

Untersuchungs-Bericht zur Energiesituation Schwimmbad Schloßborn

1.1 Aufgabenstellung

Das Schwimmbad Schloßborn wird derzeit mit elektrischer Energie beheizt, wobei die Wassertemperatur ohne den Einsatz einer Nachtabdeckung auf konst. 24 °C eingeregelt wird.

Hierfür werden etwa 200 MWh/a verbraucht, wobei ca. die dreifache Menge an Primärenergie aufgewendet werden muß, um diese elektrische Energie bereitzustellen.

Ziel dieser Untersuchung ist es, Alternativen und Einsparpotential aufzuzeigen, insbesondere den sinnvollen Einsatz von regenerativen Energien zu überprüfen.

1.2 Ergebnis Zusammenfassung

Die vom Schwimmmeister täglich gemessenen Werte von Luft- und Wassertemperatur sowie Energie- und Wasserverbrauch der letzten 3 Jahre wurden in einer Datenbank angelegt und zur Erstellung eines Simulationsmodells herangezogen. Mit diesem können verschiedene Betriebszustände simuliert sowie die Führungsgrößen der Regelstrecke verändert werden. Es ergibt sich bei Simulation der gemessenen Realität ein maximaler Fehler von 10%, d.h. Übereinstimmung von 90%.

Durch den Einsatz einer Nachtabdeckung des Beckens kann ein Großteil der Wärmeverluste vermieden werden. Die Einsparung wird mit knapp 60% ermittelt, also selbst nach Fehlerabzug "sichere" 50%. Dies geht auch aus den Berechnungen von Anbietern sowie aus der Literatur hervor.

Eine Absenkung der Wassertemperatur an kalten Tagen auf z.B. 22 °C (ähnlich Solaranlage) spart etwa 20% der Heizenergie ein, und zwar beim Betrieb mit und ohne Nachtabdeckung. Dies fällt deshalb so hoch aus, da der Wärmebedarf überproportional von der anliegenden Temperaturdifferenz Wasser-Luft abhängt.

Diese Art der Regelung wäre kostengünstig einzuführen, es ist nämlich nur vom Schwimmmeister der richtige Zielwert für die Wassertemperatur einzustellen.

Die Heizenergie kann an einem Großteil der Tage auch solar erzeugt werden, an diesen Tagen erreicht das Becken auch rasch die geforderte Temperatur von 24 °C. Die notwendige Absorberfläche beträgt etwa 500 m² bei Betrieb ohne Abdeckung und 300 m² bei Betrieb mit Abdeckung. Folgen mehrere kalte Tage hintereinander, kann die Temperatur jedoch auf etwa 20 °C absinken, was aber angesichts der geringen Besucherzahl an diesen Tagen tolerierbar sein sollte. Der Wassertemperaturverlauf im Falle Solaranlage-300 m² mit Nachtabdeckung ist harmonischer als beim Fall Solaranlage-500 m² ohne Abdeckung, weshalb diese Variante vorzuziehen ist.

Bei einer vereinfachten wirtschaftlichen Betrachtung ergeben sich für die einzelnen Varianten (Solaranlage, Nachtabdeckung) Amortisationszeiten von ca 6 - 8 Jahren, liegt also unter der Lebenserwartung der Anlagen.

Fazit: Der Einsatz einer Nachtabdeckung ist unbedingt anzustreben, um den Energiebedarf deutlich zu reduzieren.

hier Der Betrieb mit Solaranlage wird nur in Verbindung mit einer Nachtabdeckung empfohlen, da der Wassertemperaturverlauf wesentlich gleichförmiger ist als im Falle Solar ohne Abdeckung. Zudem sind die notwendigen 300 m² Absorberfläche im Bereich des Möglichen. Die erreichte Wassertemperatur fällt damit nur an einigen wenigen Tagen unter 22 °C.

wie Der Vergleich von der Beheizung mit Strom (heute) zu anderen, nicht regenerativen Energien, Gas oder Öl steht aus und soll zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt werden. Hier ist besonders zu beachten, daß bei Beheizung mit Gas o. Öl ca 1/3 CO₂ erzeugt wird als bei der Verwendung von elektr. Energie zur Beheizung, was bedeutet, selbst z.B. bei Verwendung einer

Nachtabdeckung und einem Gas-Brenner nur noch ca. 15% CO₂ im Vergleich zu heute anfallen würden !

