

Solarthermie-2000, Teilprogramm 2:
Wissenschaftlich-technische Begleitung der solarthermischen
Demonstrationsanlagen in den südwestlichen Bundesländern

SCHLUSSBERICHT

Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban



Förderkennzeichen: 032 9652 J

Berichtszeitraum: 13.01.1999 – 31.12.2006

Hochschule Offenburg
Prof. Elmar Bollin
Dipl.-Ing. (FH) Sascha Himmelsbach
Dipl.-Ing. (FH) Klaus Huber
Offenburg, November 2006

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	3
1.1	Solarthermie-2000, Teilprogramm 2	3
1.2	Förder- und Auswahlkriterien.....	4
2	Technisches Datenblatt der Hauptkomponenten des Solarsystems	6
3	Objektbeschreibung	8
3.2	Allgemeine Beschreibung des Objektes	8
3.2	Auslegungswerte für die Solaranlage	9
3.3	Ausschreibung und Projektablauf	12
4	Beschreibung der technischen Systeme	13
4.2	Allgemeine Funktionsbeschreibung des Solarsystems	14
4.2	Regelung.....	16
5	Messtechnik	23
5.1	Messstellen im Solarsystem.....	23
5.2	Definition der Kennzahlen des Solarsystems	27
6	Betriebserfahrungen und Messergebnisse	28
6.1	Analyse von Messwerten mit hoher Zeitauflösung	28
6.1.1	Betriebsverhalten vor Concheck-Umbau (Einbau von Kompaktstationen).....	28
6.1.2	Betriebsverhalten nach Concheck-Umbau.....	39
6.2	Auswertung der Messergebnisse und Systemkennzahlen	47
6.2.1	Warmwasserverbrauch und Auslastung	53
6.2.2	Energien und Nutzungsgrade.....	58
7	Systemkosten und garantierter Energieertrag	63
8	Projektbeteiligte	72
9	Internet	73
10	Literatur	73

1 Einleitung

1.1 Solarthermie-2000, Teilprogramm 2

Im Rahmen des BMU-Förderkonzeptes Solarthermie-2000, Teilprogramm 2 sollen in ganz Deutschland 100 solarthermische Großanlagen zur Trinkwassererwärmung errichtet werden. Durch die Förderung dieser Demonstrations- und Forschungsanlagen soll eine umfassende Erprobung und Optimierung von Systemen zur aktiven thermischen Solarenergienutzung bei unterschiedlichen Anwendungsfällen erfolgen. Im Teilprogramm 2 sollen die technischen Voraussetzungen für einen künftigen wirksamen Beitrag der Solarthermie zur Energieversorgung geschaffen und gleichzeitig durch Systemstandardisierung die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit dieser Anlagen verbessert werden. Ausreichende Erfahrungen mit den unterschiedlichsten Systemkombinationen können nur dann gesammelt werden, wenn eine repräsentative Anzahl der diversen Anlagenvarianten errichtet, über einen längeren Zeitraum betrieben und gleichzeitig intensiv beobachtet und analysiert werden kann.

In Solarthermie-2000, Teilprogramm 2 soll anhand von Beispiellösungen für größere solarthermische Anlagen mit einer Mindestkollektorfläche von 100 m² an unterschiedlich genutzten Gebäuden nachgewiesen werden, dass im Bereich der thermischen Solarenergienutzung technisch gute Lösungen zur Verfügung gestellt werden können. Diese Systemlösungen sollen weiter verbessert und angepasst werden. Zugleich soll erreicht werden, dass die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit gesteigert wird, indem durch Reduzierung der spezifischen Systemkosten und Erhöhung des spezifischen Nutzenergieertrages die solaren Nutzwärmekosten gesenkt werden.

Dazu wird im Programm gefordert, dass die Kosten der solaren Nutzwärme einen oberen Grenzwert von 0,128 €/kWh nicht überschreiten. Dieser Grenzwert basiert auf einer angenommenen Lebensdauer der Solaranlage von 20 Jahren und einem Zinssatz von 6%. Erklärtes Ziel des Programms ist es, diesen Grenzwert zu unterbieten, um die Konkurrenzfähigkeit der Solarenergienutzung gegenüber konventionellen Energieträgern weiter zu verbessern.

Das Programm hat darüber hinaus folgende Ziele:

- Stärkung der Vorbild- und Multiplikatorwirkung des öffentlichen Bereiches für den Einsatz neuer, umweltfreundlicher Energietechniken
- Erweiterung des Erkenntnisstandes durch Einbindung in die Technologieverbreitung bei
 - den beteiligten Bundes-, Landes- und kommunalen Behörden sowie deren Einrichtungen
 - den lokalen Energieversorgungsunternehmen
 - den regionalen Handwerkskammern
 - dem produzierenden Gewerbe (Kollektor-, Speicherhersteller, etc.)

- den Installationsfirmen (Sanitär, Heizung, etc.)
 - den planenden Architekten und Fachingenieuren
 - den Hochschulen und sonstigen wissenschaftlichen Einrichtungen
- Erarbeitung von Beispiellösungen zum Aufbau von Solarsystemen für die diversen Einsatzfälle und zu ihrer Integration in die konventionelle Energieversorgungstechnik
 - Intensive Informationsvermittlung über die Möglichkeiten der Solartechnik an die breite Öffentlichkeit

Ein wissenschaftliches Begleitprogramm soll durch kontinuierliche Messwerterfassung und -auswertung sowie Systemanalyse insbesondere Aussagen zum Energieertrag, zum Langzeitverhalten, zur Betriebssicherheit, zum Wartungsaufwand und damit zur Wirtschaftlichkeit der Solaranlage liefern.

Durch zweckmäßige Optimierungsmaßnahmen an den einzelnen Systemen sollen die günstigsten System- und Anbindungsvarianten ermittelt werden.

1.2 Förder- und Auswahlkriterien

1. Gefördert werden solarthermische Demonstrationsanlagen für bestehende oder neu zu errichtende Gebäude des Bundes und der Länder einschließlich ihrer nachgeordneten Einrichtungen, der Kommunen einschließlich kommunaler Betreibergesellschaften und kommunaler Wohnungsgesellschaften sowie Wohnungsbaugenossenschaften und anderer Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts sowie Körperschaften privaten Rechts, die gemeinnützigen Zwecken dienen und deren Gebäude überwiegend mit öffentlichen Mitteln finanziert werden.
2. Antragsberechtigt sind die Eigentümer der Liegenschaften gemäß 1 sowie in besonderen Fällen lokale Energieversorger dieser Gebäude (Wärmelieferungsmodelle).
3. Die Bausubstanz, die konventionelle Energieversorgungstechnik sowie der Wärme- bzw. Warmwasserbedarf müssen gute Voraussetzungen für die Nutzung der Solartechnik bieten.
4. Bei bestehenden Gebäuden wird davon ausgegangen, dass eine evtl. notwendige energie- bzw. haustechnische Anlagensanierung als Eigenleistung durch den Antragsteller vorlaufend oder zeitgleich erbracht wird.
5. Der Wärmebedarf muss die Errichtung einer Solaranlage mit einer Größe von mindestens 100 m² Kollektorfläche rechtfertigen; in der Regel muss dazu der tägliche Warmwasser-

verbrauch ganzjährig bei ca. 7 m³/d oder mehr liegen. Eine geeignete Fläche für die Aufstellung der Kollektoren muss vorhanden sein.

6. Maßgebend für die Projektauswahl sind die zu erwartenden Nutzwärmekosten der mit der Anlage bereitgestellten Wärme. Sie sollen 0,128 €/kWh nicht überschreiten. Die Ermittlung der Nutzwärmekosten erfolgt nach einem einheitlichen und vorgegebenen Verfahren; die Einzelheiten zum Berechnungsverfahren sind in einem Erläuterungsblatt für Antragsteller, das über das Forschungszentrum Jülich GmbH (PtJ) erhältlich ist, näher aufgeführt.
7. Zur Sicherung eines breiten Demonstrationseffektes wird außerdem die Vielfalt unterschiedlicher Standorte, Anlagengrößen, technischer Systemlösungen, Hersteller, Gebäudearten und Betreiber berücksichtigt. Die wirtschaftlichen und technischen Randbedingungen müssen jedoch in jedem Fall erfüllt sein.
8. Die geförderten Anlagen müssen eine hohe Demonstrationswirkung für die Öffentlichkeit haben und als Anschauungs- und Lernobjekte geeignet sein.
9. Der Betreiber muss sich zur Teilnahme an dem begleitenden Mess- und Auswertungsprogramm über einen Zeitraum von ca. 3 Jahren in Zusammenarbeit mit dafür ausgewählten wissenschaftlichen Einrichtungen bereit erklären.

2 Technisches Datenblatt der Hauptkomponenten des Solarsystems

Kollektoren

Kollektorhersteller, Typ	Aquasol Solartechnik GmbH, AS13g				
Bauartzulassung	01-328-102				
Absorbermaterial	Kupfer				
Beschichtung	Schwarzchrom				
Wärmedämmung, Dicke	Mineralwolle (30 mm) und PU-Schaum (40 mm)				
Frontabdeckung, Dicke	Glas, 4mm				
Material Kollektorkasten	Aluminium				
Zul. Betriebsüberdruck	10 bar				
Stillstandstemperatur	207 °C				
Konversionsfaktor η_0	0,809 bezogen auf Absorberfläche				
linearer Wärmeverlustkoeffizient	3,567 W/(m ² ·K) bezogen auf Absorberfläche				
quadratischer Wärmeverlustkoeffizient	0,0095 W/(m ² ·K ²) bezogen auf Absorberfläche				
Winkelkorrekturfaktor	0,96 bei 45 °				
spezifische Wärmekapazität	6225 J/(m ² ·K)				
Wärmeträgerinhalt pro Kollektor	8,0 Liter				
Prüfinstitut und Test Nr.	TÜV Bayern 28 600 692-3				
Höhe Koll-oberkante über SV Keller	13 m				
	Feld 1	Feld 2	Feld 3	Feld 4	Feld gesamt
Ausrichtung (Azimut) (Süd = 0°, Ost = -90°, West = +90°)	+5 °	+5 °	+5 °	+5 °	+5 °
Neigung	38 °	38 °	38 °	38 °	38 °
Anzahl Kollektoren	3	3	3	3	12
aktive Kollektorfläche	35,7 m ²	35,7 m ²	35,7 m ²	35,7 m ²	142,8 m ²
Volumenstrom durch Kollektorfeld	585 l/h ≙ 16,4 l/(h·m ²)	585 l/h ≙ 16,4 l/(h·m ²)	585 l/h ≙ 16,4 l/(h·m ²)	585 l/h ≙ 16,4 l/(h·m ²)	2.340 l/h ≙ 16,4 l/(h·m ²)
spez. Volumenstrom in einem Kollektor	49 l/(h·m ² _{Koll})	49 l/(h·m ² _{Koll})	49 l/(h·m ² _{Koll})	49 l/(h·m ² _{Koll})	

Rohrleitung vom Gesamt-Kollektorfeld zum Wärmetauscher

	Innenbereich	
Rohrmaterial	Kupfer	
Material der Wärmedämmung	Mineralwolle	
Dicke der Wärmedämmung	35 mm	
Wärmeleitfähigkeit λ der Wärmedämmung	0,038 W/(m·K)	
Stat. Überdruck am Kollektorfeld	ca. 2,6 bar	
Stat. Überdruck am Wärmetauscher	3,8 bar	
Einfache Länge	10 m	12 m
Außendurchmesser d_a	54 mm	35 mm
Innendurchmesser d_i	50 mm	32 mm

Wärmeträger im Kollektorkreis

Hersteller	Hoechst
Markenname	Antifrogen L
Volumenverhältnis Wärmeträger/Wasser	38 %
Frostsicherheit	-20 °C
Basisstoff	Propylenglykol

Wärmetauscher Kollektorkreis/Speicherladekreis

Hersteller	WTT – Wilchwitzer Thermo-Technik GmbH
Typ	WP7M-U-50 (2-wegig, gelötet)
Fläche	7,48 m ²
Leistung (Auslegung)	85 kW
Material	Edelstahl 1.4404

Pufferspeicher

Hersteller	Nova
Typ	S 1500
Baujahr	1998
Anzahl	4
Volumen je Speicher	1.500 Liter
Material Behälterwand	Stahl
Material Wärmedämmung	Mineralwolle
Dicke der Wärmedämmung	80 mm
Wärmeleitfähigkeit λ der Wärmedämmung	0,039 W/(m·K)
Material Ummantelung	Kunststoff

Wärmetauscher Speicherentladekreis/Trinkwasser

Hersteller	Alfa Laval
Typ	CB76-129H (2-wegig, gelötet)
Leistung (Auslegung)	94 kW
Material	Edelstahl 1.4401

Regelung Solaranlage

Je ein Regler auf Basis von *embedded Linux PCs* für Be- und Entladung.
Eigenentwicklung (Prototyp) des Fraunhofer-ISE Freiburg.

3 Objektbeschreibung

3.2 Allgemeine Beschreibung des Objektes

Das Studentendorf Vauban in Freiburg im Breisgau, entstanden aus dem Umbau einer ehemaligen Kaserne, besteht aus acht Gebäuden, die von 1993 bis 1998 saniert bzw. neu errichtet wurden. Die Sanierung beinhaltete die Fenster, Wärmedämmung der Gebäude sowie neue Leitungen für die Trinkwasserversorgung. Derzeit stehen 580 Betten zur Verfügung. Träger des Studentendorfs ist das Studentenwerk Freiburg.

Im Gebäude 14, in dessen Dach das Kollektorfeld integriert ist (Bild 3.1), wird das Warmwasser für das gesamte Studentendorf bereit. Zur Nachheizung des Warmwassers werden Gas-Heizkessel eingesetzt. Ursprünglich war in den einzelnen Gebäuden jeweils ein Warmwasserspeicher vorhanden, der direkt mit Kaltwasser versorgt und über einen 2-Rohr-Fernleitungsstrang von der Heizzentrale aus erwärmt wurde. Mit Installation der Solaranlage wurde das Leitungsnetz zur Warmwasserbereitung so umgestellt, dass jetzt das gesamte zu erwärmende Kaltwasser über die Heizzentrale fließt, dort erwärmt und von dort aus an die einzelnen Gebäude verteilt wird.



Bild 3.1 Ansicht des Kollektorfelds auf Gebäude 14 des Studentendorfs Freiburg-Vauban

Hauptgründe für die Auswahl des Studentendorfs für das Programm Solarthermie-2000 waren die relativ moderne konventionelle Haustechnik, der gute Zustand der sanierten bzw. neu errichteten Gebäude, die wegen der stark wechselnden Belegung der Wohnheime hohe Demonstrationswirkung und letztlich die sehr hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Wärmegestehungskosten unter 0,128 €/kWh liegen. Die Erwartung, dass der geforderte Wärmepreis nicht überschritten wird, gründet einerseits auf der guten klimatischen Lage von Freiburg und andererseits auf den günstigen baulichen Bedingungen (kompakte Installation des Kollektorfeldes, Kollektorfeld nahe an Heizzentrale, Leitungen von Dach in Heizzentrale bereits vorhanden), die eine recht kostengünstige Installation der Solaranlage ermöglicht.

3.2 Auslegungswerte für die Solaranlage

Die wichtigsten Kenngrößen für die Auslegung von Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung sind der tatsächliche Warmwasserverbrauch und das Verbrauchsprofil, d.h. die zeitliche Verteilung der Warmwasserentnahme. Diese sind oftmals nicht bekannt. Deshalb ist es in vielen Fällen unumgänglich, den tatsächlichen Verbrauch zu messen und daraus ein Zapfprofil zu erstellen. Dieses Zapfprofil ist Grundlage für die Anlagensimulation mit einem Computersimulationsprogramm.

Im Studentendorf Vauban wurde von November 1996 bis Oktober 1997 mittels Volumenzähler im Zulauf zu den Warmwasserspeichern der tatsächliche Warmwasserverbrauch gemessen und aufgezeichnet. Zusätzlich wurden die Kalt- und Warmwassertemperatur erfasst, um die Umrechnung der Verbrauchswerte auf eine Warmwassertemperatur von 60°C zu ermöglichen.

In der Vorlesungszeit lag der tägliche Warmwasserverbrauch bei durchschnittlich ca. 20.000 Liter, d.h. ca. 35 Liter pro Person, in den Semesterferien (Juli – Sept.) bei ca. 10.000 Litern. Als Standard-Warmwasserverbrauch für die Dimensionierung der Solaranlage wurde der Verbrauch in den Sommermonaten herangezogen (10.000 Liter/Tag), woraus sich bei 1 m² Kollektorfläche pro 70 Liter zu erwärmendem Wasser eine Standard-Kollektorfläche (aktive Fläche) von insgesamt 143 m² ergibt.

Das Standard-Solarspeichervolumen liegt bei 6.000 Litern.

Bild 3.2, Bild 3.3 und Tabelle 3.1 zeigen die auf Basis des gemessenen Warmwasserverbrauchs angenommenen Tages- und Jahresverbrauchsprofile, die Grundlage der Anlagensimulation mit T°Sol sind.

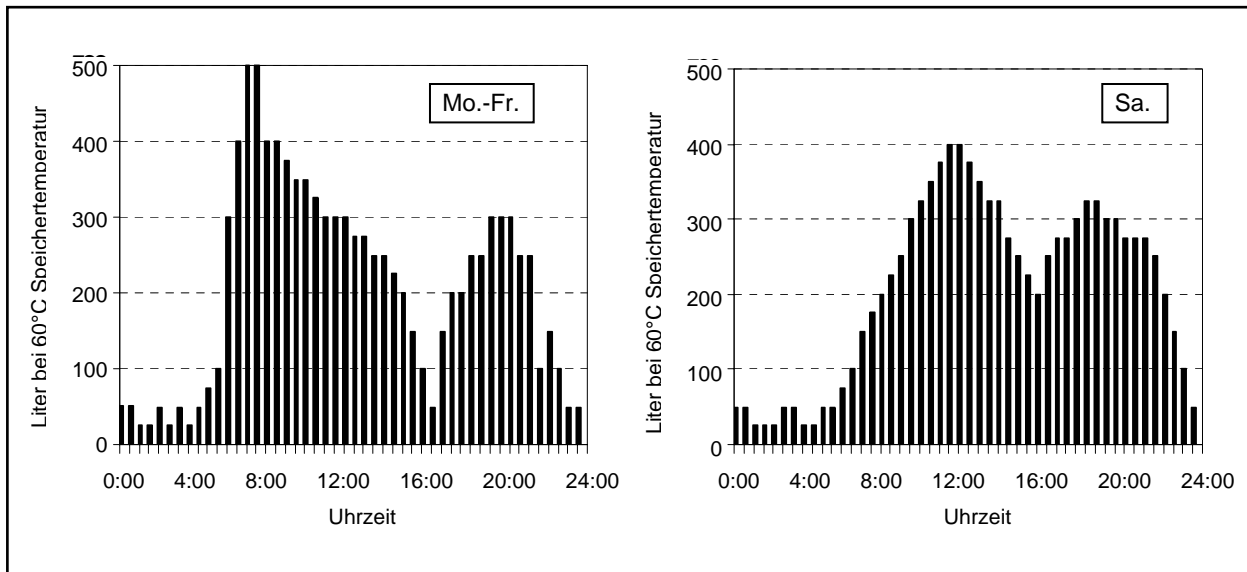


Bild 3.2 Halbstundensummen (Tagesprofil) des Auslegungs-Warmwasserverbrauchs an Werktagen Mo. – Fr. (links) und Samstagen (rechts) für das Studentendorf Freiburg-Vauban

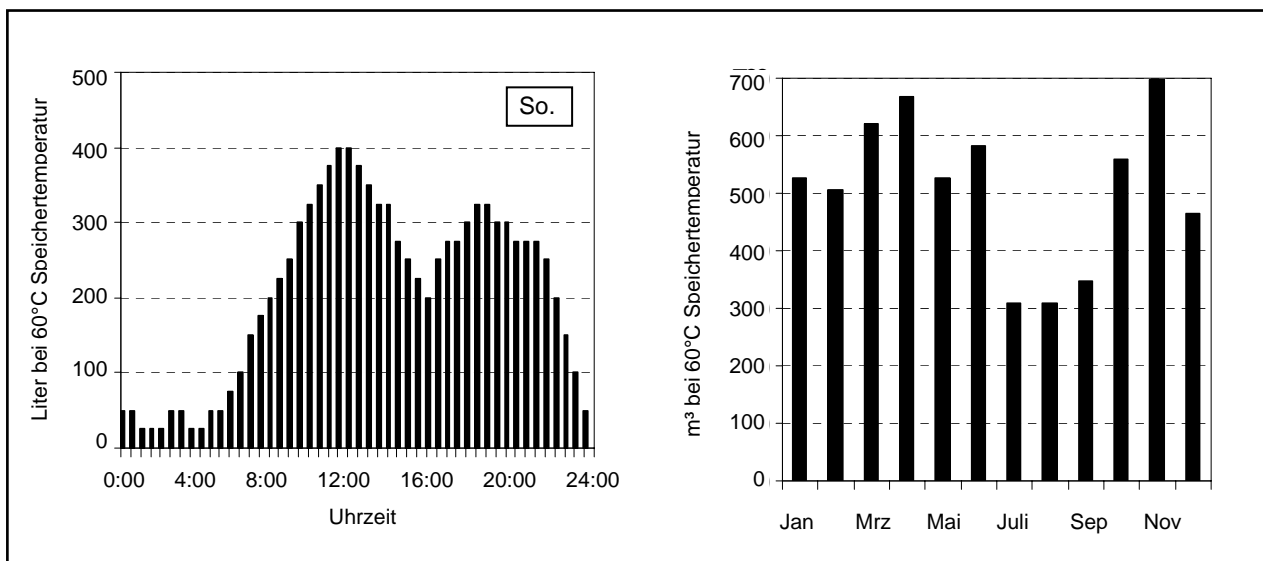


Bild 3.3 Halbstundensummen (Tagesprofil) an Sonn- und Feiertagen (links) und Monatssummen (Jahresprofil) (rechts) des Auslegungs-Warmwasserverbrauchs für das Studentendorf Freiburg-Vauban

Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban

Tabelle 3.1 Gemessenes Tages- und Jahresprofil des Auslegungs-Warmwasserverbrauchs im Studentendorf Freiburg-Vauban

Uhrzeit	Auslegungs-Werntag		Auslegungs-Samstag		Auslegungs-Sonntag	
	Liter	%	Liter	%	Liter	%
00:00						
00:30	50	0,50	50	0,50	50	0,50
01:00	50	0,50	50	0,50	50	0,50
01:30	25	0,25	25	0,25	25	0,25
02:00	25	0,25	25	0,25	25	0,25
02:30	50	0,50	25	0,25	25	0,25
03:00	25	0,25	50	0,50	50	0,50
03:30	50	0,50	50	0,50	50	0,50
04:00	25	0,25	25	0,25	25	0,25
04:30	50	0,50	25	0,25	25	0,25
05:00	75	0,75	50	0,50	50	0,50
05:30	100	1,00	50	0,50	50	0,50
06:00	300	3,00	75	0,75	75	0,75
06:30	400	4,00	100	1,00	100	1,00
07:00	500	5,00	150	1,50	150	1,50
07:30	500	5,00	175	1,75	175	1,75
08:00	400	4,00	200	2,00	200	2,00
08:30	400	4,00	225	2,25	225	2,25
09:00	375	3,75	250	2,50	250	2,50
09:30	350	3,50	300	3,00	300	3,00
10:00	350	3,50	325	3,25	325	3,25
10:30	325	3,25	350	3,50	350	3,50
11:00	300	3,00	375	3,75	375	3,75
11:30	300	3,00	400	4,00	400	4,00
12:00	300	3,00	400	4,00	400	4,00
12:30	275	2,75	375	3,75	375	3,75
13:00	275	2,75	350	3,50	350	3,50
13:30	250	2,50	325	3,25	325	3,25
14:00	250	2,50	325	3,25	325	3,25
14:30	225	2,25	275	2,75	275	2,75
15:00	200	2,00	250	2,50	250	2,50
15:30	150	1,50	225	2,25	225	2,25
16:00	100	1,00	200	2,00	200	2,00
16:30	50	0,50	250	2,50	250	2,50
17:00	150	1,50	275	2,75	275	2,75
17:30	200	2,00	275	2,75	275	2,75
18:00	200	2,00	300	3,00	300	3,00
18:30	250	2,50	325	3,25	325	3,25
19:00	250	2,50	325	3,25	325	3,25
19:30	300	3,00	300	3,00	300	3,00
20:00	300	3,00	300	3,00	300	3,00
20:30	300	3,00	275	2,75	275	2,75
21:00	250	2,50	275	2,75	275	2,75
21:30	250	2,50	275	2,75	275	2,75
22:00	100	1,00	250	2,50	250	2,50
22:30	150	1,50	200	2,00	200	2,00
23:00	100	1,00	150	1,50	150	1,50
23:30	50	0,50	100	1,00	100	1,00
00:00	50	0,50	50	0,50	50	0,50
Tagessummen	10.000 l	100,00	10.000 l	100,00	10.000 l	100,00
Speichertemp.	60 °C		60 °C		60 °C	

Monat	Monatssumme m ³
Januar	527
Februar	507
März	620
April	669
Mai	527
Juni	582
Juli	310
August	310
September	348
Oktober	558
November	696
Dezember	465
Jahressumme	6.119

In Kapitel 6 dieses Berichtes werden die für die Auslegung angenommenen Verbrauchsprofile mit den nach Inbetriebnahme der Solaranlage gemessenen Verbrauchswerten verglichen.

3.3 Ausschreibung und Projektablauf

Die Veröffentlichung der Ausschreibung erfolgte am 9. Mai 1998 in der FAZ und der Badischen Zeitung, die Submission war am 3. Juni 1998.

Vier Angebote wurden ordnungsgemäß abgegeben, ein Angebot wurde zu spät eingereicht und konnte daher nicht gewertet werden.

Keiner der Anbieter gab ein Alternativangebot zu den ausgeschriebenen Kollektoren ab, ebenso wurde kein von der Ausschreibung abweichendes Anlagen-Funktionsschema angeboten.

Von keinem der Bieter wurde mit dem Angebot eine Energiegarantie abgegeben. Auf Anfrage des Planers wurde vom günstigsten Bieter eine Energiegarantie abgegeben, die übrigen Bieter kamen dieser Anfrage nicht nach, so dass letztlich nur ein Angebot gewertet werden konnte.

Die Angebotssummen für das Solarsystem (ohne Messtechnik, inkl. MwSt) lagen zwischen 95.250 und 114.455 €. Mit dem vom günstigsten Bieter garantierten Solarertrag von 81.406 kWh/a (570 kWh/m²a) und den Planungskosten für das Solarsystem von 16.185 € errechnete sich somit ein solarer Wärmepreis von 0,119 €/kWh.

Zeitlicher Ablauf des Projekts:

Veröffentlichung der Ausschreibung:	Mai 1998
Submission:	Juni 1998
Beginn der Installation:	September 1998
Inbetriebnahme:	Oktober 1998
Beginn des Probebetriebs:	Januar 1999
Beginn des Detail-Messbetriebs:	1. August 1999
Änderung der Pufferspeicherhydraulik:	Oktober 1999
Ende der 1. Intensivmessphase:	31. Juli 2000
Beginn der 2. Intensivmessphase:	1. August 2000
Ende der 2. Intensivmessphase:	31. Juli 2001
Beginn des Langzeitmessbetriebs:	1. August 2001
Beginn Umbau und Optimierung der Anlage (Concheck/9/):	26.06.2002

4 Beschreibung der technischen Systeme

Am Solarsystem wurden seit Inbetriebnahme zwei grundlegende Änderungen ausgeführt.

Im Oktober 1999 wurde die Verschaltung der vier Pufferspeicher (2 HT- und 2 NT-Speicher) geändert, da Hydraulikprobleme im Pufferspeicherkreis festgestellt wurden (siehe 6.1).

Am 26.07.2002 wurde im Rahmen des Forschungsprojektes *Concheck /9/* vom Fraunhofer-ISE Freiburg mit Optimierungsmaßnahmen an der Anlage begonnen. Zunächst wurde eine neu entwickelte Entladeregulung integriert, mit der ein besserer Abgleich zwischen dem primär- und sekundärseitigen Volumenstrom am Entladewärmetauscher erreicht wurde.

Am 16.12.2003 wurde mit einem Umbau der Anlage begonnen, bei dem die bestehende Kellerinstallation (Wärmetauscher, Umwälzpumpen, Volumenstromzähler, Ventile) durch Kompaktstationen (Prototypen der PAW Armaturenwerke GmbH) ersetzt wurden. Es wurde eine Kompaktstation für die Beladung und eine Kompaktstation für die Entladung der Pufferspeicher eingebaut (Bild 4.1). Bei dieser Umbaumaßnahme wurde auch der Beladeregler durch einen vom ISE entwickelten Regler ersetzt.



Bild 4.1 Wärmetauschergruppen und Verrohrung vor (links) und nach (rechts) dem Umbau.
Jeweils *links*: Beladewärmetauscher (WT1). Jeweils *rechts*: Entladewärmetauscher (WT2).

4.2 Allgemeine Funktionsbeschreibung des Solarsystems

Bild 4.2 zeigt das Prinzipschaltbild der Solaranlage mit Fühlern, Sensoren und Volumenstrommessstellen der Regelung im aktuellen Zustand.

Das 142,8 m² große Kollektorfeld besteht aus vier parallel durchströmten Feldern mit jeweils drei in Reihe angeschlossenen Kollektoren. Die Kollektoren sind auf der Lattung eines um 38° geneigten und um 5° nach West ausgerichteten Ziegeldaches befestigt.

