

4.2. Meßtechnische Überwachung der Solaranlagen in Oederan

4.2.1. Anlagenbeschreibung

Das 1983 errichtete Wohngebiet Freiburger Straße in Oederan besteht aus 19 Wohnblöcken, zwei Kindereinrichtungen, einem Sportgebäude und einer Kaufhalle. 1992 begann die Modernisierung der viergeschossigen Blockbauten IW 79 mit zumeist 32 Wohnungen. Sie wurden wärme gedämmt und die Heizung von Kohleöfen auf Zentralheizung umgestellt. Die Wärme wird seitdem in einem Heizhaus von zwei Brennwertkesseln mit einer Gesamtleistung von 3,7 MW bereitgestellt und über ein neuerrichtetes Fernwärmenetz verteilt /87/.



Bild 111: Wohnblock IW 79 mit Sonnenkollektorfeld

Die Warmwasserbereitung erfolgt in den modernisierten Objekten zentral in den Hausanschlußstationen. In sieben Häusern, die der Stadtbau- und Wohnungsverwaltungsgesellschaft Oederan gehören, wird die Warmwasserbereitung durch solarthermische Anlagen entsprechend Bild 112 unterstützt /88 .. 91/. Auf den Dächern befinden sich jeweils 16 SOLVIS F60-Kollektoren, die je Haus 98,4 m² Absorberfläche umfassen. Das Feld wird von 1200 l/h Wasser mit Frostschutzmittel durchströmt. Diese Menge ist vergleichsweise gering, es handelt sich also um eine LOW- FLOW-Anlage.

Die Solarwärme wird über einen Wärmeübertrager an eine mit 4500 l Heizungswasser gefüllte Pufferspeicherbatterie übergeben. Aus Platzgründen mußte diese Menge auf 6 parallelgeschaltete Behälter verteilt werden. Der Pufferspeicherkreis übergibt seine Wärme über einen zweiten Wärmeübertrager an die beiden mit Trinkwasser gefüllten Vorspeicher. Den Vorspeichern nachgeschaltet ist die konventionelle Warmwasserbereitungsanlage im Speicherladeprinzip. Solare und konventionelle Anlage arbeiteten im Meßzeitraum rückkopplungsfrei.

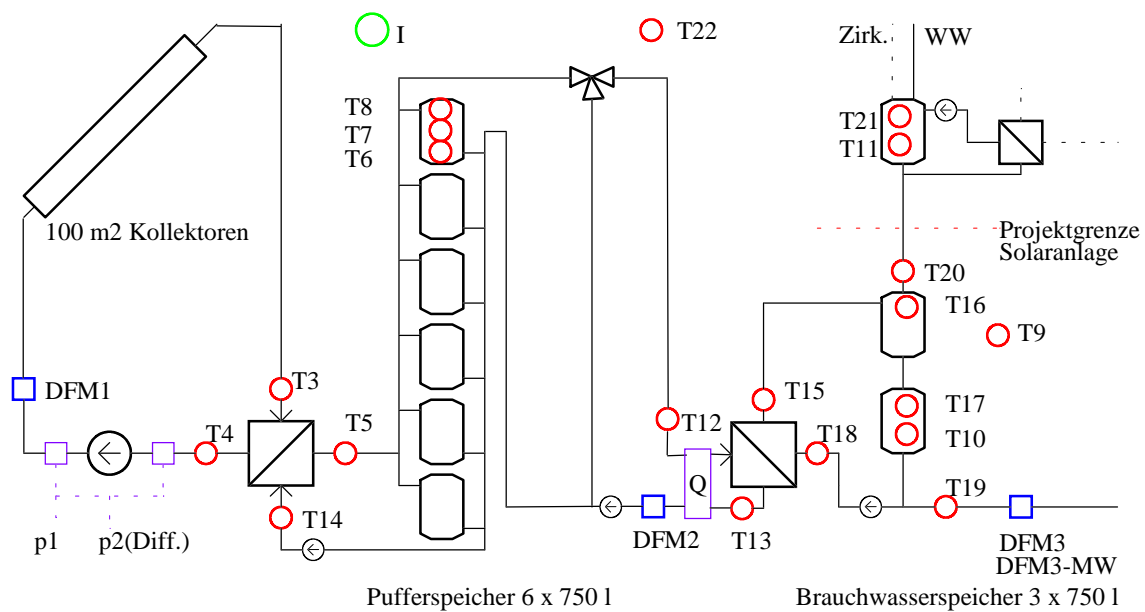


Bild 112: Schaltbild mit Meßstellenplan, Stand Juni 1996

Jede Anlage ist mit einem Wärmemengenzähler für den Fernwärmebedarf zur Warmwasserbereitung und einem für die Wärmeabgabe der Pufferspeicher ausgestattet. Zusätzlich wurde in einer Anlage umfangreiche Meßtechnik bestehend aus 20 Temperaturfühlern, drei Durchflußmessern, zwei Druckaufnehmern und einem Solarimeter installiert. Dieser Arbeit liegen Meßwerte für die Zeit vom 1.7.94 bis 30.6.96, also für zwei Betriebsjahre zugrunde. Das Betriebsverhalten der Anlage änderte sich in diesem Zeitraum nicht, so daß sich die Darstellung der Meßergebnisse auf das erste Meßjahr konzentriert. Lediglich die Energiebilanzen werden auch für das zweite Meßjahr detaillierter dargestellt.

Während beider Jahre traten mehrfach Havarien an der Meßtechnik auf, so daß für 10 % des Zeitraums nur Abschätzungen vorliegen. Weiterhin gab es zeitweilig Fehlanzeigen der Temperaturfühler für Umgebung und Bereitschaftsspeicher.

Soweit die Fehler nur wenige Tage betrafen, wurden sie durch Monatsdurchschnittswerte ersetzt. Bei längeren Ausfällen wurden meteorologische Werte nach /43/ und /93/ eingesetzt und die energetischen Daten, ausgehend von den Wetterdaten und den Anzeigen der Wärmemengenzähler, abgeschätzt.

An der Meßtechnik wurden im Meßzeitraum nur geringe Änderungen vorgenommen. So wurde in den ersten beiden Monaten festgestellt, daß mit der Aufnahme viertelstündlicher Momentanwerte der Warmwasserverbrauch nicht ausreichend genau bilanziert werden kann. Seit dem zweiten Dezember werden daher an dieser Stelle Durchschnittswerte aufgezeichnet.

Des weiteren wird seit dem 1. April 1995 der nicht an die Meßdatenerfassung angeschlossene Wärmemengenzähler für die Wärmeabgabe der Pufferspeicher monatlich abgelesen. Bis dahin erfolgte dies nur für die tariflich relevanten Wärmemengenzähler für Heizwärme- und Warmwasser - Fremdwärmeverbrauch.

Die angezeigten Strahlungswerte gaben Anlaß zu Bedenken. An wolkenlosen Tagen ergaben sich deutlich höhere Trübungsfaktoren, als in der Literatur /42/ angegeben. Daher wurden beim Deutschen Wetterdienst /43/ die Werte des Jahres 1994 für Chemnitz bezogen. Die entsprechende Station liegt deutlich außerhalb der Stadt und auf gleicher Höhe wie Oederan. Nach Umrechnung auf die Ausrichtung des Oederaner Solarimeters ergaben sich an wolkenlosen Tagen genau 20 % mehr Einstrahlung. An allen anderen Tagen trat eine große Streuung auf, die auf die örtlich verschiedene Wolkenverteilung zurückzuführen ist. Zusätzlich wurde mit einem erst kürzlich geeichten zweiten Solarimeter eine Kalibrierung durchgeführt, die auf eine Abweichung von 15 % führte.

Es kann daher angenommen werden, daß bei der Umrechnung des Sensorwertes in den Anzeigewert ein falscher Faktor programmiert wurde. Allen Strahlungswerten wurden daher 15 % aufgeschlagen.

Die Durchflußmesser und das Solarimeter müßten zu bestimmten Zeiten, vorrangig nachts, den Wert Null anzeigen. Wie eine Überprüfung der Durchflußmesser ergab, ist das am Meßgerät für Warmwasserabnahme auch der Fall. Bei den erfaßten Werten stellte sich dies anders dar. Es ergaben sich charakteristische Nullfehler, deren Verlauf sich bei allen Meßwerten ähnlich gestaltet.

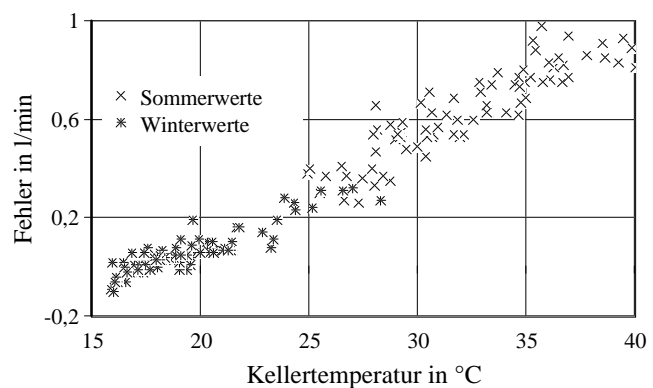


Bild 113: Nullfehler des Durchflußmessers 3

Der Nullfehler erwies sich dann als eine Funktion der Kellertemperatur, wie sie beispielhaft in Bild 113 dargestellt ist. Der Fehler konnte deshalb korrigiert werden. Die Ursache des Fehlers liegt hier wahrscheinlich in der Analog-Digital-Umwandlung, deren Schaltkreise temperatursensibel sein können. Die anderen Durchflußmeßgeräte haben eigene Nullfehler. Die Fehler erreichten bei niedrigen Kellertemperaturen auch negative Werte.