2. Ausführliches Ergebnis, technischer Teil

Verzeichnis:

2.1 Basisdaten

2.2 Modellbildung

2.2.1 Differenz Luft- Wassertemperatur

2.2.2 Energiebilanz

2.2.3 Simulation der Ist-Situation

2.3 Simulation verschiedener Betriebsarten

2.3.1 Betrieb mit konventioneller Beheizung und Abdeckung

2.3.2 Betrieb mit Temperatur angepasster Beheizung mit/ohne Abdeckung

2.3.3 Betrieb mit solarer Beheizung ohne Abdeckung

2.3.4 Betrieb mit solarer Beheizung mit Abdeckung

2.4 Vergleich zu anderen Berechnungen (Anbieter, Literatur)

3. Ausführliches Ergebnis, wirtschaftlicher Teil

4. Literaturangabe

2.1 Basisdaten

Folgende, vom Schwimmmeister erfasste Messgrößen aus den Jahren '96, '97 und '98 wurden ausgewertet:

A) vor Schwimmbadöffnung (jeweils 15.5.):

-Füllmenge

-verheizte Energie zur Erwärmung der Wassermenge

B) täglich erfasste Werte:

- Lufttemperatur 8^{oo}, 13^{oo}, 18^{oo} (Tl8, Tl13, Tl18)

- Wassertemperatur 8^{oo}, 18^{oo} (Tw8, Tw18)

- Stromzählerstand 8^{oo} (= > Qzuel)

- Wasserzählerstand 8^{oo} (= > Mwzu)

Die Summation ergibt folgende Verbrauchssituation:

aus A):

Jahr	Stromverbrauch -Erstbefüllung [KWh]	Wasserverbrauch -Erstbefüllung [m³]
'96	23000	965
'97	14200	967
'98	9000	1011

aus B):

Jahr	Stromverbrauch während der Saison [KWh]	Wasserverbrauch während der Saison [m³]	Anzahl Heiztage / Nicht-Heiztage	Durchschnittliche Lufttemperatur * [°C]
'96	195000	1023	83 / 40	15,5
'97	155400	837	77 / 46	16,8
'98	219600	1076	94 / 30	16,0

*: durchschnittliche Lufttemperatur zwischen 15.5. und 15.9. des lfd. Jahres berechnet nach 2.xxx

Total aus A) + B):

Jahr	Stromverbrauch -total [KWh]	Wasserverbrauch -total [m³]
'96	218000	1988
'97	169600	1804
'98	228600	2087
Durchschnitt	205400	1960

Diese saisonale Energiemenge entspricht in etwa dem jährlichen Stromverbrauch von 50 Haushalten (4köpfige Kleinfamilie).

Für diesen saisonlen Schwimmbadbetrieb werden kraftwerkseitig ca. 200 Tonnen CO2 erzeugt.

2.2 Modellbildung

2.2.1 Differenz Wasser - Lufttemperatur

Der Energieverlust des Wassersbeckens ist abhängig von der Temperaturdifferenz Wasser-Luft (dT_{wTl}). Um diese Differenz quantifizieren zu können, werden folgende Annahmen getroffen (siehe auch Grafik unten):

-aus Tw8 und Tw18 wird für die durchschnittliche Wassertemperatur Tw der Mittelwert gebildet

$$Tw = (Tw8 + Tw18)/2$$

-aus Tl8, Tl13, Tl18 wird die durchschnittliche Lufttemperatur zur Öffnungszeit sowie zur Geschlossenzeit des Bades sowie die gesamt durchschnittliche Tageslufttemperatur errechnet:

$$T_{lauf} = (F2 + F3)/10$$

$$T_{lzu} = (F1 + F4)/14$$

$$Tl = (F1 + F2 + F3 + F4)/24$$

mit $F1 = Tl8(i) \times 8$

$$F2 = ((Tl13(i) - Tl8(i))/2 + Tl8(i)) \times 6$$

$$F3 = ((Tl18(i) - Tl13(i))/2 + Tl13(i)) \times 4$$

$$F4 = ((Tl18(i) - Tl8(i+1))/2 + Tl8(i+1)) \times 6$$

Der Temperaturverlauf folgt dabei dem in **Bild 1** dargestellten. Die Öffnungszeit ist von 8⁰⁰ bis 18⁰⁰ angenommen (wenn an sonnenreichen Tagen das Bad länger geöffnet ist, so hat dies auf die Modellbildung nur einen minimalen Einfluß, da an diesen Tagen der Energiebedarf ohnehin sehr klein ist).

