

BEW Forschungs- und P+ D -Programm
„**Wärmespeicherung**“

Optimierung Gewerbehaus Thali AG

ausgearbeitet durch
Institut Energie- und Messtechnik AG
Christian Hilgenberg, Peter Stähli
Astrastrasse 9, 3612 Steffisburg

im Auftrag des
Bundesamtes für Energiewirtschaft
(Auftrag DIS 58049)

1 Zusammenfassung

Beim Niedrigenergiehaus Thali AG in Hitzkirch wurde in vorbildlicher Weise in die alternative Energietechnik investiert. Namentlich wurden eine ErdsondenWärmepumpenanlage, eine 30 kW Photovoltaikanlage, eine Regenwassernutzungsanlage und eine bedarfsabhängige Lichtsteuerung realisiert. Die Erdsonden werden im Sommer zur ZuluftKühlung der Teilklimaanlage des Verwaltungstraktes eingesetzt. Das 1991 fertiggestellte Gebäude konnte jedoch die zurecht hochgesteckten Erwartungen nie erfüllen.

Nach der Analyse des IST-Zustandes standen nachfolgende Massnahmen im Vordergrund.

Bei der Lüftungsanlage wurde das Kühlregister für die Zuluftanlage des Verwaltungstraktes mittels Sondenkühlung vergrössert. Gleichzeitig wurde die Luftmenge von 2300 m³/h auf 3000 m³/h erhöht, die Luftauslässe angepasst und der Umluftbetrieb und die Nachtauskühlung automatisiert. Mit den realisierten Massnahmen im Bereich Lüftungsanlage konnte der Komfort nachhaltig verbessert werden. Mittels der gezielten Einregulierung der Anlage wurde den problematischen Räumen im Obergeschoss mehr gekühlte Luft zugeführt. Somit konnten die gewünschten Komfortverbesserungen zur grossen Zufriedenheit der Firma Thali AG erreicht werden.

Beim EDV-Raum wurde durch eine Änderung der Luftkanäle, ohne Änderung des Elektromotors oder Ventilators, die Luftmenge um den Faktor 3,5 erhöht. Somit wurde das Überhitzungsproblem, entstanden durch die Vergrösserung der ServerAbwärme, gelöst. Als Resultat dieser verbesserten Kühlesituationen konnte der Wärmeeintrag ins Erdreich von 1996 auf 1998 um 30%, auf 32'000 kWh (Feb- Nov) gesteigert werden.

Bei der Erdsondenwärmepumpe mit der Erdsondenkühlung wurde die Erdsondenhydraulik entsprechend dem tatsächlichen Bedarf des Gebäudes angepasst. So wurde der Volumenstrom über die Wärmepumpe halbiert und für die Kühlung der Verwaltungszuluft, der EDV Kühlung und der Wärmepumpenanlage je eine separate Umwälzpumpe installiert (und gesteuert). Für jede Umwälzpumpe wurde die Anlagekennlinie vor Ort ausgemessen und bestimmt. Die Umwälzpumpen wurden somit auf den jeweiligen optimalen Betriebspunkten ausgelegt.

Bei der Photovoltaikanlage war ein Strang (von 26 Strängen) wegen eines defekten Anschlusskabels gar nie in Betrieb. Die Strangdioden und die Bypassdioden waren falsch verschaltet und dadurch thermisch überlastet. Bei den Anschlussklemmen im Verteilkasten entstand ein Lichtbogen, welcher durch ungenügendes Anziehen der Schraubverbindungen und falsche Materialwahl entstanden ist. Auf der Rückseite der Panels sind Brandschäden erkennbar, welche auf eine thermische Überlastung der stromführenden Leiterbahnen zurückzuführen sind. Sämtliche Mängel sind mittlerweile behoben worden. Die Leistungseinbusse aufgrund der defekten Zellen beträgt 9%.

Durch die ursprünglich unvollständige Inbetriebnahme und Abnahme der Anlagen wurden zusätzlich verschiedene Optimierungen im Bereich Lüftung, Heizung und Regenwassernutzung durchgeführt.

Parallel zu den Optimierungsarbeiten wird ein sinnvolles Servicekonzept und Energiecontrolling mit den Verantwortlichen der Firma Thali aufgebaut mit dem Ziel, das Gebäude nachhaltig am energie- und kostenoptimalen Betriebspunkt zu betreiben.