Das Wasser-Glykol-Gemisch im Kollektorkreis wird durch die eingestrahlte Sonnenenergie erwärmt und mittels einer Umwälzpumpe (P1) zum Belade-Wärmetauscher (WT1) gefördert. Über den Beladekreis fördert die Beladepumpe (P2) die Energie an die vier Solar-Pufferspeicher (je 1.500 Liter Inhalt). Jeweils zwei Pufferspeicher sind zu einer Hochtemperatur (Speicher 3 + 4) - bzw. Niedertemperaturgruppe (Speicher 1 + 2) zusammengefasst.

Die Entladung der Pufferspeicher, d.h. die Abgabe der gespeicherten Energie an das Trinkwasser, erfolgt über einen zweiten externen Wärmetauscher (WT2). Bei Betrieb der Entladepumpe P3 werden die beiden Speichergruppen in Reihe durchströmt.

Bei einer Warmwasserentnahme strömt das Kaltwasser zunächst in einen Speicher (1.500 Liter), wo es über eine Wärmerückgewinnung aus den Heizkesselabgasen vorgewärmt wird. Das vorgewärmte Trinkwasser fließt danach über den Entlade-Wärmetauscher, wo es bei Betrieb von P3 weiter erwärmt wird (System Direkte Erwärmung /5/). Seit Herbst 2004 ist die Heizzentrale an ein Nahwärmenetz der Badenova (Hackschnitzelheizkraftwerk) angeschlossen. Demzufolge entfällt die Wärmerückgewinnung der Heizkesselanlage und das Trinkwasser fließt direkt in den Entladewärmetauscher der Solaranlage.

Das so erwärmte Trinkwasser strömt in drei Nachheizspeicher mit je 1.500 Litern Inhalt, wo es bei Bedarf über den Wärmetauscher des Nahwärmenetzes auf die geforderte Warmwassertemperatur von 65°C aufgeheizt wird.

4.2 Regelung

In jede Baugruppe ist ein Regler auf Basis von *embedded Linux PCs* integriert (Bild 4.3). Die beiden Regler übernehmen basierend auf einem vom Fraunhofer ISE neu entwickelten Regelungsalgorithmus die Steuerung des gesamten Solarsystems.

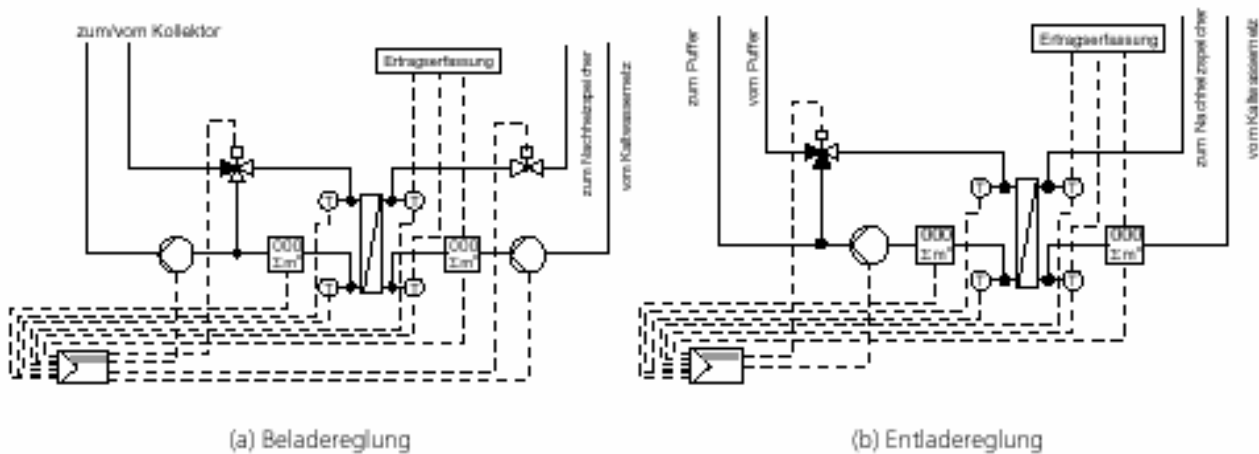


Bild 4.3 Schematische Darstellung der Reglerverdrahtung der Kompaktstationen. /9/

Der neue Regelalgorithmus befand sich zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts noch in der Optimierungsphase. Sobald die Optimierungen abgeschlossen sind, wird ein neues Intensivmessjahr gestartet, dessen Ergebnisse mit den Resultaten der beiden ersten Intensivmessjahre verglichen werden. Dadurch sollen die Folgen der Optimierungsmaßnahme dokumentiert werden.

Derzeit werden die Regler nach folgender Vorgabe betrieben:

Beladeregung

Die Kollektorkreispumpe P1 schaltet ein, wenn

- über einen Strahlungssensor (S) eine Einstrahlung von mindestens 200 W/m^2 gemessen wird
oder

- die primärseitige Eintrittstemperatur am Kollektorkreiswärmetauscher (T1) um mindestens 3 K über der sekundärseitigen Eintrittstemperatur (T4) liegt
oder

- die primärseitige Eintrittstemperatur (T1) um 3 K über der unteren Pufferspeichertemperatur (T5) liegt.

Die Kollektorkreispumpe schaltet aus, wenn

- die gemessene Einstrahlung (S) unter 150 W/m^2 sinkt

und

- die Kollektorkreispumpe mindestens für 60 Sekunden in Betrieb war (*Mindestlaufzeit*)

oder

- die primärseitige Eintrittstemperatur am Kollektorkreiswärmetauscher (T1) über 100 °C ansteigt

oder

- die sekundärseitige Austrittstemperatur (T3) über 95 °C ansteigt.

Bei Betrieb der Kollektorkreispumpe P1 wird per stufenloser Drehzahländerung der Förderstrom der Pumpe verändert. Die Änderung erfolgt in Abhängigkeit von der primärseitigen (T1 - T2) Temperaturdifferenz am Kollektorkreiswärmetauscher WT1. Diese soll auf 15 K eingeregelt werden. Ist die Temperaturdifferenz kleiner 15 K, so wird die Drehzahl der Pumpe reduziert, d.h. der Pumpenförderstrom nimmt ab. Fällt die Temperaturdifferenz unter 5 K, so wird die Kollektorkreispumpe mit der Minimaldrehzahl von 30 % betrieben. Ab 15 K wird die Pumpe mit 100 % betrieben.

Als Frostschutz ist in den Kollektorkreis ein Umschaltventil (MV1) eingebaut, das den Strömungsweg über den Kollektorkreiswärmetauscher schließt (d.h. das Kollektorkreisfluid strömt über den Bypass an WT1 vorbei), wenn am Kollektorkreiswärmetauscher die Temperatur des Kollektorkreisfluids (T1) unter 10 °C liegt. Damit soll verhindert werden, dass Kollektorkreisfluid mit einer Temperatur unterhalb des Gefrierpunkts von Wasser über den Wärmetauscher strömt und es dadurch zu einer Eisbildung auf der mit Wasser befüllten Sekundärseite des Kollektorkreiswärmetauschers kommt.

Die Pufferspeicher-Beladepumpe P2 schaltet ein, wenn

- die primärseitige Eintrittstemperatur am Kollektorkreiswärmetauscher (T1) um mindestens 3 K über der sekundärseitigen Eintrittstemperatur (T4) liegt

oder

- die Einstrahlung (S) mehr als 750 W/m^2 beträgt.

Die Pufferspeicher-Beladepumpe schaltet aus, wenn die oben genannten Bedingungen nicht erfüllt sind.

Im Falle einer Sicherheitsabschaltung der Kollektorkreispumpe wegen zu hoher Temperaturen ($T1 > 100 \text{ °C}$ oder $T3 > 95 \text{ °C}$) wird die Beladepumpe mit maximaler Drehzahl betrieben, unabhängig von den oben beschriebenen Ausschaltbedingungen.

Im „Normalbetrieb“ wird die Drehzahl der Beladepumpe stufenlos verändert. Dies geschieht in Abhängigkeit von der sekundärseitigen Temperaturdifferenz ($T_3 - T_4$), die auf 15 K einreguliert werden soll. Die Charakteristik der Drehzahländerung entspricht der Charakteristik für die Drehzahlanpassung der Kollektorkreispumpe, die oben beschrieben wurde.

In den Beladekreis ist ein Motorventil (MV2) eingebaut, das bei Betrieb der Beladepumpe P2 öffnet. Findet keine Speicherbeladung statt, d.h. wenn P2 aus ist, dann ist das Ventil geschlossen. Dadurch soll verhindert werden, dass es zu einem ungewollten Überströmen vom Entlade- in den Beladekreis kommt (siehe 6).

Wenn/Dann-Beschreibung der Beladeregulierung:

P1: ⇒ Wenn: $S > 200 \text{ W/m}^2$
oder $T_1 > T_4 + 3 \text{ K}$
oder $T_1 > T_5 + 3 \text{ K}$
Dann: **P1 ein**

⇒ Wenn: $S < 150 \text{ W/m}^2$
und Betriebszeit P1 > 60 Sekunden
oder $T_1 > 100 \text{ °C}$
oder $T_3 > 95 \text{ °C}$
Dann: **P1 aus**

Drehzahl (n):

⇒ Wenn: $(T_1 - T_2) \geq 15 \text{ K}$
Dann: $n = 100 \%$

⇒ Wenn: $(T_1 - T_2) < 5 \text{ K}$
Dann: $n = 30 \%$

⇒ Wenn: $5 \text{ K} \leq (T_1 - T_2) < 15 \text{ K}$
Dann: $n = 30 \dots 100 \%$ (lineare Drehzahlanpassung in Abhängigkeit von $T_1 - T_2$)

MV1: ⇒ Wenn: $T_1 > 5 \text{ °C}$
Dann: Durchgang zu WT1

P2: ⇒ Wenn: $T1 > T4 + 3 \text{ K}$
oder $S > 750 \text{ W/m}^2$
oder $T1 > 100 \text{ °C}$
oder $T3 > 95 \text{ °C}$

Dann: **P2 ein**

⇒ Wenn: $T1 \leq T4 + 3 \text{ K}$
und $T1 \leq 100 \text{ °C}$
und $T3 \leq 95 \text{ °C}$

Dann: **P2 aus**

Drehzahl (n):

⇒ Wenn: $(T3 - T4) \geq 15 \text{ K}$
oder $T1 > 100 \text{ °C}$
oder $T3 > 95 \text{ °C}$

Dann: $n = 100 \text{ %}$

⇒ Wenn: $(T3 - T4) < 5 \text{ K}$

Dann: $n = 30 \text{ %}$

⇒ Wenn: $5 \text{ K} \leq (T3 - T4) < 15 \text{ K}$

Dann: $n = 30 \dots 100 \text{ %}$ (lineare Drehzahlanpassung in Abhängigkeit von $T3 - T4$)

MV2: ⇒ Wenn: P2 ein

Dann: MV2 öffnen

Entladeregelung

Die Pufferspeicher-Entladepumpe P3 schaltet ein, wenn

- eine Trink-Warmwasserzapfung erfolgt ($VVV > 0$)

und gleichzeitig eine der beiden folgenden Bedingungen erfüllt wird:

- die Temperatur im Pufferspeicher 4 oben (T6) liegt um mindestens 5 K über der Eintrittstemperatur des Trinkwassers in den Entladewärmetauscher WT2 (T10)

oder

- die Temperatur im Pufferspeicher 4 oben (T6) liegt um mindestens 5 K über der Austrittstemperatur des Pufferspeicherwassers aus dem Entladewärmetauscher (T8).

Die Pufferspeicher-Entladepumpe P3 schaltet aus, wenn

- keine Trink-Warmwasserzapfung erfolgt ($VVV = 0$)

oder

- die Temperatur im Pufferspeicher 4 oben (T6) nicht mindestens 5 K über der Eintrittstemperatur des Trinkwassers in den Entladewärmetauscher WT2 (T10)

oder

- die Temperatur im Pufferspeicher 4 oben (T6) nicht mindestens 5 K über der Austrittstemperatur des Pufferspeicherwassers aus dem Entladewärmetauscher (T8) liegt.

Bei Betrieb der Entladepumpe soll deren Fördermenge durch stufenlose Drehzahlanpassung ständig an den sehr variablen Warmwasser-Zapfvolumenstrom angepasst (PI-Regler: $VSS = VVV$). Zu diesem Zweck werden über Volumenstromzähler permanent die primär- (VSS) und sekundärseitigen (VVV) Volumenströme am Entladewärmetauscher erfasst. Erhöht sich die Warmwasserzapfung, wird die Drehzahl der Entladepumpe so weit erhöht, dass der primärseitige Volumenstrom dem Zapfvolumenstrom entspricht. Entsprechend wird die Drehzahl reduziert, wenn der Zapfvolumenstrom geringer wird.

Zur Begrenzung der Trink-Warmwassertemperatur (T9) auf ca. 60 °C ist in den Entladekreis ein motorbetriebenes Mischventil (MV3) eingebaut. Steigt die primärseitige Eintrittstemperatur in den Entladewärmetauscher (T7) über 65 °C an, dann wird dem Zulauf zum Wärmetauscher über das Mischventil kälteres Rücklaufwasser beigemischt. Durch die Begrenzung der Trink-Warmwassertemperatur soll eine Verkalkung des Entladewärmetauscher vermieden werden.

Wenn/Dann-Beschreibung der Entladeregelung:

P3: ⇒ Wenn: $VW > 0$
 und $T6 \geq T10 + 5 \text{ K}$
 oder $T6 \geq T8 + 5 \text{ K}$

 Dann: **P3 ein**

 ⇒ Wenn: $VW = 0$
 oder $T6 < T10 + 5 \text{ K}$
 oder $T6 < T8 + 5 \text{ K}$

 Dann: **P3 aus**

 Drehzahl (n): $n = f(VW)$ mit $VSS = VW$

$VSS < VW \Rightarrow n$ erhöhen

$VSS > VW \Rightarrow n$ reduzieren

MV3: ⇒ Wenn: $T7 > 65 \text{ °C}$

 Dann: Rücklaufbeimischung

Regelung vor „Concheck-Umbau“ der Anlage

Für die Solarspeicherbe- und -entladung kamen zwei voneinander unabhängige Kompaktregler unterschiedlicher Hersteller zum Einsatz.

In Bild 4.4 ist das Prinzipschema der Anlage vor dem Umbau und die Regelfühler dargestellt, auf die sich die folgende Beschreibung bezieht.

Beladeregelung (Fabrikat: UFE, Typ: C21-K)

Die Kollektorkreispumpe P1 schaltet ein, sobald über einen Strahlungssensor (S) eine Einstrahlung größer 100 W/m^2 gemessen wird und schaltet aus, sobald die Strahlung unter 100 W/m^2 liegt.

Die Beladepumpe P2 schaltet ein, sobald zwischen dem Kollektorkreis-Vorlauffühler (F1) und einem der beiden Speicherfühler (F2, F3) eine Temperaturdifferenz von mehr als 9 K gemessen wird. Fällt diese Temperaturdifferenz unter 5 K oder werden im unteren Drittel der Solarspeicher 95°C erreicht, schaltet P2 ab.

Parallel zur Beladepumpe P2 wird ein Motorventil V3 angesteuert. V3 wird geöffnet, wenn P2 einschaltet und geschlossen ist, wenn P2 ausgeschaltet ist.

Entladeregelung (Fabrikat: novaTec, Typ: UDTI61T1)

Die Regelung wird freigegeben, sobald zwischen dem Pufferspeicher 4 oben (T2) und dem vorgewärmten Trinkwasser (T4) eine Temperaturdifferenz von mindestens 5 K gemessen wird. Sobald über den Impulsausgang des Volumenzählers VSV im Trinkwasserspeicher-Zulauf eine Warmwasserzapfung erkannt wird und die Temperatur des Trinkwassers am Wärmetauscheraustritt (T3) unter 65°C liegt, schaltet die Entladepumpe P3 ein.

Die Leistung der Entladepumpe ist variabel (zwischen 30% und 100%), so dass durch Regulierung des primärseitigen Volumenstroms eine definierte Temperaturdifferenz zwischen dem Solarspeicherrücklauf (T1) und dem vorgewärmten Trinkwasser (T4) von 5 K eingehalten werden soll.

Die Entladepumpe wird mit maximaler Leistung betrieben, so lange diese Temperaturdifferenz (T1 –T4) über 5 K liegt. Fällt die Temperaturdifferenz unter 5 K, dann wird die Leistung entsprechend der jeweiligen Temperaturdifferenz linear reduziert bis zu einer Mindestleistung von 30% (bis 30.09.1999 Mindestleistung = 10 %) bei einer Temperaturdifferenz von 0 K.

Die Entladepumpe P3 schaltet aus, sobald keine Warmwasserzapfung mehr erkannt wird, oder die Differenz zwischen Solarspeicher (T2) und vorgewärmtem Trinkwasser (T4) unter 5 K sinkt, oder wenn die Warmwasserbegrenzungstemperatur (T3) von 65°C überschritten wird.

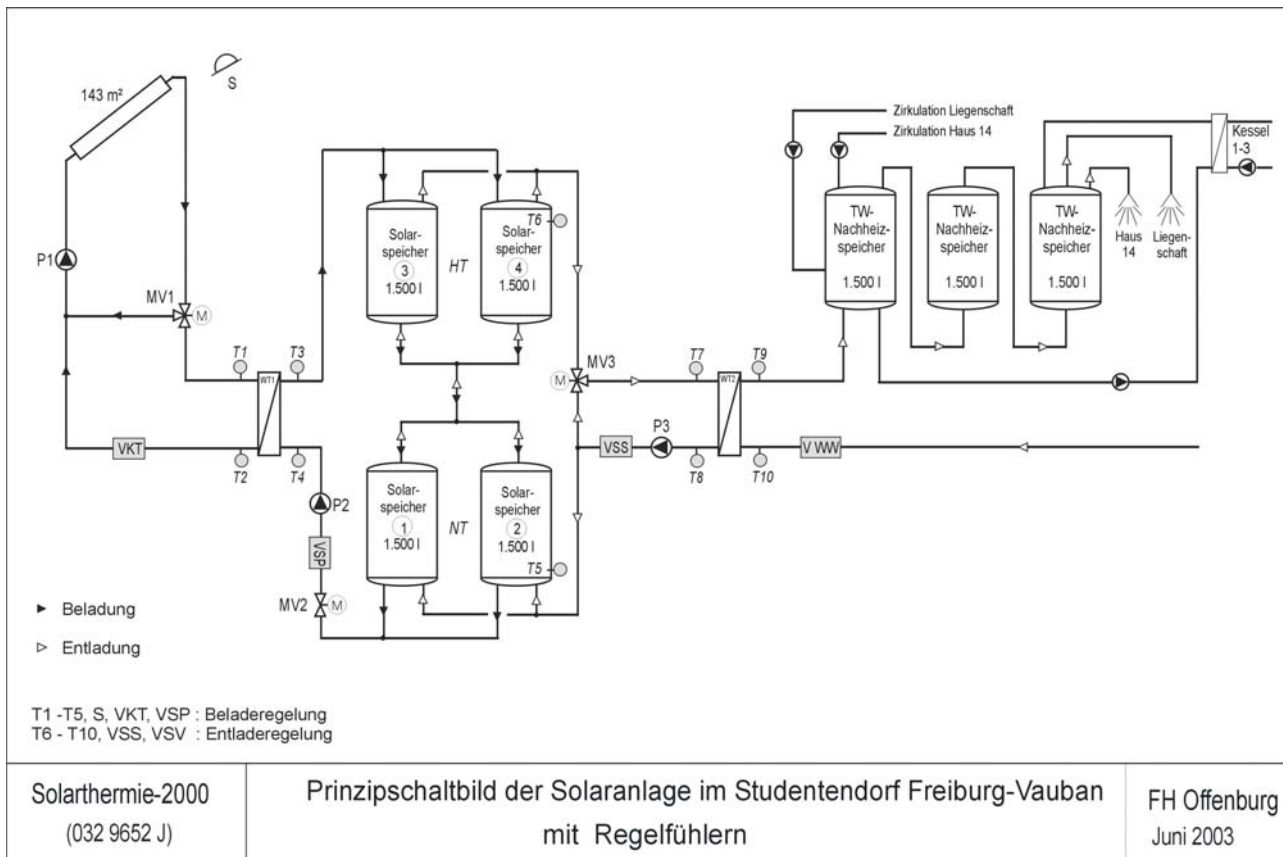


Bild 4.4 Funktionsschema der Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban vor „Concheck-Umbau“ mit Regelfühlern und –sensoren

5 Messtechnik

5.1 Messtellen im Solarsystem

Die im Folgenden beschriebenen Messgrößen werden alle 10 Sekunden vom Datenerfassungsgerät (Fabrikat: Schuehle, MAC 19) erfasst und im Normalfall als 5-Minuten-Mittelwerten gespeichert. Andere Speicherintervalle können jederzeit eingestellt werden. Bei den meisten Messwerten werden zusätzlich die Maximum- und/oder Minimumwerte innerhalb des Halbstunden-Speicherintervalls abgespeichert. Diese geben zusätzliche Informationen zum Anlagenverhalten. Durch Kontrolle der Maximal- und/oder Minimalwerte lassen sich Messfehler durch z.B. fehlerhafte Messsensoren feststellen, wodurch letztendlich fehlerhafte Mittelwerte erkannt werden können.

Bild 5.1 und Tabelle 5.1 und 5.2 zeigen eine Übersicht der erfassten Messgrößen. Im Datenlogger werden Leistungen (in kW), Volumenströme (in m³/h) und Temperaturen (in °C) alle 10 Sek., die Betriebsstunden alle 2 Sek. erfasst und diese Werte alle 5 Minuten abgespeichert.

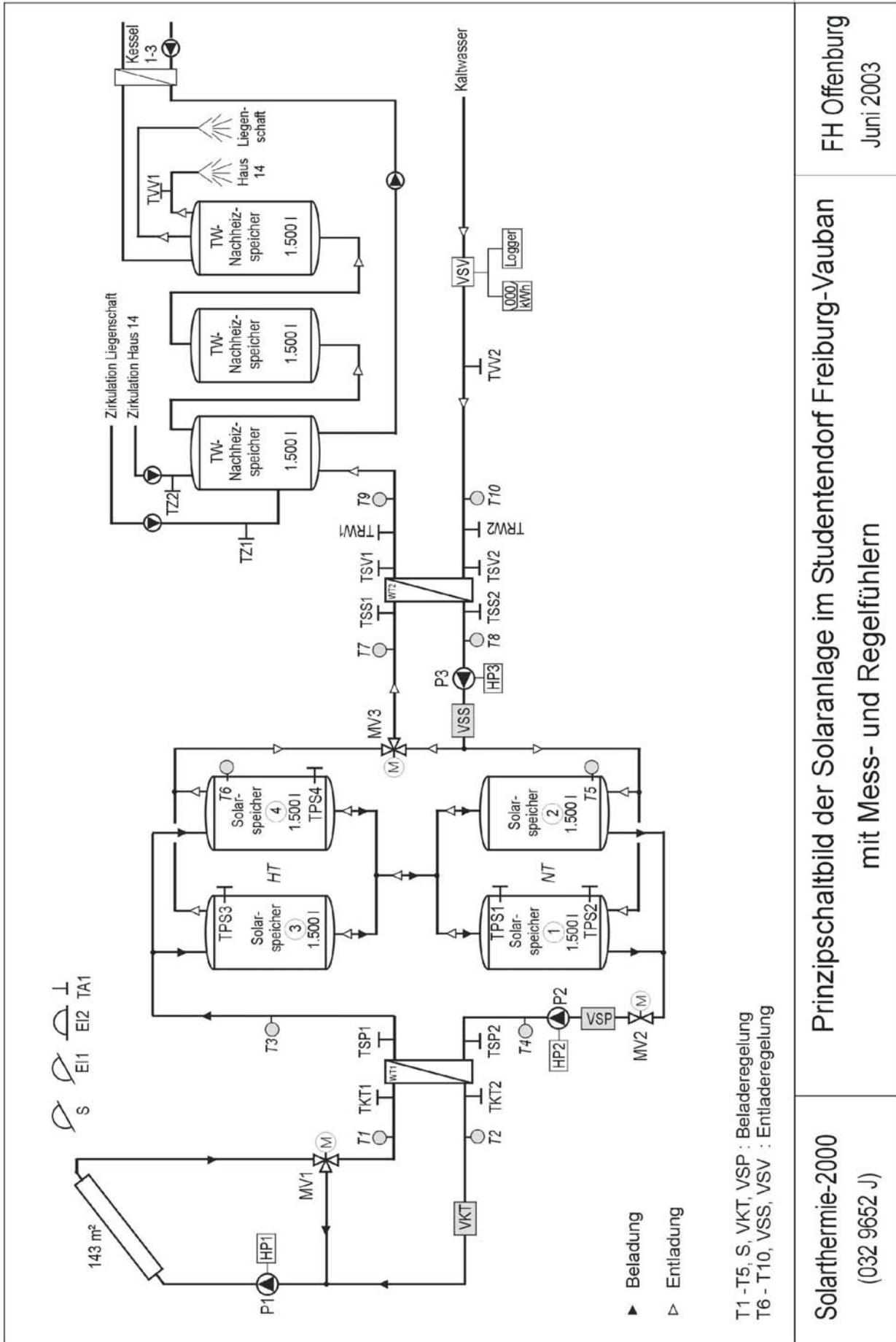


Bild 5.1 Prinzipschaltbild der Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban mit Messstellen

Tabelle 5.1 Vom Datenlogger erfasste Messgrößen

Strahlungsleistung (W/m²)	
EI1	spezifische Strahlungsleistung in Kollektorebene
EI2	spezifische Strahlungsleistung horizontal
Leistung (kW)	
PST	elektrische Leistung Strombedarf Solarsystem (Pumpen, Stellmotoren, Regelung)
Volumenstrom (m³/h)	
VKT	Volumenstrom Kollektorkreis *
VSP	Volumenstrom Beladung Pufferspeicher *
VSS	Volumenstrom Entladung Pufferspeicher
VSV	Volumenstrom Warmwasserverbrauch
Betriebsstunden (h)	
HP1	Betriebsstunden Pumpe Kollektorkreis
HP2	Betriebsstunden Pumpe Beladung Pufferspeicher **
HP3	Betriebsstunden Entladung Pufferspeicher
Temperatur (°C)	
TKT1	Temperatur Kollektorkreis Warmseite
TKT2	Temperatur Kollektorkreis Kaltseite
TSP1	Temperatur Beladung Pufferspeicher Warmseite
TSP2	Temperatur Beladung Pufferspeicher Kaltseite
TSS1	Temperatur Entladung Pufferspeicher Warmseite
TSS2	Temperatur Entladung Pufferspeicher Kaltseite
TSV1	Temperatur Austritt Solarsystem
TSV2	Temperatur Austritt WRG bzw. Eintritt Solarsystem
TVV1	Temperatur Warmwasser (Austritt Nachheizspeicher 4)
TVV2	Temperatur Kaltwasser (Eintritt Wärmerückgewinnung) ***
TPS1	Temperatur Pufferspeicher 1 oben
TPS2	Temperatur Pufferspeicher 1 unten
TPS3	Temperatur Pufferspeicher 3 oben
TPS4	Temperatur Pufferspeicher 4 unten
TN4O	Temperatur Nachheizspeicher 4 oben
TZ1	Temperatur Rücklauf Zirkulation Liegenschaft
TZ2	Temperatur Rücklauf Zirkulation Haus 14
TA1	Außentemperatur am Kollektorfeld

* Wert konnte von Dez. 2002 bis Apr. 2004 wegen des *Concheck*-Umbaus nicht erfasst werden.

** Wert kann seit Dez. 2002 wegen des *Concheck*-Umbaus nicht mehr erfasst werden.

*** Wärmerückgewinnung seit Herbst 2004, wegen Umstellung auf Nahwärmenetz, außer Betrieb

Zur Bilanzierung von längeren Zeiträumen und zur Berechnung von Systemkennwerten werden im Datenlogger aus den Volumenströmen und Temperaturen Leistungen, Energien und Volumina berechnet (Tabelle 5.2).

Tabelle 5.2 Im Datenlogger berechnete Kenngrößen

Leistungen (kW)	
EIK	Strahlungsleistung auf Kollektorfeld
PKT	Wärmeleistung Kollektorkreis *
PSP	Wärmeleistung Beladung Pufferspeicher *
PSS	Wärmeleistung Entladung Pufferspeicher
PSV	Wärmeleistung Solarsystem
PWRG	Wärmeleistung Wärmerückgewinnung **
PVV	Wärmeleistung Warmwasserbereitung gesamt
Strahlungsenergien (kWh/m²)	
EIT1	spezifische Strahlungsenergie auf Kollektorfeld
EIT2	spezifische Strahlungsenergie horizontal
Energien (kWh)	
EITK	Strahlungsenergie auf Kollektorfeld
QKT	Energie Kollektorkreis *
QSP	Energie Beladung Pufferspeicher *
QSS	Energie Entladung Pufferspeicher
QSV	Energie des Solarsystems
QWRG	Energie Wärmerückgewinnung **
QVV	Energie Warmwasserbereitung
NST	elektrische Energie für Solarsystem
Volumina (m³)	
KT	Volumen Kollektorkreis *
SP	Volumen Beladung Pufferspeicher *
SS	Volumen Entladung Pufferspeicher
SV	Volumen Warmwasserverbrauch

* Wert konnte von Dez. 2002 bis Apr. 2004 wegen des *Concheck*-Umbaus nicht berechnet werden.

** Wärmerückgewinnung seit Herbst 2004, wegen Umstellung auf Nahwärmenetz, außer Betrieb

Zusätzlich zur Erfassung der Messgrößen über einen Datenlogger ist auf der Trinkwasserseite des Entladewärmetauschers (WT2) ein Wärmemengenzähler mit zwei eigenen Temperaturmessstellen (TRW1, TRW2) angeschlossen. Das Impulssignal für die Volumenstrommessung wird vom Volumenzähler VSV über ein Trennschaltgerät zur Impulsverdoppelung abgegriffen. Dieser Wär-

memengenzähler zeigt unabhängig von der Datenerfassung über den Logger den Ertrag der Solaranlage an und dient zur Absicherung und Kontrolle des vom Datenlogger ermittelten Solarertrages.

