionskältemaschine arbeitet in einem geschlossenen System, welches vier Wärmetauscher beinhaltet. Das Wasser/Lithiumbromid durchläuft bei der Kälteerzeugung folgende vier Schritte:

- Austreiben
- Verflüssigen
- Verdampfen
- Absorbieren

Austreiben

Der erste Wärmetauscher wird als Austreiber bezeichnet. Durch Erwärmen der verdünnten Lithiumbromid-Lösung (arm an Wasser, reich an Lithiumbromid) wird Kältemitteldampf (Wasserdampf) ausgetrieben bzw. erzeugt. Die notwendige Wärmeenergie wird bei dieser Anlage durch die Solaranlage bereitgestellt.

Verflüssigen

Der entstandene Wasserdampf strömt zum zweiten Wärmetauscher. Der Kältemitteldampf wird im Verflüssiger kondensiert, wobei Wärme an das umgewälzte Kühlwasser abgegeben wird. Die Kondensationswärme wird über Dach abgeführt.

Verdampfen

Das während der Kondensation gebildete flüssige Kältemittel gelangt in den Verdampfer, in dem ein niedrigerer Dampfdruck herrscht. Es kommt zur sofortigen Verdampfung, wobei dem Kaltwasser die latente Verdampfungswärme entzogen wird.

Absorbieren

Die ausgetriebene und konzentrierte Lithiumbromidlösung aus dem Austreiber wird über die Kühlwasserrohre verteilt, wodurch ein niedrigerer Dampfdruck entsteht und das verdampfende Kältemittel aus der Verdampfung absorbiert werden kann. Der Kreislauf ist abgeschlossen und beginnt wieder von vorne. Die Kühlwirkung resultiert daraus, dass diese vier Vorgänge in einem Kreisprozess immer wieder durchlaufen werden.

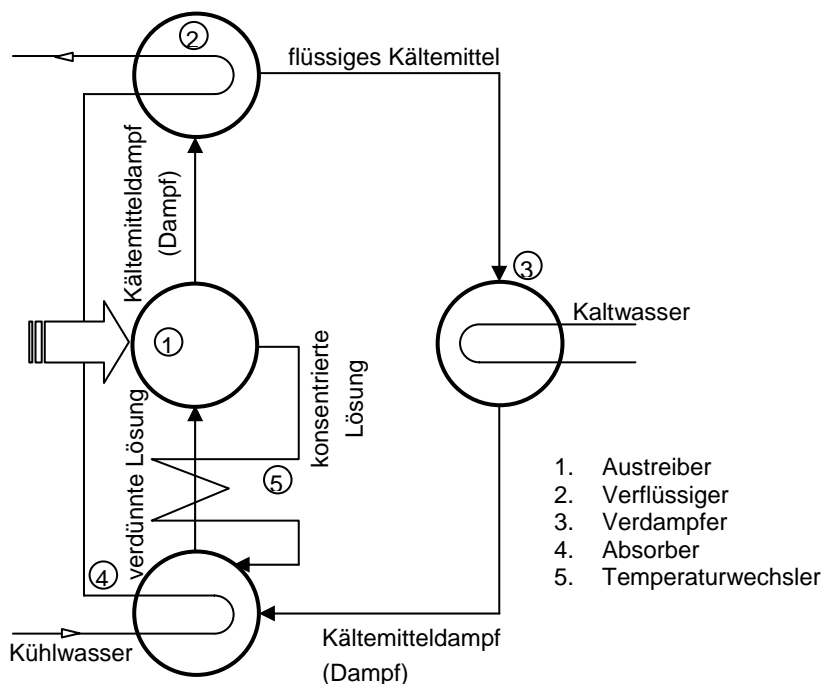


Abbildung 1: Funktionsschema Absorptionskältemaschine



Foto 2: Absorptionskältemaschine



Foto 3: Speicher Solaranlage



Foto 4: Notkühlung Solaranlage über Rückkühleinheit



3.3. Solaranlage

Die notwendige Antriebskraft (Wärmeenergie) für die Absorptionskältemaschine liefert die Solaranlage mit einer hochselektiven beschichteten Absorberfläche von 107.5 m². Die Vakuumröhrenkollektoren erzeugen die erforderlichen Temperaturen von 75°C bis 100°C. Sie sind auf dem Flachdach des Gebäudes installiert. Die direkt durchströmten Kollektormodule wurden in horizontale Lage montiert ohne Aufständungen und aufwendigen Windlastberechnungen. Der Neigungswinkel der Absorberfläche des Kollektors beträgt 35° und sind in der Orientierung +42° ausgerichtet (Südausrichtung = 0°).

Fabrikat:	B. Schweizer Energie AG
Typ:	Swisspipe Modul 6
Aktive Fläche:	107.5 m ²
Farbe:	RAL72021 (anthrazit)
Standort:	Flachdach 4.OG

Die beschriebene Solaranlage arbeitet auf die Absorptionskältemaschine und wahlweise auf die Speicheranlage mit zwei eingebauten Spezial-Heizregistern. Im Sommer wird die überschüssige Wärmeenergie im Speicher zwischengespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt verwendet. Im Winter wird die Solaranlage ausschliesslich für Heizzwecke eingesetzt und hebt die Gesamtrücklauftemperatur der Heizungsanlage an.

Bei Ausfall der Absorptionskältemaschine muss die Solaranlage im Sommer vor Überhitzung geschützt werden. Wenn die Mediumtemperatur einen bestimmten Wert übersteigt, wird die Sonnenenergie über einen Plattenwärmetauscher (Netztrennung) dem Rückkühlnetz zugeführt und über den Hybridkühler ins Freie abgeführt.



Foto 5: Solaranlage



3.4. Hybridrückkühler

Die Kondensationsabwärme der Absorptionskältemaschine wird über den Hybridkühler im 4.OG an die Umgebung abgegeben. Für das hybride Kühlsystem wird entsalztes Wasser bereitgestellt. Die Wasserbehandlung erfolgt über die Gegenosmoseanlage die in der Sanitärzentrale untergebracht ist.

Fabrikat: Jäggi/Güntner AG
Typ: HTK 1.2/3.0-2S-P6-Cu-SX3
Qc: 135 kW bei 33/24 °C
Umgebung: 27°C / 50% relative Feuchte
Standort: Flachdach 4.OG



Foto 6: Hybridrückkühler

3.5. Verbraucher

Die Kühlung erfolgt in erster Linie über ein Kühldeckensystem. Sämtliche Sitzungszimmer im Bürogebäude sind mit Kühldecken ausgerüstet und somit bei Absorberbetrieb klimatisiert. Im Weiteren ist das Grossraumbüro im 1. Obergeschoss mit Kühldecken versehen. Gesamthaft werden 376 m² über das Deckensystem gekühlt, welche die Behaglichkeit der Raumbenutzer im Sommer wesentlich verbessert.

Bei genügender Kälteleistung des Flüssigkeitskühlers wird die Zuluft im Monobloc durch ein eingebautes Kühlregister abgekühlt. Die Kälteleitung führt vom Kälteverteiler in der Kältezentrale auf den Kühlregisteranschluss (Monobloc) in der Lüftungszentrale.