Die Massnahmen im Bereich Photovoltaikanlage führen zu einem, nach Globalstrahlung bereinigten Mehrertrag von 18% (entspricht Fr. 1070.- pro Jahr). Bei der Wärmepumpenanlage können wir von einem, nach Heizgradtagen bereinigten Minderverbrauch von 21 % (entspricht Fr. 1190.- pro Jahr) ausgehen.

Im Jahre 1999 ist vorgesehen, sämtliche Massnahmen, Erfahrungen und Resultate in einem Bericht zusammenzufassen und in Fachzeitschriften zu publizieren.

–

2 Inhaltsverzeichnis

1 ZUSAMMENFASSUNG	2
2 INHALTSVERZEICHNIS	3
3 AUSGANGSLAGE UND ZIELE	4
4 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN UND ERGEBNISSE	5
4.1 HEIZ- UND KÜHLBETRIEB DER ERDSONDENANLAGE	5
4.2 LÜFTUNG VERWALTUNGSTRAKT	6
4.3 LÜFTUNG EDV-RAUM	8
4.4 PHOTOVOLTAIKANLAGE	9
4.5 WEITERE OPTIMIERUNGEN	10
4.6 ENERGETISCHE ERGEBNISSE	10
4.6.1 ERTRAG PHOTOVOLTAIKANLAGE	11
4.6.2 ELEKTRIZITÄTSVERBRAUCH WÄRMEPUMPENANLAGE	12
4.6.3 BILANZ WÄRMEEINTRAG INS ERDREICH	13
4.6.4 ÜBRIGE VERBRAUCHER	14
5 WEITERES VORGEHEN	15
6 PUBLIKATIONEN	15

–

3 Ausgangslage und Ziele

Beim Niedrigenergiehaus Thali AG in Hitzkirch wurde in vorbildlicher Weise in die alternative Energietechnik investiert. Namentlich wurden eine ErdsondenWärmepumpenanlage, eine 30 kW Photovoltaikanlage, eine Regenwassernutzungsanlage und eine bedarfsabhängige Lichtsteuerung realisiert. Die Erdsonden werden im Sommer zur ZuluftKühlung der Teilklimaanlage des Verwaltungstraktes eingesetzt. Das 1991 fertiggestellte Gebäude konnte jedoch die zurecht hochgesteckten Erwartungen nie erfüllen, blieb doch der Energieverbrauch Elektrizität und Wärme wesentlich über den Prognosen der damaligen Planer. Folgende Punkte wurden detailliert untersucht:

- Hoher Elektrizitätsverbrauch
- Steuerungsprobleme
- Niederdruckstörung Wärmepumpe
- Überhitzungsproblem im Sommer der Räume im OG
- Mangelnde Stromproduktion Photovoltaikanlage
- Ursache Betriebsunterbruch Regenwassernutzung
- Überhitzungsproblem EDV- Raum

Parallel zu den Optimierungsarbeiten soll ein Energiecontrolling mit den Verantwortlichen der Firma Thali AG aufgebaut werden.

4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

4.1 Heiz- und Kühlbetrieb der Erdsondenanlage

Bei der Erdsondenwärmepumpe mit der Erdsondenkühlung wurde die Hydraulik entsprechend dem tatsächlichen Bedarf des Gebäudes angepasst. So wurde der Volumenstrom über die Wärmepumpe halbiert und für die Kühlung der Verwaltungszuluft, der EDV Kühlung und der Wärmepumpenanlage je eine separate Umwälzpumpe installiert (und gesteuert). Für jede Umwälzpumpe wurde die Anlagekennlinie vor Ort ausgemessen und bestimmt. Die Umwälzpumpen wurden somit auf den jeweiligen optimalen Betriebspunkten ausgelegt.