5.2 Definition der Kennzahlen des Solarsystems

Die wichtigsten Kennzahlen des Solarsystems sind wie folgt definiert:

Kollektorkreisnutzungsgrad brutto (g_{KB})

$$g_{KB} = \frac{\text{Energie vom Kollektorkreis}}{\text{Gesamtstrahlung auf Kollektorfeld}} = \frac{QSP}{EITK} \times 100 \%$$

Systemnutzungsgrad brutto (g_{SB}) und netto (g_{SN})

$$g_{SB} = \frac{\text{Nutzenergie des Solarsystems}}{\text{Gesamtstrahlung auf Kollektorfeld}} = \frac{QSV}{EITK} \times 100 \%$$

$$g_{SN} = \frac{\text{Nutzenergie des Solarsystems} - \text{elektr. Energie}}{\text{Gesamtstrahlung auf Kollektorfeld}} = \frac{QSV - NST}{EITK} \times 100 \%$$

Solarer Deckungsanteil brutto ($d_{SB,WW}$) und netto ($d_{SN,WW}$) am Gesamtenergiebedarf für den Warmwasserverbrauch (ohne Energie für Zirkulation und Verluste der Nachheizspeicher)

$$d_{SB,WW} = \frac{\text{Nutzenergie des Solarsystems}}{\text{Energie für Warmwasserverbrauch}} = \frac{QSV}{QVV} \times 100 \%$$

Arbeitszahl des Solarsystems (A)

$$A = \frac{\text{Nutzenergie des Solarsystems}}{\text{Elektrische Energie des Solarsystems}} = \frac{QSV}{NST} \times 100 \%$$

6 Betriebserfahrungen und Messergebnisse

6.1 Analyse von Messwerten mit hoher Zeitauflösung

Durch die Analyse von Messdaten mit hoher zeitlicher Auflösung (Mittelwerte aus 5 bzw. 30-min-Intervallen) ist es möglich, das Betriebsverhalten der Solaranlage zu untersuchen und Störungen aufzuzeigen. Aufgrund der bei dieser Analyse festgestellten Fehlfunktionen wurden nach der Inbetriebnahme folgende grundlegende Änderungen an der Solaranlage vorgenommen:

- Umprogrammierung des Beladereglers (August 1999)
- Austausch des Entladereglers (Mai 1999)
- Austausch der defekten Entladepumpe (September 1999)
- Änderung der Pufferspeicherverschaltung (Oktober 1999)
- Einbau einer Rückschlagklappe in den Kollektorkreis (Juli 2000)

Ohne diese detaillierte Messwertanalyse hätten die im folgenden geschilderten Funktionsstörungen kaum festgestellt werden können.

(Zum besseren Verständnis erfolgt die Darstellung der Messergebnisse wenn möglich anhand der Bezeichnungen für die Messsensoren, dargestellt in Tabelle 5.1)

6.1.1 Betriebsverhalten vor Concheck-Umbau (Einbau von Kompaktstationen)

- Fehlfunktion der Kollektorkreispumpe

Die Kollektorkreispumpe P1 schaltet erst bei einer Einstrahlung von ca. 400 W/m² ein, obwohl lt. Reglerhersteller ein Einschaltwert von 280 W/m² im Regler programmiert ist (120 W Abweichung). Ein Vergleich der vom Pyranometer gemessenen Strahlungsleistung mit den Messungen des Strahlungssensors der Regelung zeigte, dass mit dem Strahlungssensor generell eine zu geringe Strahlungsleistung gemessen wurde. Dadurch schaltete die Kollektorkreispumpe zu spät ein. Bild 7 zeigt, dass P1 bei 420 W/m² einschaltet und danach am Beladewärmetauscher WT1 eine relativ hohe Temperatur von 39 °C (TKT1) gemessen wird. In der NT-Speichergruppe ist die Temperatur unten (TPS2) bei 17 °C (TKT1 – TPS2 = 22 K), weshalb die Beladepumpe P2 einschaltet und die Solarspeicher beladen werden. Für die Beladung der Solarspeicher hätte bereits eine geringere Temperatur an TKT1 ausgereicht, d.h. die Kollektorkreispumpe hätte bei einer geringeren Einstrahlung in Betrieb gehen können.

An Tagen, an denen die Einstrahlung nicht über 400 W/m² ansteigt, kann die Kollektorkreispumpe nicht in Betrieb gehen, obwohl die Energie in den meisten Fällen ausreichen würde, um die Solarspeicher zu beladen.

Da der Einschaltwert am Regler nicht veränderbar war (fest einprogrammiert), musste der Regler im August 1999 beim Hersteller neu programmiert werden mit einem Einschaltwert von 100 W/m².

- Fehlerhaftes Umschalten des Pufferspeicher-Beladeventiles V1 und zu frühes Ausschalten der Beladepumpe P2

In Bild 6.1 ist die ursprüngliche, bis zum 12.10.1999 vorhandene Verschaltung der Pufferspeicher dargestellt. Ursprünglich wurden die Pufferspeicher nach folgender Regelstrategie beladen:

Ist $(TKT1 - TPS4)$ oder $(TKT1 - TPS2) > 9$ K, dann geht die Beladepumpe P2 in Betrieb. In Abhängigkeit von den Temperaturdifferenzen $(TKT1 - TPS4)$ bzw. $(TKT1 - TPS2)$ werden über das Umschaltventil V1 entweder die HT-Speicher (Speicher 3+4) oder die NT-Speicher (Speicher 1+2) beladen. Vorrang hat die Beladung der HT-Speicher. Wird an TPS4 eine eingestellte Maximaltemperatur von 95 °C erreicht oder ist $(TKT1 - TPS4) < 5$ K, dann soll V1 auf Beladen der NT-Speicher umschalten.

Die Beladung der NT-Speicher erfolgt solange, bis entweder $TPS2 > 95$ °C oder $(TKT1 - TPS2) < 5$ K. Das Beladeventil V1 kann wieder auf Beladung der HT-Speicher umschalten, wenn eine reglerinterne Berechnung ergibt, dass die Differenz zwischen TKT1 und TPS4 ausreichend hoch wird. Ist dies der Fall, so schaltet P2 für maximal 5 Minuten aus, d.h. es findet in dieser Zeit keine Wärmeentnahme aus dem Kollektorkreis statt. Schaltet P2 wieder ein, dann werden die HT-Speicher beladen. Die Entladepumpe P2 und gleichzeitig die Kollektorpumpe P1 sollen ausschalten, sobald $TPS2 < 95$ °C oder $(TKT1 - TPS2) < 5$ K.

Die Umschaltung des Beladeventils funktionierte nicht zufriedenstellend. Es wurde trotz ausreichender Temperaturdifferenz zwischen Kollektorvorlauf (TKT1) und HT-Speicher unten (TPS4) auf Beladung der NT-Speicher umgeschaltet. In Bild 6.2: V1 schaltet um 15.25 h auf Beladung NT-Speicher, obwohl $(TKT1 - TPS4) \approx 15$ K.

Die Beladepumpe P2 schaltete zu früh aus, d.h. trotz ausreichender Energie im Kollektorkreis fand keine Beladung der Pufferspeicher statt. In Bild 6.2: P2 schaltet das erste mal um 16.45 h aus, obwohl $(TKT1 - TPS2) \approx 33$ K. Dies ist lt. Regelbeschreibung möglich, wenn nach der NT-Speicherbeladung eine Beladung der HT-Speicher erfolgen kann, allerdings soll P2 nach maximal 5 Minuten wieder in Betrieb gehen. Hier ist P2 für 10 – 15 Minuten außer Betrieb, bevor für ca. 2 Minuten die HT-Speicher beladen werden. Danach wird wieder auf die Beladung der NT-Speicher umgeschaltet, bis um ca. 17.40 h P1 und P2 ausschalten, obwohl zwischen TKT1 und TPS2 noch eine Temperaturdifferenz von ca. 16 K vorhanden ist. Durch das zu frühe Ausschalten der Belade-

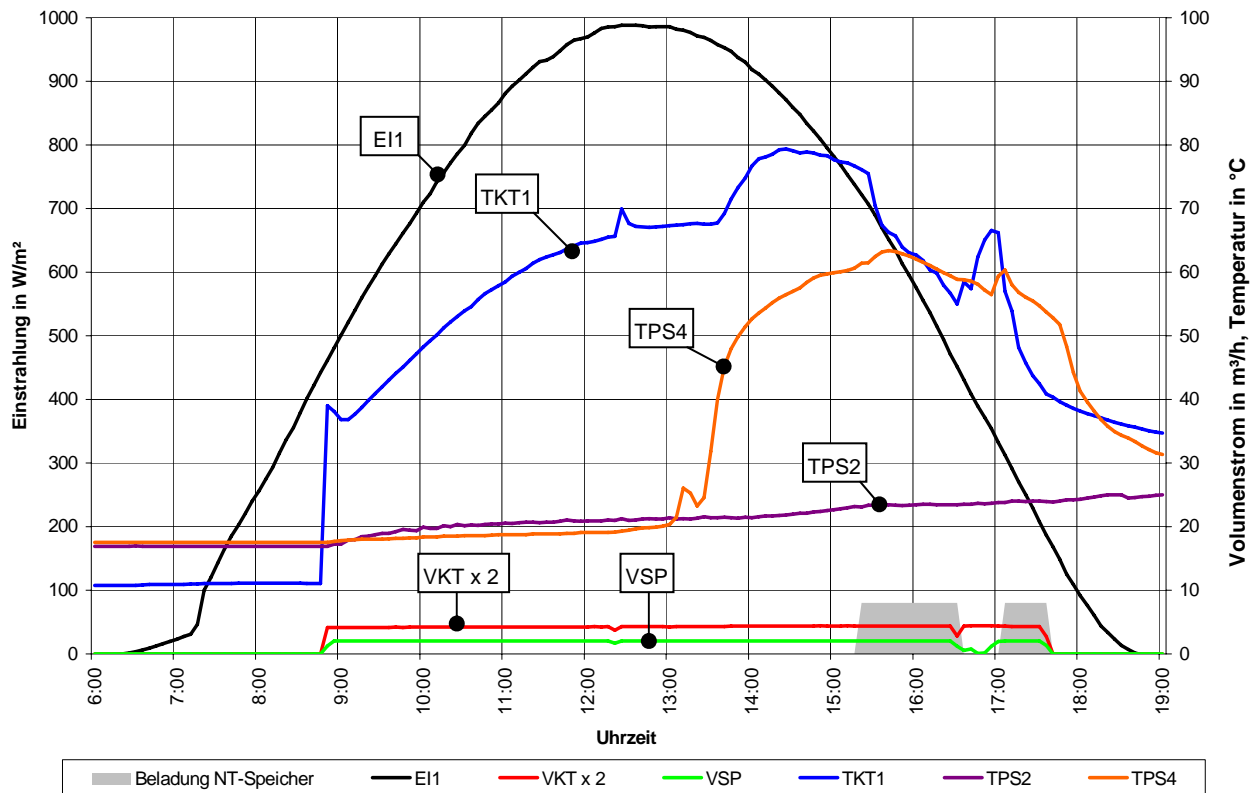


Bild 6.2 Beladevorgang der Pufferspeicher am 24.03.1999 (vor Umprogrammierung des Beladereglers)

- Fehlerhafte Zapferkennung der Entladeregulung

Die Entladeregulung wird freigegeben, sobald eine Warmwasserzapfung erkannt wird. Die Zapferkennung sollte ursprünglich über zwei Fühler (T4 und T5) im Trinkwasserzulauf zum Wärmetauscher erfolgen. Der Fühler T4 ist als „schneller Fühler“ ausgeführt, T5 als langsam reagierender Fühler. Wird nun gezapft, so soll T4 schneller abkühlen und damit zwischen den beiden Fühlern eine Temperaturdifferenz auftreten, die von der Regelung erkannt wird.

Diese Art der Zapferkennung funktionierte bei dieser Anlage nur sehr unzuverlässig, da das Kaltwasser vor der Temperaturmessung durch die beiden Fühler über eine Wärmerückgewinnung vorgewärmt wird.

So kam es vor, dass die Temperatur des vorgewärmten Trinkwassers über der Umgebungstemperatur im Technikraum lag und dadurch bei einer Zapfung T4 nicht abkühlte sondern erwärmt wurde. Folge davon war, dass die Zapfung nicht erkannt wurde und trotz ausreichender Pufferspeichertemperatur keine Entladung der Pufferspeicher stattfinden konnte. Beispielhaft ist dies in Bild 6.3 dargestellt: Trotz Warmwasserzapfung ($VSP > 0$) und $(TPS3 - TSV2) > 5\text{ K}$ findet zwischen 1.00 und 7.15 h keine Entladung statt ($VSS = 0$). Die Temperatur des vorgewärmten Trinkwassers beträgt während dieser Zeit 23 bis 33 °C, die Raumtemperatur (Traum) ca. 23 °C. Mit zunehmenden

der Zapfmenge sinkt die Temperatur des vorgewärmten Wassers unter die Raumtemperatur und um 7.15 h (TSV2 = 22 °C) geht die Entladepumpe P3 in Betrieb (VSS>0).

Im Mai 1999 wurde ein neuer Entladeregler des gleichen Herstellers eingebaut, bei dem die Zapferkennung über die Erfassung der Impulse des Volumenzählers im Kaltwasserzulauf (VSV) erfolgte.

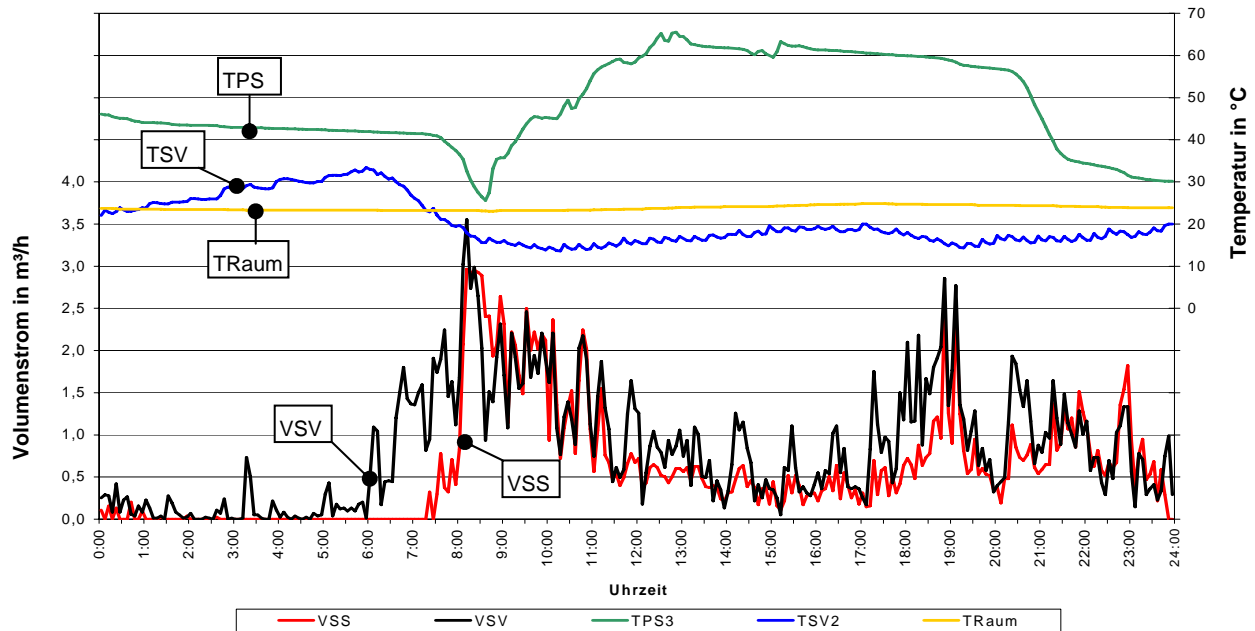


Bild 6.3 Entladung der Pufferspeicher am 06.04.1999

- Zu hohe Rücklauftemperatur vom Entladewärmetauscher in die Pufferspeicher

Um zu verhindern, dass im unteren Teil der Pufferspeicher die kalte Schicht „zerstört“ wird, soll bei Betrieb der Entladepumpe P3 vom Entladewärmetauscher WT2 möglichst tief abgekühltes Wasser (TSS2) zu den Speichern zurückfließen. Durch Anpassung des primärseitigen Volumenstroms (VSS) soll die Differenz zwischen TSS2 und dem durch die Wärmerückgewinnung vorgewärmten Trinkwasser (TSV2) nicht mehr als 5 K betragen (siehe 4.2).

Bild 6.4 zeigt, dass diese Temperaturbegrenzung durch Leistungsanpassung der Pumpe P3 nicht funktioniert und es zu Temperaturdifferenzen (TSS2 – TSV2) von bis zu 40 K bzw. Rücklauftemperaturen (TSS2) von bis zu 61 °C kommt.

Auffallend ist auch, dass trotz $(TSS2 - TSV2) > 5 \text{ K}$ die Pumpe P3 nicht mit maximaler Leistung betrieben wird (obwohl laut Regelbeschreibung des Herstellers gefordert), sondern der von P3 geförderte Volumenstrom (VSS) in etwa dem Verlauf des Zapfprofils (VSV) entspricht.

Trotz intensivster Recherche beim Hersteller der Regelung konnte nicht in Erfahrung gebracht werden, wie die Anpassung der Pumpenleistung im Regler detailliert umgesetzt wird. Vermutlich geschieht dies über eine Impulssteuerung, d.h. die Pumpe wird über den Entladeregler ständig ein- und ausgeschaltet, je nach Leistungsbedarf mit unterschiedlicher Frequenz.

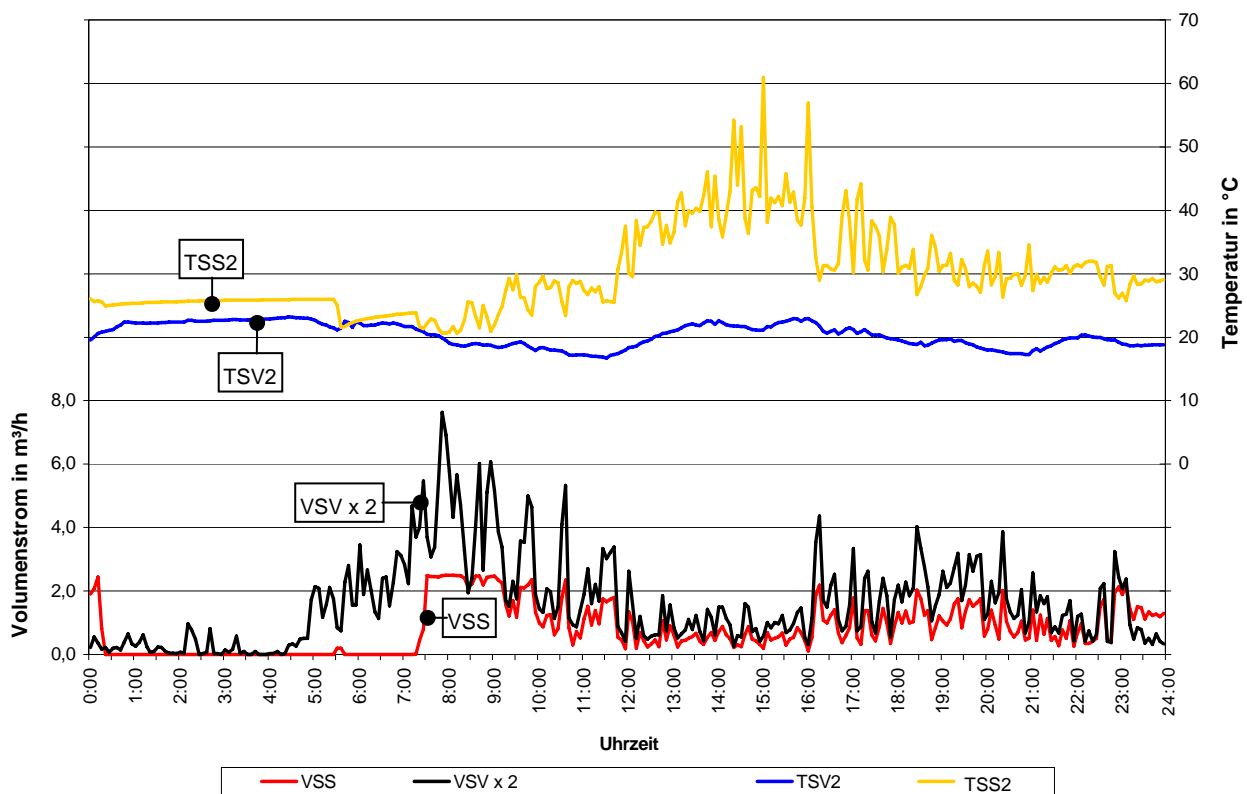


Bild 6.4 Entladung der Pufferspeicher am 02.09.1999

- Kein Überströmen von NT-Speicher oben zu HT-Speicher unten

Die Pufferspeicher sollten ursprünglich folgendermaßen be- und entladen werden (siehe Bild 6):

Beladung: Bei Beladung der HT-Speicher strömt das erwärmte Heizwasser vom Beladewärmetauscher WT1 oben in die beiden parallel angeschlossenen HT-Speicher und die Entnahme des Rücklaufs zu WT1 erfolgt aus den HT-Speichern unten. Bei Beladung der NT-Speicher strömt das erwärmte Heizwasser vom Beladewärmetauscher WT1 oben in die beiden parallel angeschlossenen NT-Speicher und die Entnahme des Rücklaufs zu WT1 erfolgt aus den NT-Speichern unten.

Entladung: Die HT- und NT-Speichergruppen werden seriell durchströmt. Die Entnahme des warmen Heizwassers für die Erwärmung des Trinkwassers über den Entladewärmetauscher WT2 erfolgt immer aus der obersten Schicht der HT-Speicher, die Einschichtung des Rücklaufes von WT2 erfolgt in die NT-Speicher unten. Dabei sollen die NT-Speicher durchströmt werden und über eine Verbindungsleitung aus der oberen NT-Speicherschicht Wasser in die untere HT-Speicherschicht strömen.

Aufgrund dieser Speicherdurchströmungen müsste sich eine Temperaturschichtung zwischen den beiden Speichergruppen aufbauen, bei der in den NT-Speicher unten (TPS2) die tiefsten Temperaturen und in den HT-Speicher oben (TPS3) die höchsten Temperaturen vorliegen. Außerdem müsste die Temperatur in den NT-Speichern oben (TPS1) geringer sein als die in den HT-Speichern unten (TPS4).

Bild 6.5 zeigt, dass sich diese Temperaturschichtungen nicht ergeben. TPS1 ändert sich über den ganzen Tag nur unwesentlich, obwohl die Speicher be- und entladen werden. TPS1 liegt mit konstant ca. 50 °C zeitweise sogar über den Temperaturen in den HT-Speichern. Der kleine Temperaturanstieg von TPS1 gegen 17.00 h ist darauf zurückzuführen, dass das Beladeventil V1 für einige Minuten auf Beladung der NT-Speicher umgeschaltet hat.

Aufgrund dieser Feststellungen wurde vor Ort ein Probetrieb der Anlage durchgeführt, bei der die Strömungs- und Temperaturverhältnisse bei bestimmten Betriebszuständen beobachtet wurden. Bei ausgeschalteter Beladepumpe P2 und eingeschalteter Entladepumpe P3 zeigte sich deutlich, dass ein Überströmen vom Entlade- in den Beladekreis stattfand und somit die NT-Speicher nicht durchströmt wurden. Die Anschlüsse an den NT-Speichern für den Entladerücklauf und die Entnahme zum Beladewärmetauscher sind gegenüberliegend in der gleichen Höhe angebracht. Dadurch strömt das Wasser aus der Entladekreisrohrleitung durch die untere NT-Speicherschicht direkt in die Beladerohrleitung (Kurzschluss) und von dort über den Beladekreis in die obere Schicht der HT-Speicher.

Um eine Durchströmung der NT-Speicher zu erreichen, wurde im Oktober 1999 das Beladeventil V1 außer Betrieb genommen und die unteren Anschlussleitung der HT-Speichern an den Beladekreis abgesperrt. Zusätzlich wurde vor der Beladepumpe P2 ein motorbetriebenes Ventil eingebaut, das bei ausgeschalteter Beladepumpe den Beladekreis absperrt. Durch diese Maßnahmen sollte folgendes erreicht werden:

Beladung: Nur noch die HT-Speicher sind an den Vorlauf des Beladekreises angeschlossen und der Beladekreis-Rücklauf strömt immer aus den NT-Speichern. (Reihenschaltung der Speichergruppen)

Entladung: Bei ausgeschalteter Beladepumpe und gleichzeitigem Betrieb der Entladepumpe P3 kann kein Überströmen vom Entlade- in den Beladekreis mehr stattfinden und die NT- und HT-Speicher werden über die Verbindungsleitung nacheinander durchströmt (Reihenschaltung der Speichergruppen). Dadurch kann eine Temperaturschichtung $TPS4 > TPS1$ aufgebaut werden.

Bild 6.6 zeigt die Temperaturverläufe in den Pufferspeichern nach Änderung der Speicherschaltung. Zwischen 8.30 h und 10.00 h wird nur entladen. Durch das vom Entladewärmetauscher einströmende abgekühlte Heizwasser (TSS2) wird die untere Schicht der NT-Speicher (TPS2) abgekühlt. Um 10.45 h starten die Belade- ($VSP > 0$) und Entladepumpe ($VSS > 0$) und alle Schichttemperaturen steigen an. Im weiteren Verlauf steigen wegen der erhöhten Rücklauftemperatur vom Entladewärmetauscher die Temperaturen im NT-Speicher über die Temperatur der unteren HT-Speicherschicht ($TPS1$ und $TPS2 > TPS4$). Bei gleichzeitigem Be- und Entladebetrieb werden die Speicher vom Entladekreis nicht durchströmt, sondern das Fördervolumen von P3 fließt über den Beladekreis. Dies liegt daran, dass der Beladekreis offen ist ($V3$ auf) und dadurch der oben beschriebene Kurzschluss auftritt. Um 15.00 h schaltet die Beladepumpe aus und es wird nur noch entladen. Durch Schließen von $V3$ tritt kein Kurzschluss mehr auf, die NT- und HT-Speicher werden seriell durchströmt und $TPS4$ gleicht sich $TPS1$ an.