Während des Sommerhalbjahres traten zudem Probleme mit der Außentemperaturmessung auf. Der Sensor befindet sich auf der Nordseite des Gebäudes und ist nicht strahlungsgeschützt. Bei Sonneneinstrahlung zeigt er daher deutlich zu hohe Werte an. Die Probleme treten nur in den Abendstunden auf, da in den betreffenden Morgenstunden der Schatten von Block 6 auf die Temperaturfühler fällt.

In Bild 114 ist der Zeitpunkt des entsprechenden Azimutdurchgangs und der Zeitpunkt des Sonnenuntergangs dargestellt. Im Extremfall beginnt die Einstrahlung auf die Nordwand drei Stunden vor dem Sonnenuntergang. Die Sonne steht dann noch hoch über dem Horizont. Es treten hohe Strahlungsintensitäten auf.

Das Phänomen beginnt etwa am 10. April und dauert bis zum 1. September. Zeitlich beginnt es zwischen 17.30 und 18.30 Uhr MEZ. In der Zeit bis zum Sonnenuntergang wird ein bis 15 K zu hoher Wert angezeigt. Die fehlerhaften Daten wurden entfernt und durch lineare Interpolation aufgefüllt.

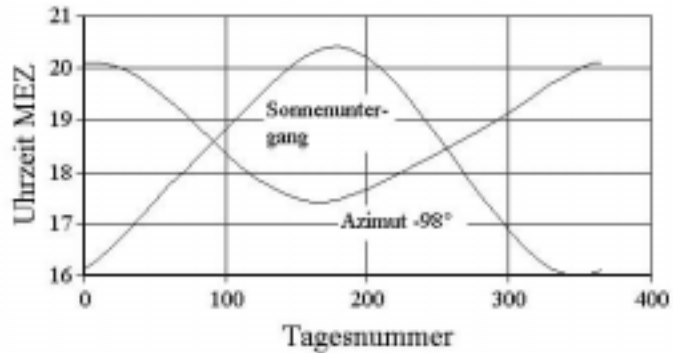


Bild 114: Direkte Einstrahlung auf den Außentemperaturfühler

In Bild 115 ist ein wichtiger Teil von Anlage und Meßtechnik abgebildet. Erkennbar sind:

- | | |
|--------------------------------|----|
| Kollektorvorlauf | 1 |
| Kollektorrücklauf | 2 |
| Pufferspeicherbeladevorlauf | 3 |
| Pufferspeicherbeladerücklauf | 4 |
| Wärmeübertrager I | 5 |
| Kollektorkreispumpe: | 6 |
| Pufferspeicherbeladepumpe | 7 |
| Durchflußmesser Kollektorkreis | 8 |
| Druckfühler | 9 |
| Temperaturfühler | 10 |
| Taco-Setter | 11 |
| Manometer Pufferspeicher | 12 |
| Thermometer | 13 |



Bild 115: Teilansicht von Anlage und Meßsystem

4.2.2 Energiebilanzen im ersten Meßjahr

Die Einstrahlung betrug im Meßzeitraum 117,7 MWh. Von dieser Menge waren 82,9 MWh nutzbar. Der Rest entfiel auf Zeiten, in denen die Einstrahlung zu gering war, um die Inbetriebnahme des Kollektorkreises zu rechtfertigen, sowie auf sommerliche Überhitzungszustände.

Angesichts eines Kollektorertrages von 31,7 MWh ergibt sich ein Nutzungsgrad von 26,9 %. Das Verhältnis von abgegebener Kollektorwärme und der während des Umwälzbetriebes eingefallenen Strahlung liegt bei 38,2 %.

Der mittlere Tagesertrag des Kollektorfeldes lag bei 86,8 kWh. Das Maximum der täglich gewonnenen Wärme in Höhe von 304 kWh wurde am 26. August 1994 erreicht. Hierbei handelte es sich keineswegs um den strahlungsreichsten Tag des Meßzeitraums. Vielmehr waren nach regnerischen Tagen die Pufferspeicher soweit entleert, daß der Kollektorkreis über Mittag durchgehend betrieben werden konnte. An diesem Tag ergab sich ein Nutzungsgrad über 45 % und eine Laufzeit des Solarkreises von 9,3 h.

Die für die Erwärmung des Trinkwassers direkt wirksame der Sonne entstammende Energie, im weiteren Solarwärme genannt, beläuft sich auf 19,6 MWh. Gleichzeitig wurden 25,3 MWh in Form erwärmten Wassers abgenommen. Die Solaranlage trug also mit 77,4 % zur Deckung des Wärmebedarfs der Wassererwärmung bei, ein wesentlich höherer Wert als man üblicherweise bei Solaranlagen erwartet. Aufgrund der geringen Abnahme lieferte die Solaranlage jedoch nur 50 % der prognostizierten Solarwärme von 39 MWh /34/.

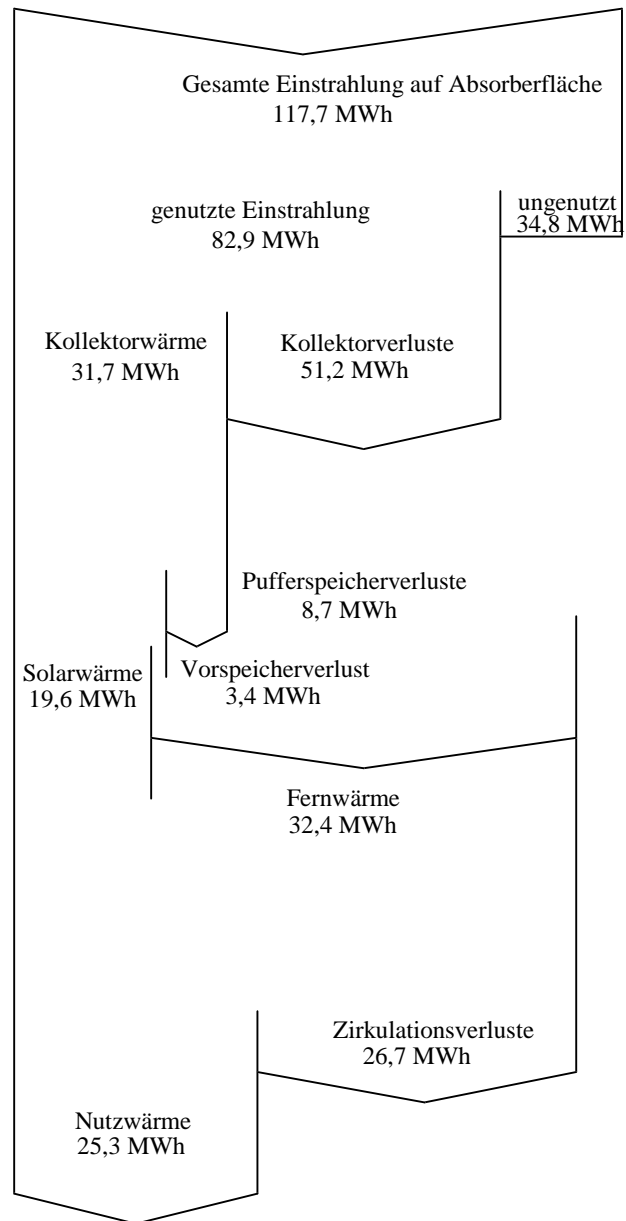


Bild 116. Energieflußbild im ersten Meßjahr

Zu berücksichtigen bleiben jedoch die Zirkulationsverluste in Höhe von 26,7 MWh, so daß für Warmwasserbereitung und -verteilung insgesamt 52 MWh benötigt wurden. An der Deckung dieses Gesamtbedarfs ist die Solaranlage nur mit 37,7 % beteiligt. Im strengen Sinne ist nur diese Deckungsrate korrekt. Die auf die Wassererwärmung bezogene Deckungsrate ist nur angegeben, weil sie gegenwärtig üblich ist und weil sie den Vergleich von Solaranlagen ermöglicht, die sich in Objekten mit unterschiedlicher Höhe der Zirkulationsverluste befinden.

Während der Meßperiode traten in den Vorspeichern Verluste von 9,3 kWh/d auf, was etwa 7,2 W/K entspricht. Die Pufferspeicherverluste betragen 23,8 kWh/d, was 18 W/K für jeden Speicher entspricht.

Beide Werte sind unbefriedigend hoch. Sie sind beim Vorspeicher etwa dreimal so hoch wie theoretisch berechnet und bei den Pufferspeichern sechsmal so hoch. Der Vorspeicherwert ist durch Wärmebrücken erklärbar, bei den Pufferspeichern kommt die nicht bodengängige Ausführung der Isolierung hinzu.

Tabelle 34 enthält die Energiebilanzen im gesamten bisher erfaßten Zeitraum, zusammengestellt in monatsweise geordneten Tagesdurchschnittswerten.