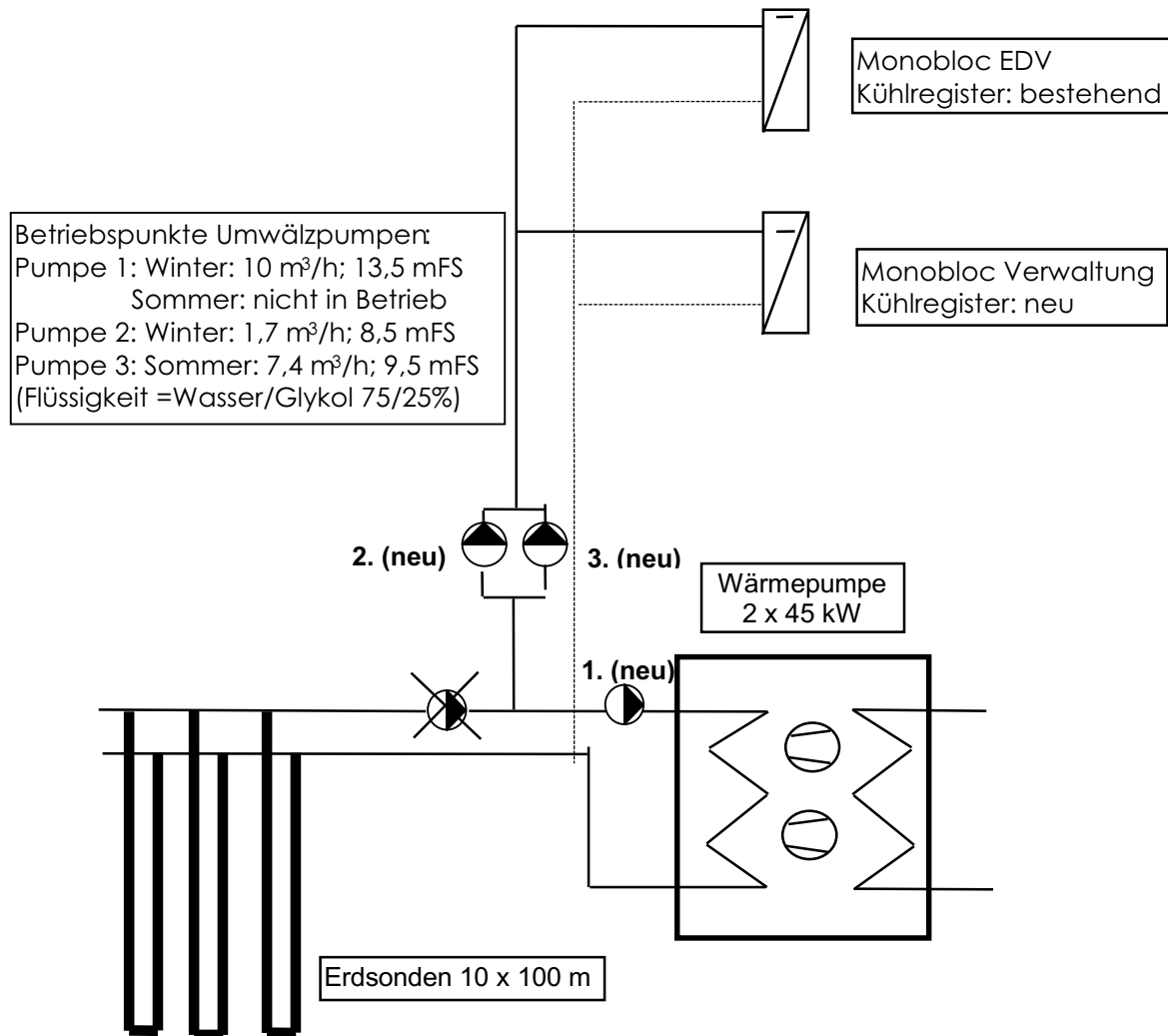


Bild 1: Prinzipschema Erdsondenhydraulik

Technische Auslegedaten der bestehenden Komponenten:

	Kühlregister EDV (best.):	Broder Koax Erdsonden (best.):
Kühlleistung:	5,48 kW	Anzahl: 10
Luftmenge:	1'500 m³/h	Länge à: 100 m
Luft Eintritt:	30°C/40 %r.F.	Durchmesser: unklar
Luftaustritt:	19,5°C/75 %r.F.	Sondenabstand: unklar

Glykol Ein-/Austritt: 15/18°C

Glykolanteil: 25 %

Bezüglich effektiv notwendigem Wärmeleistungsbedarf wurde mittels einer Messung nachfolgende Heizkurve bestimmt. Die Erdsondenwärmepumpe ist auf total 90 kW ausgelegt.