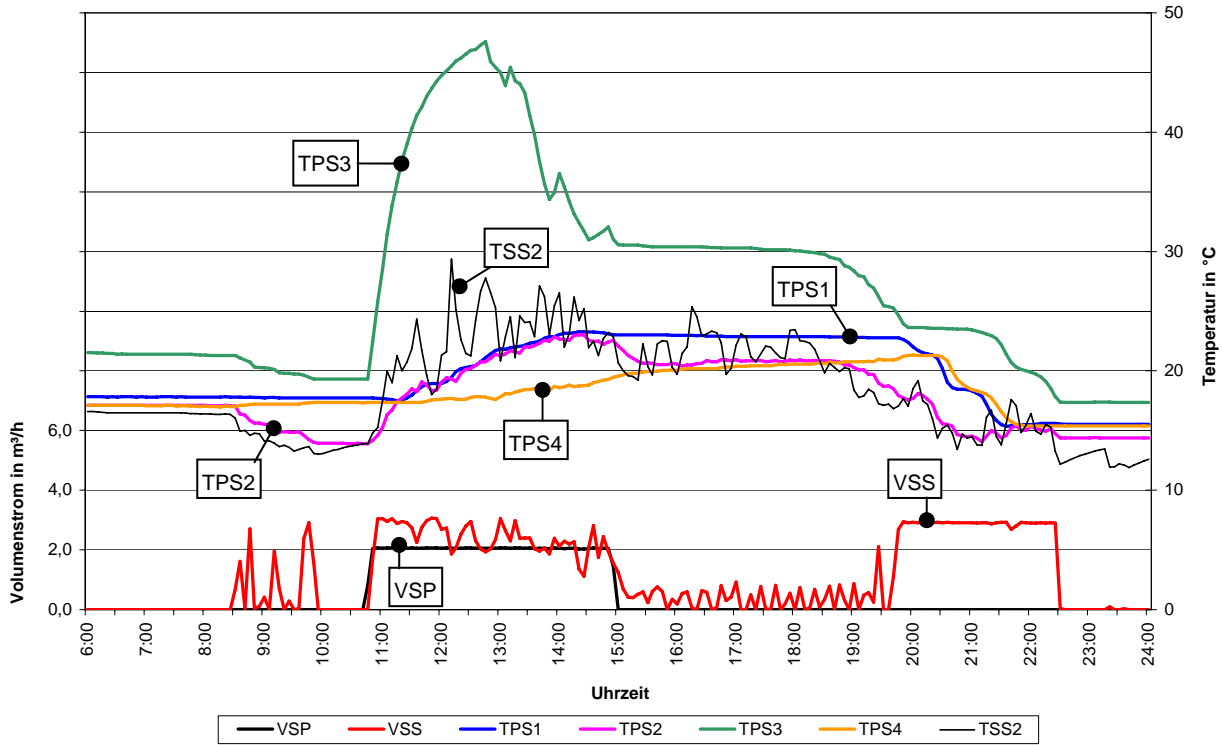


Bild 6.5 Pufferspeichertemperatur bei Be- und Entladung am 08.08.1999 (vor Änderung der Speicherschaltung)

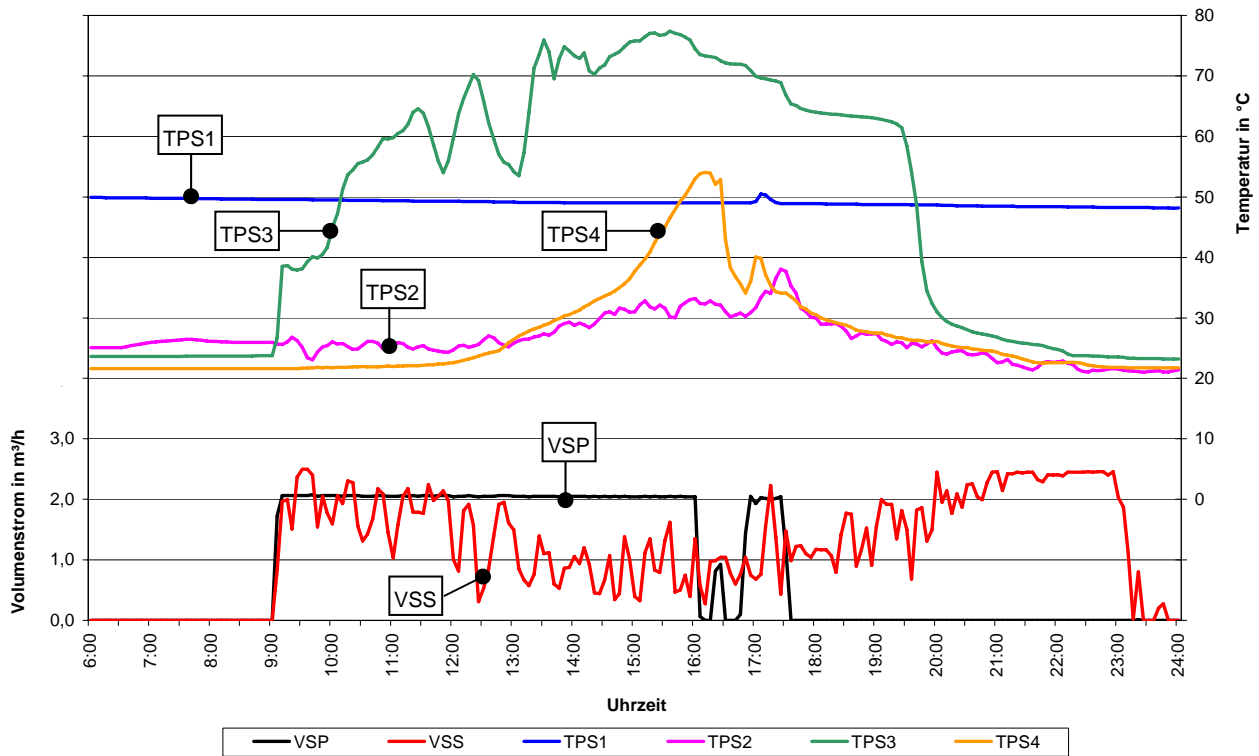


Bild 6.6 Pufferspeichertemperatur bei Be- und Entladung am 16.12.1999 (nach Änderung der Speicherschaltung)

- Thermosyphonische Strömung im Kollektorkreis

In den Kollektorkreis war keine Rückschlagklappe eingebaut. Dadurch kommt es bei tiefen Aus-
 sentemperaturen (TA_1) und gleichzeitig höheren Temperaturen im Technikraum wegen der Dich-
 teunterschiede zwischen der Wärmeträgerflüssigkeit im Kollektor und der Flüssigkeit im Bereich
 des Technikraumes zu thermosyphonischen Strömungen. Die zirkulierende Flüssigkeit kühlt sich
 am Kollektor ab und kommt mit geringen Temperaturen (TKT_2) zum Entladewärmetauscher zu-
 rück. Dort nimmt sie über den Beladewärmetauscher WT_1 Wärme aus dem Pufferspeicherkreis
 (TSP_1 , TSP_2) auf, die wiederum zum Kollektor transportiert wird. Die Abgabe von Wärme aus dem
 Pufferspeicherkreis ist vernachlässigbar gering, was daran zu sehen ist, dass im Pufferspeicher-
 kreis kein Volumenstrom gemessen wird ($VSP = 0$), d.h. es findet dort keine Zirkulation und damit
 verbunden eine Verschleppung der Wärme aus den Pufferspeichern in den Kollektorkreis statt.

Kritischer ist, dass durch die thermosyphonische Strömung im Kollektorkreis an dem Beladewär-
 metauscher Temperaturen von unter 0 °C auftreten, wodurch die Gefahr der Eisbildung im Wär-
 metauscher besteht.

Bild 6.7 zeigt die Abkühlung von TKT_1 und TKT_2 während einer kalten Nacht ($TA_1 < 0\text{ °C}$). Obwohl
 die Kollektorkreispumpe P_1 nicht in Betrieb war ($HP_1 = 0$), kühlen TKT_1 und TKT_2 auf 6 bzw. 3 °C
 ab. Zwischen 1.30 h und 2.00 h stoppt die Abkühlung, da der Dichteunterschied zwischen Flüssig-
 keit im Technikraum und Flüssigkeit im Kollektor nicht mehr ausreicht, um die thermosyphonische
 Strömung aufrecht zu erhalten.

Die fehlende Rückschlagklappe wurde nachträglich im Juli 2000 eingebaut.

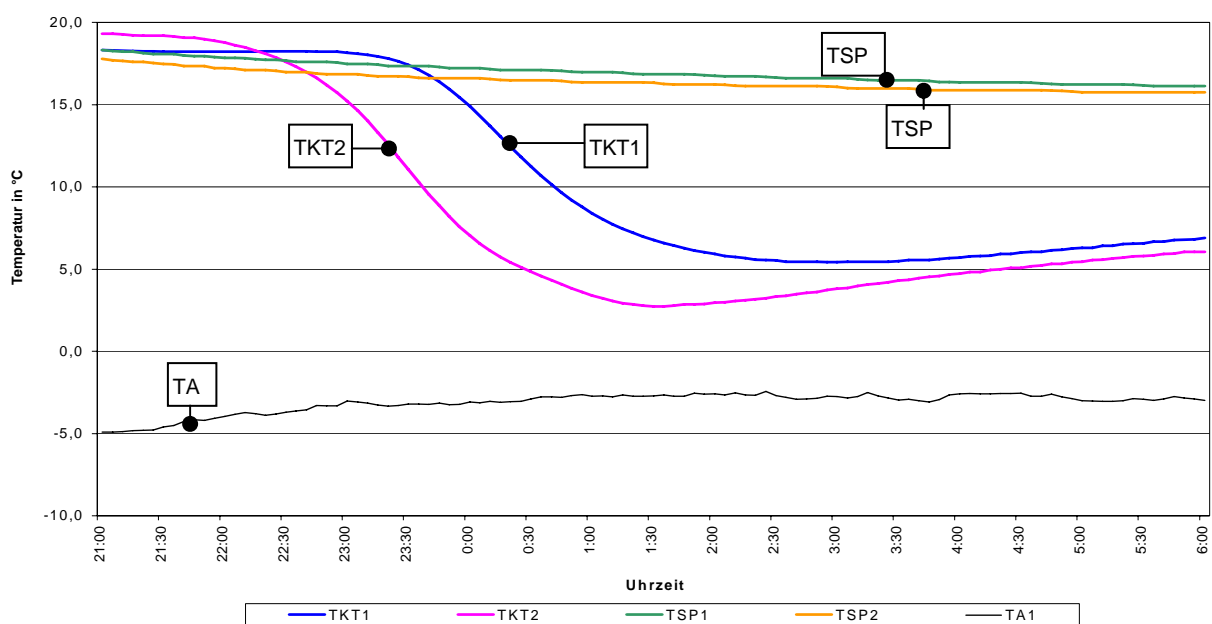


Bild 6.7 Abkühlung im Kollektor- und Pufferspeicherkreis durch thermosyphonische Strömung im
 Kollektorkreis am 21./22.11.1999

- Defekt der Entladepumpe P3

Im September 1999 fand für einige Tage keine Entladung der Pufferspeicher statt, da die Entladepumpe P3 (Wilo, Top-S 30/7) defekt war. Daraufhin wurde eine neue baugleiche Umwälzpumpe eingebaut. Der Grund für den Defekt konnte nicht festgestellt werden, da die defekte Pumpe für eine genauere Untersuchung nicht mehr verfügbar war. Eine mögliche Ursache ist, dass die Umwälzpumpe durch die pulsierende Ansteuerung (Leistungsregelung) beschädigt wurde, d.h. die eingesetzte Pumpe für das ständige Ein-/Ausschalten (bis zu 6 x pro Sekunde) nicht geeignet ist.

Mit der neu eingebauten Entladepumpe gab es bisher keine Probleme mehr, jedoch sollte die Funktionsweise der Pumpe weiterhin genau überwacht werden. Falls es wieder zu einem Defekt kommt, sollte die Pumpe genauer untersucht werden um die Ursache für den Defekt herauszufinden.

Generell ist zu sagen, dass die zur Leistungsregelung eingesetzte pulsierende Ansteuerung eher negativ bewertet werden muss, da es u.a. ständig zu Druckstößen im Leitungssystem kommt (Δp bis zu 2 bar) und damit eine starke mechanische Beanspruchung des Rohrleitungssystems und der Einbauten auftritt.

- Beschlagen der Kollektoren

Im Juni 2000 wurde beobachtet, dass die Kollektorscheiben von innen beschlagen waren. Grund dafür war, dass die EPDM-Gummidichtungen, die U-förmig um die Ränder der Kollektorscheiben gelegt sind, nicht vollständig abdichteten. Lt. Kollektorhersteller (Fa. Aquasol) lag dies an fehlenden Dichtlippen an den Gummidichtungen, wodurch Wasser in das Kollektorgehäuse eindringen konnte. Daraufhin wurden im August 2000 vom Hersteller an alle Kollektoren die alten Gummidichtungen gegen neue mit Dichtlippen ausgetauscht.

- Defekt des Motorventils Umwälzpumpe im Pufferspeicher-Beladekreis

Im Mai/Juni 2002 kam es zu einem Defekt des Motorventils im Pufferspeicherbeladekreis. Für ca. 6 Wochen blieb das Ventil geschlossen, obwohl die Beladepumpe P2 in Betrieb war. Dadurch konnte keine Energie vom Kollektorkreis an den Pufferspeicher übertragen werden. Die Solaranlage lieferte somit während dieser Zeit keine Nutzenergie an das Trinkwasser. Der Grund für den Defekt des Ventils konnte nicht festgestellt werden.

- Einbau einer neuen Pufferspeicher-Entladepumpe (P3) und eines neuen Entladereglers

Am 26.06.2002 wurde mit dem Umbau des Pufferspeicher-Beladekreises begonnen. Dabei wurde eine neue Umwälzpumpe mit 0-10 V-Ansteuerung (Wilo Stratos) eingebaut, deren Volumen-

Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban

strom variabel an den Zapfvolumenstrom angepasst werden konnte. Zusätzlich wurde auch der bisherige Entladeregler der Fa. Novatec gegen einen neu entwickelten Regler der Fraunhofer ISE Freiburg ausgetauscht. Nach Beginn der Umbauarbeiten lief die Anlage ca. 4 Wochen im Testbetrieb, so dass fast während des gesamten Juli kein Solarertrag anfiel.

6.1.2 Betriebsverhalten nach Concheck-Umbau

Durch die im Juni 2002 vom Fraunhofer ISE Freiburg begonnenen Umbauarbeiten und dem damit verbundenen Test- und Optimierungsbetrieb der neuen Regelung kam es zu gelegentlichen Stillständen, Ausfällen und ineffizienter Betriebsweise der Anlage. Dadurch ergaben sich im Vergleich zu den ersten Messjahren zeitweise geringere Erträge aus der Solaranlage, insbesondere im Juli 2002. Zu einer Minimierung der Ertragsausfälle hätte sicherlich beigetragen, wenn sämtliche Umbauarbeiten in den verhältnismäßig ertragsarmen Monaten November bis Februar stattgefunden hätte

Im Folgenden werden die neu eingebauten Wärmeübertrager der beiden Kompaktstationen näher analysiert und das Betriebsverhalten der neuartige Entladeregelung detaillierter betrachtet. Zudem kam es noch zu einem Störfall, der ebenfalls näher erläutert wird.

- Beladewärmetauscher

Tabelle 6.1: Messwerte Beladewärmetauscher, Mittelwerte für den Zeitraum 10.00 - 17.00 Uhr.

Datum	Einstr.	Übertra- gerleist.	Eta Koll.	Temp. diff.	Sp. Leist. WT1	kA- Wert	Tpri,in	Tpri, out	Tsek , out	Tsek,in
	kW	kW	%	K	W/m ² K	kW/K	°C	°C	°C	°C
vor Umbau										
August 1999 (unbeständiges Wetter)										
10.08.1999	71	42	59,2	3,6	84,7	11,7	51,4	35,0	49,0	30,2
11.08.1999	79	43	54,1	3,4	89,4	12,7	55,5	38,7	52,9	34,5
13.08.1999	107	62	58,1	4,4	98,0	14,0	66,2	41,8	62,6	36,3
14.08.1999	62	38	60,8	3,1	84,2	12,1	44,5	29,7	42,1	25,9
15.08.1999	80	49	61,2	3,7	91,9	13,2	50,7	31,5	47,7	27,1
Durchschnitt:	80	47	58,7	3,7	89,6	12,8	53,7	35,3	50,9	30,8
August 2000 (keine Bewölkung)										
10.08.2000	114	70	63,3	5,7	86,1	12,3	67,7	38,6	62,3	32,6
11.08.2000	118	74	64,1	5,8	89,9	12,8	69,7	39,1	64,1	33,2
12.08.2000	114	72	64,0	5,8	87,5	12,5	69,5	40,0	64,1	33,9
13.08.2000	114	71	63,7	5,6	89,9	12,8	69,2	39,7	63,8	34,0
Durchschnitt:	115	72	63,8	5,7	88,4	12,6	69,0	39,4	63,6	33,4
nach Umbau										
August 2003 (keine Bewölkung)										
10.08.2003	115	63	54,7	5,6	78,9	11,3	68,0	39,7	60,9	35,6
11.08.2003	119	61	51,4	6,5	69,1	9,4	72,7	42,3	63,4	38,6
12.08.2003	114	60	52,5	5,8	71,4	10,3	66,8	38,2	59,2	34,1
13.08.2003	108	62	57,3	5,6	75,9	10,8	57,3	63,6	36,0	56,5
Durchschnitt:	114	62	54,0	5,9	73,8	10,5	66,2	46,0	54,9	41,2

In Tabelle 6.1 werden Messwerte am Beladewärmetauscher zweier Zeiträume vor dem Umbau und eines Zeitraums danach aufgeführt. Hierbei haben die Zeiträume August 2000 und August 2003 sehr ähnliche Einstrahlungswerte und sind dadurch sehr gut miteinander vergleichbar. Die übertragene Solarleistung liegt im August 2000 zwischen 70 und 74 kW. Im Zeitraum August 2003 liegt sie zwischen 60 und 63 kW. Der Wirkungsgrad in 2003 mit 51 bis 57 % ist ebenfalls niedriger als 2000 mit 63 bis 64 %. Ebenfalls niedriger als 2000 fallen in 2003 die Werte für die spezifische Leistung und den kA-Wert aus. Demzufolge ist die Leistung des Beladewärmetauschers nach erfolgtem Umbau um ca. 15 bis 20 % niedriger als vorher. Den Bildern 6.8 und 6.9 können die Temperaturverläufe, der kA-Wert und die logarithmische Temperaturdifferenz des 13.08.1999 (vor Concheck) und des 10.08.2003 (nach Concheck) am Beladewärmetauscher entnommen werden.

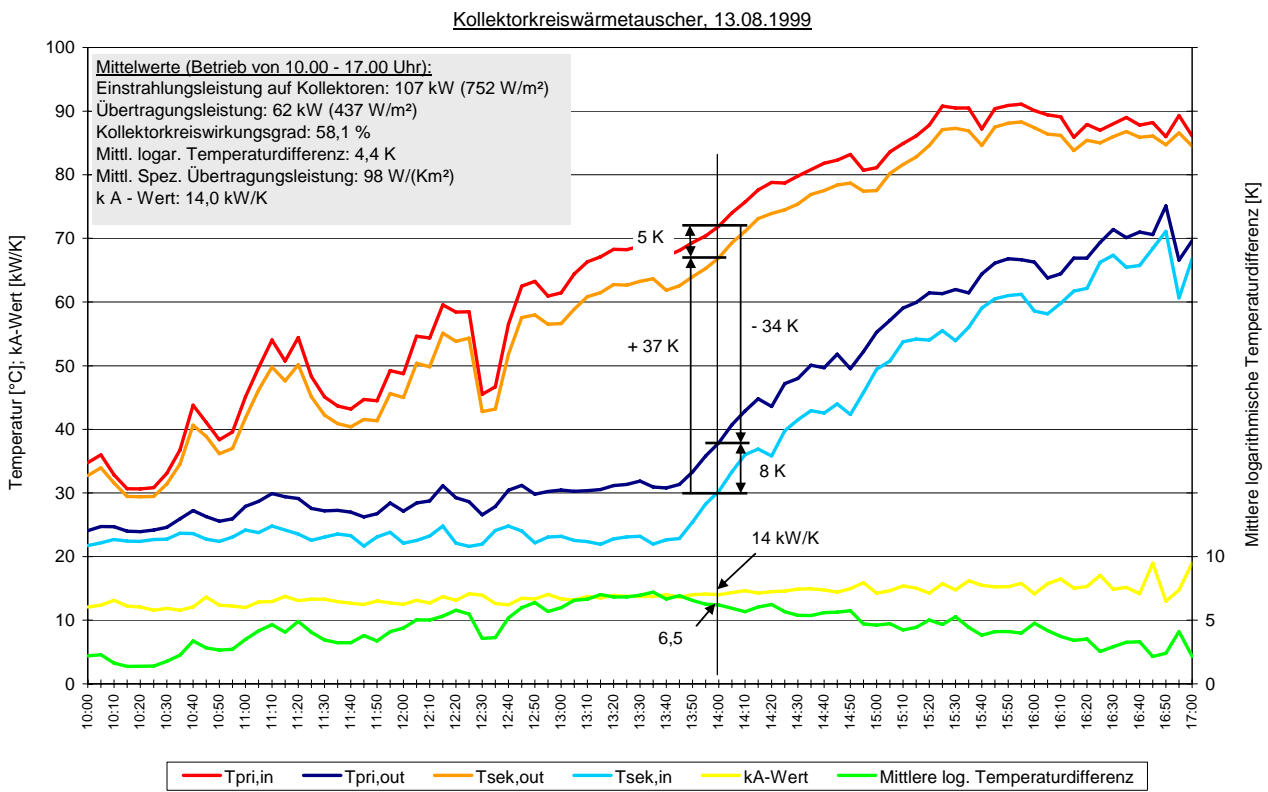


Bild 6.8: Leistungsdaten des Beladewärmetauschers am 13.08.1999

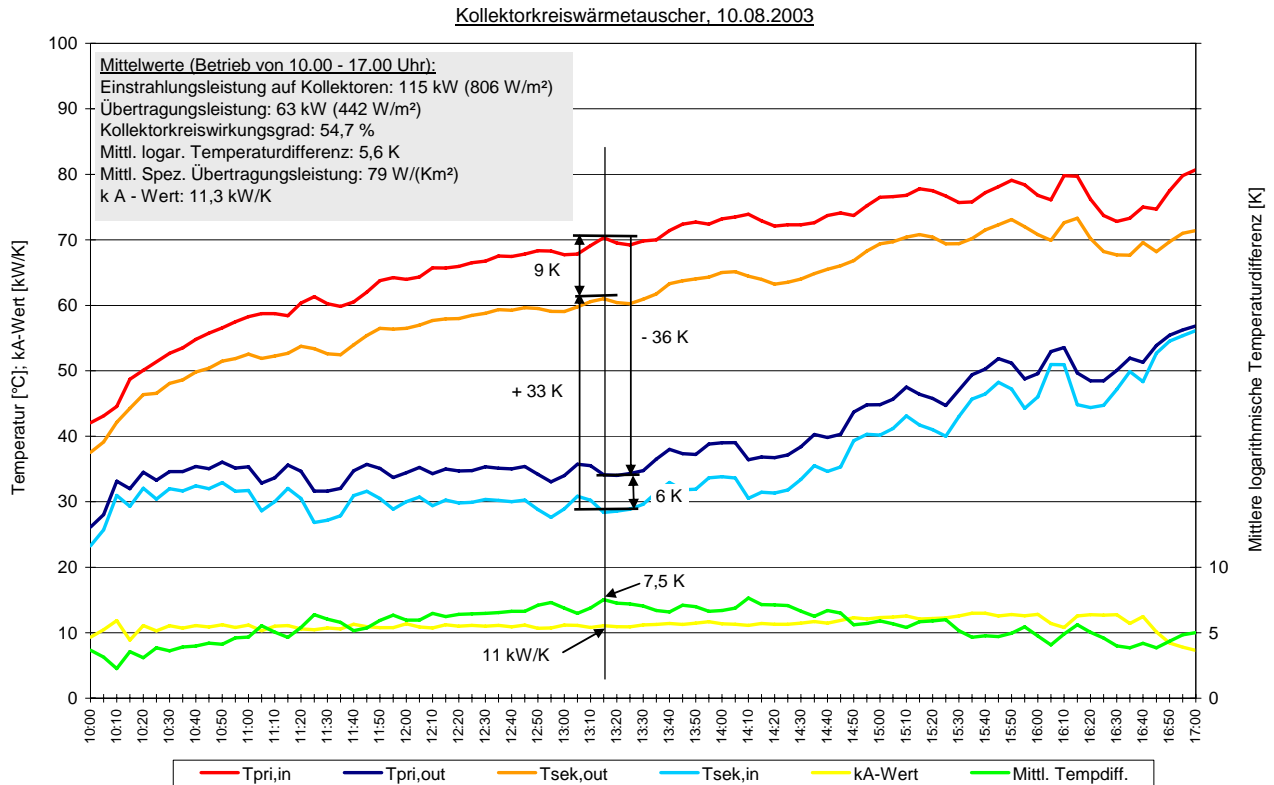


Bild 6.9: Leistungsdaten des Beladewärmetauschers am 10.08.2003

- Entladewärmetauscher

Tabelle 6.2: Messwerte Beladewärmetauscher, Mittelwerte für den Zeitraum 15.00 - 21.00 Uhr.

Datum	Vpri	Vsek	Übertragungsleistung	Energie an TW	Mittl. Log. Temp.diff.	kA-Wert	Tpri,in	Tpri,out	Tsek,out	Tsek,in
	m ³	m ³	kW	kWh	K	kW/K	°C	°C	°C	°C
vor Umbau										
10.08.1999	7,6	6,5	32,1	193	7,2	4,5	51,6	27,5	46,8	17,2
11.08.1999	5,5	5,0	35,0	210	9,9	3,5	61,6	32,3	55,0	18,2
13.08.1999	6,2	6,1	42,0	250	10,7	3,9	61,6	31,5	54,0	17,1
Durchschnitt:	6,4	5,9	36,4	218	9,3	4,0	58,3	30,5	51,9	17,5
nach Umbau										
10.08.2003	5,1	4,8	37,0	220	3,6	10,2	60,9	25,0	58,9	19,1
12.08.2003	5,8	5,5	40,0	243	3,9	10,3	61,3	26,0	59,4	19,2
13.08.2003	5,8	5,5	33,0	198	3,3	10,1	53,1	24,2	51,2	18,9
Durchschnitt:	5,6	5,3	36,7	220	3,6	10,2	58,4	25,1	56,5	19,1

In Tabelle 6.2 werden Messwerte am Entladewärmetauscher eines Zeitraums vor Umbau und eines Zeitraums danach aufgeführt. Die Übertragungsleistungen innerhalb der beiden Zeiträume liegen mit 32 bis 46 kW 1999 und 33 bis 40 kW auf ähnlichem Niveau. Die an das Trinkwasser

abgegebene Energie liegt ebenfalls in beiden Zeiträumen auf ähnlichem Niveau. Bei der mittleren Temperaturdifferenz zeigen sich deutliche Unterschiede. Diese liegt im Zeitraum von 1999 bei 7,2 bis 10,7 K und 2003 bei 3,3 bis 3,9 K. Der kA-Wert liegt mit ca. 10 kW/K 2003 deutlich höher als 1999 mit 3,5 bis 4,5 kW/K. Der kA-Wert und die mittlere Temperaturdifferenz liegen somit 2003 nach Umbau der Anlage ca. um den Faktor 2,5 besser als 1999. Als Folge kann bei gleicher Übertragungsleistung des Wärmetauschers eine höhere Trinkwassertemperatur erreicht werden. Den Bildern 6.10 und 6.11 können die Temperaturverläufe, die logarithmische Temperaturdifferenz und die Volumenströme des 13.08.1999 (vor Concheck) und des 10.08.2003 (nach Concheck) am Entladewärmetauscher entnommen werden.

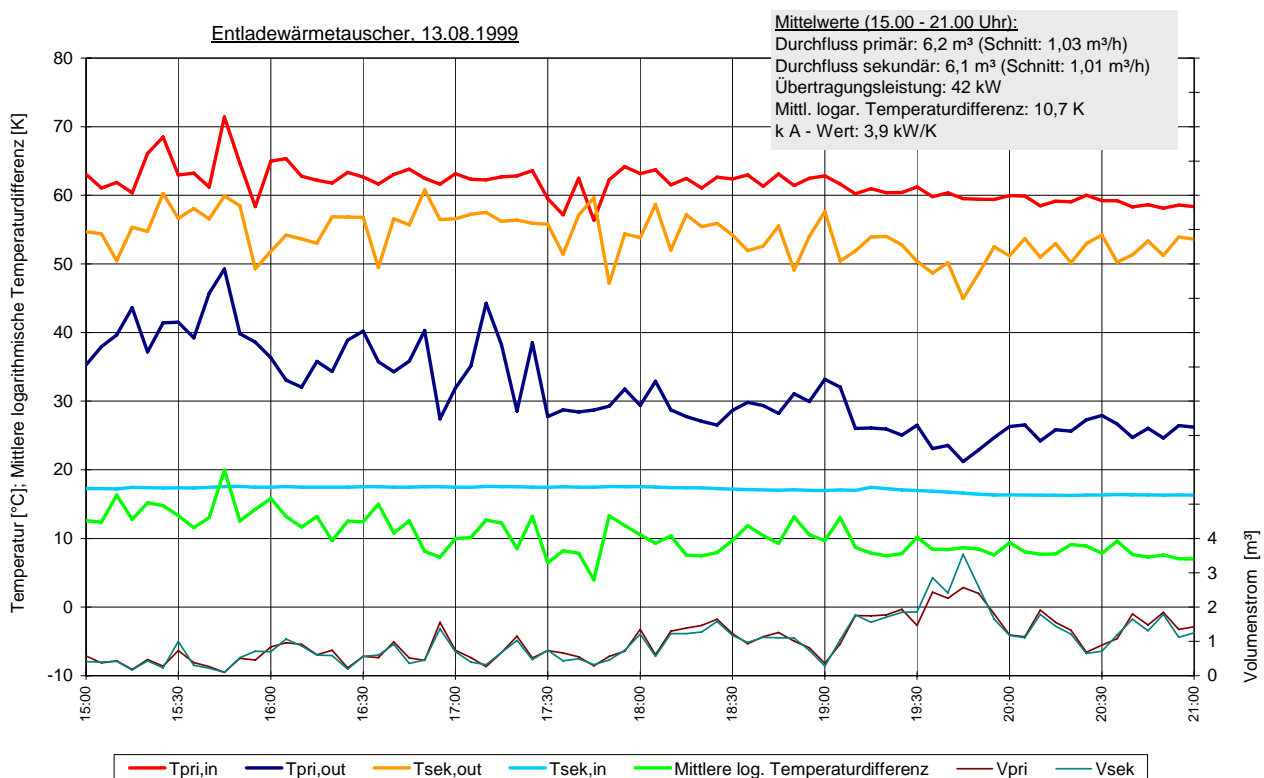


Bild 6.10: Leistungsdaten des Entladewärmetauschers am 13.08.1999

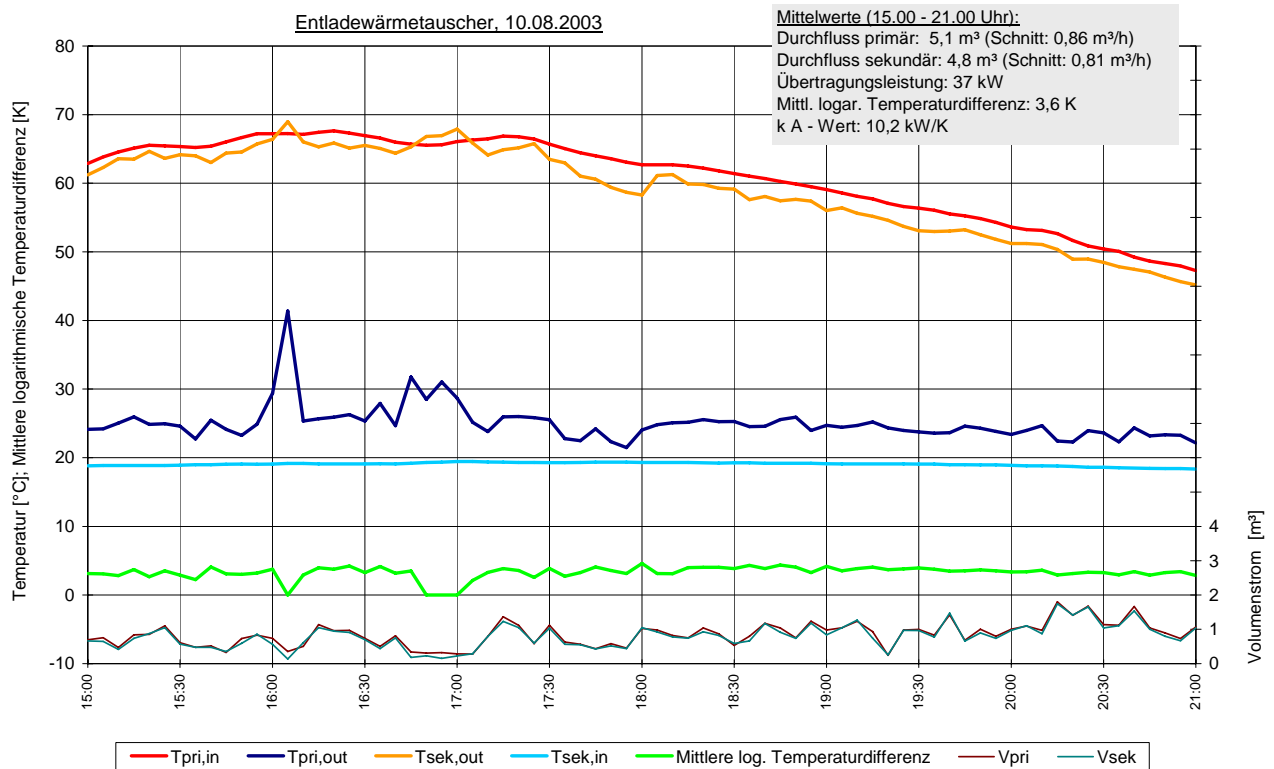


Bild 6.11: Leistungsdaten des Entladewärmetauschers am 10.08.2003

- Entladeregung: Anpassung des Pufferspeicher-Entladevolumenstroms an den Warmwasser-Zapfvolumenstrom

Bei Systemen mit direkter Trinkwassererwärmung ist für einen guten Wärmeübertrag von Pufferspeicherkreis an das Trinkwasser eine schnelle Anpassung des Pufferspeicher-Entladevolumenstroms an den WW-Zapfvolumenstrom notwendig. Da der Zapfvolumenstrom sehr variabel ist und sich ständig ändern kann, muss der Zapfvolumenstroms in kleiner Zeitauflösung erfasst werden und der Entladevolumenstrom entsprechend zeitnah daran angepasst werden. Dies ist mit den am Markt erhältlichen Standardreglern meist nicht zufriedenstellend realisierbar.