Tabelle 34: Durchschnittliche Energiebilanzen in kWh/d

Zeit	E	E _{nutz}	Q _{koll}	Q _{PSP,ab}	Q _{solar}	Q _{ww}	Q _{FW}	Q _Z
Juli 94	602	350	126	89,9	71,9	69,4	51,9	54,4
August 94	460,4	331,5	121,7	91,8	78,1	75,4	59,4	62
September 94	365	300	112	81	69,3	72,6	69,3	66
Oktober 94	306,7	250	98	69	58,3	69,9	81,6	70
November 94	152,4	120	44	36	33,4	67,1	107,7	74
Dezember 94	98,4	73,6	30,2	27	26	64,4	116,1	77,7
Januar 95	126,7	86,4	28,6	24	22,3	68,8	130,3	83,8
Februar 95	183,3	150,1	59,7	47,9	42,1	72,2	116,8	86,7
März 95	346,3	294,9	100,4	71,3	57,3	67,6	91,3	81
April 95	316,6	250	105	73	61,4	73,2	89,3	77,5
Mai 95	519,4	291,8	118,4	84	72,7	70,4	72,6	74
Juni 95	376,9	219,7	94,9	58,2	52,1	59,1	79,9	72
Mittel	322,5	227,2	86,8	62,9	53,8	69,2	88,6	73,2

Die Solaranlage deckt im Januar, dem schlechtesten Monat, 32 % des Wärmebedarfs zur Wassererwärmung und von März bis Oktober über 80 %.

Im Sommer trägt die Solaranlage auch zur Abdeckung von Zirkulationsverlusten bei, so daß die Solarwärme den Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung überschreiten kann. Es ist daher sinnvoll, bei dieser Solaranlage zwei neue Deckungsraten zu definieren, eine für die Wassererwärmung und eine für die Zirkulation. In Bild 118 ist dieser Sachverhalt dargestellt.

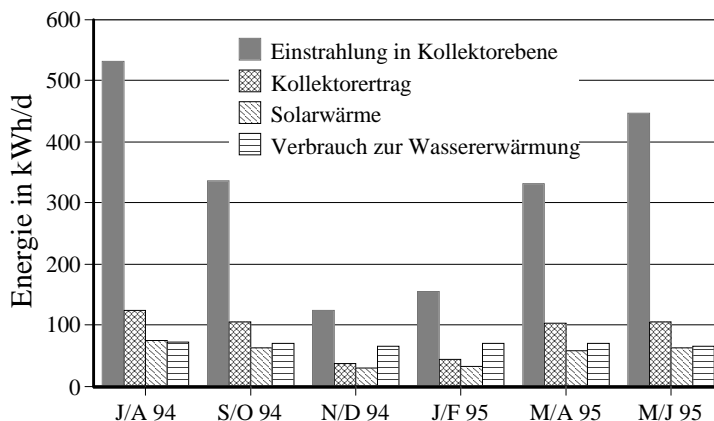


Bild 117: Energiebilanzen

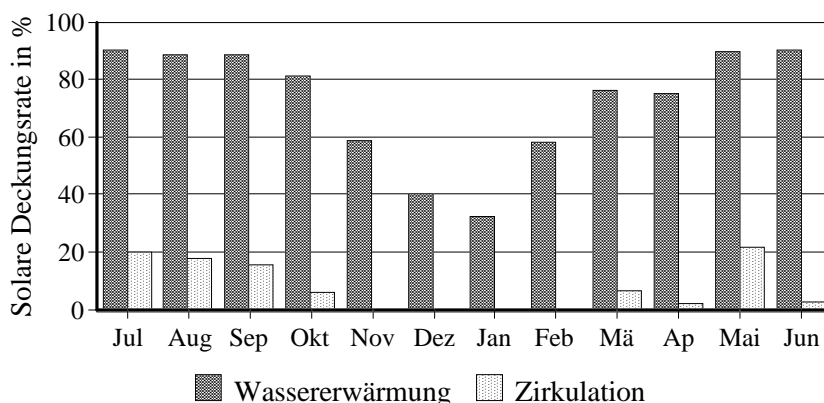


Bild 118: Solare Deckungsrate im Jahresverlauf

Die Aufteilung der Solarwärme auf Warmwasserbereitung und Zirkulation wurde mit Hilfe der Zulauftemperatur zum Bereitschaftsspeicher vorgenommen. Es wird definiert, daß die Wärme des warmen Wassers bis zu einer Temperatur von 55 °C der Wassererwärmung und die Wärme ab 55 °C der Zirkulationsdeckung dient. Die Deckungsrate Warmwasserbereitung beträgt im gesamten Jahr 69,9 % und die Deckungsrate Zirkulation 7,2 %.

Die Deckungsrate Wassererwärmung schwankt im Jahresverlauf zwischen 35 und 90 %. Höhere Werte wurden auch im Sommer nicht erreicht, da es stets einige trübe Tage gab, an denen die Sonne nicht schien. Zur Deckung der Zirkulationsverluste kann im Winter nicht beigetragen werden, da das notwendige Temperaturniveau von 55°C nicht erreicht wird. Im Sommer sind Deckungsrate bis 25 % erreichbar.

Der Kollektornutzungsgrad schwankt zwischen 20,3 % im Juli und 31,2 % im Februar. Den größten Einfluß hat die Problematik des sommerlichen Überangebotes und nicht die häufigeren Schlechtwetterphasen im Winter.

In Tabelle 35 sind die in den anderen Blöcken durch Wärmemengenzähler beobachteten Fernwärmeverbräuche der Warmwasserbereitung zusammengefaßt.

Tabelle 35: Fernwärmeverbrauch Warmwasserbereitung in MWh für alle sieben Solaranlagen

Jahr	1994						1995						Σ
	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	
3	3,23	1,87	2,2	2,7	3,57	4,14	4,72	3,52	3,26	3,24	2,01	2,34	36,8
4	1,61	1,84	2,08	2,53	3,23	3,6	4,04	3,27	2,83	3,04	1,6	2,4	32,07
6	3,35	3,91	3,73	4,29	5,41	5,95	6,34	5,11	4,53	4,58	3,48	4,16	54,84
Q6	1,43	2,53	2,23	2,73	3,65	4,09	4,52	3,47	3,06	2,83	1,96	2,22	34,72
10	1,9	2,2	2,51	3,29	4,28	4,64	4,96	3,84	3,62	5,35	5,14	3,01	44,74
11	1,74	1,99	5,88	3,22	4,16	4,55	5,03	3,94	3,62	4,72	2,59	2,53	43,97
12	1,6	1,78	2,16	2,29	3,73	Ausfall WMZ							

Aus diesen Daten läßt sich die monatliche Solarwärme näherungsweise bestimmen. Grundlage sind Wasserverbrauch und Zirkulationsverlust des Blockes 4. Die Warmwassermengen werden entsprechend den Angaben der Wasserzähler /94/ und die Zirkulationsverluste proportional zur Wohnungsanzahl hochgerechnet. Es ergeben sich Solarwärmesummen entsprechend Tabelle 36.

Tabelle 36: Solarwärme aller Blöcke in MWh (zur Blockanordnung siehe Bild 51)

Jahr	1994						1995						Σ
	Monat	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	
3	0,93	2,74	2,29	1,97	0,96	0,57	0,33	1,23	1,67	1,61	2,82	1,89	19,01
4	2,23	2,42	2,08	1,81	1	0,81	0,69	1,18	1,78	1,84	2,25	1,56	19,65
6	1,61	1,62	1,75	1,5	0,31	0,09	0,15	0,98	1,77	1,5	2,43	1,13	14,84
Q6	2,17	1,47	1,69	1,37	0,36	0,1	0	0,7	1,32	1,45	2,28	1,53	13,74
10	2,31	2,46	2,02	1,42	0,29	0,11	0,13	0,95	1,35	0	0	1,25	12,29
11	2,96	3,21	0	1,99	0,87	0,66	0,55	1,32	1,83	0,68	2,71	2,13	16,92
12	2,61	2,88	2,37	2,42	0,84	Aus fall WMZ							

Theoretisch müßten in den Blöcken mit etwas höherem Verbrauch, also 3,10,11,12, mehr Solarwärme geliefert werden können, besonders ausgeprägt im Sommer. Die Blöcke mit ungünstigerer Ausrichtung, also 10 bis 12 und in besonders starkem Maße Q6, müßten weniger Solarwärme ausweisen, dies besonders im Winter.

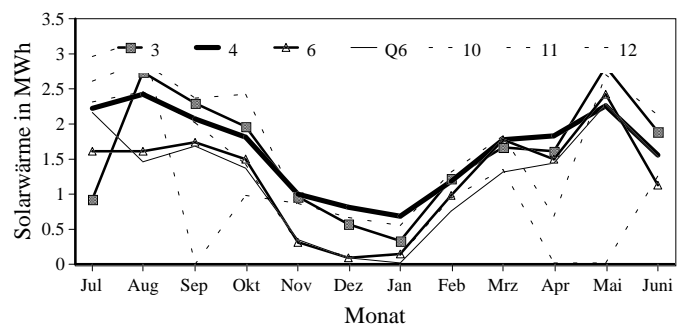


Bild 119: Solarwärme im Jahresverlauf

Tatsächlich wurde in den Anlagen der Blöcke 10 und Q6 auch sehr wenig Solarwärme im Winter bereitgestellt. Im Block 11 trat dieser Effekt nicht auf, wahrscheinlich wurde er durch die hohe Abnahme kompensiert. In Block 12 war leider der Wärmemengenzähler ausgefallen. Als der Zähler noch funktionierte, war in diesem Block eine sehr hohe Solarwärme feststellbar. Die anderen Blöcke weisen einen ähnlichen Verlauf wie Block 4 auf, besonders ausgeprägt der in Ausrichtung und Verbrauch fast identische Block 3. Einige Anlagen hatten offensichtlich Funktionsausfälle, so im Block 11 im September und im Block 10 in April und Mai. Auch im Block 3 gab es zeitweilig Probleme, dort im Juli.