3.6. Prinzipschema

3.6.1. Flussschema Sommerbetrieb

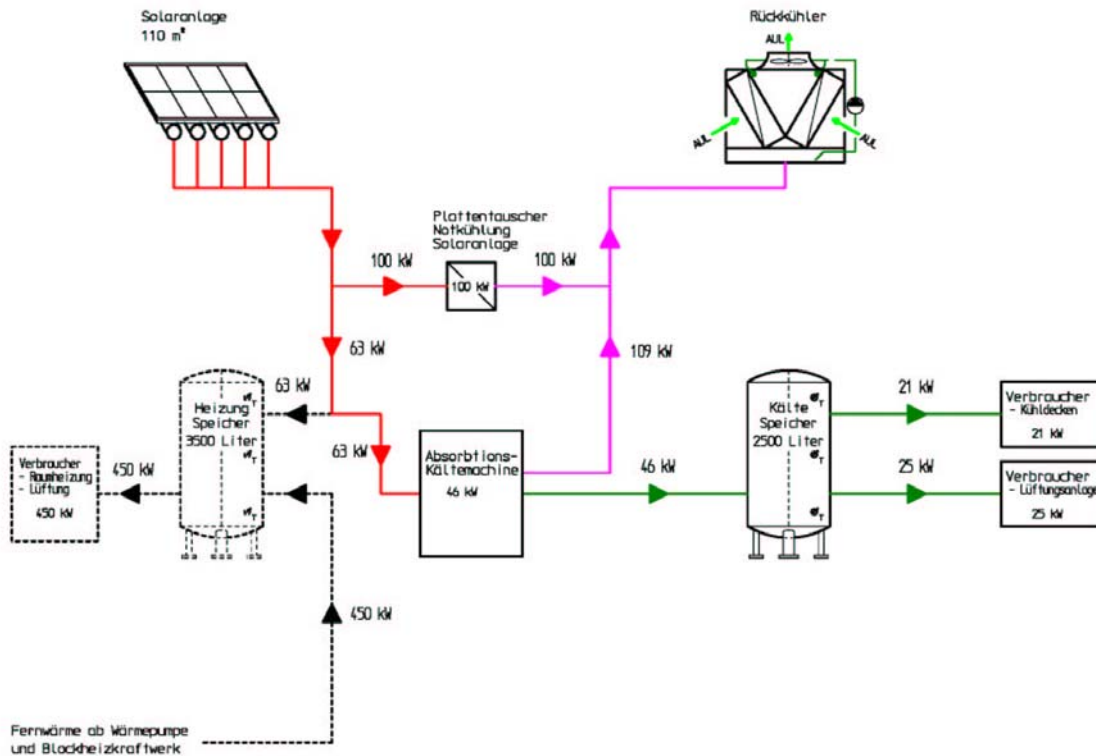


Abbildung 2: Flussschema Sommerbetrieb

Sobald die mittlere Tagesaussentemperatur für mehrere Tage über die Heizgrenze ansteigt wird die Heizung automatisch ausgeschaltet und die Absorptionskältemaschine freigegeben. Sobald die erforderliche Mediumtemperatur auf dem Solarkreislauf erreicht ist, wird die vorhandene Wärmeenergie dem Absorber zugeführt. Durch die Zuführung der Antriebskraft kommt die Kälteproduktion automatisch in Gang. Das durch den Prozess entstehende Kaltwasser gelangt mit Hilfe von Umwälzpumpen zu den Verbrauchern. Allfällige überschüssige Kälteenergie wird im Pufferspeicher mit einem Fassungsvermögen von 2500 Liter gespeichert. Solange die Sonnenintensität und somit die Wassertemperatur über die Solaranlage genügend gross ist, bleibt die Kältebereitstellung der Absorptionskältemaschine aktiv.



3.6.2. Flussschema Winterbetrieb

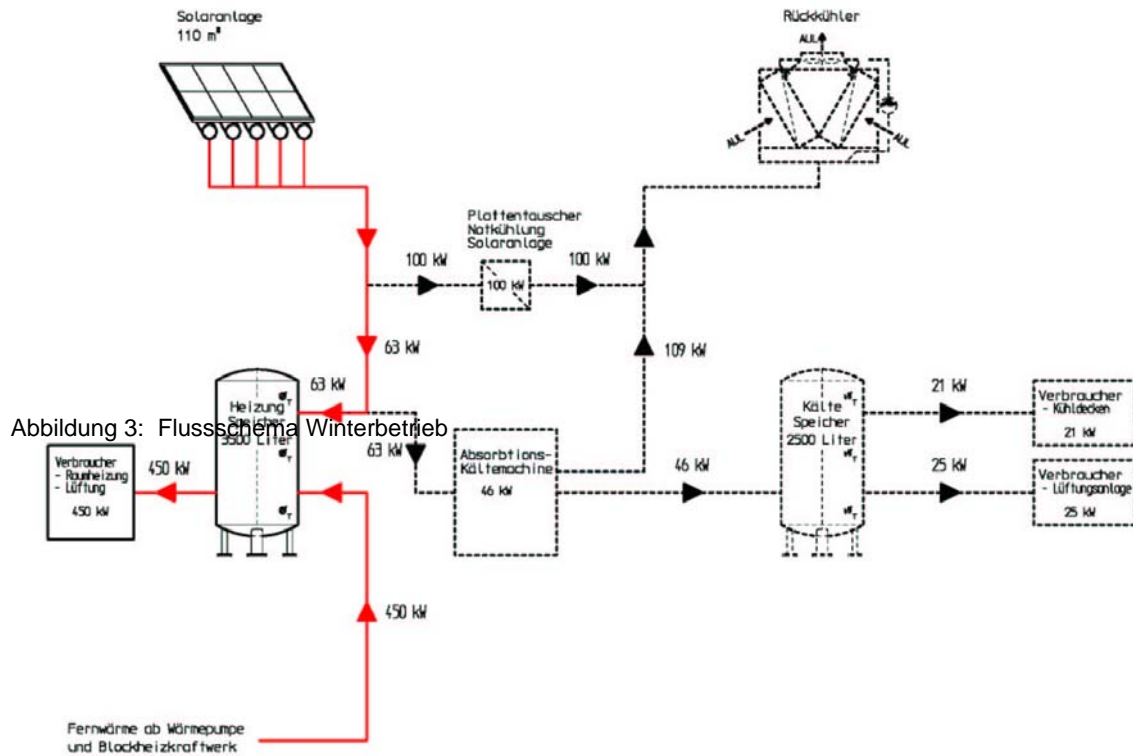


Abbildung 3: Flussschema Winterbetrieb

Der hohe Wirkungsgrad der Sonnenkollektoren erlaubt im Winter die Solarenergie für Heizzwecke zu verwenden. Das heisst, dass in diesem Fall die Rücklauf­temperatur der Niedertemperaturheizung angehoben wird. Durch den Eintrag von solarer Energie werden fossile Brennstoffe und elektrische Energie substituiert.

Während der gesamten Winterperiode ist die Absorptionskältemaschine nicht in Betrieb.



3.7. Regulierungs- und Messkonzept

Für die Anlage steht ein übergeordneter Leitrechner der Firma Stesag zur Verfügung. Es handelt sich um eine frei programmierbare Steuerung. Die Daten der Energie-, Wärme-, Durchfluss- und Betriebsstundenzähler werden zentral von diesem Leitrechner verwaltet und können für die Überwachung oder Betriebsoptimierung genutzt werden.

Um diesem ausserordentlichen Projekt gerecht zu werden, wurden mehr Messgeräte als nötig geplant. Jede Pumpe und jede Maschine wurde mit Betriebsstundenzähler ausgerüstet. Zur Messung der Strahlungsintensität ist ein Sonnenfühler installiert und ebenfalls an den Leitrechner angeschlossen.