In der Solaranlage des Studentendorfs Freiburg-Vauban wurde im Juli 2002 der seit Inbetriebnahme der Anlage eingebaute Prozeda-Entladeregler durch einen vom Fraunhofer-ISE Freiburg entwickelten Entladeregler ausgetauscht (siehe Kap. 4). Mit diesem Regler sollte die geforderte schnelle Anpassung der beiden Volumenströme realisiert und der Regler-Prototyp in einem realen Anlagenbetrieb getestet werden. Die Bilder 6.8 und 6.9 zeigen Verläufe der Entlade- und WW-Zapfvolumenströme vor und nach dem Austausch der Entladeregung, basierend auf 5-Minuten Mittelwerten.

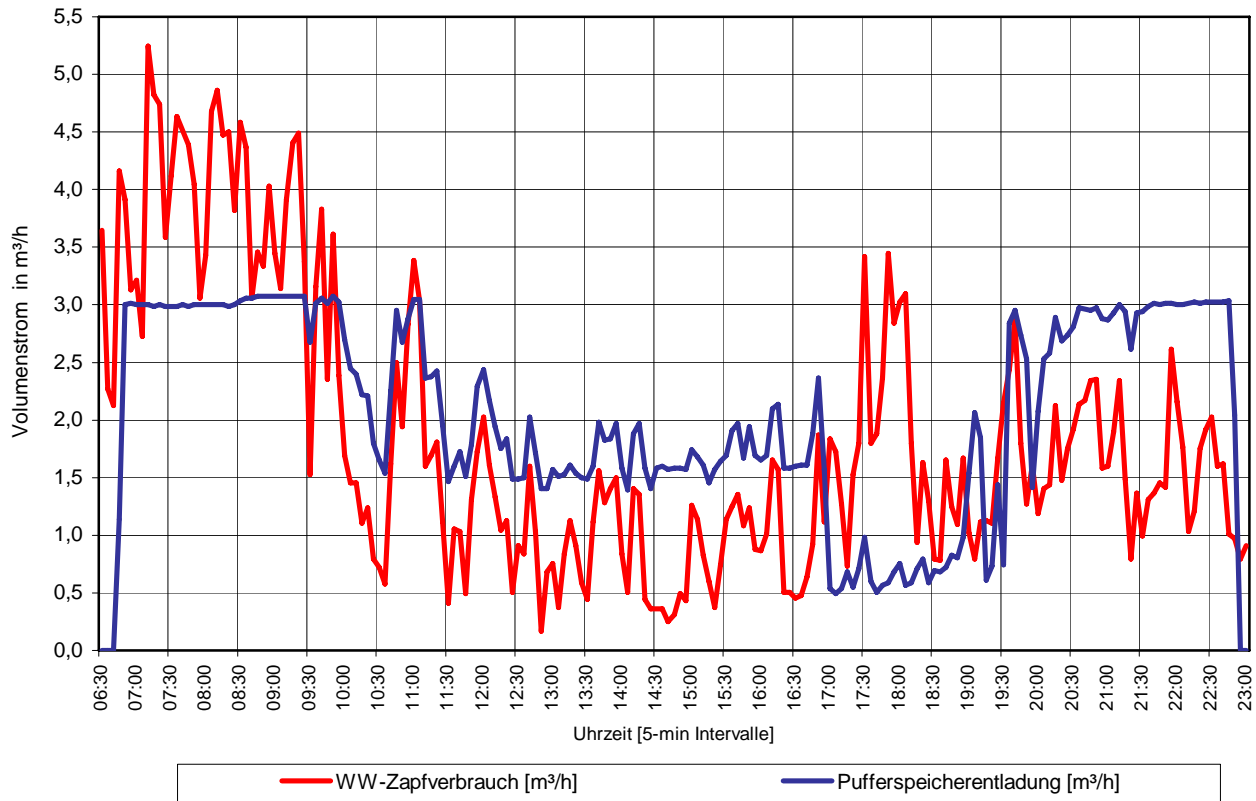


Bild 6.8 Tagesverlauf der Volumenströme des WW-Zapfverbrauchs (VSV) und der Pufferspeicherentladung (VSP) mit Prozeda-Entladeregler (vor *Concheck*-Umbau)

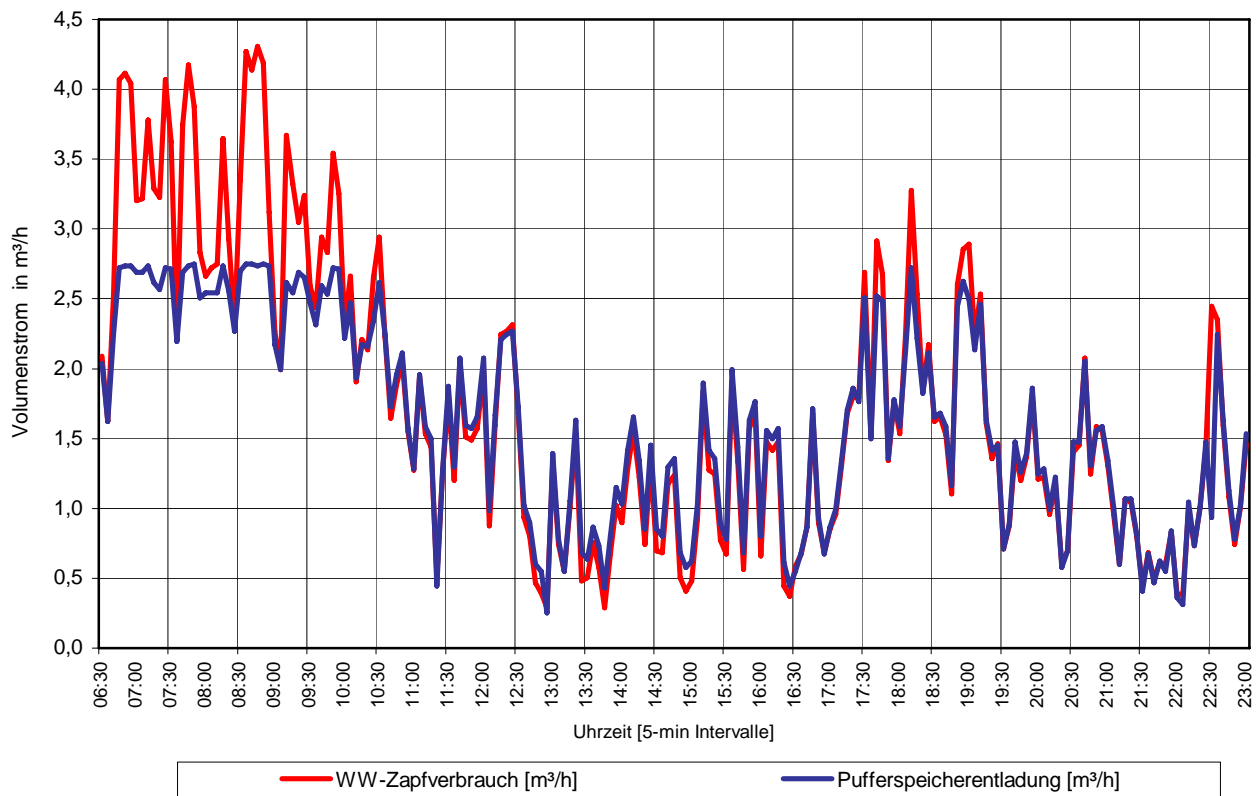


Bild 6.9 Tagesverlauf der Volumenströme des WW-Zapfverbrauchs (VSV) und der Pufferspeicherentladung (VSP) mit Fraunhofer-ISE Entladeregler (vor *Concheck*-Umbau)

- Auslösen des Kollektorkreis-Sicherheitsventils

Am 11.04.2003 kam es in Folge einer Funktionsstörung der Pufferspeicherladepumpe (P2) zu einem Auslösen des Kollektorkreis-Sicherheitsventils im Keller. Trotz Betrieb der Kollektorkreispumpe und Ansteigen der Kollektorkreistemperatur schaltete die Pufferspeicherladepumpe nicht ein. Dadurch, konnte die Energie im Kollektorkreis nicht an den Pufferspeicherkreis abgegeben werden und das Kollektorkreisfluid erwärmte sich immer mehr. Gleichzeitig erhöhte sich das Volumen des Fluids. Dieses höhere Volumen kann bei eigensicheren Anlagen komplett vom Membranausdehnungsgefäß aufgenommen werden, so dass der Druck im Kollektorkreis nicht den Ansprechdruck des Sicherheitsventils erreichen kann und es somit nicht zum Auslösen des Sicherheitsventils kommt. Bei der Anlage im Studentendorf Freiburg-Vauban konnte aber nicht das gesamte zusätzliche Volumen des Fluids vom Ausdehnungsgefäß aufgenommen werden, so dass der Druck im Kollektorkreis immer mehr anstieg und den Ansprechdruck des Sicherheitsventils von 6 bar erreichte. Das Sicherheitsventil öffnete und es wurde Kollektorkreisfluid in den Auffangbehälter (164 Liter-Fass) abgeblasen. Dabei entwickelte sich vermutlich wegen Aufschäumen der Flüssigkeit und nicht ausreichend großer Entlüftungsöffnung ein derart hoher Druck im Behälter, dass dessen Deckel abgesprengt wurde. Die abgeblasene Kollektorkreisflüssigkeit verteilte sich dann in Form von Dampf im Keller. (Bild 6.10 zeigt den Auffangbehälter und die Abblasrohrleitungen nach dem Störfall)

In Bild 6.11 ist der Verlauf der Kollektorkreistemperatur am Eintritt des Kollektorkreiswärmetauschers und der Raumtemperatur im Keller aufgetragen. Die Zunahme der Kollektorkreistemperatur erfolgt immer schneller, bis es schließlich zum Abblasen kommt (ca. 11.55 Uhr). Durch die Verteilung des Dampfes im Keller steigt dessen Raumtemperatur schlagartig von 21 °C auf 38 °C an, gleichzeitig nimmt die Kollektorkreistemperatur sehr schnell ab. Nach Beendigung dieses Vorgangs schließt wohl das Sicherheitsventil wieder und die Kollektorkreistemperatur steigt schnell wieder an. Bei Erreichen von ca. 140 °C kommt es wohl nochmals zu einem Auslösen des Sicherheitsventils (starke Temperatursenkung), wegen der jetzt geringeren Menge an Kollektorkreisfluid aber nicht mehr in Form von Dampfverteilung im Keller.

Eine Überprüfung der Solaranlage auf Eigensicherheit auf Basis des Berechnungsblattes in der VDI 6002 ergab, dass der Inhalt des Membranausdehnungsgefäß im Kollektorkreis (400 Liter) bei den vorhandenen Drücken nicht ausreichte. Eingestellt waren als Vordruck des Ausdehnungsgefäßes 3,0 bar und als Fülldruck im Kollektorkreis 3,6 bar, wodurch ein Ausdehnungsbehälter von 495 Litern erforderlich war. Durch Absenken und Anpassen der Drücke, kann auf ein zusätzliches Ausdehnungsgefäß verzichtet werden. Für den vorhandenen statischen Druck von 1,4 bar reicht ein Ausdehnungsgefäß-Vordruck von 2,4 bar aus. Der Kollektorkreis wird mit 2,5 bar befüllt, wo-

durch sich ein erforderliches Volumen für das Ausdehnungsgefäß von 300 Litern ergibt. Somit reicht das vorhandene Ausdehnungsgefäß aus, um eine Eigensicherheit der Solaranlage zu erreichen.



Bild 6.10 Auffangbehälter für Kollektorkreisflüssigkeit und Abblaserrohrleitungen nach Anlagenstillstand am 11.04.2003

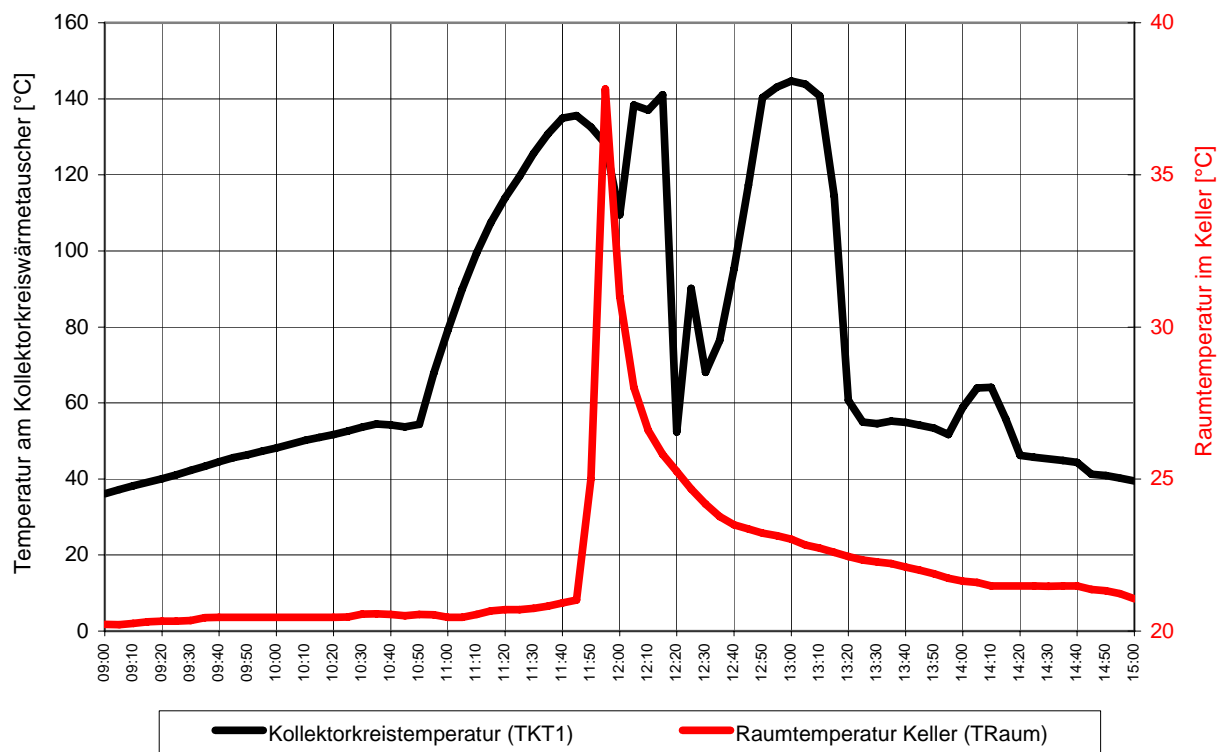


Bild 6.11 Verlauf der Kollektorkreistemperatur am Kollektorkreiswärmetauscher (TKT1) und der Raumtemperatur im Keller vor, während und nach dem Abblasen des Sicherheitsventils

6.2 Auswertung der Messergebnisse und Systemkennzahlen

Die Tabellen 6.1 bis 6.3 zeigen eine Zusammenfassung der wichtigsten Messdaten und Systemkennzahlen für den Zeitraum der 1. und 2. Intensivmessphase (01.08.1999 - 30.06.2001) sowie der darauf folgenden Langzeitmessphase (01.08.2001 – 31.07.2002).

Die Messdaten zwischen dem 01.08.2002 und dem 31.12.2004 sind nicht dargestellt, da diese wegen des im Juni 2002 begonnenen Anlagenumbaus durch das Fraunhofer ISE Freiburg nicht aussagekräftig sind. So stand für längere Zeit ein Teil der Messstellen nicht zur Verfügung, wodurch z.B. die Erfassung der Übertragungsleistungen an den Wärmetauschern nicht möglich war.

Tabelle 6.1 Messergebnisse und Systemkennzahlen der Solaranlage im Studentendorf Freiburg-Vauban für den Zeitraum 01.08.1999 bis 31.07.2000 (1. Intensivmessjahr)

	Bezeichnung	Abkürzung	Messperiode 01.08.99 – 31.07.00	
1	Gesamtstrahlung auf Kollektorfeld	EITK	185.112 kWh	1.294 kWh/m ²
2	Energie von Kollektorkreis an Pufferspeicher	QSP	98.047 kWh	686 kWh/m ²
3	Energie von Solar-Pufferspeichern an Trinkwasser (Nutzenergie des Solarsystems)	QSV	93.036 kWh	651 kWh/m ²
4	Energie für Warmwasserbereitung	QVV	538.826 kWh	1.476 kWh/d
5	Elektrische Energie des Solarsystems	NST	1.790 kWh	12,5 kWh/m ²
6	Betriebsstunden Pumpe Kollektorkreis	HP1	2.557 h	7,0 h/d
7	Betriebsstunden Pumpe Beladung Puffersp.	HP2	1.910 h	5,2 h/d
8	Betriebsstunden Pumpe Entladung Puffersp.	HP3	4.977 h	13,6 h/d
9	Volumenstrom Kollektorkreis	VKT	2,33 m ³ /h	16,3 l/(m ² h)
10	Volumenstrom Beladung Pufferspeicher	VSP	2,32 m ³ /h	
11	Volumenstrom Entladung Pufferspeicher	VSS	1,57 m ³ /h*	* VSS nicht konstant, da P3 mit variabler Leistung
12	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) gemessen (mittlere WW-Temp. 60,9 °C)	SV	9.681 m ³	26,5 m ³ /d
		Auslastung	186 l/(m ² d)	
13	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) umgerechnet auf 60 °C WW-Temperatur	SV_KORR	9.900 m ³	27,1 m ³ /d
		Ausl_korr	190 l/(m ² d)	
14	Kollektorkreisnutzungsgrad brutto	g _{KB}	53,0 %	
15	Solarsystemnutzungsgrad netto	g _{SB}	50,3 %	
		g _{SN}	49,3 %	
16	Solarer Deckungsanteil am Warmwasser-Zapfverbrauch (brutto)	D _{SB,WW}	17,3 %	
17	Arbeitszahl des Solarsystems	A	52	

Tabelle 6.2 Messergebnisse und Systemkennzahlen der Solaranlage im Studentendorf Freiburg-Vauban für den Zeitraum 01.08.2000 bis 31.07.2001 (2. Intensivmessjahr)

	Bezeichnung	Abkürzung	Messperiode 01.08.00 – 31.07.01	
1	Gesamtstrahlung auf Kollektorfeld	EITK	180.218 kWh	1.262 kWh/m ²
2	Energie von Kollektorkreis an Pufferspeicher	QSP	99.079 kWh	694 kWh/m ²
3	Energie von Solar-Pufferspeichern an Trinkwasser (Nutzenergie des Solarsystems)	QSV	88.840 kWh	622 kWh/m ²
4	Energie für Warmwasserbereitung	QVV	518.200 kWh	1.420 kWh/d
5	Elektrische Energie des Solarsystems	NST	1.947 kWh	13,6 kWh/m ²
6	Betriebsstunden Pumpe Kollektorkreis	HP1	2.509 h	6,9 h/d
7	Betriebsstunden Pumpe Beladung Puffersp.	HP2	1.965 h	5,4 h/d
8	Betriebsstunden Pumpe Entladung Puffersp.	HP3	7.076 h	19,4 h/d
9	Volumenstrom Kollektorkreis	VKT	2,30 m ³ /h	16,1 l/(m ² h)
10	Volumenstrom Beladung Pufferspeicher	VSP	2,25 m ³ /h	
11	Volumenstrom Entladung Pufferspeicher	VSS	1,68 m ³ /h*	* VSS nicht konstant, da P3 mit variabler Leistung
12	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) gemessen (mittlere WW-Temp. 63,6 °C)	SV	8.844 m ³	24,2 m ³ /d
		Auslastung	170 l/(m ² d)	
13	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) umgerechnet auf 60 °C WW-Temperatur	SV_KORR	9.520 m ³	26,1 m ³ /d
		Ausl_korr	183 l/(m ² d)	
14	Kollektorkreisnutzungsgrad brutto	g _{KB}	55,0 %	
15	Solarsystemnutzungsgrad brutto	g _{SB}	49,3 %	
	netto	g _{SN}	48,2 %	
16	Solarer Deckungsanteil am Warmwasser-Zapfverbrauch (brutto)	D _{SB,WW}	17,1 %	
17	Arbeitszahl des Solarsystems	A	46	

Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban

Tabelle 6.3 Messergebnisse und Systemkennzahlen der Solaranlage im Studentendorf Freiburg-Vauban für den Zeitraum 01.08.2001 bis 31.07.2002 (1. Langzeitmessjahr)

	Bezeichnung	Abkürzung	Messperiode 01.08.01 – 31.07.02	
1	Gesamtstrahlung auf Kollektorfeld	EITK	189.057 kWh	1.324 kWh/m ²
2	Energie von Kollektorkreis an Pufferspeicher	QSP	72.658 kWh	509 kWh/m ²
3	Energie von Solar-Pufferspeichern an Trinkwasser (Nutzenergie des Solarsystems)	QSV	71.298 kWh	499 kWh/m ²
4	Energie für Warmwasserbereitung	QVV	540.686 kWh	1.481 kWh/d
5	Elektrische Energie des Solarsystems	NST	1.931 kWh	13,5 kWh/m ²
6	Betriebsstunden Pumpe Kollektorkreis	HP1	2.759 h	7,6 h/d
7	Betriebsstunden Pumpe Beladung Puffersp.	HP2	2.178 h	6,0 h/d
8	Betriebsstunden Pumpe Entladung Puffersp.	HP3	6.733 h	18,4 h/d
9	Volumenstrom Kollektorkreis	VKT	2,29 m ³ /h	16,0 l/(m ² h)
10	Volumenstrom Beladung Pufferspeicher	VSP	2,20 m ³ /h	
11	Volumenstrom Entladung Pufferspeicher	VSS	1,57 m ³ /h*	* VSS nicht konstant, da P3 mit variabler Leistung
12	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) gemessen	SV	10.282 m ³	28,2 m ³ /d
		Auslastung	197 l/(m ² d)	
13	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) umgerechnet auf 60 °C WW-Temperatur	SV_KORR	9.907 m ³	27,1 m ³ /d
		Ausl_korr	190 l/(m ² d)	
14	Kollektorkreisnutzungsgrad brutto	g _{KB}	38,4 %	
15	Solarsystemnutzungsgrad brutto netto	g _{SB}	37,7 %	
		g _{SN}	36,7 %	
16	Solarer Deckungsanteil am Warmwasser-Zapfverbrauch (brutto)	D _{SB,WW}	13,2 %	
17	Arbeitszahl des Solarsystems	A	37	

Die erzielten Solarerträge und Nutzungsgrade der 1. Langzeitmessphase sind im Vergleich zu der 1. und 2. Intensivmessjahr relativ gering, da die Solaranlage im April/Mai (6 Wochen) und Juli (4 Wochen) wegen Defekt bzw. Umbauarbeiten nicht im Normalbetrieb lief (siehe 6.1.1).

Im Zeitraum 01.08.2001 – 23.04.2002 (vor Auftreten der Funktionsmängel) wurde die Solaranlage mit einem mittleren Systemnutzungsgrad von 53,0 % betrieben, was in etwa den Nutzungsgraden der 1. und 2. Intensivmessphase entspricht.

Tabelle 6.4 Messergebnisse und Systemkennzahlen der Solaranlage im Studentendorf Freiburg-Vauban für den Zeitraum 01.01.2004 bis 31.12.2004 (1. Intensivmessjahr nach Concheck-Umbau)

	Bezeichnung	Abkürzung	Messperiode 01.01.04 – 31.12.04	
1	Gesamtstrahlung auf Kollektorfeld	EITK	176.890 kWh	1.239 kWh/m ²
2	Energie von Kollektorkreis an Pufferspeicher	QSP	nicht erfasst	nicht erfasst
3	Energie von Solar-Pufferspeichern an Trinkwasser (Nutzenergie des Solarsystems)	QSV	79.754 kWh	558 kWh/m ²
4	Energie für Warmwasserbereitung	QVV	561.924 kWh	1535 kWh/d
5	Elektrische Energie des Solarsystems	NST	1.211 kWh	8,5 kWh/m ²
6	Betriebsstunden Pumpe Kollektorkreis	HP1	3.297 h	9,0 h/d
7	Betriebsstunden Pumpe Beladung Puffersp.	HP2	nicht erfasst	nicht erfasst
8	Betriebsstunden Pumpe Entladung Puffersp.	HP3	1.990 h	5,4 h/d
9	Volumenstrom Kollektorkreis	VKT	nicht erfasst	nicht erfasst
10	Volumenstrom Beladung Pufferspeicher	VSP	nicht erfasst	
11	Volumenstrom Entladung Pufferspeicher	VSS	2,52 m ³ /h*	* VSS nicht konstant, da P3 mit variabler Leistung
12	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) gemessen	SV	10.712 m ³	29,3 m ³ /d
		Auslastung	205 l/(m ² d)	
13	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) umgerechnet auf 60 °C WW-Temperatur	SV_KORR	10.356 m ³	28,3 m ³ /d
		Ausl_korr	198 l/(m ² d)	
14	Kollektorkreisnutzungsgrad brutto	g _{KB}	nicht erfasst	
15	Solarsystemnutzungsgrad netto	g _{SB}	45,1 %	
		g _{SN}	44,4 %	
16	Solarer Deckungsanteil am Warmwasser-Zapfverbrauch (brutto)	D _{SB,WW}	14,2 %	
17	Arbeitszahl des Solarsystems	A	66	

Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban

Tabelle 6.5 Messergebnisse und Systemkennzahlen der Solaranlage im Studentendorf Freiburg-Vauban für den Zeitraum 01.01.2005 bis 31.12.2005 (2. Intensivmessjahr nach Concheck-Umbau)

	Bezeichnung	Abkürzung	Messperiode 01.01.05 – 31.12.05	
1	Gesamtstrahlung auf Kollektorfeld	EITK	185.558kWh	1.299 kWh/m ²
2	Energie von Kollektorkreis an Pufferspeicher	QSP	nicht ganzjährig erfasst	nicht ganzjährig erfasst
3	Energie von Solar-Pufferspeichern an Trinkwasser (Nutzenergie des Solarsystems)	QSV	82.724kWh	579 kWh/m ²
4	Energie für Warmwasserbereitung	QVV	563.248kWh	1543 kWh/d
5	Elektrische Energie des Solarsystems	NST	1.075kWh	7,5 kWh/m ²
6	Betriebsstunden Pumpe Kollektorkreis	HP1	3.398 h	9,3 h/d
7	Betriebsstunden Pumpe Beladung Puffersp.	HP2	nicht erfasst	nicht erfasst
8	Betriebsstunden Pumpe Entladung Puffersp.	HP3	2711,4 h	7,4 h/d
9	Volumenstrom Kollektorkreis	VKT	1,03 m ³ /h	7,2 l/(m ² h)
10	Volumenstrom Beladung Pufferspeicher	VSP	nicht erfasst	
11	Volumenstrom Entladung Pufferspeicher	VSS	1,94m ³ /h *	* VSS nicht konstant, da P3 mit variabler Leistung
12	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) gemessen	SV	10.040 m ³	27,5 m ³ /d
		Auslastung	193 l/(m ² d)	
13	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) umgerechnet auf 60 °C WW-Temperatur	SV_KORR	10.255 m ³	28,1 m ³ /d
		Ausl_korr	197 l/(m ² d)	
14	Kollektorkreisnutzungsgrad brutto	g_{KB}	nicht ganzjährig erfasst	
15	Solarsystemnutzungsgrad brutto	g_{SB}	44,6 %	
	netto	g_{SN}	44,0 %	
16	Solarer Deckungsanteil am Warmwasser-Zapfverbrauch (brutto)	$D_{SB,WW}$	14,7 %	
17	Arbeitszahl des Solarsystems	A	77	

Tabelle 6.6 Messergebnisse und Systemkennzahlen der Solaranlage im Studentendorf Freiburg-Vauban für den Zeitraum 01.01.2006 bis 31.12.2006 (1. Langzeitmessjahr nach Concheck-Umbau)

	Bezeichnung	Abkürzung	Messperiode 01.01.06 – 31.12.06	
1	Gesamtstrahlung auf Kollektorfeld	EITK	185.678 kWh	1.300 kWh/m ²
2	Energie von Kollektorkreis an Pufferspeicher	QSP	89.879 kWh	629 kWh/m ²
3	Energie von Solar-Pufferspeichern an Trinkwasser (Nutzenergie des Solarsystems)	QSV	85.383 kWh	598 kWh/m ²
4	Energie für Warmwasserbereitung	QVV	539.840 kWh	1.479 kWh/d
5	Elektrische Energie des Solarsystems	NST	1.105 kWh	7,7 kWh/m ²
6	Betriebsstunden Pumpe Kollektorkreis	HP1	3.274,4 h	9,0 h/d
7	Betriebsstunden Pumpe Beladung Puffersp.	HP2	nicht erfasst	nicht erfasst
8	Betriebsstunden Pumpe Entladung Puffersp.	HP3	1.957,1 h	5,4 h/d
9	Volumenstrom Kollektorkreis	VKT	1,24 m ³ /h	8,7 l/(m ² h)
10	Volumenstrom Beladung Pufferspeicher	VSP	nicht erfasst	
11	Volumenstrom Entladung Pufferspeicher	VSS	3,66 m ³ /h*	* VSS nicht konstant, da P3 mit variabler Leistung
12	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) gemessen	SV	10.604 m ³	29,1 m ³ /d
		Auslastung	203 l/(m ² d)	
13	Volumen Warmwasser (Zapfverbrauch) umgerechnet auf 60 °C WW-Temperatur	SV_KORR	9.873 m ³	27,0 m ³ /d
		Ausl_korr	189 l/(m ² d)	
14	Kollektorkreisnutzungsgrad brutto	g _{KB}	50,0 %	
15	Solarsystemnutzungsgrad brutto netto	g _{SB}	46,0 %	
		g _{SN}	45,4 %	
16	Solarer Deckungsanteil am Warmwasser-Zapfverbrauch (brutto)	D _{SB,WW}	15,8 %	
17	Arbeitszahl des Solarsystems	A	77	

Die erzielten Solarerträge, Nutzungsgrade und der solare Deckungsanteil der Messjahre nach Concheck sind im Vergleich zu den Intensivmessjahren vor dem Umbau etwas geringer. Die Arbeitszahl ist mit der neuen Regelung allerdings deutlich größer. Die Ursachen hierfür sind unter 6.1.2 aufgeführt.