Insgesamt ist die Bilanzierung der Solarwärme in den anderen Blöcken sehr unsicher. Fehler können schon durch einen anderen Jahresverlauf des Verbrauchs auftreten, oder durch eine Änderung der Mieterzusammensetzung. Der Ausfall der Solaranlage kann zum Beispiel auch durch einen beständig laufenden Warmwasserhahn vorgetäuscht werden. Eine konstante Menge von 1 l/min, also 15 % des Durchsatzes einer vollständig geöffneten Waschtischarmatur verdoppelt den Verbrauch des Blockes bereits !

Zumindest für einzelne Blöcke liegen auch noch Ablesewerte des Wärmemengenzählers der Pufferspeicherabgabe vor. Diese Wärmemenge unterscheidet sich jedoch noch durch die Vorspeicherverluste von der Solarwärme. In April und Mai gaben die Pufferspeicher 0,57 MWh im Block 10 ab, im Gegensatz zu 4,78 MWh im Block 4. Die Probleme waren also real. Die Ursache muß in Zusammenarbeit mit der Heizungsfirma geklärt werden. Die größte Wahrscheinlichkeit hat die Annahme, daß ein Pumpendefekt vorlag

4.2.3 Energiebilanzen im zweiten Meßjahr

Die Jahresbilanz des zweiten Meßjahres ist gemäß Bild 120 fast identisch mit der Bilanz von 1994/95. Es gibt bei keinem Hauptenergiestrom Unterschiede von mehr als 6 %. Damit ist zu vermuten, daß die Eigenschaften der Solaranlage sich bisher nicht geändert haben.

Große Unterschiede gibt es hingegen im Jahresverlauf gemäß Tabelle 37. Zum einen ist im Gegensatz zum ersten Meßjahr ein ausgeprägter Jahresgang der Warmwasserabnahme feststellbar.

In den Sommermonaten werden etwa 30 % weniger Warmwasser abgenommen als im Winter, was durch die höhere Kaltwassertemperatur zu einem 40 % geringeren Wärmebedarf der Warmwasserbereitung führt.

Weiterhin ist der Jahresgang der meteorologischen Größen anders. Die Wintermonate, vor allem Januar und Februar, waren sehr kalt und zeichneten sich durch eine große Häufigkeit wolkenloser Tage mit sehr klarer Atmosphäre aus.

Die Einstrahlungen waren bis zu 45 % höher als in den Vergleichsmonaten des Vorjahres. Dies schlug sich auch in sehr hohen Erträgen der Solaranlage nieder.

Geringere Solarwärmen als im ersten Meßjahr waren in den Sommermonaten zu verzeichnen. Bei ungefähr gleicher Einstrahlung war der Warmwasserbedarf deutlich niedriger.

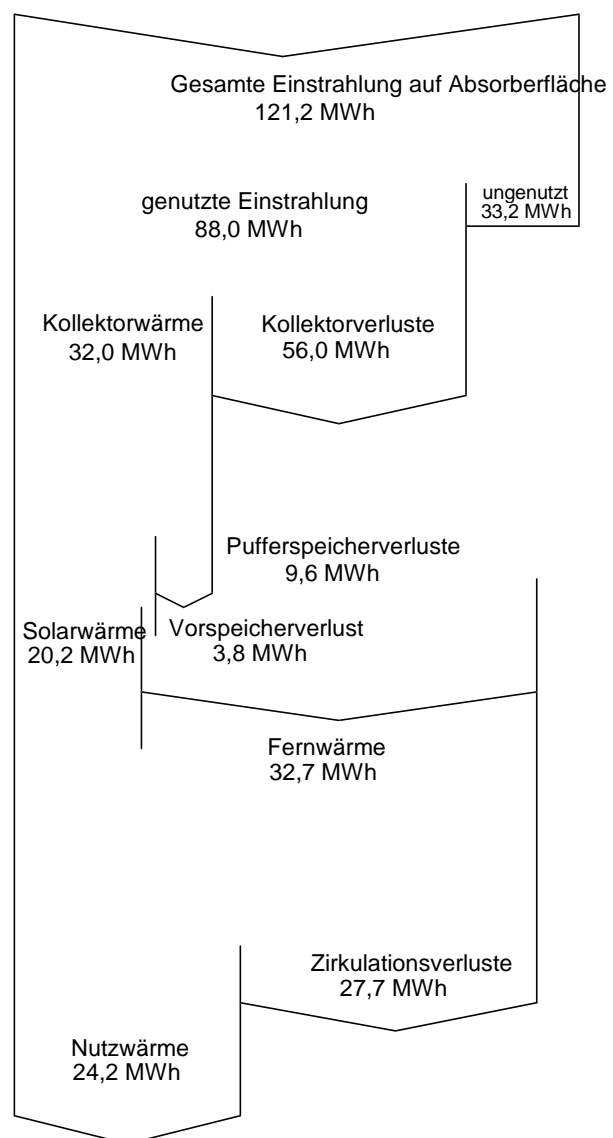


Bild 120: Energieflußbild für das zweite Meßjahr

Erklärungsschwierigkeiten bereitet der Zirkulationsverlust im Januar 1996, der 50 % höher als der Vergleichswert von 1995 war. Dies ist nicht allein aus der geringeren Außentemperatur erklärbar.

Tabelle 37: Durchschnittliche Energiebilanzen in kWh/d

Zeit	E	E _{nutz}	Q _{koll}	Q _{solar}	Q _{ww}	Q _{FW}	Q _Z
Juli 95	564,8	335,5	112,6	58,4	45,2	51,3	64,5
August 95	519	305,8	98,7	55,2	45,5	55,8	65,8
September 95	305	243,7	112,7	53,3	57,3	80,7	76,7
Oktober 95	303,9	258,7	109	58,7	58,7	69,7	69,7
November 95	135,7	104,3	43,7	29	65,3	144,3	78
Dezember 95	78,3	50,7	22	18	76	143,3	85,3
Januar 96	181,3	150,3	51,6	38,1	75,2	163,2	126,1
Februar 96	253,8	217,2	72,8	60,7	74,1	102,8	75,2
März 96	357,7	251	105,2	86,4	81,3	84,2	73,2
April 96	480	396,7	128	76,7	73,3	63,3	63,3
Mai 96	336,1	261	94,2	62,3	78,4	86,8	70,6
Juni 96	457	314,3	101,3	68	66,7	59,7	61,3
Mittel	331,1	240,4	91,8	55,2	66,1	89,3	75,7

4.2.4 Temperaturverhältnisse

Das Temperaturverhalten kann nur für Tage mit ausgeglichenem Strahlungsverlauf übersichtlich dargestellt werden. Diese sind dann natürlich wolkenarm und daher sehr strahlungsreich. Selbstverständlich arbeitet die Solaranlage auch an anderen Tagen, mit Ausnahme einiger weniger trüber Tage. Der Anteil am Gesamtertrag ist jedoch relativ hoch.

Im Folgenden werden das Verhalten am besten Dezembertag und an einem der 11 wolkenlosen Tage des Juli 1994 dargestellt.

Am 18. Dezember werden Kollektoraustrittstemperaturen bis 58 °C erreicht. Der Pufferspeicher wird örtlich bis 45 °C erwärmt. Dies betrifft aber nur die oberste Schicht. An diesem Tag wird nicht nur der Pufferspeicher kontinuierlich beladen, sondern auch fast genauso stetig entladen, so daß das heiße Wasser vom Wärmeübertrager 1 nie bis zur mittleren Schicht des Speichers dringen kann.

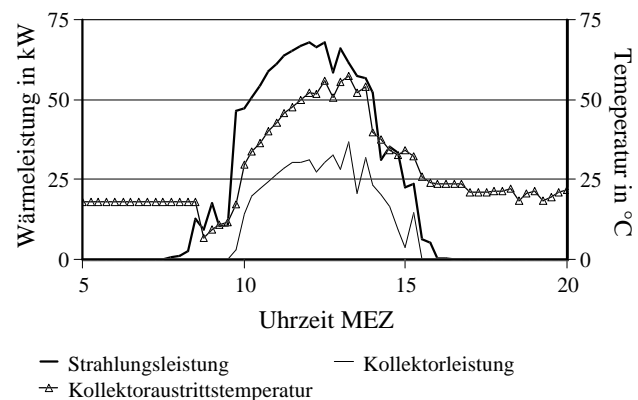


Bild 121: Kollektorkreis an einem wolkenarmen Wintertag (18. Dezember 1994)

Die Temperatur der obersten Schicht im Pufferspeicher ist zeitweilig nur noch etwa 10 K von der Bedarfstemperatur entfernt. Zu diesem Zeitpunkt kann die Solaranlage etwa 70 % des Wärmebedarfs zur Wassererwärmung bereitstellen. Der Maximalwert der Strahlung ist ebenfalls sehr hoch, etwa 75 % des Maximalwertes im Sommer. Ursache ist der gegenüber dem Sommer sehr viel geringere Trübungsfaktor.

Die dennoch geringe Deckungsrate der Wintermonate ergibt sich aus der größeren Bewölkungshäufigkeit im Dezember und der geringen Tagesdauer.

Im Juli stellen sich die Temperaturverhältnisse sehr viel anders dar. Es werden Kollektorausstrittstemperaturen bis 100 °C erreicht.

Die Pufferspeicher sind bereits vom Vortag sehr hoch beladen. Bis zum Mittag wird die oberste Schicht auf 95 °C erwärmt, so daß aus Sicherheitsgründen der Kollektorkreis abgeschaltet werden muß. Da die Abnahme nicht in gleichem Maße wie die Energieeinspeisung aus dem Kollektorfeld erfolgt, werden auch die anderen Speicherschichten deutlich erwärmt, jedoch nur bis 70 °C. Die Speicher sind angesichts des geringen Bedarfs und der großen Kollektorfläche zu klein.