Folgende Energiemessungen wurden zur Überwachung und Betriebsoptimierung eingebaut:

- Ertrag Sonnenenergie
- Zugeführte Energie an die Absorptionskältemaschine
- Total produzierte Kälteenergie



4. Messergebnisse

4.1. Messdaten

Für die Analysen haben wir die Energiemessungen der Solaranlage, des Absorbers auf der Austreiber- und der Verdampferseite benutzt.

In den untenstehenden Tabellen sind die Energiemengen der einzelnen Messstellen aufgeführt. Anhand dieser Messdaten haben wir die Betriebsanalyse durchgeführt. Die Werte werden jeweils am ersten Tag des Monats automatisch gespeichert und abgelegt.

Energie Solaranlage					
Monat:	Jahr:	Zählerstand:		Monatsmenge:	
Jan	2003	2903	[kWh]	25	[kWh]
Feb	2003	2928	[kWh]	1196	[kWh]
Mrz	2003	4124	[kWh]	4651	[kWh]
Apr	2003	8775	[kWh]	8052	[kWh]
Mai	2003	16827	[kWh]	4785	[kWh]
Jun	2003	21612	[kWh]	7198	[kWh]
Jul	2003	28810	[kWh]	7450	[kWh]
Aug	2003	36260	[kWh]	6980	[kWh]
Sep	2003	43240	[kWh]	3750	[kWh]
Okt	2003	46990	[kWh]	1360	[kWh]
Nov	2003	48350	[kWh]	420	[kWh]
Dez	2003	48770	[kWh]	100	[kWh]
Jan	2004	48870	[kWh]	30	[kWh]
Feb	2004	48900	[kWh]	800	[kWh]
Mrz	2004	49700	[kWh]	3470	[kWh]
Apr	2004	53170	[kWh]	5570	[kWh]
Mai	2004	58740	[kWh]	6120	[kWh]
Jun	2004	64860	[kWh]	5980	[kWh]
Jul	2004	70840	[kWh]	6450	[kWh]
Aug	2004	77290	[kWh]	4790	[kWh]
Sep	2004	82080	[kWh]	3410	[kWh]
Okt	2004	85490	[kWh]	1780	[kWh]
Nov	2004	87270	[kWh]	150	[kWh]
Dez	200	87420	[kWh]	50	[kWh]
Jan	2005	87470	[kWh]	250	[kWh]
Feb	2005	87720	[kWh]	290	[kWh]
Mrz	2005	88010	[kWh]	3790	[kWh]
Apr	2005	91800	[kWh]	5400	[kWh]
Mai	2005	97200	[kWh]	7100	[kWh]
Jun	2005	104300	[kWh]	7250	[kWh]
Jul	2005	111550	[kWh]	5440	[kWh]
Aug	2005	116990	[kWh]	4980	[kWh]
Sep	2005	121970	[kWh]	3620	[kWh]
Okt	2005	125590	[kWh]	2580	[kWh]
Nov	2005	128170	[kWh]		

Tabelle 1: Energie Solaranlage



Heizenergie Absorber

Monat:	Jahr:	Zählerstand:	Monatsmenge:
Jan	2003	1734 [kWh]	0 [kWh]
Feb	2003	1734 [kWh]	0 [kWh]
Mrz	2003	1734 [kWh]	0 [kWh]
Apr	2003	1734 [kWh]	8 [kWh]
Mai	2003	1742 [kWh]	1769 [kWh]
Jun	2003	3511 [kWh]	4629 [kWh]
Jul	2003	8140 [kWh]	5890 [kWh]
Aug	2003	14030 [kWh]	5540 [kWh]
Sep	2003	19570 [kWh]	2370 [kWh]
Okt	2003	21940 [kWh]	30 [kWh]
Nov	2003	21970 [kWh]	0 [kWh]
Dez	2003	21970 [kWh]	0 [kWh]
Jan	2004	21970 [kWh]	0 [kWh]
Feb	2004	21970 [kWh]	0 [kWh]
Mrz	2004	21970 [kWh]	0 [kWh]
Apr	2004	21970 [kWh]	0 [kWh]
Mai	2004	21970 [kWh]	2380 [kWh]
Jun	2004	24350 [kWh]	4180 [kWh]
Jul	2004	28530 [kWh]	4780 [kWh]
Aug	2004	33310 [kWh]	3460 [kWh]
Sep	2004	36770 [kWh]	2150 [kWh]
Okt	2004	38920 [kWh]	0 [kWh]
Nov	2004	38920 [kWh]	0 [kWh]
Dez	2004	38920 [kWh]	0 [kWh]
Jan	2005	38920 [kWh]	0 [kWh]
Feb	2005	38920 [kWh]	0 [kWh]
Mrz	2005	38920 [kWh]	0 [kWh]
Apr	2005	38920 [kWh]	0 [kWh]
Mai	2005	38920 [kWh]	2490 [kWh]
Jun	2005	41410 [kWh]	5280 [kWh]
Jul	2005	46690 [kWh]	3870 [kWh]
Aug	2005	50560 [kWh]	3430 [kWh]
Sep	2005	53990 [kWh]	1470 [kWh]
Okt	2005	55460 [kWh]	0 [kWh]
Nov	2005	55460 [kWh]	

Tabelle 2: Heizenergie Absorber (Austreiber)



Kühlenergie Absorber

Monat:	Jahr:	Zählerstand:	Monatsmenge:
Jan	2003	940 [kWh]	0 [kWh]
Feb	2003	940 [kWh]	0 [kWh]
Mrz	2003	940 [kWh]	0 [kWh]
Apr	2003	940 [kWh]	0 [kWh]
Mai	2003	940 [kWh]	1060 [kWh]
Jun	2003	2000 [kWh]	3700 [kWh]
Jul	2003	5700 [kWh]	3600 [kWh]
Aug	2003	9300 [kWh]	3500 [kWh]
Sep	2003	12800 [kWh]	1300 [kWh]
Okt	2003	14100 [kWh]	0 [kWh]
Nov	2003	14100 [kWh]	0 [kWh]
Dez	2003	14100 [kWh]	0 [kWh]
Jan	2004	14100 [kWh]	0 [kWh]
Feb	2004	14100 [kWh]	0 [kWh]
Mrz	2004	14100 [kWh]	0 [kWh]
Apr	2004	14100 [kWh]	0 [kWh]
Mai	2004	14100 [kWh]	1300 [kWh]
Jun	2004	15400 [kWh]	2100 [kWh]
Jul	2004	17500 [kWh]	2800 [kWh]
Aug	2004	20300 [kWh]	2000 [kWh]
Sep	2004	22300 [kWh]	1300 [kWh]
Okt	2004	23600 [kWh]	0 [kWh]
Nov	2004	23600 [kWh]	0 [kWh]
Dez	2004	23600 [kWh]	0 [kWh]
Jan	2005	23600 [kWh]	0 [kWh]
Feb	2005	23600 [kWh]	0 [kWh]
Mrz	2005	23600 [kWh]	0 [kWh]
Apr	2005	23600 [kWh]	0 [kWh]
Mai	2005	23600 [kWh]	1300 [kWh]
Jun	2005	24900 [kWh]	3000 [kWh]
Jul	2005	27900 [kWh]	2200 [kWh]
Aug	2005	30100 [kWh]	2000 [kWh]
Sep	2005	32100 [kWh]	900 [kWh]
Okt	2005	33000 [kWh]	0 [kWh]
Nov	2005	33000 [kWh]	

Tabelle 3: Kühlenergie Absorber (Verdampfer)



4.2. Zusammenfassung Energiebilanz Wärme

Nachfolgend sind die Wärmeenergien welche von den Sonnenkollektoren bereitgestellt wurden aufgeführt. Die spezifischen Energiegewinne wurden mit der realisierten Solarkollektorfläche von 107.5 m² ermittelt. Die Energien welche dem Absorber zukommt sind ebenfalls aufgeführt. Damit für das Jahr 2005 eine Energiebilanz angegeben werden kann, sind für den November einen Solarertrag von 300 kWh und für den Dezember einen Ertrag von 80 kWh abgeschätzt worden.