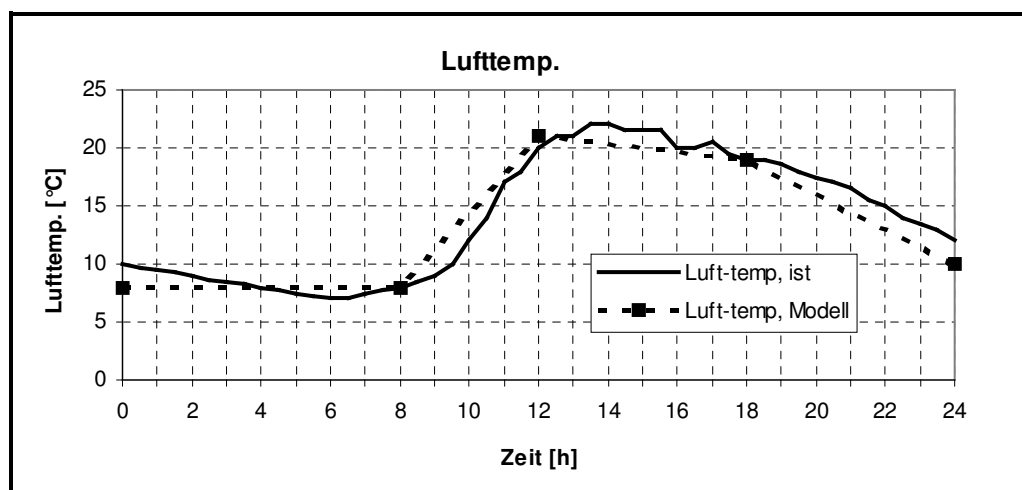


Bild 1: Lufttemperaturverlauf eines Tages, tatsächlich und angenommen

2.2.2 Energiebilanz

Der Energieinhalt des Bades bei 24°C Wassertemperatur und 1000m³ Inhalt beträgt relativ zu 0°C 27873KWh. Anschaulich bedeutet dies, es würde eine Energiemenge von 27873KWh benötigt, um 1000m³ Wasser von 0° auf 24°C zu erwärmen. Die nun folgende Modellbildung geht nun von dieser Wärmemenge zum Tag1 aus, d.h. einer Wassertemperatur von 24°C

=> $Q_{bad}(1) = 27873KWh$, $wassertemp(1)=24^{\circ}C$

Der weitere Verlauf des Energieinhaltes bzw. der Wassertemperatur ist nun allein davon abhängig, wieviel Energie zu- und abgeführt wird. Es gelte:

=> $Q_{bad}(2) = Q_{bad}(1) + Q_{zuelekt.}(1) + Q_{zusolar1}(1) + Q_{zusolar2}(2) - Q_{ab_auf}(1) - Q_{ab_zu}(1)$

dabei sind:	$Q_{zuelekt.}$	die elektrisch zugeführte Energie
	$Q_{zusolar1}$	die durch direkte Sonneneinstrahlung (ins Becken) zugeführte Energie
	$Q_{zusolar2}$	die durch einen evtl. vorhandene Solaranlage zugeführte Energie
	Q_{ab_auf}	die während der Öffnungszeit verlorene Energie (Verdunstung, Strahlung, Verluste ins Erdreich usw)
	Q_{ab_zu}	die während der Schließzeit (nachts) verlorene Energie

ist die Bilanz aus zu- und abgeführter Energie gleich, so wird das Bad den gleichen Wärmeinhalt wie am Tag zuvor und damit auch die Zieltemperatur behalten. Mit dieser Berechnungsschleife kann nun die Saison durchgerechnet werden. Dabei gibt es zum einen die Möglichkeit, mit vorgegebenem Wassertemperaturverlauf die benötigte zuzuführende Energie zu ermitteln, oder aber bei vorgegebener zugeführter Energie den sich einstellenden Wassertemperaturverlauf zu berechnen.