Insgesamt kann man mit der Speicherschichtung sehr zufrieden sein. Sie ist ein Ergebnis der guten Regelung und des Low-Flow-Konzepts. Es wäre jedoch wünschenswert, auch die unteren Speicherschichten bis zum Maximum zu beladen. Dies wäre möglich durch eine strahlungsabhängige Volumenstromregelung von Kollektor- und Pufferspeicherbeladekreis oder zunächst einfacher, indem der Pufferspeicherbeladekreis in den Notabschaltzeiten weiterläuft und die Schichtung zerstört.

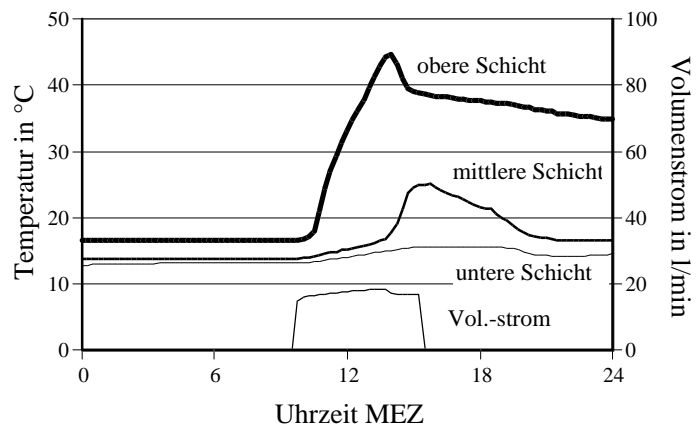


Bild 122: Pufferspeicher an einem wolkenarmen Wintertag (18. Dezember 1994)

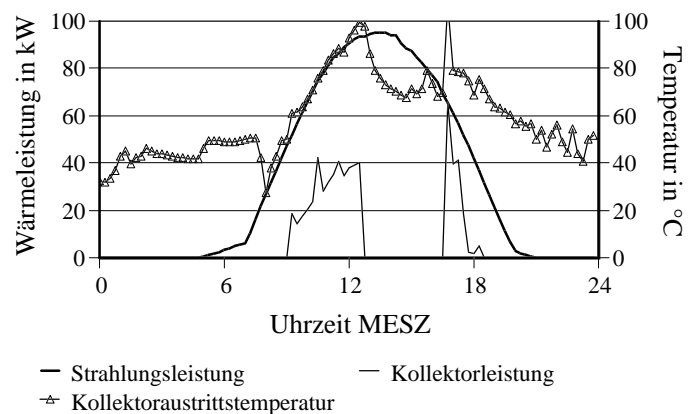


Bild 123: Kollektorkreis am 2. Juli 1994

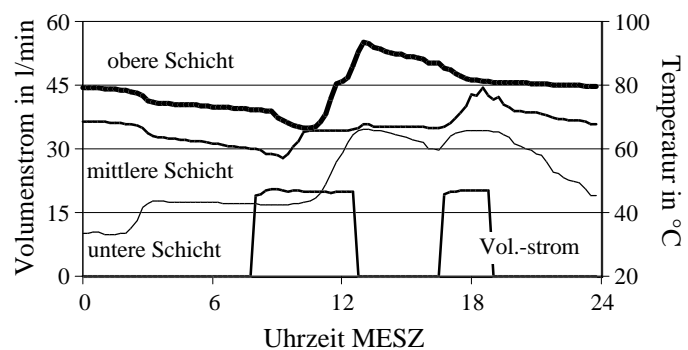


Bild 124: Pufferspeicher am 2. Juli 1994

Die temperaturbedingten Notabschaltungen sind ein Zeichen für die Überdimensionierung, aber auch für die Leistungsfähigkeit der Solaranlage und der Güte ihrer Komponenten. Diese Betriebszustände traten im Sommer sehr häufig auf und führten zu einem beträchtlichen Nutzungsausfall von Sonnenstrahlung.

Die Wärme wird relativ gut von den Pufferspeichern in die Vorspeicher übergeben. Diese sind nur wenig geschichtet und folgen in ihrer Temperatur der obersten Pufferspeicherschicht. Daher ist ihre Mitteltemperatur zumeist höher als die Mitteltemperatur der Pufferspeicher, ein positiver Effekt der Speicherschichtung ! Im Sommer steigt die Vorspeichertemperatur auf über 70 °C an. Der thermostatische Mischer im Pufferspeicherentladekreis scheint daher falsch eingestellt oder nicht funktionstüchtig zu sein.

Dies verbessert die Zirkulationsdeckung der Solaranlage, birgt aber eine Gefährdung des Wärmeübertragers durch Verkalkung. Glücklicherweise ist das Trinkwasser in Oederan mit 5° dH relativ weich /96/.

4.2.5. Eigenschaften der Wärmeübertrager

In den Bildern 125 und 126 sind die Temperaturverläufe an den Wärmeübertragern im Kollektorkreis (WÜ 1) und im Pufferspeicherentladekreis (WÜ 2) für den sonnenreichen 12. März 1995 dargestellt. Eingebledet ist jeweils nur die Zeit, in denen Primär- und Sekundärseite durchflossen waren. Im Wärmeübertrager 1 stellen sich Grädigkeiten von 3 bis 9 K (da $C_{zu} = C_{ab}$ gilt: Grädigkeit = mittlere logarithmische Temperaturdifferenz) bei Spreizungen von 15 bis 35 K ein. Im Wärmeübertrager 2 liegen Grädigkeiten von 1,5 bis 3 K bei Spreizungen von circa 20 K vor.

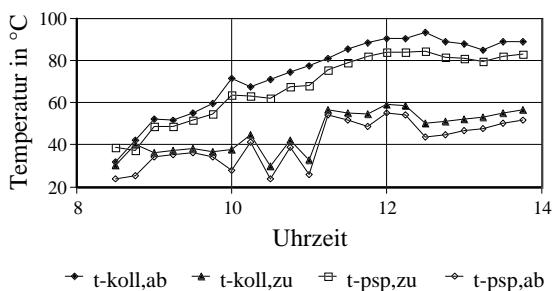


Bild 125: Temperaturen am WÜ 1

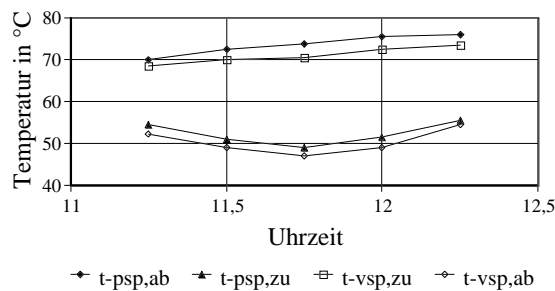


Bild 126: Temperaturen am WÜ 2

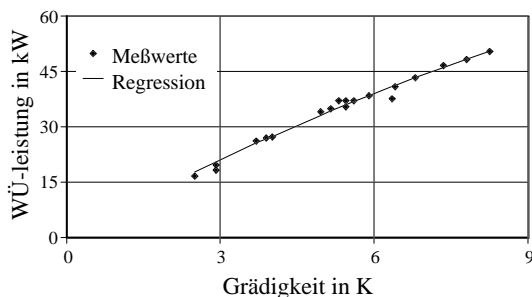


Bild 127: Leistung des WÜ1

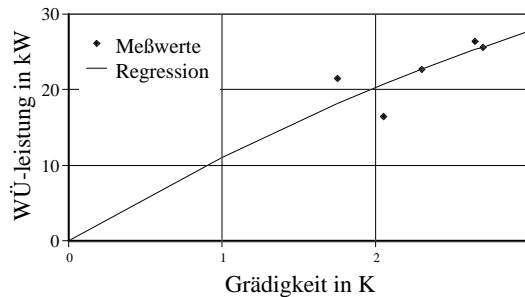


Bild 128: Leistung des WÜ2

In den Bildern 127 und 128 sind die Leistungen der Wärmeübertrager als Funktion der Grädigkeit dargestellt. Die Meßwerte am Wärmeübertrager 1 legen sich schön an eine Regressionsparabel an. Die mittlere spezifische Leistung wurde mit 6600 W/K bestimmt. Sie sinkt mit steigender Grädigkeit leicht ab, von 7200 W/K bei 2,5 K auf 5800 W/K bei 10 K. Beim Wärmeübertrager 2 ist die Streuung der Werte weitaus größer. Es ergibt sich dort eine mittlere spezifische Leistung von 9900 W/K. Sie scheint mit steigender Grädigkeit ebenfalls abzusinken. Eine genaue Aussage kann jedoch aufgrund der geringen Anzahl an Meßwerten nicht getroffen werden.

Die ermittelten Werte sind vollauf zufriedenstellend. Im Durchschnittsbetrieb werden fast nie Grädigkeiten über 5 K auftreten. Somit ergibt sich trotz der Anlagenschaltung mit zwei Wärmeübertragern keine nennenswerte Temperaturüberhöhung und damit keine Ertragsverschlechterung.

Die Untersuchung der Wärmeübertragereigenschaften wurde während beider Jahre mehrmals wiederholt. Stets wurden Tage mit hoher, möglichst nicht durch Wolken gestörter Einstrahlung und langen Kollektorkreislaufzeiten betrachtet. Im folgenden werden die dabei für beide Wärmeübertrager bestimmten Wärmeübergangskoeffizienten aufgeführt.