Total Energie Solaranlage 2003	45'967 [kWh]
Total Energie Solaranlage 2004	38'600 [kWh]
Total Energie Solaranlage 2005	41'080 [kWh] (Nov. und Dez abgeschätzt)
Spezifischer Energiegewinn 2003	427.6 [kWh/m ² a]
Spezifischer Energiegewinn 2004	359.1 [kWh/m ² a]
Spezifischer Energiegewinn 2005	382.1 [kWh/m ² a]
Total Heizenergie Absorber 2003	20'236 [kWh]
Total Heizenergie Absorber 2004	16'950 [kWh]
Total Heizenergie Absorber 2005	16'540 [kWh]

Am 8. Juli 2004 wurde die Solaranlage auf dem Dach durch ein Hagelgewitter stark beschädigt. Es wurden ca. 32 von 503 Vakuumkollektoren zerstört. Bei den betroffenen Kollektorröhren wurde das Glasrohr durch die Hagelkörner in Mitleidenschaft gezogen. Dieser Schaden fällt besonders ins Gewicht, da die Anlage mitten im Sommer ausser Betrieb gesetzt werden musste. Ohne diesen Zwischenfall wären die Betriebsstunden des Absorbers und die nutzbare Sonnenenergie für das Jahr 2004 höher ausgefallen.

Energiebilanz Solaranlage 2003

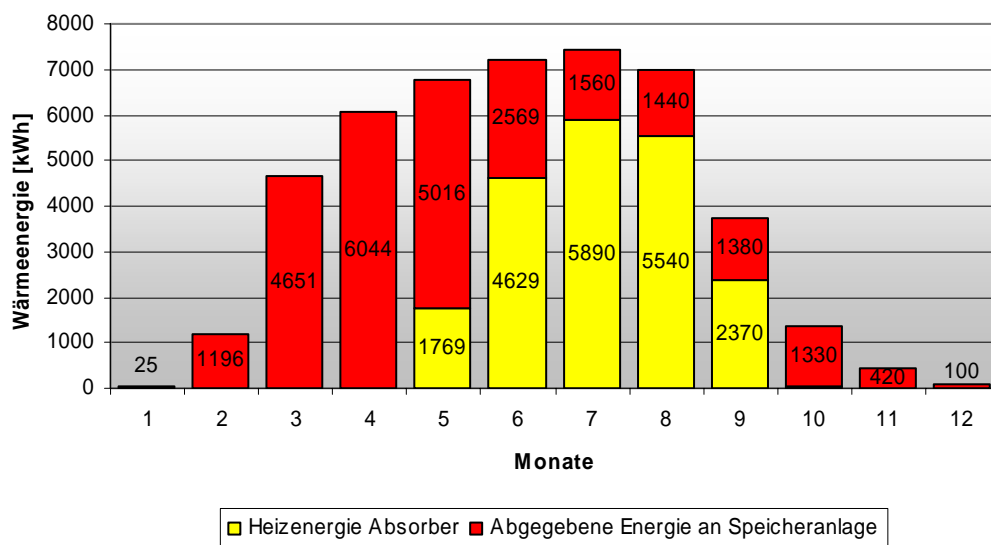


Abbildung 4: Energiebilanz Solaranlage 2003



Mit den aufgeführten Energiediagrammen können folgende Aussagen gemacht werden:

- Die roten Balken stellen die Energiemenge dar, welche in die Speicheranlage geführt wird oder als Verluste auftreten.
- Die gelben Balken stellen die Energiemenge dar, welche direkt dem Absorber zugeführt wird.

Aus dem periodischen Verlauf ist ersichtlich, dass mit der Solarenergie in den Monaten Januar bis April und Oktober bis Dezember die anfallende Wärme für die Beheizung der Räumlichkeiten genutzt wird. Im Monat Mai tritt eine Mischnutzung zwischen Raumheizung und Absorptionskühlung auf. Ausserhalb der Heizperiode vom Juni bis September wurde die Solarenergie (gelbe Balken) für die Absorptionskühlung aufgewendet. Die Restenergie (rote Balken) sind Aufwärme- und Abstrahlungsverluste der Rohrleitungen und Speicher.

Die Absorptionskältemaschine verlangt Eintrittstemperaturen von mindesten 70°C, welche in Abhängigkeit zu den meteorologischen Bedingungen nicht immer garantiert werden kann. In diesem Betriebszustand wird die niederwertige Solarenergie in den Solar- bzw. Heizungsspeicher geleitet und als Abstrahlungsverluste wieder abgebaut. Ein Optimierungspotenzial besteht darin, diese gespeicherte Solarenergie im Sommer zur morgendlichen Aufheizung des Solarnetzes zu verwenden und so den Absorber früher in Betrieb nehmen zu können.

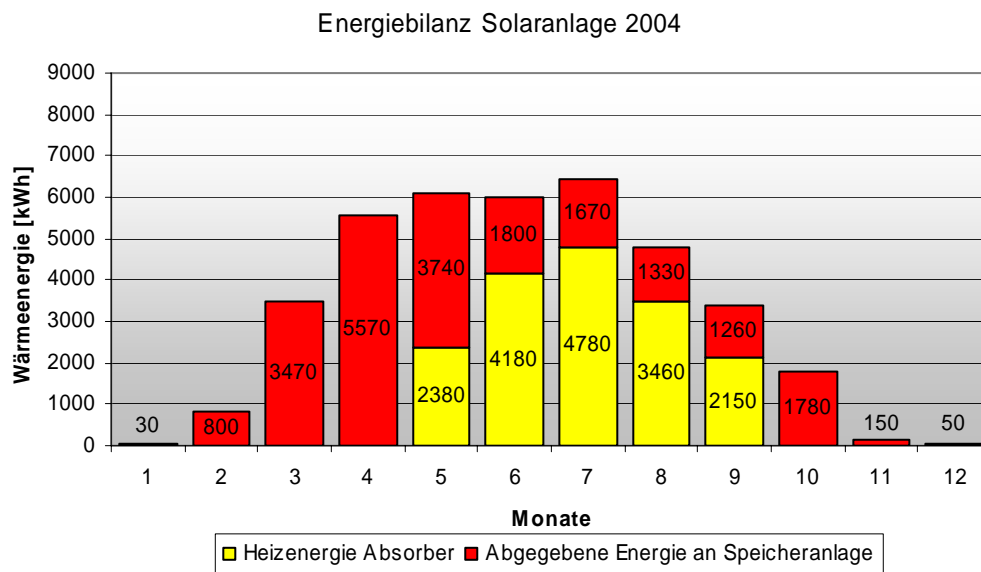


Abbildung 5: Energiebilanz Solaranlage 2004



Der Solarertrag für den November und Dezember wurden mit Hilfe der Betriebsjahre 2003 sowie 2004 abgeschätzt.