Die Ermittlung der einzelnen Energien:

$Q_{zuelekt.}$: entweder die gemessene Menge, oder aus dem Bedarf ergebend
 $Q_{zusolar1}$: $= (t_{l13} - 19^{\circ}) \times 70KWh/K$ als Zahlenwertgleichung, bei negativem Ergebnis wird $Q_{zusolar1}=0$ gesetzt.
 $Q_{zusolar2}$: aus Einstrahlung (für 1997 gemessen), Kollektorfläche und Wirkungsgrad berechnet
 Q_{ab_auf} : $= dTw_{TI_auf}^2 \times 21,7KWh/K^2 \times 10/24$ als Zahlenwertgleichung (10/24= geöffneter Zeitanteil), mit dTw_{TI_auf} =Differenz von Wasser- zu Lufttemperatur, berechnet aus dem Verlauf nach 2.2.1
 Q_{ab_zu} : $= dTw_{TI_zu}^2 \times 21,7KWh/K^2 \times 14/24$ wie oben, 14/24= geschlossener Zeitanteil

2.2.3 Simulation der Ist-Situation

Hier wird zuerst die Ist-Situation simuliert, um die Genauigkeit des Rechenmodelles zu überprüfen. Dies geschieht für die 3 Jahre '96, '97 und '98. In **Bild 2** der Luft- und Wassertemperaturverlauf sowie der Energieverlauf aus '97, alles die vom Bademeister aufgezeichneten Werte.