1. Quartal 1995	$K_1 = 6600 \text{ W/K}$	$K_2 = 9900 \text{ W/K}$
2. Quartal 1995	$K_1 = 6100 \text{ W/K}$	$K_2 = 7700 \text{ W/K}$
1. Quartal 1996	$K_1 = 6100 \text{ W/K}$	$K_2 = 7700 \text{ W/K}$
2. Quartal 1996	$K_1 = 5800 \text{ W/K}$	

Während des Untersuchungszeitraums verringerten sich die Werte, wobei sie aber zunächst noch als unkritisch anzusehen sind, aber weiter beobachtet werden müssen.

4.2.6. Hydraulisches Verhalten

Bei Stillstand des Kollektorkreises stellt sich ein Überdruck im Bereich der Pumpe ein, der von 2 bar im Juli 1994 auf 1,7 bar im Juni 1995 abfiel. Wahrscheinlich ist bei den kritischen Anlagenzuständen im Sommer Flüssigkeit über das Notabblaseventil verlorengegangen. Der Wert liegt an der kritischen Grenze. Angesichts einer geodätischen Höhe von 16 m gibt es im Kollektorfeld nur noch einen Überdruck von 100 mbar. Es sollte nachgespeist werden. Auf jeden Fall sind die anderen sechs Anlagen hinsichtlich der Verluste an Wärmeträgermedium zu überprüfen.

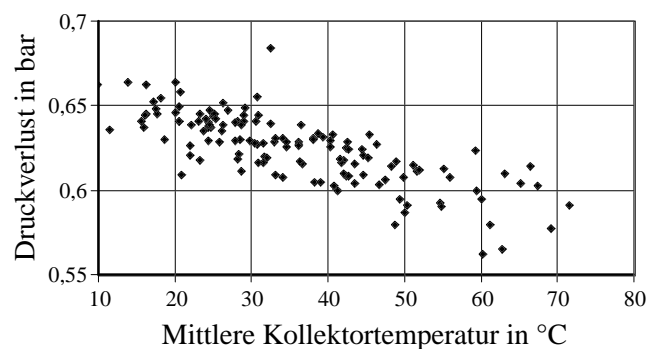


Bild 129: Druckverlust als Funktion der Kollektortemperatur

Bei Betrieb betragen die Druckverluste 0,55 bis 0,7 bar. Es konnte eine deutliche Temperaturabhängigkeit gemäß Bild 129 beobachtet werden. Eine noch stärkere Abhängigkeit weist der Volumenstrom auf. In Bild 130 ist dieser Sachverhalt dargestellt. Ursache ist die Temperaturabhängigkeit der Viskosität des Wasser-Frostschutzmittel-Gemisches.

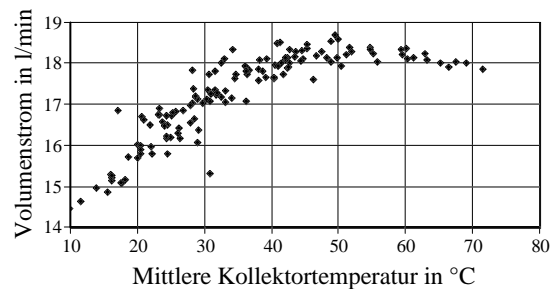


Bild 130: Volumenstrom als Funktion der Kollektortemperatur

In Bild 131 ist der Tagesverlauf des Drucks für die strahlungsreichen Tage 2.7.94 und 28.6.95 dargestellt.

Morgens liegt Ruhedruck vor. Mit Einschalten der Pumpe stellt sich eine Druckdifferenz um 630 mbar ein. Gegen Mittag erfolgt die Notabschaltung. Zunächst sinkt die Druckdifferenz wie erwartet auf Null. Sehr schnell steigt sie jedoch wieder an, auf etwa 1,3 bar, also deutlich über der Betriebsdruckdifferenz.

Dies scheint nur dadurch erklärbar, daß die Kollektorkreispumpe sehr schnell wieder in Betrieb genommen wird.

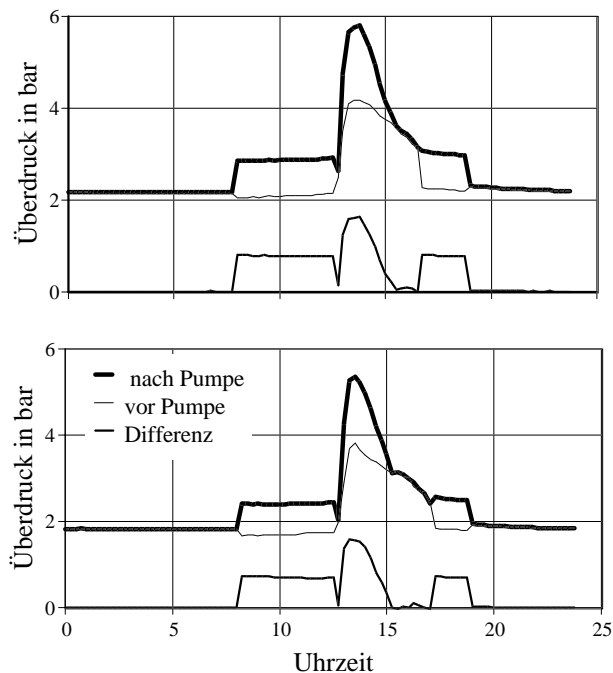


Bild 131: Druckverhältnisse im Kollektorkreis am 2.7.94 und 28.6.95

Durch den Leerlaufbetrieb hat sich der Kollektor stark erwärmt, da seine Stillstandstemperatur bei über 180 °C liegt. Eine Dampfblase ist entstanden und verhindert die Durchströmung des Kollektorfelds. Die Pumpe arbeitet daher im Leerlauf, ohne Volumenstrom und mit maximalem Drucksprung. Nach dem Mittag wird die Pumpe dann abgeschaltet, um gegen 16.00 Uhr noch einmal für eine Stunde eingeschaltet zu werden.

Die Grenze zwischen Dampfblase und Flüssigphase befindet sich wahrscheinlich in der Steigleitung. Daher gibt es nur einen sehr geringen Wärmeübergang. Im Kollektor dürfte überhitzter Dampf vorzufinden sein. Somit kann nicht aus dem Druck auf die Kollektortemperatur geschlossen werden. Die Verringerung des Maximaldruckes im Meßzeitraum von 5,9 auf 5,3 bar ist daher nicht Ergebnis einer Verschlechterung der Kollektoreigenschaften, sondern nur dem verringerten Ruhedruck zuzuschreiben.

Mit dieser Hypothese lassen sich jedoch nicht alle Phänomene erklären. So ist nicht klar, warum der Leerlaufdrucksprung am Nachmittag langsam zurückgeht und die Pumpe schließlich ganz abgeschaltet wird. Von der Regelung kann kein neues Abschaltsignal ausgehen. Diese ist voll auf die Temperaturdifferenz ausgerichtet, deren Vorzeichen sich während dieses Prozesses nicht ändert. Vielleicht besitzt die Pumpe einen internen Überlastungsschutz.

Der jährliche Energiebedarf aller Pumpen in Warmwasser- und Heizungsanlage wurde mit 3000 kWh/a erfaßt. Um diese beträchtliche Menge hinsichtlich der Anteile einzelner Pumpen bewerten zu können, wurden Messungen der Stromverbräuche im Betriebszustand vorgenommen. In Tabelle 38 sind die konkreten Daten aufgeführt.

Tabelle 38: Gemessene Pumpendaten

Pumpe	Motorart	Leistung in W		Abschätzung	
		Nennwert	Meßwert	τ in h/a	W in kWh/a
Kollektorkreis	Drehstrom	420	236	1.600	380
Pufferbeladung	Drehstrom	130	105	1.600	170
Pufferentladung	Wechselstrom	210	103	900	90
Vorspeicherbeladung			104	900	90
WW-Ladepumpe		47	33	900	30
WW-Zirkulation		133	89	8.760	780
Heizung		60 .. 440	214	6.500	1.400

Der Gesamtstromverbrauch von 3000 kWh/a wird durch die Meßwerte bestätigt. Aufgrund der hohen Laufzeit sind Heizungs- und Zirkulationspumpe hierbei von größter Bedeutung. Die Pumpen der Solaranlage benötigen 730 kWh/a an Strom, was im Vergleich zu 20 MWh/a Solarwärme relativ wenig ist. Diese Menge kann trotzdem noch deutlich verringert werden, da die momentan eingesetzten Pumpen nur einen geringen Wirkungsgrad besitzen. Nachweisbar ist dies nur für die Kollektorkreispumpe, da nur hier Volumenstrom und Drucksprung gemessen werden. Daraus ließ sich für den Zeitpunkt der Messung eine an das Fluid übergebene hydraulische Leistung von 25 W ermitteln, womit der Wirkungsgrad nur 10,6 % betrug.

4.2.7. Kosten

Jede Anlage in Oederan erforderte eine Investition von 91200 DM ohne Mehrwertsteuer /95/. Damit ergibt sich bezogen auf die Absorberfläche ein spezifischer Preis von 927 DM/m². Verglichen mit anderen großen ostdeutschen Solaranlagen ist dies sehr preiswert. In Baden-Württemberg gibt es eine Reihe billigerer Systeme /16/, die jedoch alle der Versorgung von Neubauten dienen. Speziell die Montageaufwendungen waren damit sehr viel geringer.