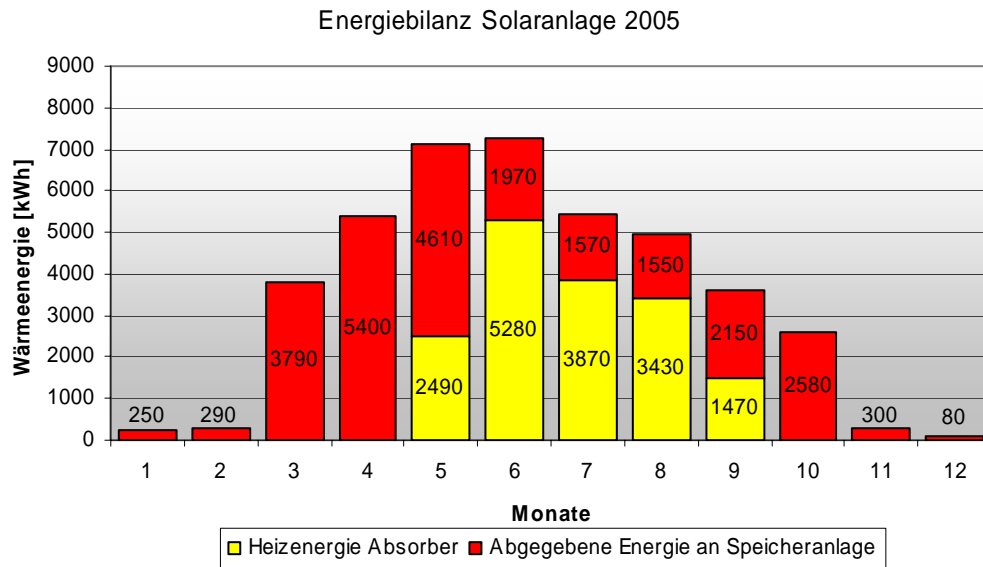


Abbildung 6: Energiebilanz Solaranlage 2005



4.3. Zusammenfassung Energiebilanz Kälte

Aus den Messdaten der vergangenen Jahre wurde die produzierte Kühlenergie der Absorptionskältemaschine zusammengefasst:

Total Kühlenergie Absorber 2003	13'160 [kWh]
Total Kühlenergie Absorber 2004	9'500 [kWh]
Total Kühlenergie Absorber 2005	9'400 [kWh]

Auffallend ist die extrem viel höhere Menge im 2003 gegenüber den anderen beiden Jahren. Im Jahr 2003 herrschte einen äusserst sonnenintensiven Sommer, welcher die Wärmeproduktion auf den Kollektoren begünstigte und somit eine aussergewöhnliche Kälteproduktion zulies.

Zur Überprüfung der Absorberkälteleistung wurden zahlreiche Betriebszustände untersucht, welche möglichst dem Auslegezustand entsprachen. Bei einer Absorptionskältemaschine sind die Leistungen sehr stark von den Kaltwasser-, Heizwasser- und Kühlwassertemperaturen abhängig. Gemäss Auslegung und Berechnung sollte die Anlage eine Leistung von 46 kW aufweisen. Die untersuchten Betriebszustände wiesen Leistungen zwischen 43 kW bis 48 kW aus. Die entstandenen Ergebnisse aus der Leistungsuntersuchung decken die zu erwarteten Auslegungsdaten ab.