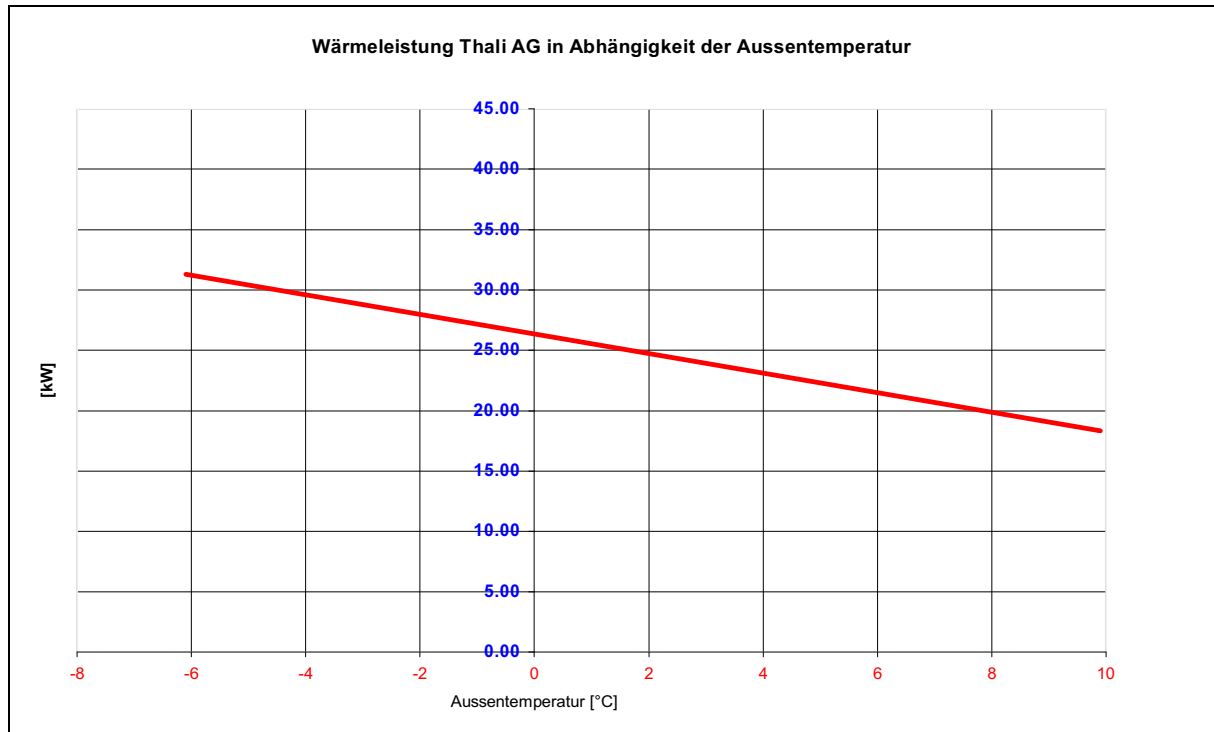


Bild 2: Wärmeleistungsbedarf in Abhängigkeit der Aussentemperatur

Es ist ersichtlich, dass bei einer Aussentemperatur von -8°C das Gebäude einen Wärmeleistungsbedarf von 35 kW aufweist. Bei der Anpassung der Hydraulik wurde diesem Umstand Rechnung getragen und die Umwälzmenge auf den Erdsonden entsprechend angepasst.

4.2 Lüftung Verwaltungstrakt

Für die Lüftung des Verwaltungstraktes war ursprünglich ein Zu und Fortluftmonoblock mit Plattenwärmetauscher geplant. Als im Sommer Überhitzungsprobleme auftraten, wurde nach 2 Jahren in der Zuluft zusätzlich ein Monobloc mit einem Kühlregister, gespeisen durch die Erdsonden, installiert. Über die Zu- und Fortluftkanäle gelangt die Luft in EG und OG, wo sie über Drallauslässe in die einzelnen Räume eingeblasen wurde.