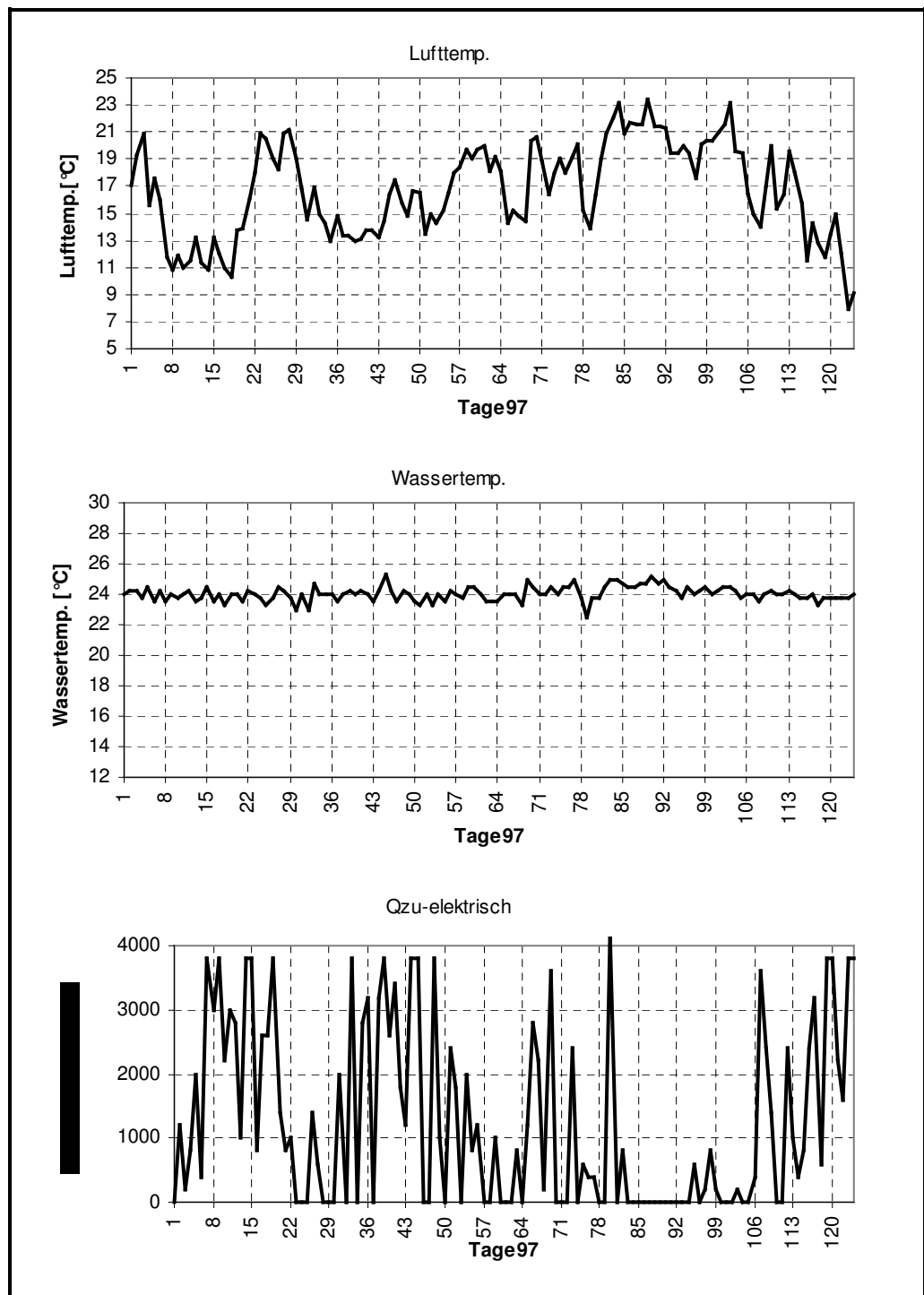


Bild 2: Lufttemp. Wassertemp. Qzuelektr. 1997, alle tatsächlich

Im Vergleich dazu zeigt **Bild 3** die simulierte Ist-Situation für '97, d.h. berechnet nach o.a. Gleichungen, ausgehend von dem tatsächlichen Temperaturverlauf wird die nötige Energie berechnet, um genau 24 °C einzustellen. Man erkennt an einigen, wenigen Tagen das Ansteigen der Wassertemperatur ohne Beheizung, hier ist die durch die direkte Sonneneinstrahlung zugeführte Energie Qzusolar1 größer als die abgeführten Verlustenergien.