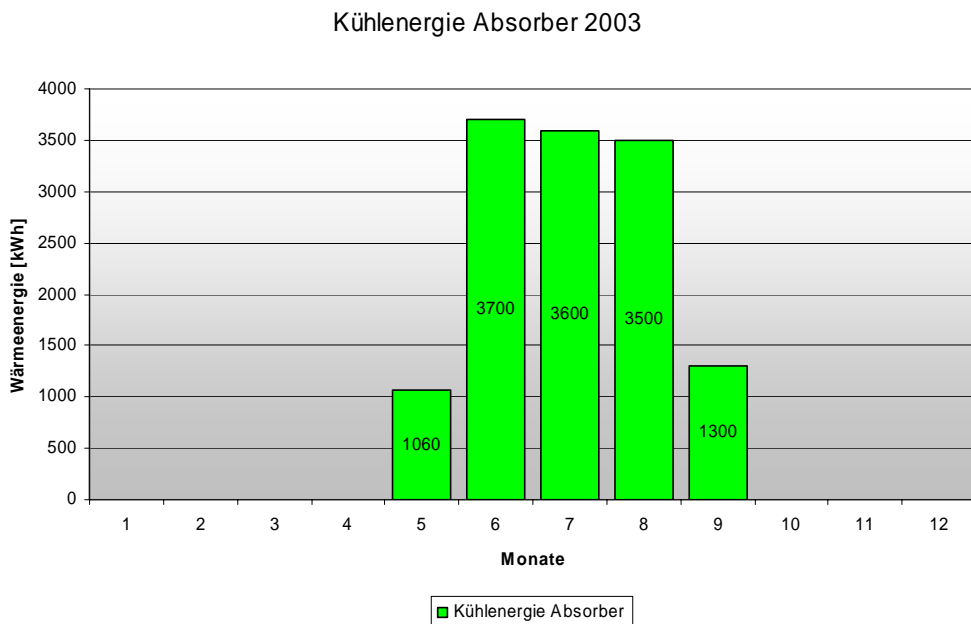


Abbildung 7: Energiebilanz Kälteproduktion 2003



Kühlenergie Absorber 2004

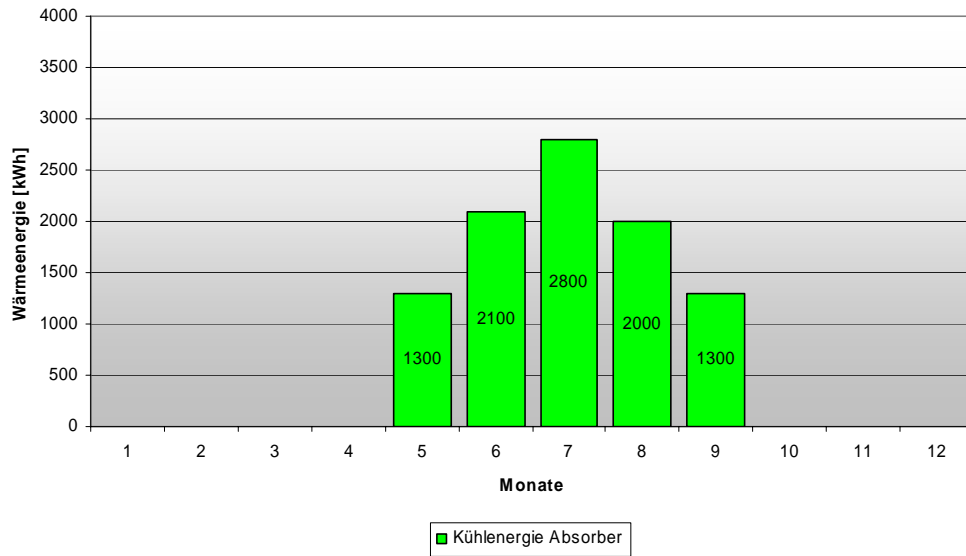


Abbildung 8: Energiebilanz Kälteproduktion 2004

Kühlenergie Absorber 2005

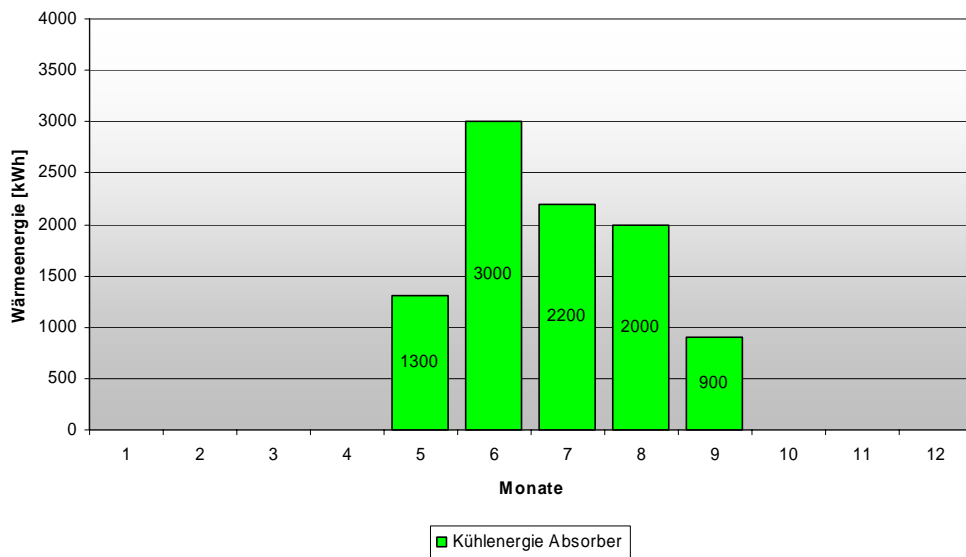


Abbildung 9: Energiebilanz Kälteproduktion 2005



4.4. Wirkungsgrad Absorber

Die Wärme, welche dem Absorber zugeführt wird, wie auch die Kälte, welche der Absorber abgibt, wurden mit Energiemessstellen gemessen. Aus den gespeicherten Daten wurden die jährlichen Wirkungsgrade des Absorbers errechnet.

Durchschnitt 2003	63.8%	[-]
Durchschnitt 2004	56.3%	[-]
Durchschnitt 2005	57.1%	[-]

Unseren Berechnungen zufolge, arbeitete die Absorptionskältemaschine während den Sommermonaten mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 56% bis knapp 64%.

Es ist auffallend, dass im Juni 2003 ein sehr hoher Wirkungsgrad berechnet wurde. Dieser ist durch die sehr hohe Sonneneinstrahlung zu erklären. Allgemein ist der Sommer 2003 ein überdurchschnittlich strahlungsintensiver Sommer gewesen.

Im Produktkatalog des Absorbers sind Spitzenwirkungsgrade bei Normauslegetemperaturen von 73% ausgewiesen. Angesichts dessen, dass über die gesamte Betriebsdauer des Absorbers die Wirkungsgrade ermittelt wurden, sind die Ergebnisse in einem realistischen und guten Bereich.



5. Investitionskosten

5.1. Gesamtkosten der Anlage

Nachfolgend sind die Aufwendungen für die Absorptionsanlage und im Vergleich die konventionelle, elektrisch betriebene Kälteanlage aufgeführt. Nicht enthalten sind die Kosten für die Kälteverteilung sowie Elektroarbeiten.

	Absorptions- Anlage [CHF]	Konventionelle Anlage [CHF]
Absorptionskältemaschine inkl. Verrohrung	80'000.--	0.--
Elektrisch betriebene Kältemaschine inkl. Verrohrung	0.--	45'000.--
Speicheranlage Kälte inkl. Verrohrung	10'000.--	10'000.--
Solaranlage inkl. Verrohrung	150'000.--	0.--
Speicheranlage Heizung inkl. Verrohrung	15'000.--	0.--
Rückkühlung inkl. Verrohrung	65'000.--	50'000.--
MSR	25'000.--	15'000.--
Dämmungen	30'000.--	20'000.--
Honorare	56'000.--	23'000.--
Total Anlagekosten (exkl. MWSt.)	431'000.--	163'000.--

Tabelle 4: Investitionskosten der Anlagen

5.2. Nicht amortisierbare Mehrkosten der Anlage

Gemäss dem Pilot- und Demonstrations-Formular betragen die nicht amortisierbaren Mehrkosten der Absorptionsanlage folgende Werte:

Nicht amortisierbare Mehrkosten Pilotprojekt: CHF 127'044.--
Nicht amortisierbare Mehrkosten Demo-, Subventionsprojekt: CHF 119'698.--

Die Berechnung wurde mit einem Investitionsanteil Kälte von CHF 297'390.-- durchgeführt.

5.3. Subventionen für die Anlage

Die finanzielle Unterstützung durch das Bundesamt für Energie beträgt CHF 40'000.--.



6. Wirtschaftliche Aspekte

6.1. Grundlagen und Berechnungswerte

Folgende Grundlagen und Berechnungswerte wurden für die Berechnungen benutzt:

▪ Stromtarif EWZ (Sommer Hochtarif):	0.175 [CHF/kWh]
▪ Nutzungsdauer:	20 Jahre
▪ Kalkulationszinssatz:	4.5%
▪ Inflationsrate:	1.0 %
▪ Realzins:	3.5%
▪ Annuitätsfaktor (Berechnung):	0.0704 [-]
▪ Leistungszahl konventionelle Kältemaschine COP:	2.5 [-]
▪ Wartungs- und Unterhaltskosten Absorptionsanlage:	2'000 [CHF/a]
▪ Wartungs- und Unterhaltskosten konventionelle Anlage:	2'500 [CHF/a]
▪ Durchschnittliche Betriebsstunden des Absorbers:	432 [Stunden/Jahr]
▪ Durchschnittliche Betriebsstunden der Umwälzpumpen:	432 [Stunden/Jahr]
▪ Durchschnittliche Betriebsstunden des Rückkühlers:	432 [Stunden/Jahr]
▪ Elektrische Leistung des Rückkühlers:	0.4 [kW]
▪ Elektrische Leistung der Umwälzpumpen:	
▪ Solaranlage:	0.7 [kW]
▪ Absorber Heizung:	0.45 [kW]
▪ Absorber Rückkühlung:	1.25 [kW]
▪ Absorber Kälte:	0.4 [kW]



6.2. Wirtschaftlichkeitsrechnung

In der folgenden Tabelle sind die Betriebskosten der Anlage aufgeführt. Da die Solaranlage im Winter zur Unterstützung der Heizung genutzt wird, sind die Investitionskosten für die Kälte um Faktor 0.69 kleiner. Dieser Faktor berechnet sich aus dem Verhältnis der Sonnenenergie im Sommer, zur Sonnenenergie im Winter. Der Annuitätsfaktor dient dazu, die einmaligen Investitionskosten in jährliche Beträge umzurechnen. Diese Beträge sollen die Aufwendungen für Zinszahlungen und Amortisation der Investition decken.