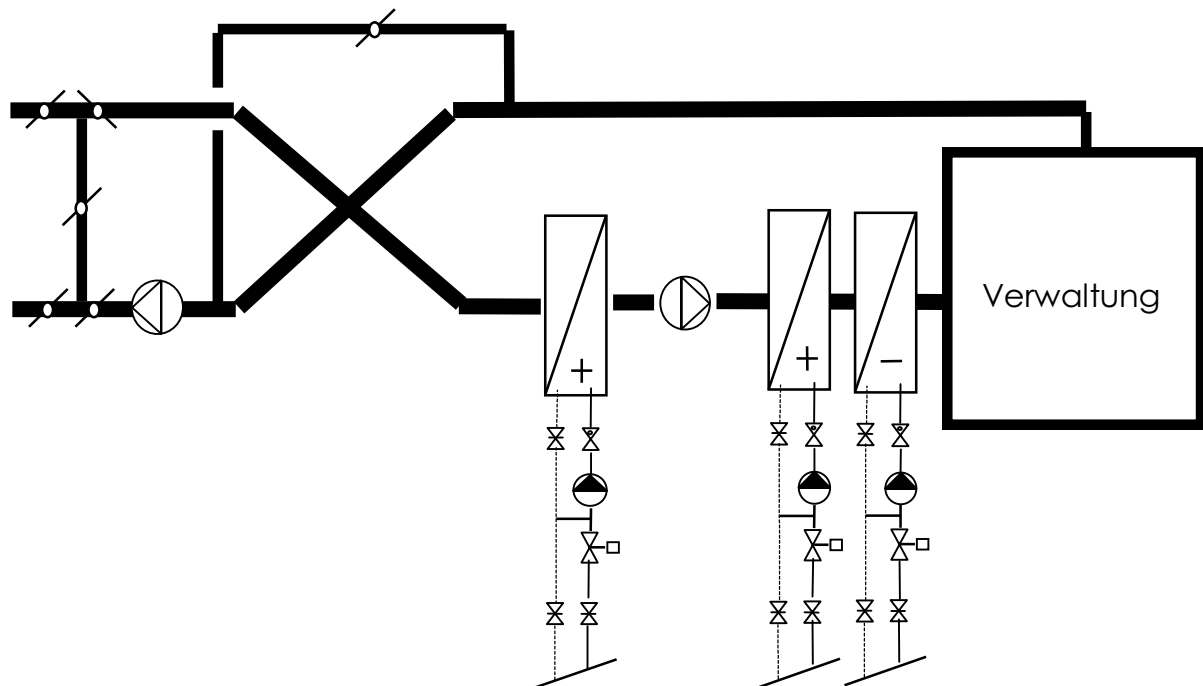


Bild 3: Prinzipschema Lüftung Verwaltung

Technische Eckdaten Monodoc Verwaltung Ist-Zustand:

Volumenstrom ZUL gemessen:	2300 m ³ /h (Auslegung 2500 m ³ /h)
Volumenstrom FOL gemessen:	2250 m ³ /h
Kanalgeschwindigkeit:	6,25 m/s
Luftwechsel:	1,8-fach
Wärmerückgewinnung:	Plattenwärmetauscher
Befeuchtung:	Dampf-Befeuchter (ausgeschaltet)
Steuerungswerte:	20°C

Technische Eckdaten der nachträglich eingebauten Kühlung (in ZUL); Kühlregister wurde vergrößert :

Volumenstrom:	3000 m ³ /h
Kühlleistung:	12.1 kW
Lufteintritt/Austritt:	30°C/ 17.6°C
Kühlmittel:	Sonde Wasser-Glykol 25%

Ergebnisse:

Durch den nachträglichen Einbau (1993) des Lüftungsmonoblocs mit Kühlregister wurde der Druckverlust des Kanalnetzes erhöht und somit war die Luftmenge geringer als seinerzeit berechnet. Um die Luftmengen wieder zu erhöhen wurde seinerzeit die Übersetzung angepasst. Der Elektromotor ist jetzt überfordert und dauernd überhitzt.

In den Beschrieben der Planer wurde bei der Lüftungsanlage von einer „Quelllüftung“ gesprochen. Bei der vorhandenen Lüftungsanlage wurden handelsübliche Decken-Drallauslässe verwendet. Die gesamte Wärmelast beträgt 35 kW, das Kühlregister wurde bei 3000 m³/h (effektiv 2300 m³/h) auf 11,2 kW ausgelegt. Bei solch hohen internen Wärmelasten ist die Quelllüftung ohne Kühlunterstützung nicht geeignet.

Das Kanalnetz ist mit einer Luftgeschwindigkeit von 6,25 m/s an der oberen Grenze der Belastbarkeit. Die Luftmenge kann nur noch beschränkt erhöht werden, damit keine Geräuschprobleme entstehen.