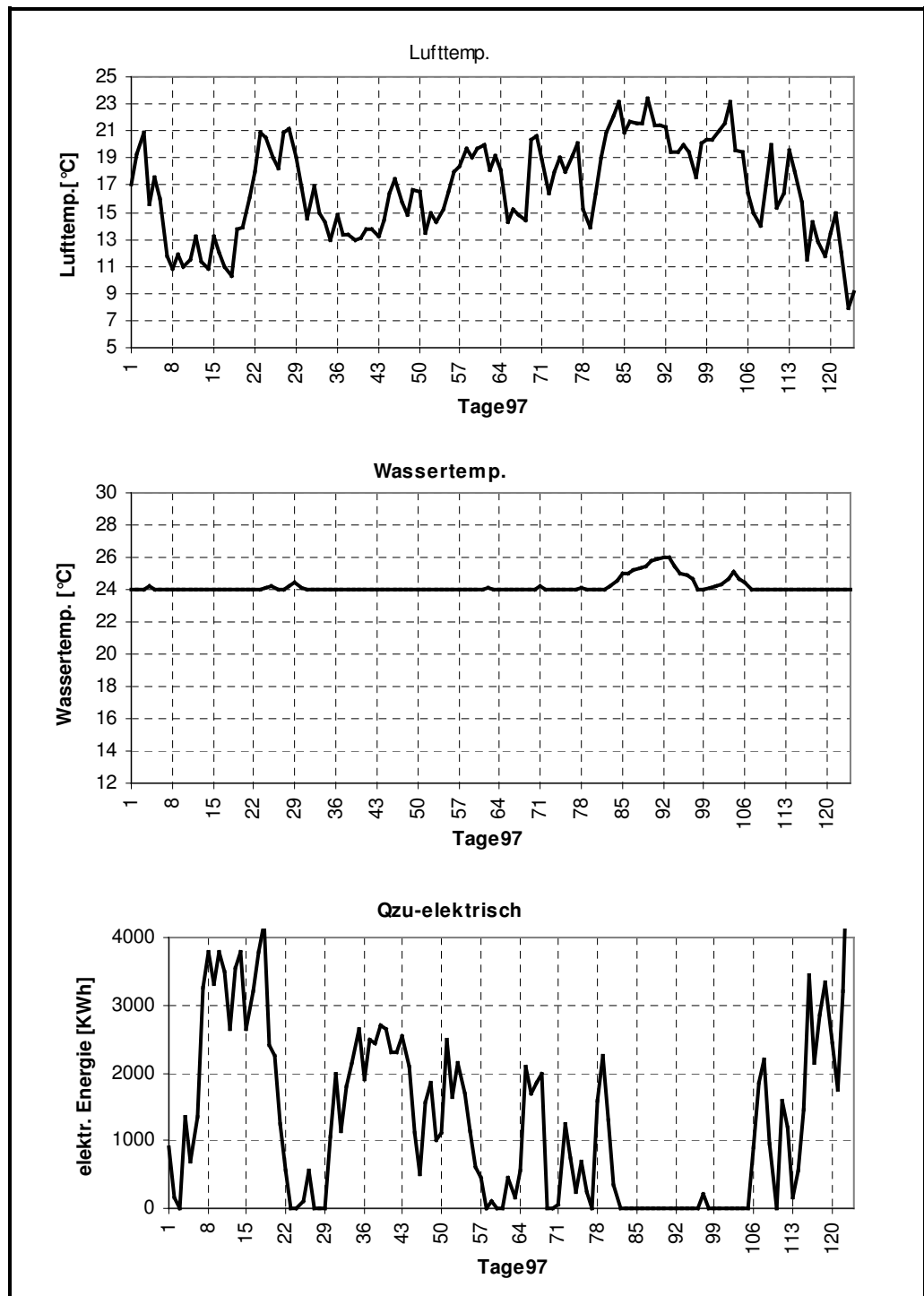


Bild 3: Lufttemp. tatsächlich, Wassertemp. und Qzuelektr. berechnet

Nun lassen sich diese Verläufe aufsummieren bzw Mittelwerte bilden. Dies, für die in den Bildern gezeigten Kurven von '97, sowie von den hier nicht gezeigten Kurven von '96 und '98 ergibt:

	tatsächliche Werte			berechnete Werte		Abweichung
	mittlere Luft-temp. [°C]	mittlere Wassertemp [°C]	Qzuelektr. gesamt [KWh]	mittlere Wassertemp [°C]	Qzuelektr. gesamt [KWh]	delta Qzuelektr in [%]
'96	15,4	24,2	195000	24,1	216450	+11
'97	16,7	24,0	155400	24,2	161400	+4
'98	15,9	24,1	219600	24,1	198550	-9

Man erkennt, daß mit der Simulationsrechnung, die ja auf einigen Annahmen beruht, eine Abweichung zur Wirklichkeit von etwa 10% erreicht wird. Dies ist ein hinreichend genaues Ergebnis, zumal die im weiteren aufgezeigten Simulationen keinen Anspruch auf 100%ige Genauigkeit benötigen, sondern vielmehr Trendausagen darstellen.

2.3 Simulation verschiedener Betriebsarten

2.3.1 Betrieb mit konventioneller Beheizung und Abdeckung

Deckt man die Wasserfläche während der Schließzeit des Bades ab, so verändert sich die Verlustwärme Q_{ab_zu} . Nach Einholen einer technischen Anfrage sowie eines Angebotes beim Hersteller bzw. Vertreiber solcher Abdeckungen, gibt dieser an, den Wärmeübergang mit einem k-Wert von $3,7W/m^2K$ zu berechnen.

Es wurde angenommen, daß ohne Abdeckung der Wärmeverlust ins Erdreich 10% des gesamten Verlustes ausmacht, d.h. der Wärmeverlust mit Abdeckung wird berechnet als 10% des vorherigen plus der Wärmeverlust durch die Abdeckung mit den vom Vertreiber angegebenen $k=3,7W/m^2K$.

$$\Rightarrow Q_{ab_zu} = (dT_{wTl_zu} \times 21,7KWh/K^2 \times 14/24 \times 10\%) + 539m^2 \times 3,7W/m^2K \times dT_{wTl_zu} \times 14Std.$$

Berechnet man mit diesen Daten den Betrieb des Bades, so verringert sich die benötigte elektr. Heizenergie $Q_{zuelektr.}$ in dem Maß, in dem sich der Wärmeverlust nachts verringert. **Bild 4** zeigt den Lufttemp.-, Wassertemp.- und $Q_{zuelektr.}$ -Verlauf für '97, simuliert für den Betrieb mit Nachtabdeckung und elektr. Beheizung.