6.2.1 Warmwasserverbrauch und Auslastung

Der mittlere *Warmwasserverbrauch* lag während der 1. Intensivmessphase (01.08.1999 - 31.07.2000) bei 26,5 m³ pro Tag. Als Gesamt-Warmwasserverbrauch wurden in diesem Zeitraum 9.681 m³ gemessen, bei einer durchschnittlichen Warmwassertemperatur von 60,9 °C. Korrigiert auf eine Warmwassertemperatur von 60 °C ergibt sich ein Jahresverbrauch an Warmwasser von 9.900 m³. Der tatsächliche Verbrauch lag damit um 62 % unter dem für die Simulation angenommenen Warmwasserverbrauch (6.119 m³).

Im 2. Intensivmessjahr (01.08.2000 - 31.07.2001) reduzierte sich der gemessene Jahres-Warmwasserverbrauch auf 8.844 m³, bei einer mittleren Warmwassertemperatur von 63,6 °C. Der auf 60 °C korrigierte Verbrauch reduzierte sich um 380 m³ auf 9.520 m³ (-3,8 %). Der durchschnittliche Tagesverbrauch lag bei 26,1 m³. Trotz der Reduzierung des Verbrauchs lag dieser immer noch sehr weit über dem für die Auslegung vorgegebenen Verbrauch.

Nach erfolgtem Concheck-Umbau lag der Jahres-Warmwasserverbrauch in den beiden Intensivmessjahren bei 10.712 m³ (2004) und 10.040 m³ (2005) bei einer mittleren Wassertemperatur von 59 °C (2004) und 61,1 °C (2005). Das entspricht mittleren Tagesverbräuchen von 29,3 m³/d und 27,5 m³/d. Die auf 60 °C korrigierten Verbräuche verringerten sich in 2004 um 356 m³ auf 10.356 m³ (-3,3%) und erhöhte sich in 2005 um 215 m³ auf 10.255 m³ (2,1%). Der durchschnittlichen Tagesverbräuche lagen bei 28,3 m³/d (2004) und 28,1 m³/d (2005).

Der erhebliche Mehrverbrauch liegt höchstwahrscheinlich an einer im Vergleich zu den Messungen in der Planungsphase höheren Anzahl von Bewohnern, bedingt durch den Umbau des Wohnheimes und die unregelmäßige Belegung der Zimmer während der Planungsphase. Da die Belegung der Zimmer im Studentenwohnheim nicht exakt erfasst werden kann, ist es nicht möglich, den genauen Pro-Kopf-Verbrauch zu bestimmen.

Der im Vergleich zum Auslegungsverbrauch höhere Verbrauch an Warmwasser ist hinsichtlich des Solarertrages allerdings unkritisch zu sehen, da durch den höheren Verbrauch die Auslastung und Effektivität der Solaranlage im Vergleich zur Auslegung steigt. Das Jahresmittel der *Auslastung* des Solarsystems lag bei 190 bzw. 183 Litern Warmwasserverbrauch pro Tag und m² Kollektorfläche.

Während der sommerlichen Schwachlastzeiten (Sommersemesterferien), die für die Auslegung der Solaranlage zu Grunde gelegt wurde, lag der Tagesverbrauch an Warmwasser bei ca. 20 m³/Tag, was dem Doppelten des angenommenen Auslegungsverbrauchs (10 m³/Tag) entspricht. Entsprechend liegt die tatsächliche Anlagenauslastung in diesen Zeiten mit 140 Litern pro Tag und m² um das ca. 2-fache über dem empfohlenen Auslegungswert von 70 Litern pro Tag und m².

In Bild 6.12 und 6.13 sind die realen und die angenommenen Tagessummen des Warmwasserverbrauchs sowie die Anlagenauslastung (gemittelt aus Wochensummen) während der 1. bzw. 2. Intensivmessphase dargestellt. Daraus wird z.B. der Minderverbrauch während der Semesterferienwochen deutlich (durchschnittlich $20 \text{ m}^3/\text{d}$). Während der Vorlesungszeit lag der Tagesverbrauch bei durchschnittlich 31 m^3 . Ein extremer Minderverbrauch wurde im 2. Intensivmessjahr im April 2001 gemessen. Wegen Osterferien ging der Durchschnittsverbrauch auf bis zu $2,5 \text{ m}^3/\text{Tag}$ zurück.

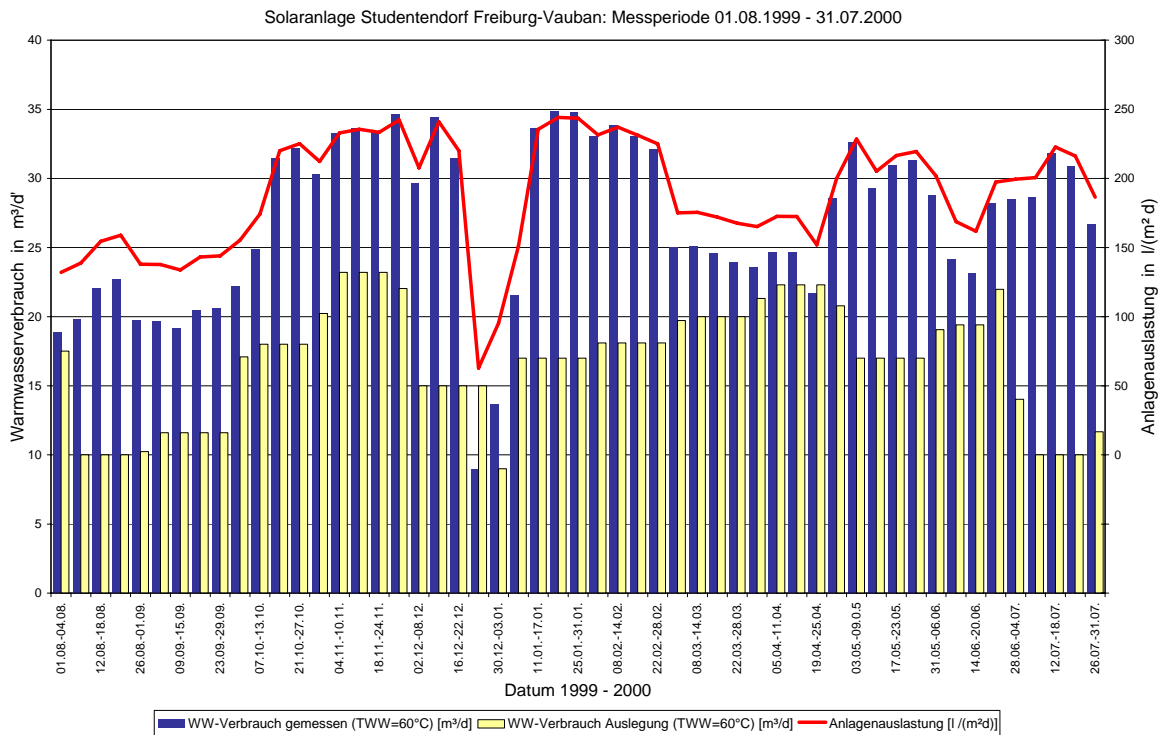


Bild 6.12 Tagessummen (gemittelt aus Wochensummen) des gemessenen Zapfverbrauchs, des Auslegungsverbrauchs und der Anlagenauslastung (1. Intensivmessphase)

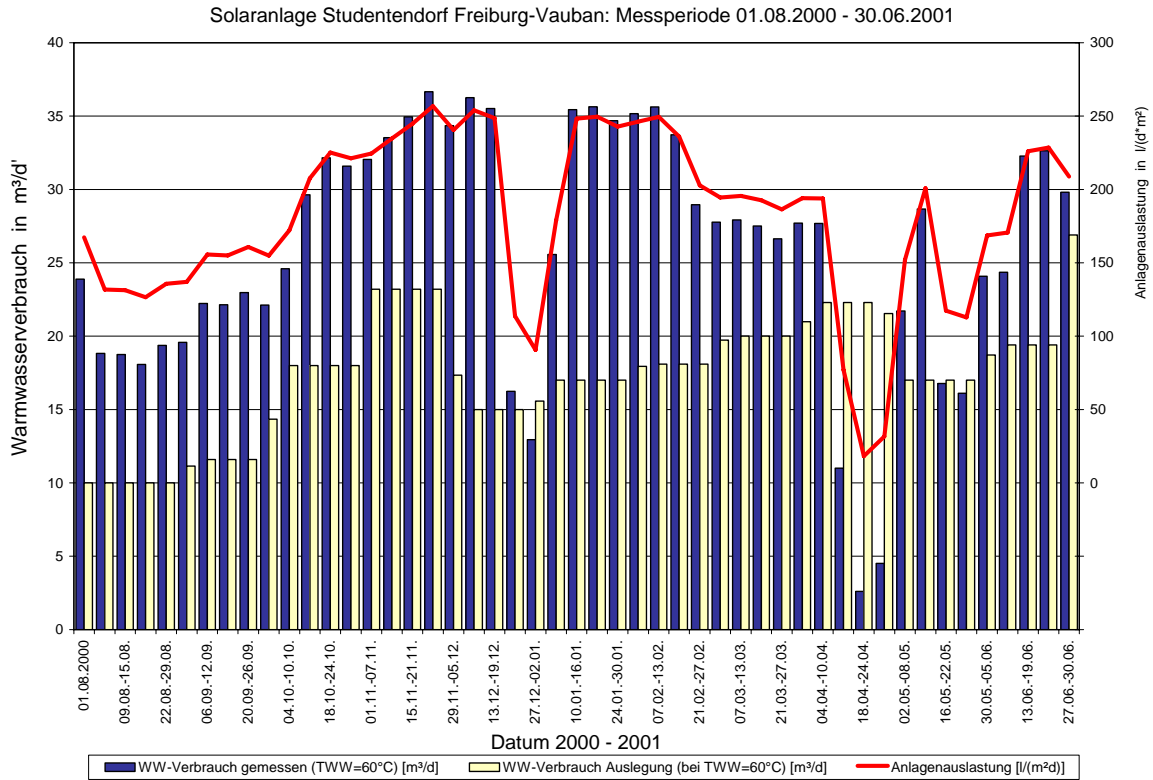


Bild 6.13 Tagessummen (gemittelt aus Wochensummen) des gemessenen Zapfverbrauchs, des Auslegungsverbrauchs und der Anlagenauslastung (2. Intensivmessphase)

In Bild 6.14 und 6.15 sind die realen und die angenommenen Tagessummen des Warmwasserverbrauchs sowie die Anlagenauslastung (gemittelt aus Wochensummen) während der 1. bzw. 2. Intensivmessphase nach erfolgtem Concheck-Umbau dargestellt. Daraus wird wieder der Minderverbrauch während der Semesterferienwochen deutlich (ca. 20 m³/d).

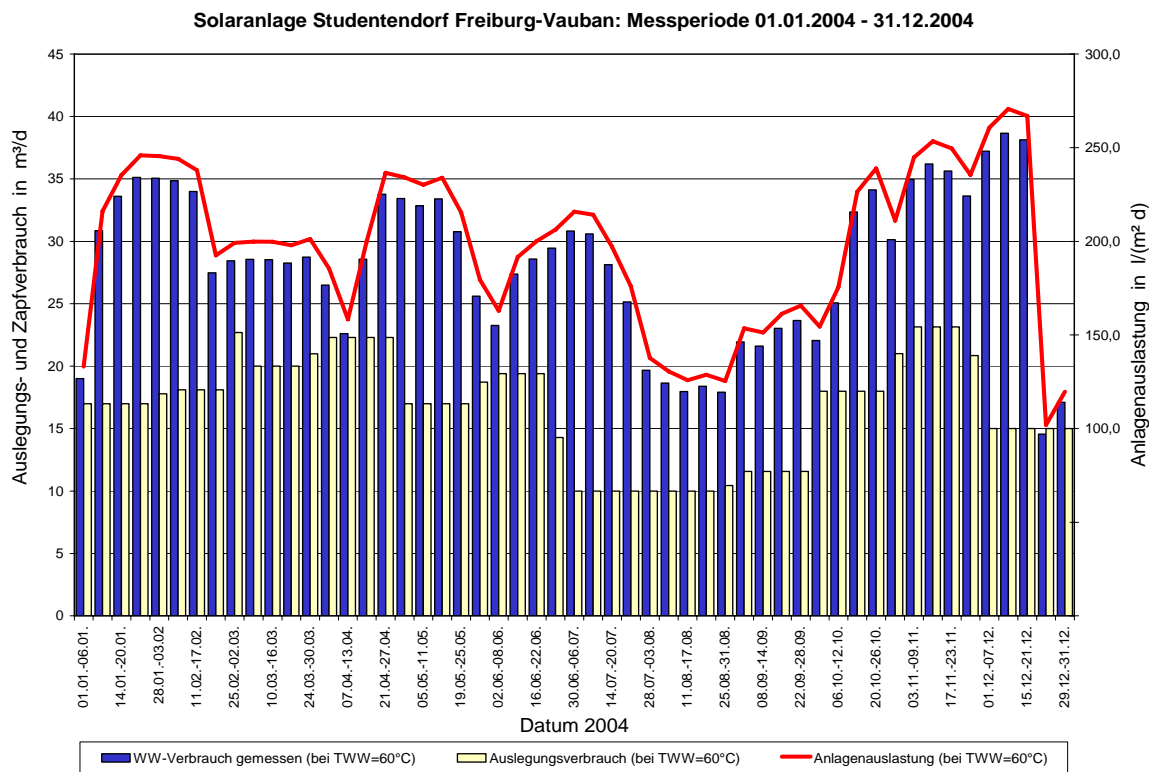


Bild 6.14 Tagessummen (gemittelt aus Wochensummen) des gemessenen Zapfverbrauchs, des Auslegungsverbrauchs und der Anlagenauslastung (1. Intensivmessphase nach Concheck)

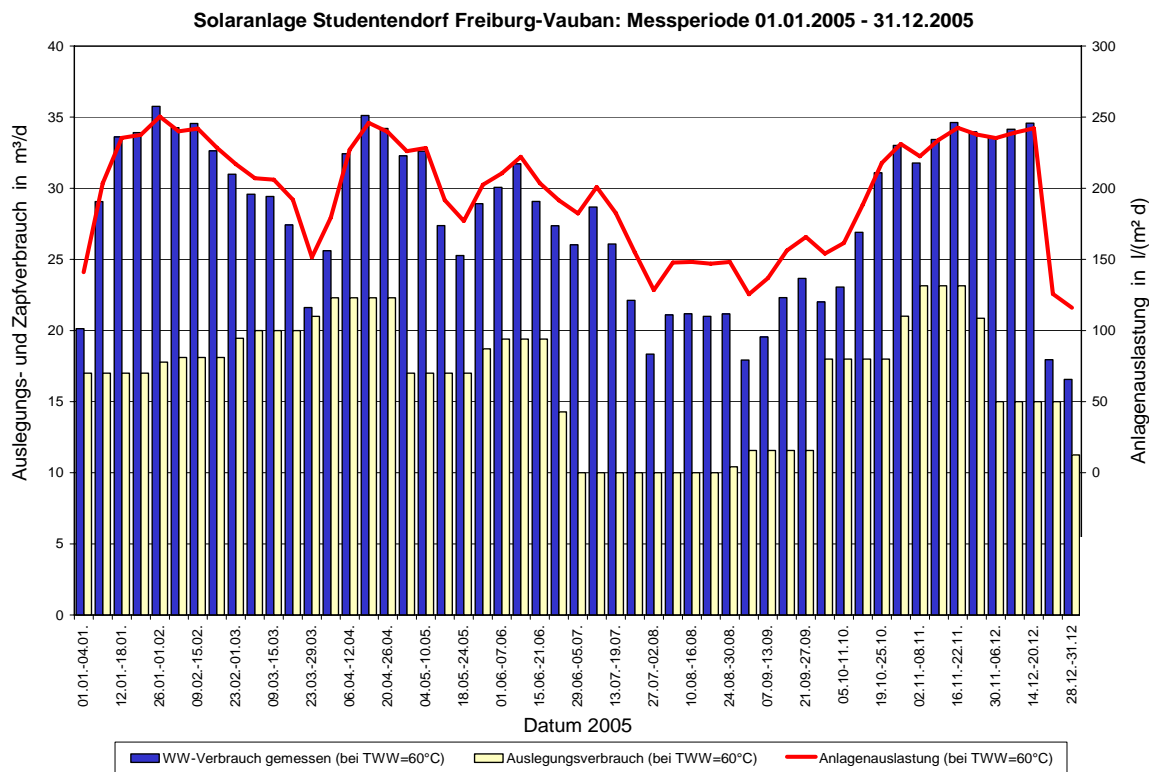


Bild 6.15 Tagessummen (gemittelt aus Wochensummen) des gemessenen Zapfverbrauchs, des Auslegungsverbrauchs und der Anlagenauslastung (2. Intensivmessphase nach Concheck)

Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban

In Bild 6.16 ist das gemessene WW-Zapfprofil an einem Werktag (10. November 1999) dargestellt und zum Vergleich dazu das für die Auslegung angenommene Profil.

Als Auslegungsverbrauch für einen Werktag (Mo-Fr) im November wurden 23.200 Liter pro Tag angenommen, gemessen wurde an diesem Tag ein Verbrauch von 32.110 Litern. Morgens beginnt der starke Anstieg der Zapfmenge real ab 6.00 Uhr, in im Auslegungsprofil ca. 30 min früher. Die Lastspitze am Morgen tritt real um 8.00 Uhr auf, im Auslegungsprofil um 7.00 Uhr. Der Beginn der erhöhten Warmwasserentnahme am Abend ist um ca. 1 Stunde verschoben. Gemessen wird der Beginn um 15.30 Uhr, für das Auslegungsprofil wurde der Beginn auf 16.30 festgelegt.

Das gemessene Zapfprofil entspricht in etwa dem Auslegungsprofil mit dem absoluten Maximum am Morgen und einem weiteren starken Anstieg am Abend. Nicht berücksichtigt sind die Spitzen am Vormittag, Mittag und Nachmittag.

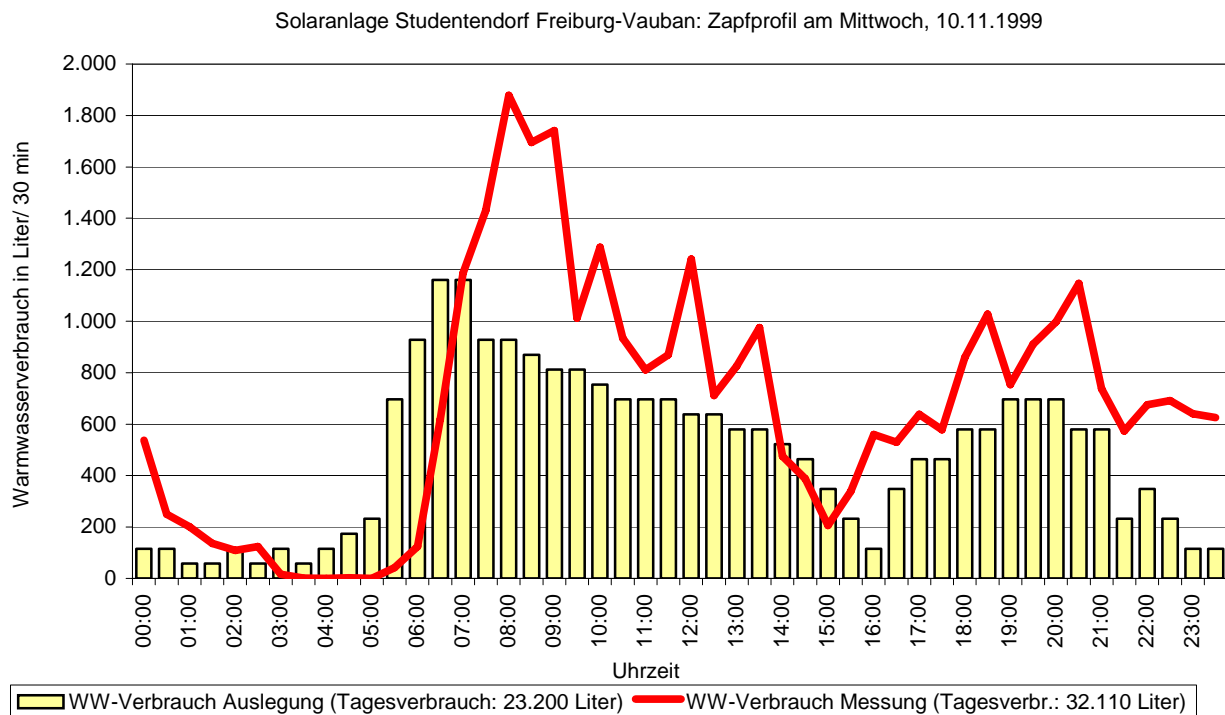


Bild 6.16 Vergleich eines gemessenen Zapfprofils und des Auslegungs-Zapfprofils (Werktag, Halbstundensummen) am 10.11.1999

6.2.2 Energien und Nutzungsgrade

Im 1. Messjahr wurden von der *Einstrahlungsenergie* auf die Absorberfläche des Kollektorfeldes (EITK) von 185.112 kWh bzw. 1.294 kWh/m² insgesamt 98.047 kWh über den Beladewärmetauscher vom Kollektorkreis an den Pufferspeicher-Beladekreis abgegeben (QSP).

Im 2. Messjahr betrug die Einstrahlungsenergie auf das Kollektorfeld 180.218 kWh bzw. 1.262 kWh/m² (- 2,6 %). Davon wurden 99.079 kWh in die Pufferspeicher eingespeist.

Im 3. Messjahr nach Concheck betrug die Einstrahlungsenergie auf das Kollektorfeld 185.678 kWh bzw. 1.300 kWh/m². Davon wurden 89.879 kWh in die Pufferspeicher eingespeist. Die beiden Intensivmessjahre nach Concheck können hier nicht dargestellt werden, da der Volumenstrom im Speicherladekreis nicht bzw. nicht ganzjährig erfasst wurde.

Die Energiedifferenz zwischen EITK und QSP wurde an den Kollektoren reflektiert oder als thermische Verluste an die Umgebung abgegeben. Prozentual wurden von der eingestrahlten Energie im 1. Messjahr 53,0%, im 2. Messjahr 55,0% und 50,0% im dritten Messjahr nach Concheck (*Kollektorkreisnutzungsgrad*) an den Beladekreis der Solarspeicher abgegeben.

Die *Nutzenergie* aus dem Solarsystem (QSV), d.h. die Energie, die von den Solarspeichern über den Entladewärmetauscher an das Trinkwasser abgegeben wurde, betrug im 1. Messjahr 93.036 kWh (651 kWh/m² bzw. 1,78 kWh/(m²d)) und im 2. Messjahr 88.840 kWh (622 kWh/m² bzw. 1,70 kWh/(m²d)).

Dies ergibt einen durchschnittlichen solaren *Systemnutzungsgrad* von 50,3 % im 1. Messjahr und 49,3 % im 2. Messjahr.

Nach erfolgtem Concheck-Umbau betrug die solare Nutzenergie in 2004 79.754 kWh (558 kWh/m² bzw. 1,53 kWh/(m²d)) und in 2005 82.724 kWh (579 kWh/m² bzw. 1,59 kWh/(m²d)).

Bild 6.17 bis 6.20 zeigen die spezifischen Tagessummen, der Strahlungs- und Nutzenergie sowie den Systemnutzungsgrad (gemittelt aus den Wochensummen bzw. -mittelwerten). Dabei fällt auf, dass jeweils in der letzten Dezemberwoche der Systemnutzungsgrad unter 0 % abgefallen ist, d.h. es fand ein Wärmeübergang vom Trinkwasserkreis an den Solarspeicherkreis statt (QSV < 0). Dies hat folgenden Grund: Das Trinkwasser wird über die Wärmerückgewinnung vorgewärmt, bevor es durch den Entladewärmetauscher fließt, so dass bei sehr geringer Zapfung die Trinkwassertemperatur am Wärmetauscher höher war als die Temperatur im Entladekreis und sich das Trinkwasser dadurch abkühlte. Die Wärmeabgabe ist allerdings vernachlässigbar gering und kommt nur bei sehr geringem Warmwasserverbrauch und gleichzeitig geringer Pufferspeichertemperatur und hoher Vorwärmtemperatur vor (z.B. in Wintersemesterferien).

Mit der vom Solarsystem gelieferten Nutzenergie konnten vor Concheck im 1. Messjahr 17,3 % der Warmwasser-Zapfenergie solar gedeckt werden, im 2. Messjahr 17,1 % (*solare Deckungsan-*

Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban

teil an der Warm-wasser-Zapfenergie). Nach Concheck konnten im 1. Messjahr 14,2% und im 2. Messjahr 14,7% der Zapfenergie gedeckt werden.