Sofortmassnahmen:

- Umluftbetrieb, damit im Sommer nicht die sehr heisse Aussenluft angesogen wird
- Sollwertverstellung von zwei Thermostaten in den Zuluftkanälen von 22°C auf 3°C, damit die Frostschutzpumpe ausschließlich bei Bedarf im Betrieb ist.
- Mitarbeiterinformation bezüglich Ausschalten von PC, Beleuchtung und sonstigen elektrischen Geräte bei Nichtgebrauch

Als **mittelfristige Massnahmen** wurden im Sommer 1997 realisiert:

1. Vergrösserung des Kühlregisters für Sondenkühlung
2. Erhöhung der Luftmengen auf 3000 m³/h
3. Automatisierung Umluftbetrieb
4. Automatisierung Nachtauskühlung
5. Vergrösserung der Drallauslässe im OG auf DN 160
6. Gezielte Mitarbeiterschulung

Die ursprünglichen planerischen Mängel können mit vertretbarem Aufwand nicht vergessen gemacht werden. Es wurde mit der Optimierung der vorhandenen Anlagen eine Komfortverbesserung angestrebt.

Mit den realisierten Massnahmen konnte der Komfort nachhaltig verbessert. Durch die Vergrösserung des Kühlregisters in der Zuluft und mittels der gezielten Einregulierung der Anlage wurden den problematischen Räumen im Obergeschoss mehr gekühlte Luft zugeführt und somit die gewünschten Komfortverbesserungen zur grossen Zufriedenheit der Firma Thali AG erreicht.

4.3 Lüftung EDV-Raum

Durch die zusätzlichen Server entstand anfangs 1998 ein Wärmeproblem im EDV-Raum. Nachrechnungen ergaben, dass mit dem vorhandenen Monobloc mit dem Register für die Erdsondenkühlung die Wärme abgeführt werden kann. Da die Luftmenge nicht messbar war, mussten Teile der Decke und die Luftverteilschläuche demontiert werden. Dabei ergaben die Untersuchungen, dass anstatt 1500 m³/h nur 440 m³/h wegen der hohen Druckverluste in den zu kleinen Verteilschläuchen strömten. Mittels Optimierungen der Luftverteilkäule wurde die Luftmenge auf 1350 m³/h erhöht und die Temperatur stieg auch während des sehr heissen Sommer 1998 nie über 25 °C.

4.4 Photovoltaikanlage

Die Photovoltaikanlage der Firma Thali AG besteht aus 468 Solarex-Modulen mit total 30 kWp Leistung. Sie hat eine Fläche von 268 m². Die Panels haben einen Anstellwinkel von 35° und sind genau nach Süden ausgerichtet. Die Befestigung der Solarzellen erfolgt auf äusserst massiven T-Trägern.

Der produzierte Strom wird zum Teil in der Firma direkt verbraucht. Der Überschuss wird ins öffentliche Netz eingespeisen. Die ins öffentliche Netz abgegebene Elektrizitätsmenge betrug in den letzten 3 Jahren durchschnittlich 5'950 kWh pro Jahr.

Der durchschnittliche Energieertrag pro Jahr betrug in den letzten 4 Jahren 26'500 kWh. Berechnet wurde seinerzeit ein Ertrag von 30'000 kWh pro Jahr. Prognostiziert wurde eine ausgeglichene Elektrizitätsbilanz übers Jahr. Der effektive Verbrauch liegt mehr als dreimal höher, als die PV-Produktion.

Auffallend ist, dass die bei der Inbetriebnahme gemessene Spitzenleistung der PV-Anlage danach nie mehr erreicht wurde.

Ergebnisse

Eine Analyse der Anlage ergab folgende Probleme:

1. Strang 4 (von total 26 Stränge) hatte schon bei der Inbetriebnahme keinen Kurzschlussstrom, das heisst dieser Strang war immer unterbrochen. Der Grund war ein defektes Stranganschlusskabel, welches bei der Montagearbeit verletzt worden war.
2. Die Strangdioden und die Bypassdioden waren falsch verschaltet und nur teilweise eingebaut. Dadurch wurden einzelne Panels thermisch überlastet.
3. Auf der Rückseite der Panels sind Brandschäden erkennbar, welche auf eine thermische Überlastung der stromführenden Leiterbahnen zurückzuführen sind.
4. Der elektrische Verteilkasten brannte und musste ersetzt werden. Ebenso trafen wir noch verbrannte Anschlussklemmen an. Die Ursache der Brandschäden sind vermutlich Lichtbogen, welche durch ungenügendes Anziehen der Schraubverbindungen und falsche Materialwahl entstanden sind.

Folgende **Massnahmen** wurden 1996 realisiert:

1. Der Verteilkasten wurde komplett erneuert.
2. 936 Bypassdioden wurden nachträglich installiert.
3. Das verletzte Anschlusskabel wurde ersetzt.
4. Die verbrannten Anschlussklemmen wurden ersetzt.