	Absorptionsanlage	Konventionelle Anlage
Grundlagen	Einheiten	Einheiten
Gesamte Investitionskosten	431'000 [CHF]	[CHF]
Investitionsanteil Kälte	297'390 [CHF]	163'000 [CHF]
Strom - Sommer - HT	0.175 [CHF/kWh]	0.175 [CHF/kWh]
Subventionen	40'000 [CHF]	0 [CHF]
Berechnungen		
Kalkulationszinssatz	4.5 [%]	4.5 [%]
Inflationsrate	1.0 [%]	1.0 [%]
Realzins	3.5 [%]	3.5 [%]
Nutzungsdauer (durchschnittlich)	20 [a]	20 [a]
Annuitätsfaktor	0.0704 [-]	0.0704 [-]
Kapitalkosten		
Kapitalkosten inkl. Subventionen	20'925 [CHF/a]	11'469 [CHF/a]
	18'110 [CHF/a]	11'469 [CHF/a]
Energieverbrauch		
Kältemaschine		700 [CHF/a]
Hilfsenergie	240 [CHF/a]	153 [CHF/a]
Wartung / Unterhalt	2'000 [CHF/a]	2'500 [CHF/a]
Total Betriebskosten	2'240 [CHF/a]	3'353 [CHF/a]
Gesamte produzierte Kälteenergie	10'000 [kWh]	10'000 [kWh]
kWh-Preis ohne Kapital	0.22 [CHF/kWh*a]	0.34 [CHF/kWh*a]
kWh-Preis mit Kapital	2.32 [CHF/kWh*a]	1.48 [CHF/kWh*a]
kWh-Preis mit Subventionen	2.04 [CHF/kWh*a]	1.48 [CHF/kWh*a]

Tabelle 5: Wirtschaftliche Berechnungen



Der Energieverbrauch der Umwälzpumpen und des Rückkühlers wurde aus dem Betriebsstunden und der jeweiligen Leistung berechnet. Den Kilowattstundenpreis ist einmal ohne Kapital, einmal mit Kapital und als dritte Variante, mit Berücksichtigung der Subventionen aufgeführt.

Die spezifischen Jahreskosten pro kWh Nutzenergie (inkl. Kapital) sind auffallend hoch, wie aus der Auswertung zu erkennen ist. Es sind vor allem die hohen Investitionsaufwendungen für die Absorptionsanlage welche die Anlage unwirtschaftlich gestaltet. Der tiefe Kilowattstundenpreis (ohne Kapital) kommt daher, dass der Kompressionsanteil der Absorptionskältemaschine gegenüber einer konventionellen Kältemaschine eingespart wird.

6.3. Dynamische Kostenbetrachtung

In der dynamischen Betrachtung der Kosten können die Jahre ermittelt werden, ab wann die Absorptionskältemaschine am Limmatplatz Zürich gegenüber einer konventionellen Anlage wirtschaftlich wird.

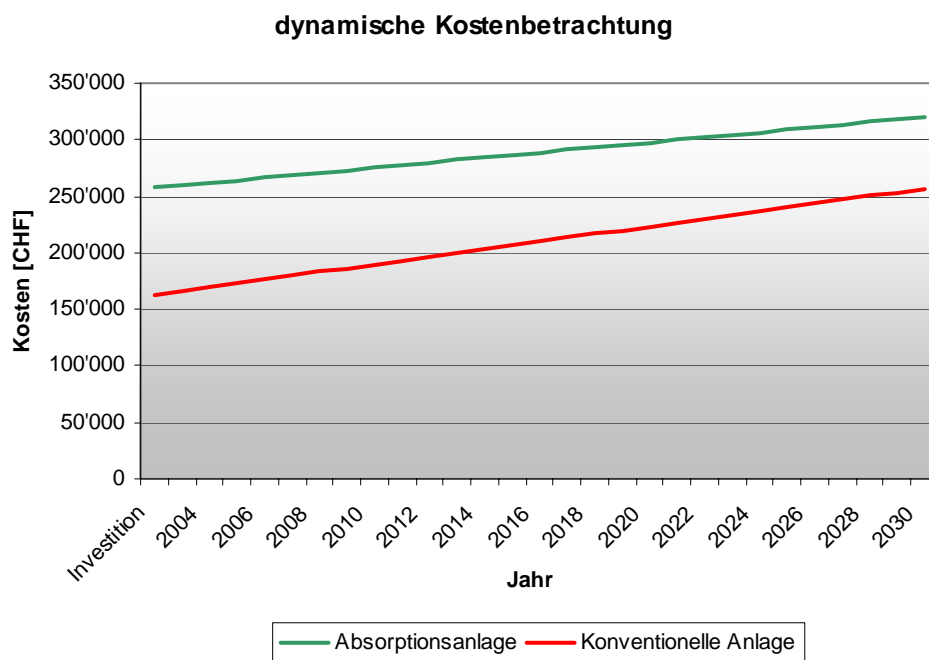


Abbildung 10: Dynamische Kostenbetrachtung

Es ist erkennbar, dass die solare Klimatisierung mit ihrer Nutzungsdauer gegenüber den elektrischen Klimatisierungssystemen wirtschaftlich noch nicht konkurrenzfähig ist. Die zu-künftigen Energiepreise haben jedoch einen grossen Einfluss auf die dynamische Kostenbetrachtung. Bei steigendem Energiepreis werden die Betriebskosten von herkömmlichen Kältemaschinen gegenüber Absorptionskältemaschinen höher und somit wird die Wirtschaftlichkeit von Absorptionsanlagen eher erreicht. Im Weiteren fallen bei Absorptionskälteanlagen weniger externe Kosten im Energiebereich an.



7. Schlussfolgerung und Perspektiven

7.1. Einsatzgebiet

Die Deckung von Gebäudekühllasten ist eine für die Solartechnik besonders interessante Anwendungsvariante. Das Angebot an Sonnenenergie und die notwendige Kühllast von Räumen verlaufen im Jahres- wie auch Tagesverlauf nahezu phasengleich. Mit zunehmender Einstrahlung steigen die Aussentemperaturen und damit der Bedarf an Kühlung. Die anfallende Energie von direktdurchströmten Hochtemperaturkollektoren sollen nicht nur in den Sommermonaten ausgenutzt werden, sondern auch in der Übergangszeit und im Winter. Die Kombination von Solarkühlung und Solarheizung führt im Vergleich zur alleinigen Nutzung zu einem besseren Wirkungsgrad.

Da bei höherer Strahlungsintensität eine höhere Vorlauftemperatur generiert wird und sich somit der Wirkungsgrad der Absorptionskältemaschine verbessert, ist es ökonomischer eine thermische Kälteanlage in südlicheren Orten zu konzipieren. Im Weiteren soll die Absorberflächen der Vakuumröhrenkollektoren möglichst gegen Süden gerichtet werden, um einen hohen Energieertrag zu erreichen. Während bei Kompressionskältemaschinen die Kosten zur Erzeugung von Kälte wesentlich vom Strompreis abhängen, ist die Wirtschaftlichkeit einer Absorptionskältemaschine stark abhängig vom Vorhandensein von Abwärme bzw. von den Kosten, um diese Wärme zu erzeugen.

7.2. Kostenbetrachtung

Im Vergleich zu herkömmlichen Systemen ist der technische Aufwand für solare Klimatisierungsanlagen noch immer höher. Zum Einen ist im Vergleich zu einer konventionellen Anlage der gesamte Teil der thermischen Solartechnik zusätzlich erforderlich. Zum Anderen sind bei thermisch angetriebener Kompressionsanlagen die Anforderungen an die Rückkühleinheit grösser (Abwärmemengen). Auf der anderen Seite werden aber die Betriebskosten durch die eingesparte Energie niedriger. Betrachtet man die jährlichen Gesamtkosten einschliesslich den Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten von solaren Klimatisierungsanlagen, kann man sagen, dass derzeit die Kosten immer über den Kosten von traditionellen Systemen liegen.