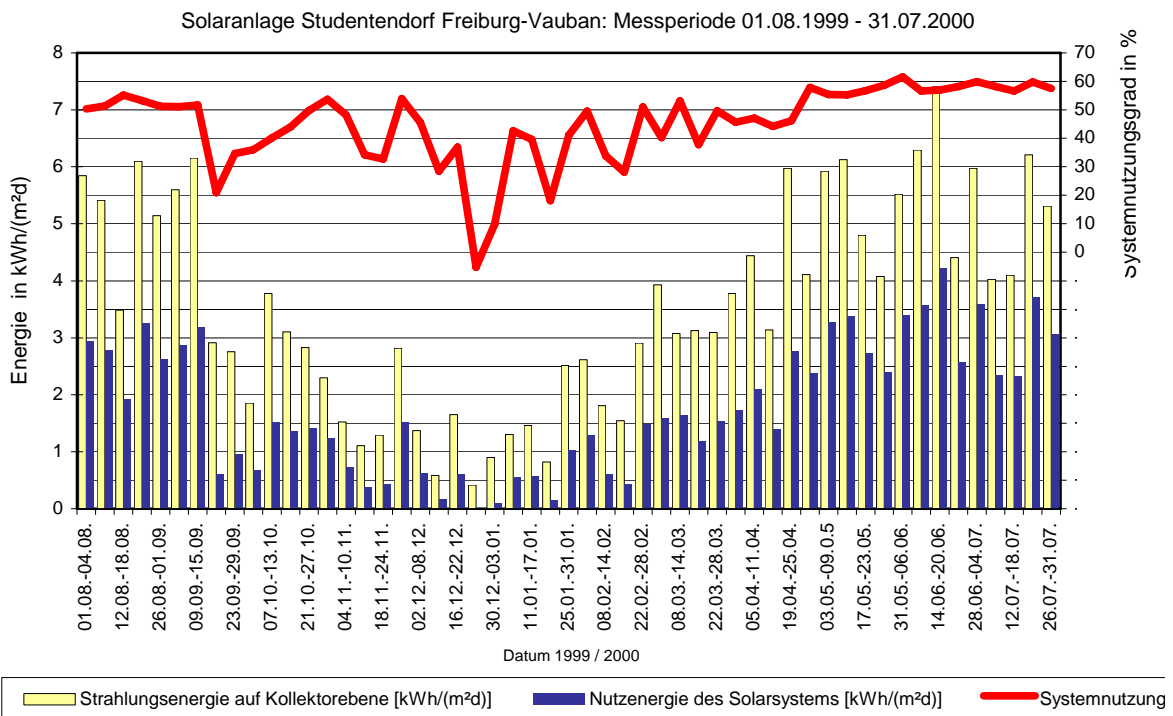


Bild 6.17 Spezifische Tagessummen der Strahlungs- und Nutzenergie (gemittelt aus Wochensummen) und Wochenmittelwerte des Systemnutzungsgrades (1. Intensivmessjahr)

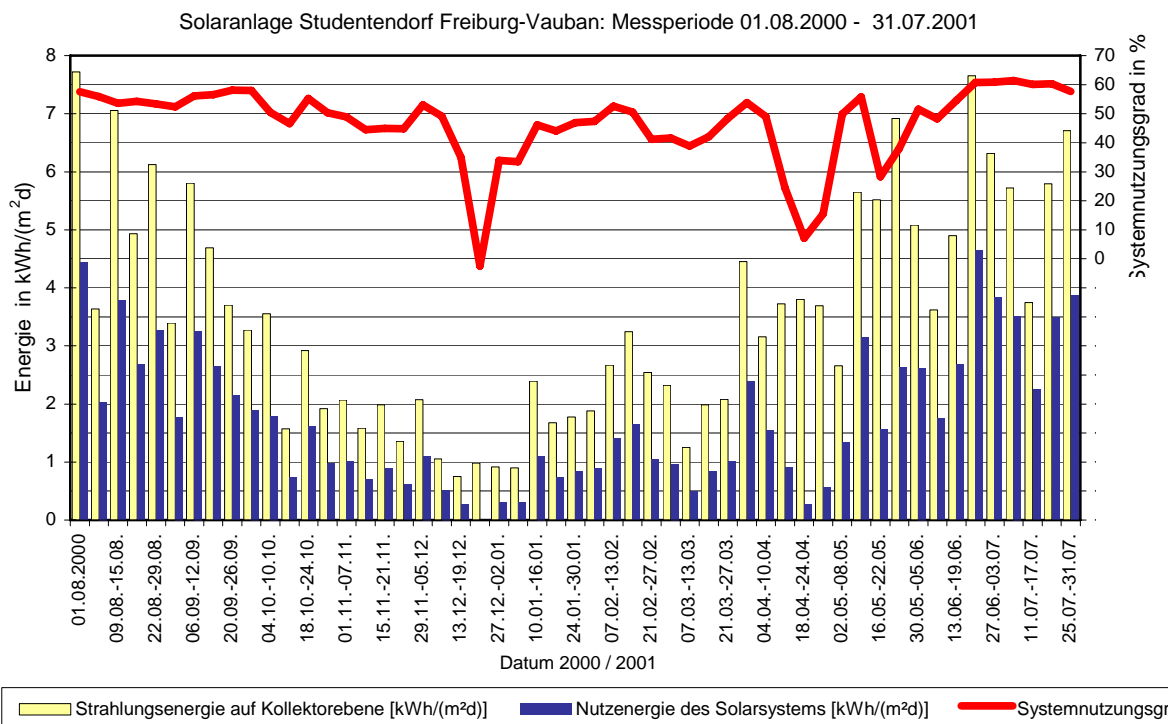


Bild 6.18 Spezifische Tagessummen der Strahlungs- und Nutzenergie (gemittelt aus Wochensummen) und Wochenmittelwerte des Systemnutzungsgrades (2. Intensivmessjahr)

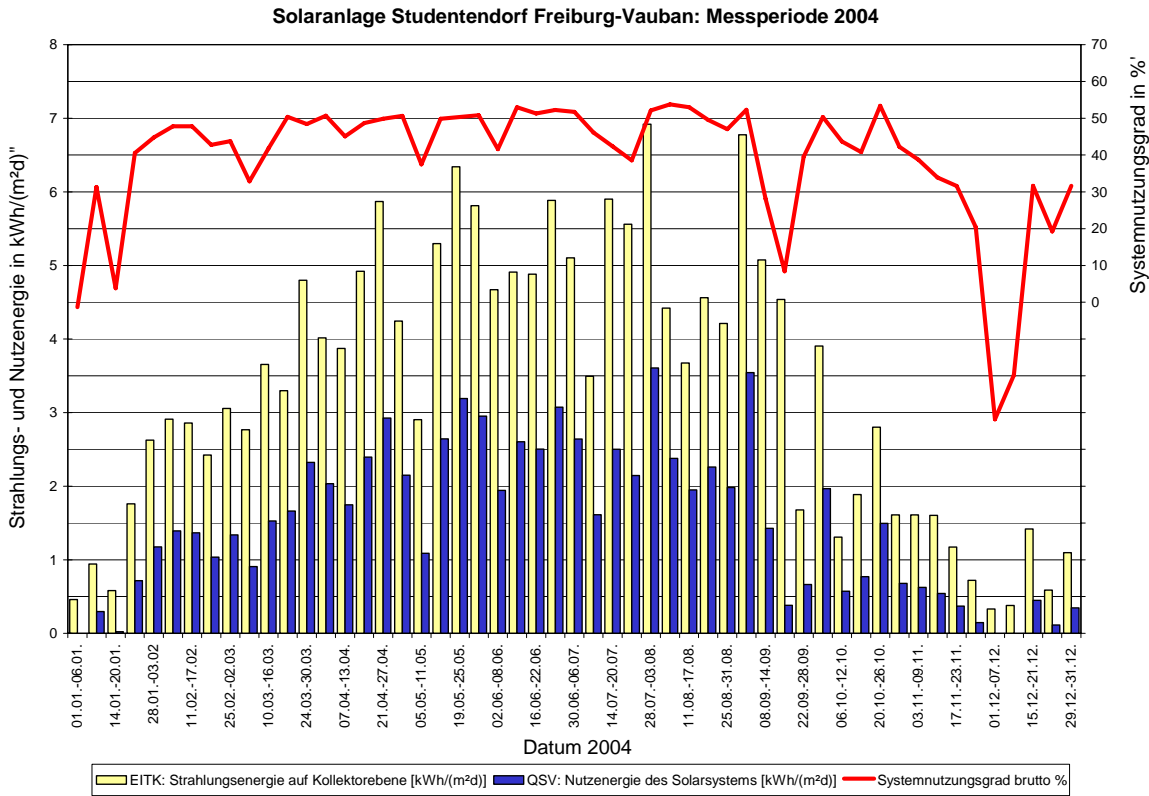


Bild 6.19 Spezifische Tagessummen der Strahlungs- und Nutzenergie (gemittelt aus Wochensummen) und Wochenmittelwerte des Systemnutzungsgrades (1. Intensivmessjahr nach Concheck)

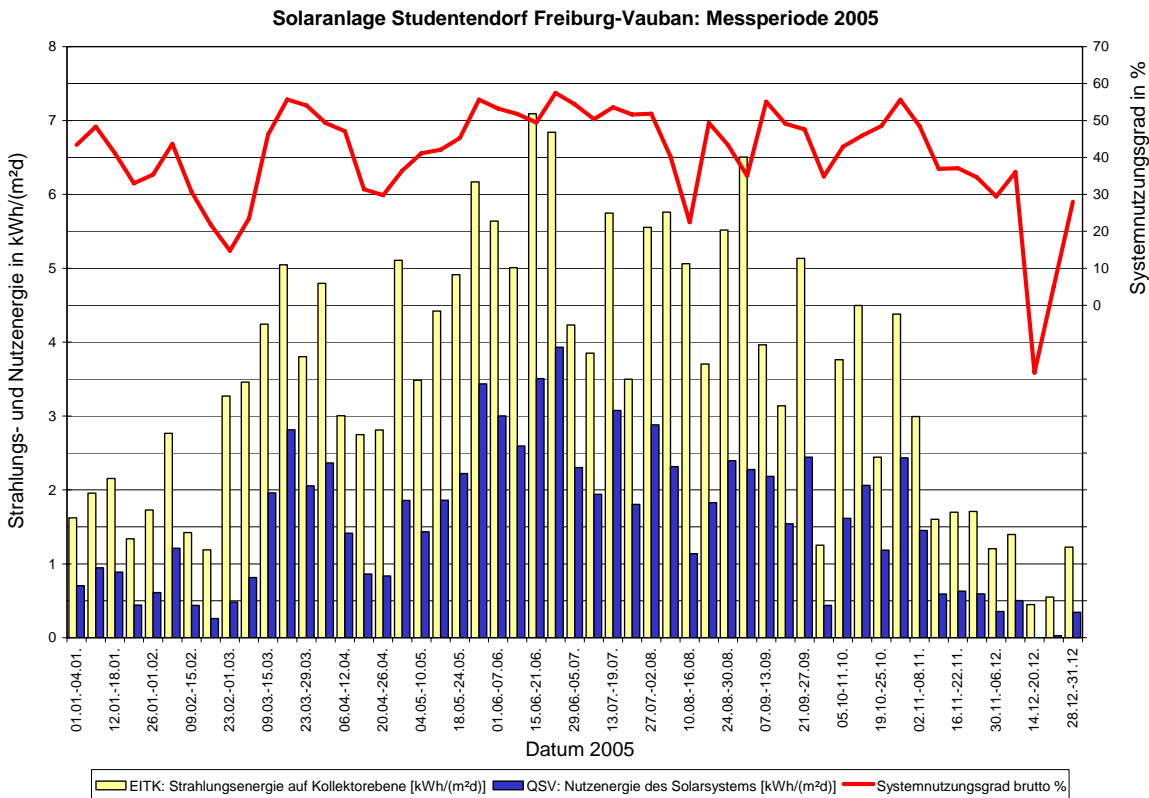


Bild 6.20 Spezifische Tagessummen der Strahlungs- und Nutzenergie (gemittelt aus Wochensummen) und Wochenmittelwerte des Systemnutzungsgrades (2. Intensivmessjahr nach Concheck)

Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban

In Bild 6.21 bis 6.24 ist der Verlauf des solaren Deckungsanteils bezogen auf den Energiebedarf für den Warmwasserverbrauch dargestellt. Als Balken aufgetragen sind die Wochensummen Nutzenergie aus dem Solarsystem und der jeweils entsprechende Energiebedarf für den reinen Warmwasserverbrauch d.h. ohne Berücksichtigung von Zirkulationsverlusten. Während der Sommersemesterferien ist der solare Deckungsanteil wegen des geringen Verbrauches und der gleichzeitig hohen Einstrahlung relativ hoch, außerhalb dieser Zeit nimmt er allerdings wegen des ansteigenden Verbrauches und gleichzeitig abnehmender Einstrahlung- und Nutzenergie stark ab.

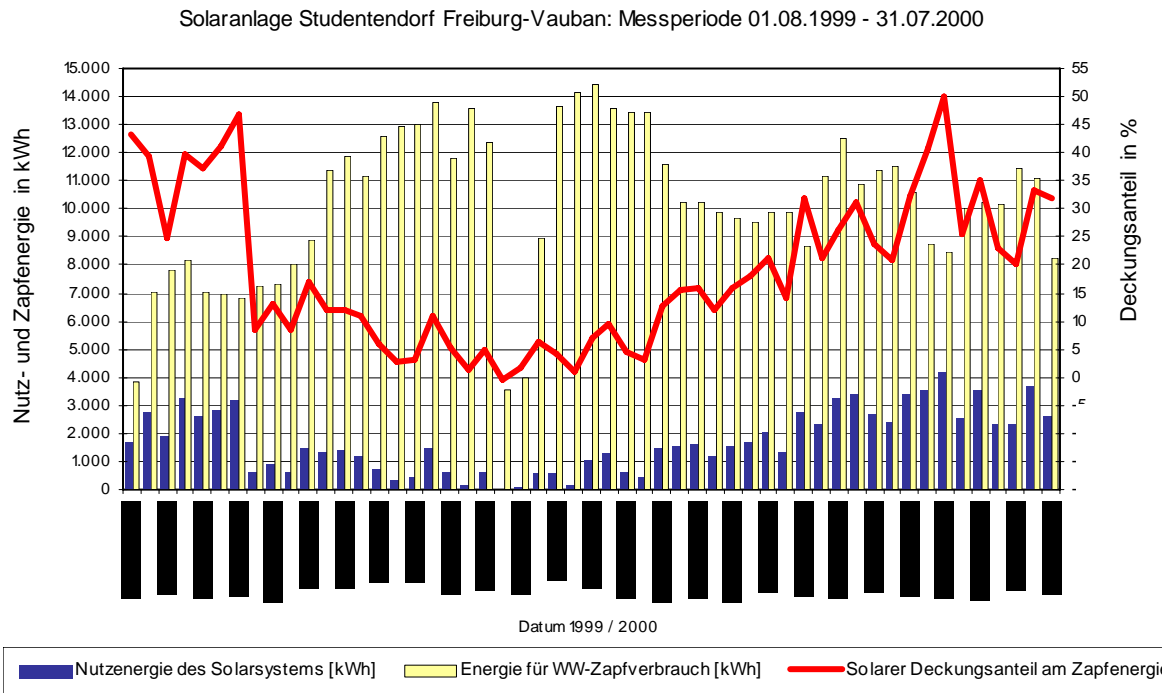


Bild 6.21 Wochensummen der solaren Nutzenergie und der Warmwasser-Zapfenergie und Wochenmittelwerte des solaren Deckungsanteils bezogen auf die Energie für den Zapfverbrauch (1. Intensivmessjahr)

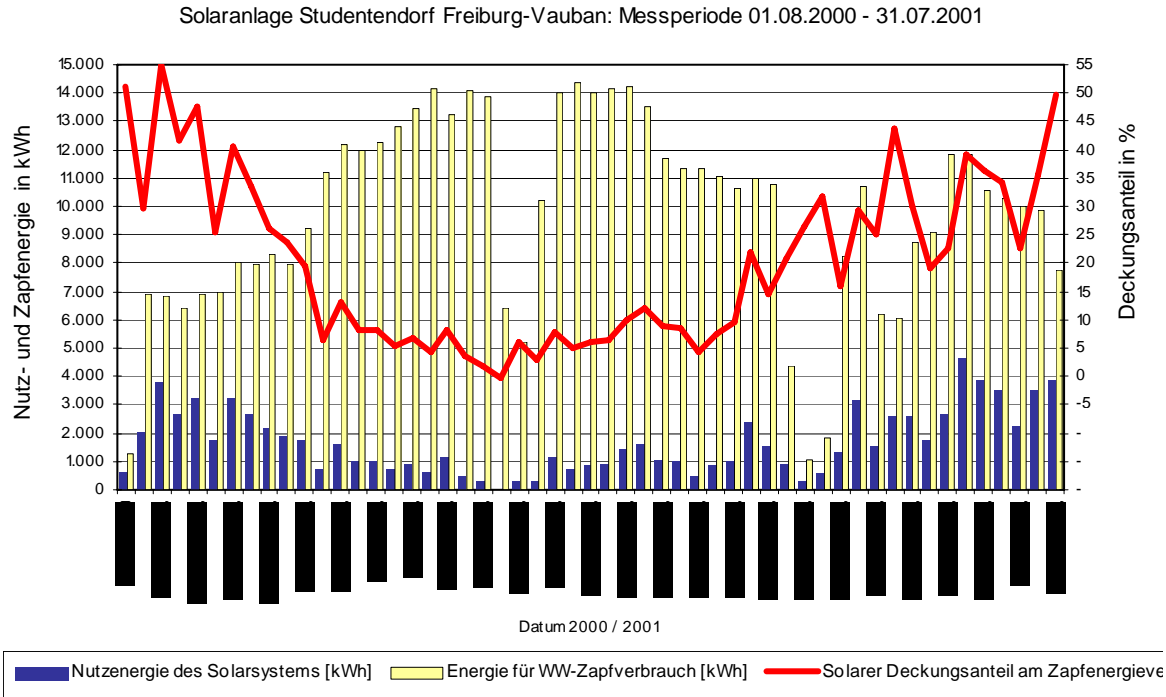


Bild 6.22 Wochensummen der solaren Nutzenergie und der Warmwasser-Zapfenergie und Wochenmittelwerte des solaren Deckungsanteils bezogen auf die Energie für den Zapfverbrauch (2. Intensivmessjahr)

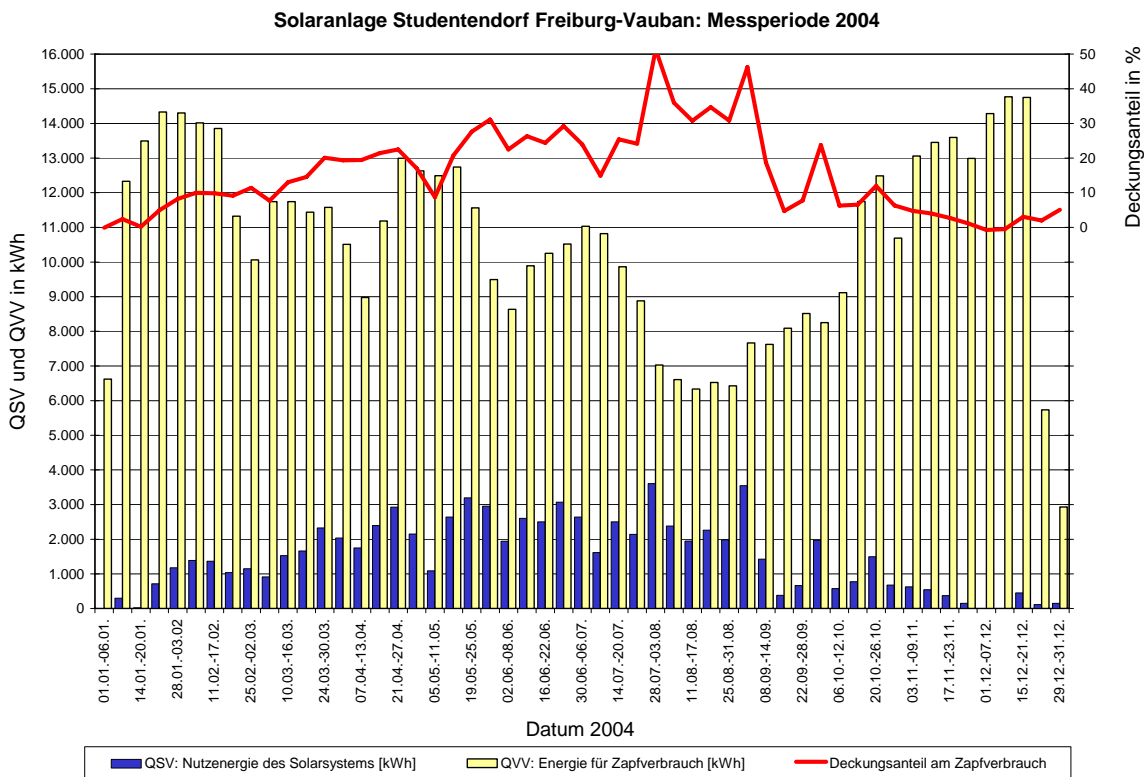


Bild 6.23 Wochensummen der solaren Nutzenergie und der Warmwasser-Zapfenergie und Wochenmittelwerte des solaren Deckungsanteils bezogen auf die Energie für den Zapfverbrauch (1. Intensivmessjahr nach Concheck)

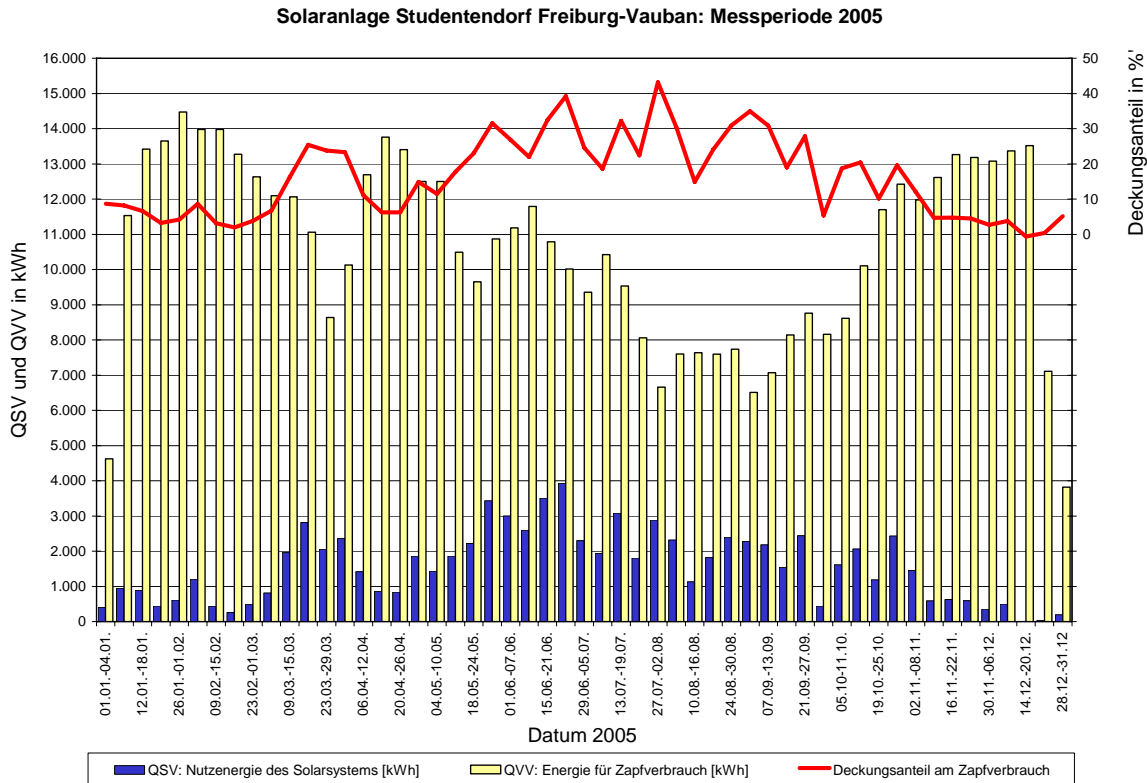


Bild 6.24 Wochensummen der solaren Nutzenergie und der Warmwasser-Zapfenergie und Wochenmittelwerte des solaren Deckungsanteils bezogen auf die Energie für den Zapfverbrauch (2. Intensivmessjahr nach Concheck)

7 Systemkosten und garantierter Energieertrag

Vom Installateur der Anlage wurde ein Jahres-Energieertrag für die Solaranlage von 81.406 kWh garantiert. Diese Energiegarantie basiert auf den im Leistungsverzeichnis vorgegebenen Wetter- und Verbrauchsdaten. Mit dem garantierten Ertrag der Solaranlage und den geplanten Systemkosten von 111.434,84 € ergaben sich die voraussichtlichen Nutzwärmekosten von 0,119 €/kWh.

Mit dem im realen Betrieb gemessenen Jahresertrag von 93.035 kWh im 1. Intensivmessjahr bzw. 88.840 kWh im 2. Intensivmessjahr und den tatsächlich abgerechneten Systemkosten von 114.521,19 € ergeben sich **tatsächliche Nutzwärmekosten** von **0,107 €/kWh** bzw. **0,112 €/kWh**.

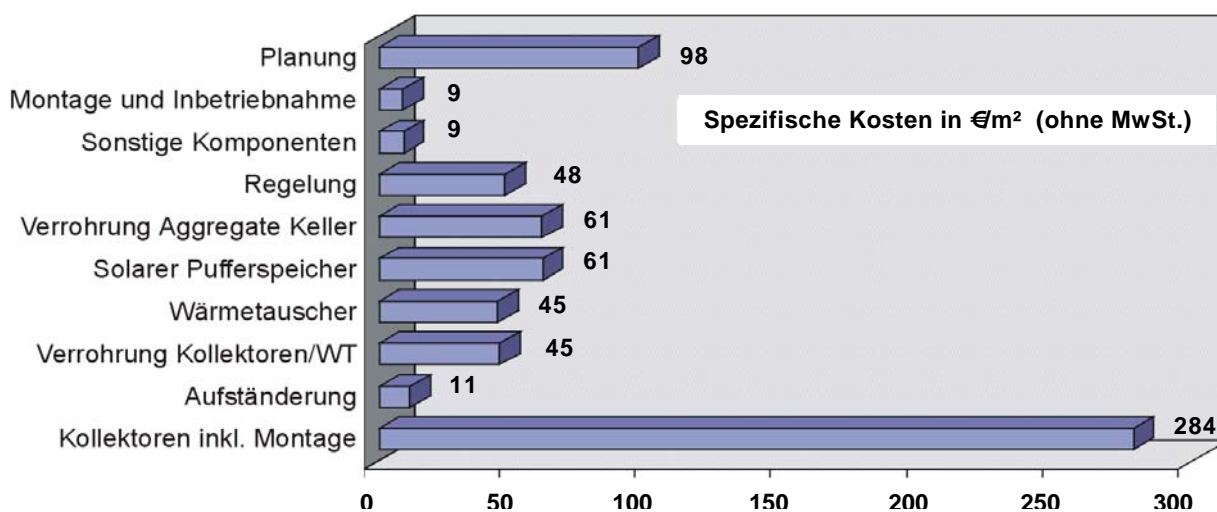
Nach dem Concheck-Umbau wurden im 1. Intensivmessjahr 79.754 kWh und im 2. Jahr 82.724 kWh gemessen. Daraus ergeben sich mit den tatsächlich abgerechneten Systemkosten tatsächliche Nutzwärmekosten von **0,125 €/kWh** bzw. **0,121 €/kWh**.

Eine Übersicht der geplanten und realen Kennwerte zeigt Tabelle 7.1. Die Verteilung der Systemkosten ist in Bild 7.1 dargestellt.

Tabelle 7.1 Garantierter Energieertrag, Systemkosten und solare Nutzwärmekosten für die Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban

	Vergabe	Real			
Investitionskosten Solarsystem (ohne MwSt)	82.111,76 €	84.315,68 €			
Planungskosten (ohne MwSt)	13.952,76 €	14.409,49 €			
Kosten Solarsystem + Planung (inkl. 16% MwSt)	111.434,84 €	114.521,19 €			
Spezifische Systemkosten (inkl. Planung und MwSt)	780 €/m ²	802 €/m ²			
	Garantie	1. Messjahr	2. Messjahr	1. Messjahr nach Concheck	2. Messjahr nach Concheck
Energieertrag aus Solarsystem	81.406 kWh/a 570 kWh/(m ² a) (Garantieertrag)	93.035 kWh 652 kWh/m ²	88.840 kWh 622 kWh/m ²	79.754 kWh 559 kWh/m ²	82.724 kWh 579 kWh/m ²
Solare Nutzwärmekosten *	0,119 €/kWh	0,107 €/kWh	0,112 €/kWh	0,125 €/kWh	0,121 €/kWh

* Solare Nutzwärmekosten = (Systemkosten x rel. Annuität) / Solarertrag
rel. Annuität = 8,72 %, basierend auf 20 Jahren Anlagenlebensdauer und 6% Kapitalzins.

**Bild 7.1** Verteilung der spezifischen Kosten für das Solarsystem im Studentendorf Freiburg-Vauban

Da die tatsächlichen Betriebsbedingungen (Verbrauch, Wetter, Kaltwassertemperatur, etc.) während der Messphase nicht mit den für die Auslegung vorgegebenen Standardbedingungen übereinstimmten, wurde der vom Bieter garantierte Energieertrag unter Berücksichtigung der realen Betriebsbedingungen mit Hilfe des Simulationsprogramms T°Sol korrigiert.

Mit der Korrekturrechnung wird ermittelt, welche Energiemenge und welchen Systemnutzungsgrad das System im realen Betrieb hätte liefern müssen. Dadurch wird erreicht, dass Verschlech-

terungen bzw. Verbesserungen der realen Betriebsbedingungen gegenüber den angenommenen Bedingungen dem Bieter weder angelastet noch gutgeschrieben werden.

Zum Ausgleich von Messtoleranzen und Schwankungen in den Simulationsrechnungen werden die in der Nachrechnung ermittelten korrigierten Werte für Energieertrag und Systemnutzungsgrad zusätzlich noch um 10% reduziert, d.h. die Garantie gilt als erfüllt, wenn mindestens einer der beiden korrigierten Garantiewerte größer oder gleich 90% der gemessenen Werte ist.

In den folgenden Tabellen 7.2 und 7.3 ist das prinzipielle Ablaufschema der Garantiekorrektur für das 1. und 2. Intensivmessjahr skizziert, die Tabellen 7.6 und 7.7 zeigen das vollständige Berechnungsblatt der beiden Intensivmessjahre. Für die beiden Intensivmessjahre nach erfolgtem Cocheck-Umbau sind die Ablaufschemata in den Tabellen 7.4 und 7.5 dargestellt. Die vollständigen Berechnungen sind in den Tabellen 7.8 und 7.9 zu finden.

In beiden Intensivmessjahren wurde die Energiegarantie erfüllt.

Für das dritte Messjahr (01.08.2001 – 31.07.2002) wurde wegen der in Kapitel 6 beschriebenen Anlagenausfällen (Ventildefekt und Umbauarbeiten) keine Garantienachrechnung durchgeführt. Eine Datenkorrektur für die Ausfallzeiten (ca. 10 Wochen) war nicht möglich. Die Solarerträge und Nutzungsgrade in den Monaten mit Normalfunktion der Anlage zeigen jedoch, dass bei Nichtauftreten der Ausfälle die Garantiewerte mit höchster Wahrscheinlichkeit erreicht worden wären.

Nach Abschluss der Cocheck-Umbauarbeiten an der Solaranlage wurde mit zwei neuen Messjahren begonnen, mit deren Messergebnissen zwei weitere Garantienachrechnung erstellt wurden.