Eine Messung mit dem Solarkennlinienmessgerät hat ergeben, dass aufgrund der defekten Solarzellen im Generator eine Leistungseinbusse von ca. 9% in Kauf genommen werden muss.

– Detaillierte Ergebnisse bezüglich Erdsondentemperaturen, Wärmepumpenkennzahl und Energiebilanzen ins Erdreich sind im Jahresbericht des DISVertrages 55859 ersichtlich.

4.5 Weitere Optimierungen

Wegen der ursprünglich unvollständigen Inbetrieb und Abnahme der Anlagen wurden verschiedene Mängel nicht erkannt. Folgende Massnahmen wurden inzwischen realisiert:

- Die elektrischen Schemata wurden auf den aktuellen Stand gebracht.
- Die Carterheizung der Wärmepumpe ist im Sommer ausser Betrieb.
- Das Sicherheitsventil im Erdsondenkreis ist jetzt saugseitig eingebaut.
- Die ungeeignete Differenzdruckschaltung über dem Sondenkreis wurde durch einen Strömungswächter mit kalorimetrischem Funktionsprinzip ersetzt.
- Die Druckerhöhungspumpe der Regenwassernutzungsanlage ist wieder in Betrieb.
- Die HD und ND-Thermostaten der Wärmepumpe sind richtig eingestellt.
- Der Kältezähler wurde in Betrieb gesetzt.
- Die Lüftungslaufzeiten und Soll-Werte wurden optimiert.
- Die Beleuchtungsstärken wurden gemessen und nachgestellt.
- Die Nacht- und Wochenendabsenkung sind optimiert.
- Durch Umbau der Lüftungskanäle im EDV-Raum Erhöhung der Luftmenge um Faktor 3,5 und dadurch Abführung der Abwärme.

Parallel zu den Optimierungsarbeiten wurde ein **Servicekonzept** und **Energiecontrolling** mit den Verantwortlichen der Firma Thali aufgebaut, damit zukünftig Störungen in der Anlage frühzeitig erkannt werden können.

4.6 Energetische Ergebnisse

Es ist zu beachten, dass die umfassenden Umbauarbeiten an Erdsondenhydraulik und Lüftungsanlage im Juni/Juli 97 durchgeführt wurden. Optimierungen wurden laufend realisiert. Da die Anlageparameter erstmals im Februar 1996 erfasst wurden und der vorliegende Bericht anfangs Dezember 1998 abgegeben werden muss, stehen für die Auswertung die Perioden vom Februar bis zum November der Jahre 1996, 1997 und 1998 zur Verfügung.

Die **gesamten effektiven Einsparungen** durch die Optimierungen und Anpassungen betragen für die Vergleichsperiode von 96 zu 97 **15'000 kWh oder 25 % des gesamten Elektrizitätsverbrauches der Firma Thali von 1996.**

Demgegenüber steht ein Mehrverbrauch von 17'600 kWh an Elektrizität durch den Ausbau der Computeranlagen, der Erhöhung der Luftmenge und der Nachtauskühlung im Verwaltungstrakt, wobei 73% dieses Mehraufwandes durch den höheren Energieverbrauch der Computeranlagen entstanden.

–

4.6.1 Ertrag Photovoltaikanlage

Nachstehend wird der effektive Ertrag der Photovoltaikanlage von Februar–November 1996, 1997 und 1998 dargestellt. Die Balken „bereinigt“ zeigen, wiehoch der Ertrag 1997 und 1998 gewesen wäre, wenn die Globalstrahlung für 1997 und 1998 gleich gross gewesen wäre wie 1996.

Erreur ! Liaison incorrecte.

Bild 5: Ertrag Photovoltaikanlage Thali AG

Gegenüber der Vergleichsperiode von 1996 liegt der effektive Ertrag der Photovoltaikanlage 1997 um 25% und 1998 um 20 % höher. Die Globalstrahlung lag während dieser Zeitperiode 1997 6.5% und 1998 2,2 % höher als 1996. Bereinigt können wir in den Jahren von einem um **18 % höheren Ertrag (entspricht Fr. 1070.- pro Jahr)** ausgehen.

Es gilt noch zu berücksichtigen, dass heute aufgrund von früheren Fehlverdrahtungen und den daraus resultierenden Zellschäden (Hot spots) von einer um etwa 9% geringeren Spitzenleistung gegenüber der neuwertigen Anlage ausgegangen werden muss.