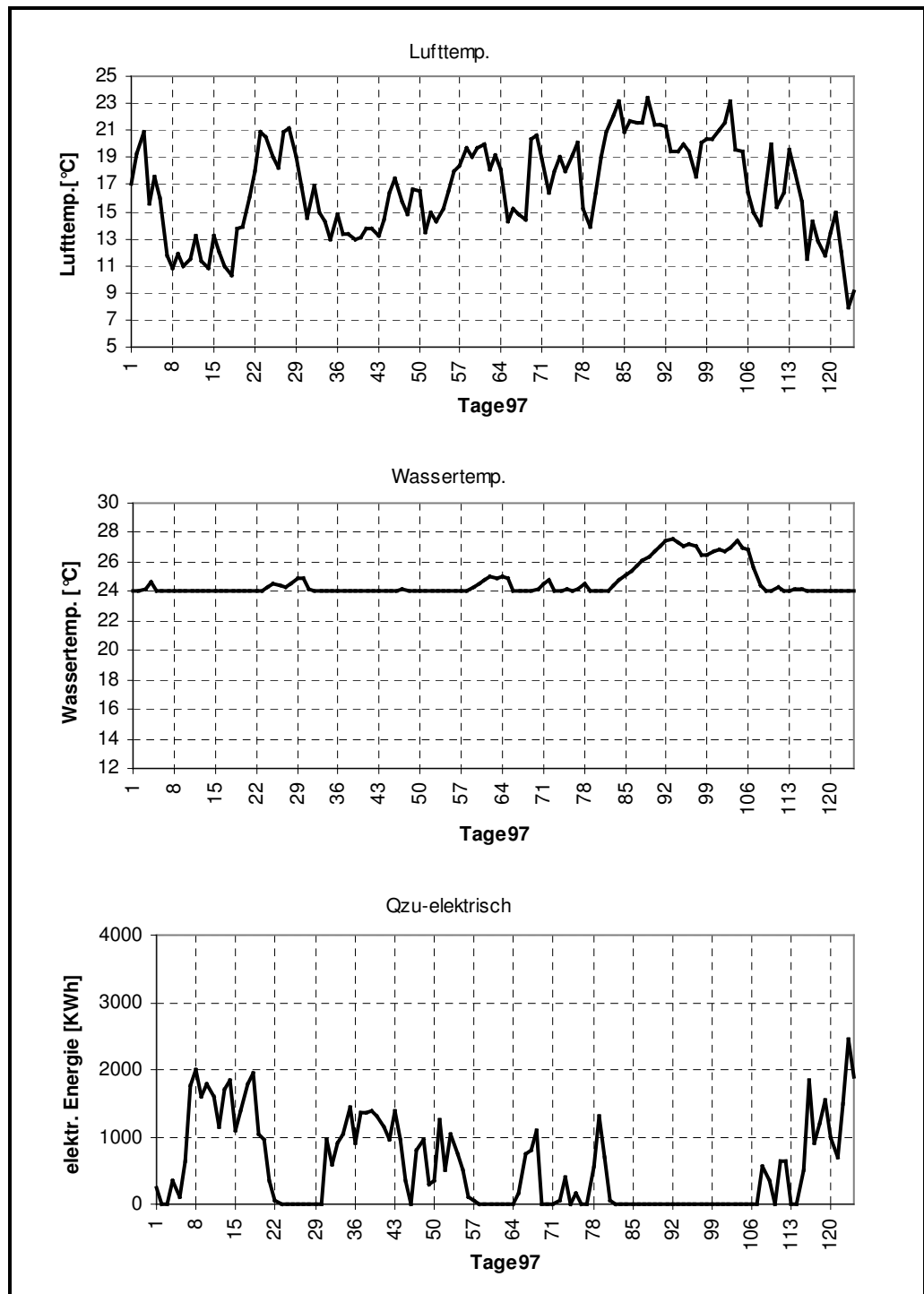


Bild 4: Lufttemp. tatsächlich, Wassertemp. und Qzuelektr. berechnet, mit Nachtdeckung