Es sind noch intensive Anstrengungen von Nöten, um das Preis-/Leistungsverhältnis bei thermisch betriebenen Kältemaschinen zu verbessern. Die Kosten der Anlagekomponenten müssen durch Serienproduktionen gesenkt werden können. Die technische Leistung (Wirkungsgrad) der Kältemaschine muss erhöht werden. Mit zunehmender Erfahrung sollten auch Kostensenkungen bei der Planung, Montage und der Steuerung möglich sein. All diese Massnahmen führen zu einer schrittweisen Annäherung im Kostenbereich von konventionellen Anlagen.



7.3. Optimierungspotential Absorptionsanlage MGB - Zürich

Dank dem realisierten Leitreechner können weiterhin Betriebsdaten analysiert sowie Betriebsoptimierungen vollzogen werden. In der Aufheizphase der Solaranlage steckt noch ein erhebliches Optimierungspotential. Bisher wurde die überschüssige Solarenergie der Speicheranlage zugeführt und nicht weiter verwendet (Abkühlungsverlust). Man könnte aber mit dieser gespeicherten Energie den Solarkreislauf am Vormittag schneller auf „Touren bringen“ und somit die Kälteproduktion erhöhen.

Auf den Sommer 2006 werden die notwendigen Programmierungs-Änderungen für die effizientere Speicherausnutzung an der MSR-Steuerung vorgenommen. Im Winter 2006 werden die neu erzielten Messresultate ausgewertet und analysiert.

Bei der Planung von Absorptionsanlagen ist vor allem darauf zu achten, dass sich die Technikzentrale in der Nähe des Rückkühlers und der Solaranlage befindet. Durch die kurzen Leitungswege können die Investitionskosten gesenkt und die Wärmeverluste der Solarleitungen verringert werden. Bei der realisierten Anlage am Limmatplatz Zürich befinden sich der Rückkühler sowie die Solaranlage im 5. Stockwerk und die Technikzentrale ist im Untergeschoss untergebracht. Die Standorte der Technikanlagen waren durch die Gebäudestruktur gegeben und alles andere als optimal.

7.4. Fazit

Innovative Energiesysteme gehören aufgrund der immer strenger werdenden Umweltauflagen der Zukunft. In Anbetracht der immer knapper werdenden Energieressourcen und der zunehmenden Umweltbelastung, bedarf die Wahl der Energieform und ihres Einsatzes einer sorgfältigen Überlegung. Es ist ungeachtet von ökonomischen Aspekten lohnenswert eine solche Anlage zu bauen, weil dadurch wichtige Anreize für einen besseren Umgang mit der Umwelt geschaffen wird.

Durch die Realisierung und anschliessender Auswertung konnten Erfahrungen im Bereich Kälteproduktion mit reiner Solarenergie gesammelt werden. Der Bauherr (MGB) dieser Anlage, sieht das Projekt als Beitrag zur Förderung erneuerbarer Energien. Dieses Projekt ist nur eines von vielen und Teil des breiten Engagements der Migros für Mensch, Tier und Natur.

Dass Büroräume mit Unterstützung der Sonne nicht nur beheizt, sondern auch gekühlt werden können, beweist die erste monovalente solare Kälteanlage der Schweiz.



8. Involvierte Unternehmungen und Personen

Auftraggeber
Migros - Genossenschafts - Bund
Zentrale Dienste
Postfach 266
8031 Zürich
Herr Otto Huber
Tel. 044 277 32 10
Fax 044 277 31 11
otto.huber@mgb.ch

Ingenieur / Planer
RMB Engineering AG
Technoparkstrasse 1
8005 Zürich
Herr Fredy Beuchat
Herr Cornel Utz
Tel. 044 406 80 20
Fax 044 406 80 21
beuchat@rmb.ch
utz@rmb.ch
www.rmb.ch

Absorptionskältemaschine
York Schweiz AG
Grindelstrasse 19
Postfach 150
8303 Bassersdorf
Herr Pantelis Kairis
Tel. 044 838 44 24
Fax 044 836 97 80
Pantelis.kairis@ch.york.com

Solaranlage
B. Schweizer Energie AG
Chnübrächi 36
8197 Rafz
Herr B. Schweizer
Tel. 044 406 80 20
Fax 044 406 80 21
info@schweizer-energie.ch
www.schweizer-energie.ch

Rückkühler
Jäggi/Güntner (Schweiz) AG
Industriestrasse 23
4632 Trimbach



Herr Roger Peier
Tel. 062 289 20 22
Fax 062 289 20 29
service@guentner.ch

Installateur

Sigrist + Partner AG
Schaffhauserstrasse 6
Postfach
8035 Zürich
Herr Peter Schmid
Tel. 044 360 80 60
Fax 044 360 80 61
sigrist.und.partner@smile.ch

Für die Auswertung und Berichterstellung der Anlage sind folgende Personen verantwortlich.
RMB Engineering AG, 8005 Zürich
28. November 2005

Fredy Beuchat

Cornel Utz



9. Anhang

9.1. Fotoverzeichnis

Foto 1: Gebäude	5
Foto 2: Absorptionskältemaschine	10
Foto 3: Speicher Solaranlage	10
Foto 4: Notkühlung Solaranlage über Rückkühleinheit	10
Foto 5: Solaranlage	11
Foto 6: Hybridrückkühler	12

9.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionsschema Absorptionskältemaschine	9
Abbildung 2: Flussschema Sommerbetrieb	13
Abbildung 3: Flussschema Winterbetrieb	14
Abbildung 4: Energiebilanz Solaranlage 2003	19
Abbildung 5: Energiebilanz Solaranlage 2004	20
Abbildung 6: Energiebilanz Solaranlage 2005	21
Abbildung 7: Energiebilanz Kälteproduktion 2003	22
Abbildung 8: Energiebilanz Kälteproduktion 2004	23
Abbildung 9: Energiebilanz Kälteproduktion 2005	23
Abbildung 10: Dynamische Kostenbetrachtung	28

9.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energie Solaranlage	16
Tabelle 2: Heizenergie Absorber (Austreiber)	17
Tabelle 3: Kühlenergie Absorber (Verdampfer)	18
Tabelle 4: Investitionskosten der Anlagen	25
Tabelle 5: Wirtschaftliche Berechnungen	27



9.4. Literaturverzeichnis

Dr. Hans-Martin Henning: **Klimatisierung mit Sonne und Wärme**, Fachinformati-
onszentrum Karlsruhe, ISSN 1610-8302

M. Delorme, R. Six, D. Mugnier, J. Quinette, N. Richler, F. Heunemann, E. Wiemken,
H. Henning: **Climasol Leitfaden zum Thema solares Kühlen**, Energieverband A-
4020 Lienz

York International: **Mini-Absorptionsflüssigkeitskühler WFC 10 Installations-,
Bedienungs-, Wartungs- und Serviceanleitung**, KK14299 (1096 – 0.5 – dvs) GLZ
6434 DH 807

York International: **Mini-Absorptionsflüssigkeitskühler WFC 10 Planungsinfor-
mation**, KK14297 (0399 – 1 – ABT) GIZ 6434 DH 302

9.5. Links im Internet

Bundesamt für Energie

www.energie-schweiz.ch

Institut für Solartechnik SPF

www.solarenergy.ch

RMB Engineering AG

www.rmb.ch

Schweizer Energie AG

www.schweizer-energie.ch