–

4.6.2 Elektrizitätsverbrauch Wärmepumpenanlage

Nachstehend wird der effektive Elektrizitätsverbrauch der Wärmepumpenanlage von Februar - November 1996, 1997 und 1998 dargestellt. Die Balken „HGT bereinigt“ zeigen, wie hoch der Verbrauch 1997 und 1998 gewesen wäre, wenn die Heizgradtage (=Strenge des Winters) 1997 und 1998 gleich gross gewesen wäre wie 1996.

Erreur ! Liaison incorrecte.

Bild 6: Elektrizitätsverbrauch Wärmepumpe und Umwälzpumpen Thali AG

Gegenüber der Vergleichsperiode von 1996 liegt der effektive Elektrizitätsverbrauch der Wärmepumpenanlage 1997 um 39% und 1998 um 43% tiefer. Die Heizgradtage (HGT) waren in der Vergleichsperiode 1997 um 18.5% und 1998 um 19% tiefer als 1996. Bereinigt können wir für die Vergleichsperiode von einem **um 21.0 % tieferen Verbrauch (entspricht Fr. 1190,- pro Jahr)** ausgehen.

—

4.6.3 Bilanz Wärmeeintrag ins Erdreich

Durch die Kühlmöglichkeit mittels Erdsonden der Zuluft Verwaltung im Sommer und des EDV Raumes während des ganzen Jahres wird Wärme dem Erdreich wieder zugeführt. Durch die Vergrößerung des Kühlregisters und Zuluftmenge sowie durch die Erhöhung der Luftmenge im EDV-Raum um den Faktor 3,5 konnte die Kälteleistung wesentlich erhöht werden. Nachfolgend wird ausgewiesen, wieviel mehr Energie ins Erdreich gespeichert werden kann. Die Gesamtbilanz des Erdregisters ist im DIS-Bericht 55859 ersichtlich.

Erreur ! Liaison incorrecte. Bild 7: Wärmeeintrag pro Jahr in den Erdwärmespeicher

Durch die Optimierungen und Umbauten können der Zuluft Verwaltung und des EDV Raumes wesentlich mehr Wärme entnommen und via den Erdsonden dem Erdwärmespeicher (EWS) zugeführt werden. 1998 konnten somit 30% mehr Wärmeenergie dem EWS zugeführt werden. Dies machte sich bemerkbar in einem sehr zufriedenstellenden Klima des Verwaltungstraktes sowie der Lösung des Überhitzungsproblems im Sommer im EDV Raum. Gleichzeitig wurde durch die höheren Sondentemperaturen die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage verbessert.

–

4.6.4 Übrige Verbraucher

Nachfolgend wird der Elektrizitätsverbrauch der übrigen Verbrauchergruppen für dieselbe Vergleichsperiode von Feb- Nov der Jahre 1996 bis 1998 aufgezeigt.

Erreur ! Liaison incorrecte.

Bild 8: Elektrizitätsverbrauch übrige Verbraucher

Durch die Vergrößerung der Luftmenge und der Nachtauskühlung im Sommer ist der Elektrizitätsverbrauch „Antriebe“ von 1996 auf 1998 um 45 % bzw. 4751 kWh angestiegen. Der Mehraufwand bei den Computern betrug 67% bzw. 12914 kWh. Trotz diesem höheren Elektrizitätsverbrauch und der entsprechenden Abwärme konnte das Klimaproblem im Verwaltungstrakt gelöst werden.

Der Elektrizitätsverbrauch der Gruppe Licht Verwaltung war konstant, während für das Licht Lager durch die intensivere Nutzung der Räume im UG der Elektrizitätsverbrauch um 65% oder 9270 kWh angestiegen ist.

5 Weiteres Vorgehen

Bei der Firma Thali AG wurde beim Bau des Dienstleistungsgebäudes ein grundsätzlich gutes Energiekonzept erarbeitet. Bei der Umsetzung wurden einige Planungsfehler begangen. Für 1999 ist vorgesehen, sämtliche Massnahmen, Erfahrungen und Resultate in einem Bericht zusammenzufassen und in Fachzeitschriften zu publizieren.

Detailliertere Angaben über das Verhalten der Erdsondentemperaturen sind ersichtlich im Schlussbericht des DIS-Berichtes 55'859.

6 Publikationen

Bisher keine weiteren Publikationen. Für 1999 ist im Rahmen des DIS-Projektes 59415 eine Veröffentlichung der Resultate in Fachzeitschriften geplant.