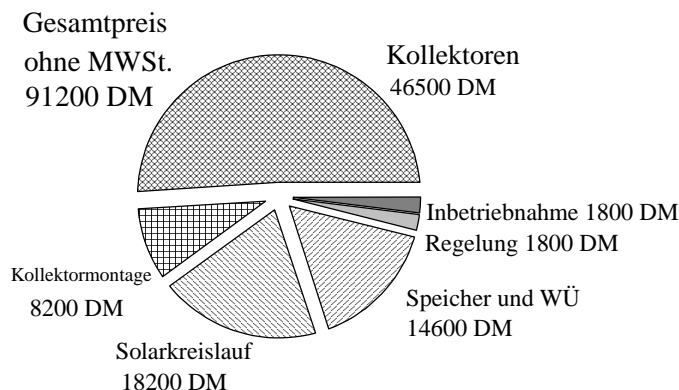


Bild 132: Aufteilung der Investition

In Bild 132 ist die Zusammensetzung der Investition graphisch dargestellt. Über die Hälfte mußten für die Beschaffung der Kollektoren aufgewendet werden. Die Montage des Kollektorfelds erforderte 9 %. Bei den anderen Posten fällt auf, daß der Solarkreislauf teurer als Speicher und Wärmeübertrager zusammen war. Dies ist angesichts der großen Anzahl von Speichern sehr verwunderlich. Erklärbar ist dies nur, wenn die Kostenstelle Solarkreislauf auch die Montageaufwendungen der Speicher und die Verrohrung aller Kreise der Solaranlage enthält.

In Tabelle 39 ist die Ermittlung der spezifischen Kosten der Solarwärme dokumentiert. Berechnungsgrundlage für die kapitalgebundenen Kosten ist das korrigierte Annuitätenverfahren gemäß Kap. 2.8, welche mit 7843 DM/a bestimmt wurden. Hinzu kommen noch betriebsgebundene Kosten. Diese waren ursprünglich mit 2 %/a der Investition angesetzt. Die bisherigen Erfahrungen legen eine Verringerung auf 1 %/a nahe.

Verbrauchsgebundene und sonstige Kosten wie bei konventionellen Energieanlagen treten bei der Solarenergie nicht auf. Sie benötigt keinen Brennstoff und ist nicht steuer- und versicherungspflichtig. Die vergleichsweise geringen Pumpstromkosten sind in den betriebsgebundenen Kosten enthalten, da sie nicht direkt proportional zur Solarwärme sind.

Tabelle 39: Bestimmung spezifischer Kosten

	Auslegung/Prognose	Realität	
kapitalgebundene Kosten	7.843		DM/a
betriebsgebundene Kosten	1.881	912	
Gesamtkosten	9.724	8.755	
Solarwärme	39,6	19,6	MWh/a
spezifische Kosten	246	447	DM/MWh

Die Kosten sind mit 447 DM/MWh mehr als viermal so hoch wie übliche Fernwärmemischpreise. Dies ergibt sich hauptsächlich aus dem nicht in der prognostizierten Menge eingetretenen Warmwasserverbrauch. Die Kosten nach Prognose waren etwa 50 % niedriger. Rechnet man zusätzlich noch die Förderung hinzu, halbieren sich die Kosten noch einmal und liegen dann in der Größenordnung konventioneller Energieträger.

Die Situation ist unerfreulich, stellt aber das Projekt nicht grundsätzlich in Frage. Es handelte sich um ein Modellvorhaben, das nicht vorrangig kommerziellen Zwecken, sondern der Gewinnung von Erkenntnissen und Erfahrungen zu Errichtung und Betrieb derartiger Systeme diente.

Die unakzeptable Kostensituation der Solarenergie kann nur durch große Anstrengungen in folgende Richtungen verbessert werden:

- Anlagenplanung ausgehend von tatsächlichen Verbrauchswerten
- Bevorzugung von Neubauten
- Bevorzugung von Intensivverbrauchern wie zum Beispiel Krankenhäusern
- Standardisierung der Solaranlagen
- Vereinfachung der Anlagenkonzepte und Montageprinzipien
- Verbesserung des Verhältnisses Realisierung/Akquisition
- Übergang zur automatisierten Massenfertigung
- Marktberreinigung
- Marktöffnung für Anbieter aus Niedriglohnländern
- Einführung einer Energie- oder CO₂-Steuer

4.2.8. Simulation und Optimierung

Die Anlage wurde mit dem Systemsimulationsprogramm TRNSYS nachgebildet. Ziel war die Anpassung des Modells an die Realität, die Bestimmung der Eigenschaften der Einzelkomponenten und die Parametervariation, um einzelne Verbesserungsmöglichkeiten zu prüfen. Weiterhin erfolgte ein Vergleich mit dem Programm TSOL, mit dem die Parameter bestätigt werden konnten.

Zunächst wurden die Simulationsergebnisse für den Mai 1995 an die Meßwerte angepaßt. Es sollten korrekte Monatsbilanzen und ein ähnlicher Verlauf für die einzelnen Tage des Monats berechnet werden. In Tabelle 40 sind die entsprechenden Monatswerte und in Bild 133 die Monatsverläufe der Solarwärmen dargestellt. Es konnte eine gute Anpassung erzielt werden.

Die Eigenschaften der Komponenten wurden durch geordnetes Probieren aufgefunden und stellen sich wie folgt dar:

$$\begin{array}{ll} \text{Kollektor:} & \eta_{\text{opt},0} = 0,79 ; b = 0,2 ; k_1 = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K} ; k_2 = 0,02 \text{ W/m}^2\text{K}^2 \\ \text{Speicher:} & k_{\text{psp}} = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K} \quad k_{\text{vsp}} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K} \end{array}$$

Tabelle 40: Mai-Werte in MWh/a

	Messung	Simulation	Fehler
Q_{koll}	3,67	3,62	-1,38 %
$Q_{\text{sp,ab}}$	2,6	2,53	-2,77 %
Q_{solar}	2,25	2,29	1,75 %
Q_{ww}	2,18	2,14	-1,87 %
Q_{fw}	2,15	2,14	-0,47 %

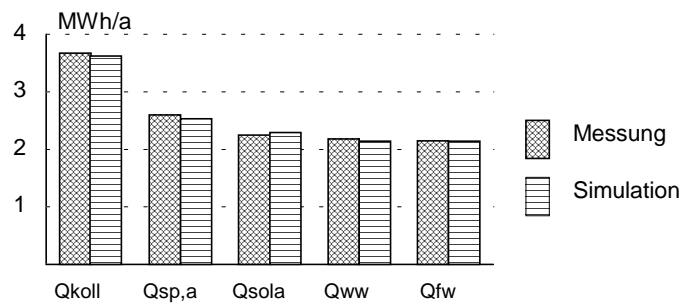


Bild 133: Solarwärme Erste Maihälfte 1995

Der Wärmeverlustkoeffizient ist etwas geringer als bei einem Test nach ISO /14/ festgestellt. Allerdings stellte sich die Temperaturabhängigkeit sehr viel ausgeprägter dar. Der optische Wirkungsgrad mußte mit 0,79 deutlich verringert werden, was sich mit dem Beschlagen und Verschmutzen einer Reihe von Abdeckscheiben begründen läßt. Dies steht auch im Kontext zu dem ausgesprochen hohen Einstrahlungswinkelkoeffizienten.

Die Eigenschaften der Wärmeübertrager mit $K = 7650 \text{ W/K}$ konnten gemäß Kapitel 4.2.5 verwendet werden. Die Simulation ergab nur eine korrekte Rechnung, wenn der Wärmeverlustkoeffizient der Speicher kleiner als in Abschnitt 4.2.3 bestimmt angesetzt wurde. Dies kann sich durch eine unregelmäßige Durchströmung der Speichergruppe ergeben. Der Wert von $1,59 \text{ W/m}^2\text{K}$ für die Vorspeicher mußte etwas nach oben korrigiert werden. Die Regelung wurde auf eine Hysterese von 5 K eingestellt.

Nachdem nun die Einzeleigenschaften bekannt waren, konnten Variationsrechnungen durchgeführt werden. Diese erfolgten mit dem Wetterdatensatz Dresden-Wahnsdorf 1954 gemäß Kapitel 2.1.

In Tabelle 41 ist die Variation der Zirkulationssituation dargestellt. Im Originalzustand ohne Nachtabschaltung und mit dem Zirkulationsrücklauf in den Bereitschaftsspeicher beträgt der Zirkulationsverlust 30 MWh und der Fernwärmeverbrauch 35 MWh im Jahr. Durch eine dreistündige Nachtabschaltung wird der Zirkulationsverlust um 3 MWh verringert. Diese Menge muß auch an Fernwärme weniger zugeführt werden.

Tabelle 41: Zirkulationsvariation (Werte in MWh/a)

Variante	Nachtabschaltung	Zirkulationsrücklauf	Zirkulationsverlust	Fernwärmeverbrauch
1	nein	Bereitschaftsspeicher	30	35
2	01.00 - 04.00	Bereitschaftsspeicher	27	32
3	nein	thermostatisch	32	33
4	01.00 - 04.00	thermostatisch	28	30

Bei unveränderter Betriebsdauer, aber thermostatischer Einbindung des Zirkulationsrücklaufs in die Vorseicher, erhöht sich die Temperatur im Bereitschaftsspeicher, womit die Zirkulationsverluste um 2 MWh ansteigen. Demgegenüber erhöht sich die Solarwärme um 4 MWh, so daß sich der Fernwärmeverbrauch zu 2 MWh geringer als beim Istzustand darstellt.

Am günstigsten ist die Kopplung beider Varianten. Der Zirkulationsverlust ist 2 MWh und der Fernwärmeverbrauch 5 MWh geringer als im Istzustand. Besonders wichtig ist die Feststellung, daß durch die thermostatische Rücklaufeinbindung stets 2 MWh Fernwärme gespart werden können. Bei einem Fernwärmemischpreis von 110 DM/MWh sind das 220 DM/a. Wird wieder eine Annuität von 8,27 % zugrundegelegt, ist die Investition bis zu einem Preis von 2660 DM sinnvoll.