Tabelle 7.2 Prinzipielles Ablaufschema zur Nachrechnung der Ertragsgarantie der Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban (1. Intensivmessjahr)

Zeile	Wert	Ertrag	Systemnutzungsgrad
1	Angabe (Garantie) des Anbieters, basierend auf Standardbedingungen	81.406 kWh/a	42,46 % ¹⁾
2	Ergebnis der Nachsimulation durch FH Offenburg, basierend auf Standardbedingungen	90.862 kWh/a	46,58 %
3	Faktor Garantie zu FHO-Simulation (Zeile1 / Zeile2)	0,8959	0,9114
4	Ergebnis FHO-Simulation mit realen Betriebsbeding.	103.643 kWh/a	56,03 %
5	Korrigierte Simulation mit realen Betriebsbeding. (Zeile 4 x Zeile 3)	92.857 kWh/a	51,07 %
6	Messergebnis 01.08.1999 – 31.07.2000	93.036 kWh/a	50,26 %
7	Verhältnis Messergebnis zu korrigierter Simulation (Zeile 6 / Zeile 5)	100,19 %	98,42 %

¹⁾ Wird berechnet als Quotient aus dem garantierten Ertrag und dem vom Bieter in dem Datenblatt „Jahresnutzenergieertrag der Solaranlage“ eingetragenen Wert für die Strahlung auf die geneigte Kollektorfläche (ergibt sich aus dem Simulationsprogramm und den Daten für die horizontale Strahlung)

Da der reale Ertrag 100,19 % und der reale Systemnutzungsgrad 98,42 % der jeweiligen korrigierten Garantiewerte betragen, ist die Garantie für die Solaranlage des Studentendorfs Freiburg-Vauban erfüllt.

Tabelle 7.3 Prinzipielles Ablaufschema zur Nachrechnung der Ertragsgarantie der Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban (2. Intensivmessjahr)

Zeile	Wert	Ertrag	Systemnutzungsgrad
1	Angabe (Garantie) des Anbieters, basierend auf Standardbedingungen	81.406 kWh/a	42,46 % ¹⁾
2	Ergebnis der Nachsimulation durch FH Offenburg, basierend auf Standardbedingungen	90.862 kWh/a	46,58 %
3	Faktor Garantie zu FHO-Simulation (Zeile1 / Zeile2)	0,8959	0,9114
4	Ergebnis FHO-Simulation mit realen Betriebsbeding.	94.104 kWh/a	52,53 %
5	Korrigierte Simulation mit realen Betriebsbeding. (Zeile 4 x Zeile 3)	84.311 kWh/a	47,88 %
6	Messergebnis 01.08.2000 – 31.07.2001	88.840 kWh/a	49,30 %
7	Verhältnis Messergebnis zu korrigierter Simulation (Zeile 6 / Zeile 5)	105,37 %	102,97 %
¹⁾ Wird berechnet als Quotient aus dem garantierten Ertrag und dem vom Bieter in dem Datenblatt „Jahresnutzenergieertrag der Solaranlage“ eingetragenen Wert für die Strahlung auf die geneigte Kollektorfläche (ergibt sich aus dem Simulationsprogramm und den Daten für die horizontale Strahlung)			

Da Ertrag und Systemnutzungsgrad über 90 % der Garantiewerte erreicht haben, wurde auch im 2. Intensivmessjahr die Garantie erfüllt.

Tabelle 7.4 Prinzipielles Ablaufschema zur Nachrechnung der Ertragsgarantie der Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban (1. Intensivmessjahr nach Concheck)

Zeile	Wert	Ertrag	Systemnutzungsgrad
1	Angabe (Garantie) des Anbieters, basierend auf Standardbedingungen	81.406 kWh/a	42,46 % ¹⁾
2	Ergebnis der Nachsimulation durch FH Offenburg, basierend auf Standardbedingungen	90.862 kWh/a	46,58 %
3	Faktor Garantie zu FHO-Simulation (Zeile1 / Zeile2)	0,8959	0,9114
4	Ergebnis FHO-Simulation mit realen Betriebsbeding.	91.260 kWh/a	51,84 %
5	Korrigierte Simulation mit realen Betriebsbeding. (Zeile 4 x Zeile 3)	81.763 kWh/a	47,25 %
6	Messergebnis 01.01.2004 – 31.12.2004	79.754 kWh/a	45,09 %
7	Verhältnis Messergebnis zu korrigierter Simulation (Zeile 6 / Zeile 5)	97,54 %	95,43 %
¹⁾ Wird berechnet als Quotient aus dem garantierten Ertrag und dem vom Bieter in dem Datenblatt „Jahresnutzenergieertrag der Solaranlage“ eingetragenen Wert für die Strahlung auf die geneigte Kollektorfläche (ergibt sich aus dem Simulationsprogramm und den Daten für die horizontale Strahlung)			

Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban

Da der reale Ertrag 97,54 % und der reale Systemnutzungsgrad 95,43 % der jeweiligen korrigierten Garantiewerte betragen, ist die Garantie für die Solaranlage des Studentendorfs Freiburg-Vauban erfüllt.

Tabelle 7.5 Prinzipielles Ablaufschema zur Nachrechnung der Ertragsgarantie der Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban (2. Intensivmessjahr nach Concheck)

Zeile	Wert	Ertrag	Systemnutzungsgrad
1	Angabe (Garantie) des Anbieters, basierend auf Standardbedingungen	81.406 kWh/a	42,46 % ¹⁾
2	Ergebnis der Nachsimulation durch FH Offenburg, basierend auf Standardbedingungen	90.862 kWh/a	46,58 %
3	Faktor Garantie zu FHO-Simulation (Zeile1 / Zeile2)	0,8959	0,9114
4	Ergebnis FHO-Simulation mit realen Betriebsbeding.	101.428 kWh/a	54,86 %
5	Korrigierte Simulation mit realen Betriebsbeding. (Zeile 4 x Zeile 3)	90.872 kWh/a	50,00 %
6	Messergebnis 01.01.2005 – 31.12.2005	82.724 kWh/a	44,58 %
7	Verhältnis Messergebnis zu korrigierter Simulation (Zeile 6 / Zeile 5)	91,03 %	89,16 %

¹⁾ Wird berechnet als Quotient aus dem garantierten Ertrag und dem vom Bieter in dem Datenblatt „Jahresnutzenergieertrag der Solaranlage“ eingetragenen Wert für die Strahlung auf die geneigte Kollektorfläche (ergibt sich aus dem Simulationsprogramm und den Daten für die horizontale Strahlung)

Da Ertrag und Systemnutzungsgrad über 90 % der Garantiewerte erreicht haben, wurde auch im 2. Intensivmessjahr nach Concheck die Garantie erfüllt.

Insgesamt fallen die Erträge nach erfolgtem Concheck-Umbau geringer aus (vgl. 6.1.2) als vorher. Beim Umbau, wurde der Beladewärmeübertrager von den Mitarbeitern des Fraunhofer ISE nach VDI 6002-1 dimensioniert. Dies ergab eine kleinere Wärmeübertragungsfläche im Vergleich zu ist dem zuvor eingebauten Wärmeübertrager. Dementsprechend fällt die Übertragungsleistung geringer aus, was insgesamt zu einer schlechteren Systemperformance führt. Ein Austausch des nun kleineren Wärmeübertragers durch einen mit gleichen Leistungsdaten wie vor Concheck wurde bisher jedoch aus Kostengründen nicht durchgeführt. Im Interesse des Betreibers, einer Effizienzverbesserung und der Vergleichbarkeit der Messergebnisse vor und nach Umbau, wäre der Einbau eines Wärmeübertragers mit gleicher Leistung.

Tabelle 7.6 Berechnungsblatt für die Garantienachrechnung für die Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban (1. Intensivmessphase)

Nachrechnung des garantierten solaren Energieertrages				
Objekt:		Studentendorf Freiburg-Vauban		
Messperiode:		01.08.1999 - 31.07.2000		
Berechnungen durchgeführt von:		Fachhochschule Offenburg		
			A	
	Einheit	Wert	Anmerkungen	Abweich.
Garantie des Erstellers anhand der in den Randbedingungen zum LV vorgegebenen Werte				
1	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm-speicher)	m ³ /a	6.119	vorgegeben
2	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.194,4	vorgegeben (T*SOL Freiburg)
3	Kaltwassertemperatur Februar/August	°C	30 und 20	vorgegeben
4	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	191.735	vom Bieter angegeben (für 142,8 m ²)
5	garantierter Ertrag	kWh/a	81.406	vom Bieter garantiert
6	garantiertes eta	%	42,46	gar. eta=(A5/A4)*100%
7				
8 Ergebnis mit T*SOL unter fiktiven Betriebsbedingungen (vorgegebene Werte aus Randbedingung)				
9	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm-speicher)	m ³ /a	6.119	vorgegeben
10	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.194,4	vorgegeben (T*SOL Freiburg)
11	Kaltwassertemperatur Februar/August	°C	30 und 20	vorgegeben
12	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	195.047	mit T*SOL berechnet (für 142,8 m ²)
13	Ertrag	kWh/a	90.862	mit T*SOL berechnet
14	eta	%	46,58	eta=(A13/A12)*100%
15	Faktor Ertrag		0,8959	Faktor Ertrag=A5/A13
16	Faktor eta		0,9114	Faktor eta=A6/A14
17	Der garantierte Ertrag des Erstellers und das garantierte eta weichen um die o.a. Faktoren von der T*SOL-			
18	Nachrechnung der betreuenden Stelle ab. Um diese Faktoren hat der Ersteller den Ertrag und die			
19	Effizienz (eta) der Solaranlage (verglichen mit T*SOL) abweichend bewertet.			
20				
21 Ergebnis mit T*SOL unter realen Betriebsbedingungen (Messwerte 01.08.1999 – 31.07.2000)				
22	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm-speicher)	m ³ /a	9.681	gemessen
23	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.127,1	gemessen
24	Kaltwassertemperatur, repräsentativ für Febru- ar/August	°C	18 und 16	gemessen
25	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	184.974	mit T*SOL berechnet
26	Ertrag	kWh/a	103.643	mit T*SOL berechnet
27	eta	%	56,03	eta = (A26/A25)*100%
28				
29 Umrechnung der T*SOL-Ergebnisse unter realen Betriebsbedingungen mit Faktoren				
30	Korrigierter Ertrag bei realem Betrieb	kWh/a	92.857	korr. Ertrag=A26*A15
31	Korrigiertes eta bei realem Betrieb	%	51,07	korr. eta=A27*A16
32	Das Ergebnis aus der T*SOL-Rechnung unter realen Betriebsbedingungen wird mit den o.a. Faktoren umgerechnet,			
33	um so den Unterschied zwischen der Bietergarantie und dem Ergebnis mit T*SOL unter fiktiven Betriebs-			
34	bedingungen in die Bewertung der Messergebnisse einfließen lassen zu können.			
35				
36 Messergebnisse unter realen Betriebsbedingungen				
37	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm-speicher)	m ³ /a	9.681	gemessen
38	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.127,1	gemessen
39	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	185.112	gemessen
40	gemessener Ertrag	kWh/a	93.036	gemessen
41	gemessenes eta	%	50,26	gem. eta=(A40/A39)*100%
42				
43 Ergebnis:				
44	erreich. Energie in % von umger. T*SOL-Ergebnis	%	100,19	erreich. Energie=(A40/A30)*100%
45	erreich. eta in % vom umger. T*SOL-Ergebnis	%	98,42	erreich. eta=(A41/A31)*100%
46	Garantie		erfüllt	
Die Abweichungen zwischen den Prozentsätzen von erreichter Energie und eta (Zeile 44, 45) sind begründet durch die Umrechnung mit T*SOL von der gemessenen horizontalen Strahlung in die (mit Umrechnungsfehler behafteten) Strahlung in die Kollektorebene im Vergleich zu der tatsächlichen gemessenen (mit Messfehler behafteten) Strahlung in die Kollektorebene (Zeile 25, 39).				
Liegt einer der beiden oben angegebenen Prozentsätze über 90 %, so gilt die Garantie als erbracht.				

Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban

Tabelle 7.7 Berechnungsblatt für die Garantienachrechnung für die Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban (2. Intensivmessphase)

Nachrechnung des garantierten solaren Energieertrages					
Objekt:	Studentendorf Freiburg-Vauban				
Messperiode:	01.08.2000 - 31.07.2001				
Berechnungen durchgeführt von:	Fachhochschule Offenburg				
			A		
	Einheit	Wert	Anmerkungen	Abweich.	
Garantie des Erstellers anhand der in den Randbedingungen zum LV vorgegebenen Werte					
1	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm Speicher)	m ³ /a	6.119	vorgegeben	
2	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.194,4	vorgegeben (T*SOL Freiburg)	
3	Kaltwassertemperatur Februar/August	°C	30 und 20	vorgegeben	
4	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	191.735	vom Bieter angegeben (für 142,8 m ²)	
5	garantierter Ertrag	kWh/a	81.406	vom Bieter garantiert	
6	garantiertes eta	%	42,46	gar. eta=(A5/A4)*100%	
7					
8 Ergebnis mit T*SOL unter fiktiven Betriebsbedingungen (vorgegebene Werte aus Randbedingung)					
9	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm Speicher)	m ³ /a	6.119	vorgegeben	
10	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.194,4	vorgegeben (T*SOL Freiburg)	
11	Kaltwassertemperatur Februar/August	°C	30 und 20	vorgegeben	
12	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	195.047	mit T*SOL berechnet (für 142,8 m ²)	
13	Ertrag	kWh/a	90.862	mit T*SOL berechnet	
14	eta	%	46,58	eta=(A13/A12)*100%	
15	Faktor Ertrag		0,8959	Faktor Ertrag=A5/A13	
16	Faktor eta		0,9114	Faktor eta=A6/A14	
17	Der garantierte Ertrag des Erstellers und das garantierte eta weichen um die o.a. Faktoren von der T*SOL-				
18	Nachrechnung der betreuenden Stelle ab. Um diese Faktoren hat der Ersteller den Ertrag und die				
19	Effizienz (eta) der Solaranlage (verglichen mit T*SOL) abweichend bewertet.				
20					
21 Ergebnis mit T*SOL unter realen Betriebsbedingungen (Messwerte 01.08.2000 – 31.07.2001)					
22	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm Speicher)	m ³ /a	8.844	gemessen	44,53%
23	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.104,2	gemessen	-7,55%
24	Kaltwassertemperatur, repräsentativ für Feb./Aug.	°C	20 und 18	gemessen	
25	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	179.146	mit T*SOL berechnet	-8,15%
26	Ertrag	kWh/a	94.104	mit T*SOL berechnet	3,57%
27	eta	%	52,53	eta = (A26/A25)*100%	12,76%
28					
29 Umrechnung der T*SOL-Ergebnisse unter realen Betriebsbedingungen mit Faktoren					
30	Korrigierter Ertrag bei realem Betrieb	kWh/a	84.311	korr. Ertrag=A26*A15	
31	Korrigiertes eta bei realem Betrieb	%	47,88	korr. eta=A27*A16	
32	Das Ergebnis aus der T*SOL-Rechnung unter realen Betriebsbedingungen wird mit den o.a. Faktoren umgerechnet,				
33	um so den Unterschied zwischen der Bietergarantie und dem Ergebnis mit T*SOL unter fiktiven Betriebs-				
34	bedingungen in die Bewertung der Messergebnisse einfließen lassen zu können.				
35					
36 Messergebnisse unter realen Betriebsbedingungen					
37	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm Speicher)	m ³ /a	8.844	gemessen	
38	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.104,2	gemessen	
39	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	180.218	gemessen	
40	gemessener Ertrag	kWh/a	88.840	gemessen	
41	gemessenes eta	%	49,30	gem. eta=(A40/A39)*100%	
42					
43	Ergebnis:				
44	erreich. Energie in % von umger. T*SOL-Ergebnis	%	105,37	erreich. Energie=(A40/A30)*100%	
45	erreich. eta in % vom umger. T*SOL-Ergebnis	%	102,97	erreich. eta=(A41/A31)*100%	
46	Garantie		erfüllt		
Die Abweichungen zwischen den Prozentsätzen von erreichter Energie und eta (Zeile 44, 45) sind begründet durch die Umrechnung mit T*SOL von der gemessenen horizontalen Strahlung in die (mit Umrechnungsfehler behafteten) Strahlung in die Kollektorebene im Vergleich zu der tatsächlichen gemessenen (mit Messfehler behafteten) Strahlung in die Kollektorebene (Zeile 25, 39).					
Liegt einer der beiden oben angegebenen Prozentsätze über 90 %, so gilt die Garantie als erbracht.					

Tabelle 7.8 Berechnungsblatt für die Garantienachrechnung für die Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban (1. Intensivmessphase nach Concheck)

Nachrechnung des garantierten solaren Energieertrages				
Objekt:	Studentendorf Freiburg-Vauban			
Messperiode:	01.01.2004 - 31.12.2004			
Berechnungen durchgeführt von:	Fachhochschule Offenburg			
			A	
	Einheit	Wert	Anmerkungen	Abweich.
Garantie des Erstellers anhand der in den Randbedingungen zum LV vorgegebenen Werte				
1	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärmespeicher)	m ³ /a	6.119	vorgegeben
2	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.194,4	vorgegeben (T*SOL Freiburg)
3	Kaltwassertemperatur Februar/August	°C	30 und 20	vorgegeben
4	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	191.735	vom Bieter angegeben (für 142,8 m ²)
5	garantierter Ertrag	kWh/a	81.406	vom Bieter garantiert
6	garantiertes eta	%	42,46	gar. eta=(A5/A4)*100%
7				
8 Ergebnis mit T*SOL unter fiktiven Betriebsbedingungen (vorgegebene Werte aus Randbedingung)				
9	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärmespeicher)	m ³ /a	6.119	vorgegeben
10	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.194,4	vorgegeben (T*SOL Freiburg)
11	Kaltwassertemperatur Februar/August	°C	30 und 20	vorgegeben
12	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	195.047	mit T*SOL berechnet (für 142,8 m ²)
13	Ertrag	kWh/a	90.862	mit T*SOL berechnet
14	eta	%	46,58	eta=(A13/A12)*100%
15	Faktor Ertrag		0,8959	Faktor Ertrag=A5/A13
16	Faktor eta		0,9114	Faktor eta=A6/A14
17	Der garantierte Ertrag des Erstellers und das garantierte eta weichen um die o.a. Faktoren von der T*SOL-			
18	Nachrechnung der betreuenden Stelle ab. Um diese Faktoren hat der Ersteller den Ertrag und die			
19	Effizienz (eta) der Solaranlage (verglichen mit T*SOL) abweichend bewertet.			
20				
21 Ergebnis mit T*SOL unter realen Betriebsbedingungen (Messwerte 01.08.1999 – 31.07.2000)				
22	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärmespeicher)	m ³ /a	10.712	gemessen 75,06%
23	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.093,8	gemessen -8,42%
24	Kaltwassertemperatur, repräsentativ für Februar/August	°C	18 und 16	gemessen
25	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	176.043	mit T*SOL berechnet -9,74%
26	Ertrag	kWh/a	91.260	mit T*SOL berechnet 0,44%
27	eta	%	51,84	eta = (A26/A25)*100% 11,28%
28				
29 Umrechnung der T*SOL-Ergebnisse unter realen Betriebsbedingungen mit Faktoren				
30	Korrigierter Ertrag bei realem Betrieb	kWh/a	81.763	korr. Ertrag=A26*A15
31	Korrigiertes eta bei realem Betrieb	%	47,25	korr. eta=A27*A16
32	Das Ergebnis aus der T*SOL-Rechnung unter realen Betriebsbedingungen wird mit den o.a. Faktoren umgerechnet,			
33	um so den Unterschied zwischen der Bietergarantie und dem Ergebnis mit T*SOL unter fiktiven Betriebs-			
34	bedingungen in die Bewertung der Messergebnisse einfließen lassen zu können.			
35				
36 Messergebnisse unter realen Betriebsbedingungen				
37	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärmespeicher)	m ³ /a	10.712	gemessen
38	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.093,8	gemessen
39	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	176.890	gemessen
40	gemessener Ertrag	kWh/a	79.754	gemessen
41	gemessenes eta	%	45,09	gem. eta=(A40/A39)*100%
42				
43 Ergebnis:				
44	erreich. Energie in % von umger. T*SOL-Ergebnis	%	97,54	erreich. Energie=(A40/A30)*100%
45	erreich. eta in % vom umger. T*SOL-Ergebnis	%	95,43	erreich. eta=(A41/A31)*100%
46	Garantie		erfüllt	
Die Abweichungen zwischen den Prozentsätzen von erreichter Energie und eta (Zeile 44, 45) sind begründet durch die Umrechnung mit T*SOL von der gemessenen horizontalen Strahlung in die (mit Umrechnungsfehler behafteten) Strahlung in die Kollektorebene im Vergleich zu der tatsächlichen gemessenen (mit Messfehler behafteten) Strahlung in die Kollektorebene (Zeile 25, 39).				
Liegt einer der beiden oben angegebenen Prozentsätze über 90 %, so gilt die Garantie als erbracht.				

Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban

Tabelle 7.9 Berechnungsblatt für die Garantienachrechnung für die Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban (2. Intensivmessphase nach Concheck)

Nachrechnung des garantierten solaren Energieertrages					
Objekt:	Studentendorf Freiburg-Vauban				
Messperiode:	01.01.2005 - 31.12.2005				
Berechnungen durchgeführt von:	Fachhochschule Offenburg				
			A		
	Einheit	Wert	Anmerkungen	Abweich.	
Garantie des Erstellers anhand der in den Randbedingungen zum LV vorgegebenen Werte					
1	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm Speicher)	m ³ /a	6.119	vorgegeben	
2	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.194,4	vorgegeben (T*SOL Freiburg)	
3	Kaltwassertemperatur Februar/August	°C	30 und 20	vorgegeben	
4	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	191.735	vom Bieter angegeben (für 142,8 m ²)	
5	garantierter Ertrag	kWh/a	81.406	vom Bieter garantiert	
6	garantiertes eta	%	42,46	gar. eta=(A5/A4)*100%	
7					
8 Ergebnis mit T*SOL unter fiktiven Betriebsbedingungen (vorgegebene Werte aus Randbedingung)					
9	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm Speicher)	m ³ /a	6.119	vorgegeben	
10	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.194,4	vorgegeben (T*SOL Freiburg)	
11	Kaltwassertemperatur Februar/August	°C	30 und 20	vorgegeben	
12	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	195.047	mit T*SOL berechnet (für 142,8 m ²)	
13	Ertrag	kWh/a	90.862	mit T*SOL berechnet	
14	eta	%	46,58	eta=(A13/A12)*100%	
15	Faktor Ertrag		0,8959	Faktor Ertrag=A5/A13	
16	Faktor eta		0,9114	Faktor eta=A6/A14	
17	Der garantierte Ertrag des Erstellers und das garantierte eta weichen um die o.a. Faktoren von der T*SOL-				
18	Nachrechnung der betreuenden Stelle ab. Um diese Faktoren hat der Ersteller den Ertrag und die				
19	Effizienz (eta) der Solaranlage (verglichen mit T*SOL) abweichend bewertet.				
20					
21 Ergebnis mit T*SOL unter realen Betriebsbedingungen (Messwerte 01.08.2000 – 31.07.2001)					
22	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm Speicher)	m ³ /a	10.040	gemessen	64,08%
23	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.111,9	gemessen	-6,91%
24	Kaltwassertemperatur, repräsentativ für Feb./Aug.	°C	10 und 16	gemessen	
25	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	184.870	mit T*SOL berechnet	-5,22%
26	Ertrag	kWh/a	101.428	mit T*SOL berechnet	11,63%
27	eta	%	54,86	eta = (A26/A25)*100%	17,77%
28					
29 Umrechnung der T*SOL-Ergebnisse unter realen Betriebsbedingungen mit Faktoren					
30	Korrigierter Ertrag bei realem Betrieb	kWh/a	90.872	korr. Ertrag=A26*A15	
31	Korrigiertes eta bei realem Betrieb	%	50	korr. eta=A27*A16	
32	Das Ergebnis aus der T*SOL-Rechnung unter realen Betriebsbedingungen wird mit den o.a. Faktoren umgerechnet,				
33	um so den Unterschied zwischen der Bietergarantie und dem Ergebnis mit T*SOL unter fiktiven Betriebs-				
34	bedingungen in die Bewertung der Messergebnisse einfließen lassen zu können.				
35					
36 Messergebnisse unter realen Betriebsbedingungen					
37	Verbrauch WW (durch WT bzw. Vorwärm Speicher)	m ³ /a	10.040	gemessen	
38	Strahlung horizontal	kWh/(m ² *a)	1.111,9	gemessen	
39	Strahlung in Kollektorebene	kWh/a	185.558	gemessen	
40	gemessener Ertrag	kWh/a	82.724	gemessen	
41	gemessenes eta	%	44,58	gem. eta=(A40/A39)*100%	
42					
43	Ergebnis:				
44	erreich. Energie in % von umger. T*SOL-Ergebnis	%	91,03	erreich. Energie=(A40/A30)*100%	
45	erreich. eta in % vom umger. T*SOL-Ergebnis	%	89,16	erreich. eta=(A41/A31)*100%	
46	Garantie		erfüllt		
Die Abweichungen zwischen den Prozentsätzen von erreichter Energie und eta (Zeile 44, 45) sind begründet durch die Umrechnung mit T*SOL von der gemessenen horizontalen Strahlung in die (mit Umrechnungsfehler behafteten) Strahlung in die Kollektorebene im Vergleich zu der tatsächlichen gemessenen (mit Messfehler behafteten) Strahlung in die Kollektorebene (Zeile 25, 39).					
Liegt einer der beiden oben angegebenen Prozentsätze über 90 %, so gilt die Garantie als erbracht.					

8 Projektbeteiligte

Betreiber:

Studentenwerk Freiburg

Anstalt des öffentlichen Rechts

Schreiberstraße 12

79098 Freiburg i. Br.

Telefon 0761/2101-227

Objektanschrift:

Studentendorf Vauban

Merzhauserstraße 154/15

79100 Freiburg i. Br.

Planung:

Ingenieurbüro Fischer

Hochstetterstraße 9

79206 Breisach

Telefon 07667/944-20

Installation:

Firma Schmid

Heizung – Lüftung – Sanitär

Reblingstraße 11

79227 Schallstadt-Wolfenweiler

Telefon 07664/9709-0

Projektmanagement:

PtJ – Projektträger des BMBF, BMWA und
BMU

Forschungszentrum Jülich GmbH

Außenstelle Berlin

Wallstraße 17 – 22

10179 Berlin

Herr Dr. Donat

Telefon 030/20199-427

p.donat@fz-juelich.de

Federführende Programmbegleitung:

ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH

Verbindungsstraße 19

40723 Hilden

Herr Dr. Peuser

Herr Dipl.-Ing. Croy

Telefon 02103/244-0

zfs.energie@t-online.de

Wissenschaftlich-technische Begleitung:

Fachhochschule Offenburg

Studiengang Versorgungstechnik

77652 Offenburg

Herr Prof. Bollin

Herr Dipl.-Ing. (FH) Huber

Telefon 0781/205-294

bollin@fh-offenburg.de

Klaus.huber@fh-offenburg.de

9 Internet

Informationen zum Förderkonzept Solarthermie-2000 und den darin betreuten Solaranlagen sind im Internet zugänglich.

<http://www.solarthermie2000.de>

und

<http://www.fh-offenburg.de/mv/st2000>

Die Momentanwerte der Anlagenregelung können online über Internet abgerufen werden:

<http://129.143.9.3/>

10 Literatur

- /1/ Peuser, F.A.; Croy, R.; Schumacher, J.; Weiß, R.: Langzeiterfahrungen mit thermischen Solaranlagen (Abschlußbericht zu Solarthermie-2000, Teilprogramm 2); ZfS-Rationelle Energietechnik GmbH Hilden
- /2/ Solarthermie-2000; Informationen zusammengestellt vom Projektträger Biologie, Energie, Umwelt (BEO); Bezug über Projektträger BEO
- /3/ Peuser, F.A.; Croy, R.; Rehrmann, U.: Solarthermie-2000, Teilprogramm 2; Abschlußbericht zur 1. Projektphase (1.7.1993 bis 30.6.1997)
- /4/ Peuser, F.A.; Croy, R.; Rehrmann, U.; Wirth, H. P.: Solare Trinkwassererwärmung mit Großanlagen; Hrsg.: Fachinformationszentrum Karlsruhe; TÜV-Verlag, Köln, 1999
- /5/ Bollin, E.; Klingenberger, U.-M.; Himmelsbach, S.: Untersuchung zu Steuer- und Regelverhalten von solaren Großanlagen zur Trinkwassererwärmung im Rahmen des Solarthermie-2000 Programmes; Veröffentlichung im Tagungsband Zehntes Symposium Thermische Solarenergie; OTTI, Regensburg, 2000
- /6/ Dr. Felix A. Peuser, Karl-Heinz Remmers, Martin Schnauss: Langzeiterfahrungen Solarthermie; Solarpraxis Supernova AG, Berlin; 2001
- /7/ Erfurth + Partner, Steinbeis-Transferzentrum: Tragkonstruktionen für Solaranlagen; Solarpraxis Supernova AG, Berlin; 2001
- /8/ Sascha Himmelsbach, Elmar Bollin, Uta-Maria Klingenberger: Solare Dusch- und Beckenwassererwärmung in der albtherme Waldbronn; Veröffentlichung im Tagungsband 13. Symposium Thermische Solarenergie; OTTI, Regensburg, 2003
- /9/ Abschlussbericht zum Projekt *ConCheck*, Entwicklung und Erprobung von Regelungssystemen für die Be- und Entladeseite von großen solarthermischen Anlagen, BMWi-

Förderkennzeichen 0329270; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg,
16.06.2003

Dieser Bericht und weitere Berichte zu den von der Fachhochschule Offenburg begleiteten Solar-
großanlagen können als PDF-Dokument per e-mail bei der FH Offenburg angefordert werden.

Bisher erschienene Berichte:

- Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban (032 9652 J)
- Solaranlage Kreiskrankenhaus Mindelheim (032 0652 G)
- Solaranlage Hegau-Klinikum Singen (032 9652 H)
- Solaranlage Stadtklinik Baden-Baden (032 9652 K)
- Solaranlage Wohngebäude Wilmersdorfer Straße Freiburg (032 9652 O)
- Solaranlage Albtherme Waldbronn (032 9652 P)
- Solar unterstützte Nahwärmeversorgung Holzgerlingen (032 9604 C)

Die Solaranlage Studentendorf Freiburg-Vauban wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für
Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des Förderprogrammes Solarthermie-2000 unter
dem Förderkennzeichen 0329652J zu 73% gefördert.