Der entsprechende Umbau wurde Ende Juni 1996 realisiert und kostete 1500 DM. Die ersten Betriebserfahrungen im Juli 1996 deuten darauf hin, daß mehr Fernwärme eingespart werden kann als mit der Simulation bestimmt wurde. Daneben zeigte sich ein weiterer Vorteil des Umbaus. Es traten keine Notabschaltungen mehr auf!

In Bild 134 sind die Ergebnisse der Bedarfsvariation dargestellt. Bei Verdopplung des Bedarfs können 12 MWh Solarwärme mehr gewonnen werden. Dies ergibt sich aus dem Wegfall der Notabschaltzeiten und dem geringeren Temperaturniveau der Kollektoren, was deren Wirkungsgrad erhöht.

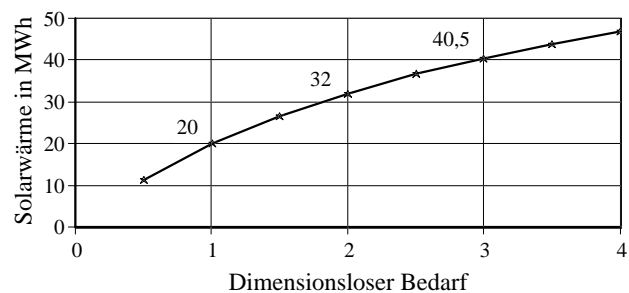


Bild 134: Verbrauchsvariation

Die Verdopplung ließe sich durch den Anschluß des Blocks 5 an die Anlage im Block 4 erzielen. Die Grenzinvestition berechnet sich nach dem gleichen Modus wie bei der Zirkulationsbetrachtung zu 13600 DM.

Durch Verdreifachung erhöht sich die Solarwärme auf 40,5 MWh/a. Dies entspricht ungefähr dem Auslegungszustand und der dazugehörigen Prognose /34/, die hiermit bestätigt wird.

Weiterhin soll die für den vorgefundenen Bedarf optimale Kollektorfläche bestimmt werden. Ausgangspunkt sind die Investitionsaufteilung gemäß Bild 132 und die Ertragskurve nach Bild 134, die auf andere Anlagengrößen umgerechnet werden. Die Investitionsbestandteile werden in einen konstanten und einen flächenabhängigen Anteil gemäß Tabelle 42 aufgeteilt.

Tabelle 42: Investitionsaufteilung

	Anteil in %		Zahlenwerte		Bmkg.
	konstant	variabel	konstant [DM]	variabel [DM/m ²]	
Kollektoren	25	75	11.600	355	
Montage	25	75	2.050	62	
Kreislauf	60	40	10.900	74	
Speicher/WÜ	40	60	5.840	89	$V_{Sp}/A_K = \text{const.}$
Regelung	100	0	1.800	0	
Inbetriebnahme	70	30	1.260	5	
Summe			33.450	585	

Auch die betriebsgebundenen Kosten lassen sich aufteilen. Geht man von einem Grundpreis von 400 DM/a aus, kommen noch flächenspezifische Kosten von 5,2 DM/m²a hinzu. Daraus lassen sich gemäß dem Algorithmus in Tabelle 37 spezifische Kosten der Solarwärme für unterschiedliche Kollektorflächen bestimmen.

Wie in Tabelle 43 und Bild 135 erkennbar wird, liegt das Optimum bei einer wesentlich geringeren Anlagengröße, etwa bei 35 m². Die Lage ist jedoch nicht genau feststellbar, da die Kurve in diesem Bereich sehr flach verläuft und die Kollektorfläche sich stark von der Fläche der vermessenen Anlage unterscheidet. Daher muß die Übertragbarkeit der energetischen und monetären Situation in Zweifel gezogen werden.

A_{Koll}	Q_{sol}	Invest.	Kosten DM/MWh	
			n. gef.	gefördert
m ²	MWh/a	DM		
25	12,48	48.075	373,7	208,8
50	16,05	62.700	376,97	209,04
75	18,58	77.325	400,42	221,47
100	20,06	91.950	440,1	242,98

Tab. 43: Optimierung der Kollektorfläche

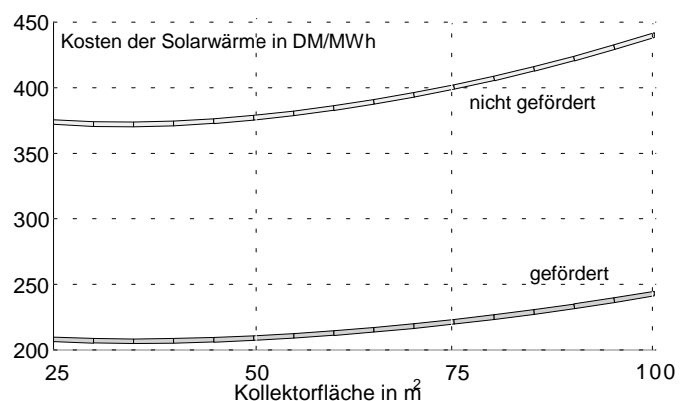


Bild 135: Optimierung der Kollektorfläche

4.2.9. Bewertung der Solaranlage

Die Grunderkenntnis besteht darin, daß die Solaranlage prinzipiell zufriedenstellend arbeitet, aber für den bestehenden Warmwasserverbrauch zu groß ist. Der geringe Verbrauch war bei der Planung der Anlage noch nicht absehbar. So ergeben sich auch in den Wintermonaten ungewöhnlich hohe solare Deckungsraten. Die Pufferspeicher können nicht zufriedenstellen. Ihre Verluste sind ungewöhnlich hoch. Die unbefriedigende Isolierung ist im wesentlichen das Ergebnis der beengten Platzverhältnisse.

Die größten Verbesserungen sind im Bereich der Zirkulation möglich. Sie kann in den Nachtstunden, vorzugsweise von 1.00 bis 4.00 Uhr, abgeschaltet werden, womit 3 MWh/a an Fernwärme, entsprechend 11 %, eingespart werden können. Sinnvoll ist auch eine zusätzliche Zirkulationsrücklaufleitung zu den Vorspeichern. Diese sollte jedoch nur dann zum Einsatz kommen, wenn die Vorspeicher heißer sind als der Bereitschaftsspeicher. Es lassen sich damit weitere 2 MWh/a einsparen. Der Umbau ist sinnvoll, wenn er für weniger als 2660 DM vorgenommen werden kann. In einem der sieben Blöcke wurde diese Maßnahme zum Ende des Meßzeitraums für einen Preis von 1500 DM realisiert.

Das Speicherbeladeregime könnte dahingehend geändert werden, daß die Pufferspeicher vollständig beladen werden können. Dafür muß zeitweilig der Volumenstrom im Speicherbeladekreis größer sein als der Volumenstrom im Kollektorkreis. Die Kosten der entsprechenden drehzahlregelbaren Pumpen übersteigen aber wahrscheinlich die zu erwartenden energetischen Verbesserungen.

Für zukünftige Anlagen dieser Art sollte man an den Einsatz von Gleichstrompumpen, die von Solarzellen mit Strom versorgt werden, denken. Es ergibt sich dann ein mit dem Strahlungseinfall ansteigender Volumenstrom. Solarzellen sind zwar sehr teuer, jedoch werden nur geringe Flächen benötigt, für die Speicherbeladepumpe maximal 2,5 m², womit sich Mehrkosten um 2000 DM ergeben. Eine einfachere Variante ist es, die Pufferspeicherbeladepumpe während der Notabschaltzeiten weiterlaufen zu lassen, um die Pufferspeicher zu durchmischen. Zu klären wäre jedoch, ob die Kollektorkreispumpe überhaupt schnell wieder anlaufen kann, oder ob es Probleme mit Dampf im Kollektor geben wird.

Es sollte darüber nachgedacht werden, ob der benachbarte und nicht mit einer Solaranlage ausgestattete Block 5 von Block 4 mit Warmwasser versorgt werden kann. Ebenso könnten B 3 mit B 2 und B 10 mit B 9 gekoppelt werden. Es lassen sich mindestens 12 MWh Solarwärme mehr im Jahr je Anlage gewinnen. Die Grenzinvestition beträgt 13600 DM. Wird diese Maßnahme realisiert, verringert sich das Temperaturniveau im Pufferspeicher so weit, daß die Solaranlage nur noch unwesentlich zur Zirkulationsdeckung beitragen kann. Die thermostatische Führung des Zirkulationsrücklaufs ist dann nicht mehr sinnvoll.

Sicherlich nur schwer zu realisieren ist eine Verbesserung der Pufferspeicherisolierung. Für eine Einzelisolierung der Speicher fehlt der Platz, zumal dann sinnvollerweise noch eine zusätzliche Gruppenisolierung vorzusehen ist. Eine denkbare Variante ist die Entfernung der jetzigen Isolierung, die Umbauung der Pufferspeichergruppe mit einer demontierbaren Gipskartonwand und das Einbringen von Schüttdämmung. Voraussetzung ist aber die leichte Entfernbarkeit der Schüttdämmung, um Wartungsmaßnahmen zu ermöglichen.

Im jetzigen Zustand sind damit nur geringe Verbesserungen erzielbar, da das übergroße Kollektorfeld die Speicherverluste zumeist nachliefern kann. Anders sieht es aus, wenn der Nachbarblock angeschlossen wird. Sollte eine Halbierung der Wärmeverluste gelingen, steigt die Solarwärme um 5 MWh. Die Grenzinvestition beträgt dann 6650 DM.

Zukünftige Anlagen sind besser mit einem einzelnen Speicher in Vorortmontage auszurüsten