Bildet man nun wieder die Summe von Qzuelektr., sowie die Mittelwerte der Temperaturen, so ergibt sich für die Jahre '96, '97 und '98 folgender Vergleich:

	tatsächliche Werte	berechnet mit elektr. Heiz. ohne Nachtabdeckung		berechnet mit elektr. Heiz. mit Nachtabdeckung		Ersparnis
	mittlere Luft-temp. [°C]	mittlere Wassertemp [°C]	Qzuelektr. gesamt [KWh]	mittlere Wassertemp [°C]	Qzuelektr. gesamt [KWh]	delta Qzuelektr in [%]
'96	15,4	24,1	216450	24,2	92500	-57
'97	16,7	24,2	161400	24,6	67850	-58
'98	15,9	24,1	198550	24,2	86100	-57

Man erkennt, auch am Temperaturverlauf in Bild 4, daß die Tage, an denen sich das Becken auch ohne zusätzliche Heizung erwärmt, zunehmen. Es wird eine Energieersparnis von 57% errechnet.

Nimmt man den Verbrauchsmittelwert von 192.167 KWh pro Saison (vgl. 2.1) sowie den derzeitigen Strompreis von 8,3 Pf./KWh, so ergibt sich durch den Einsatz der Abdeckung eine Reduzierung der Beheizungskosten von derzeit 15.947,-DM auf 6.819,-DM, also eine Ersparnis von rund 9.128,-DM / Jahr.

2.3.2 Betrieb mit Temperatur angepasster Beheizung mit/ohne Abdeckung

Bei der Betrachtung sowohl der realen (sowie der simulierten Ist-Situation) fällt folgendes auf: Ein Großteil der Heizenergie muß an den kühlen Tagen aufgewendet werden. Dies kommt jedoch nur wenigen Besuchern zugute: Obwohl keine Besucherzahlen vorliegen, kann man doch davon ausgehen, daß es bei Lufttemperaturen von ca. 18°C nicht so viele sind. Diese wenigen Nutzer wollen an den kalten Tagen sicher nicht im Wasser herumplantschen, sondern eher einige Bahnen schwimmen. Bei sportlicher Betätigung im Wasser muß jedoch die Wassertemperatur nicht 24° betragen. Diese 24° C sind ja ein Kompromiß, der den Anforderungen eines Trainingsbeckens (eher kühler) als auch denen eines Freizeitbeckens (eher wärmer) gerecht werden muß. Da aber an den kalten Tagen die Trainingsaktivität überwiegen dürfte, kann hier die Temperatur ruhig abgesenkt werden. Außerdem wird die Wassertemperatur subjektiv zur Lufttemperatur verglichen: an einem warmen Sommertag wird 22°C-Wasser als kühl empfunden, an einem eher kühlen Frühlingstag jedoch als angenehm warm. Basierend auf der vorrangegangenen Überlegung kann nun die Wassertemperatur als Funktion der Lufttemperatur geregelt werden. Als Beispiel soll folgender Ansatz berechnet werden:

bei mittlerer Lufttemp. > 20°C wird Wassertemp. auf 24°C geregelt

bei mittlerer Lufttemp. < 10°C wird Wassertemp. auf 22°C geregelt

dazwischen wird linear geregelt, dh. bei mittlerer Lufttemp. = 15°C wird Wassertemp = 23°C

Hier wird die mittlere Lufttemperatur des jeweils letzten Tages (24h) als Führungsgröße genommen. Es wäre natürlich auch die mittlere Lufttemp. zur Öffnungszeit denkbar o.ä.

Als Beispiel das Jahr '97, im Vergleich die Heizenergie für den Betrieb mit Twasser 24°C konstant mit Twasser nach o.a. Ansatz geregelt. **Bild 5** zeigt den Verlauf von Wasser- und Lufttemperatur für ohne Nachtabdeckung (vergleiche Bild 3, simulierte Ist-Situation)

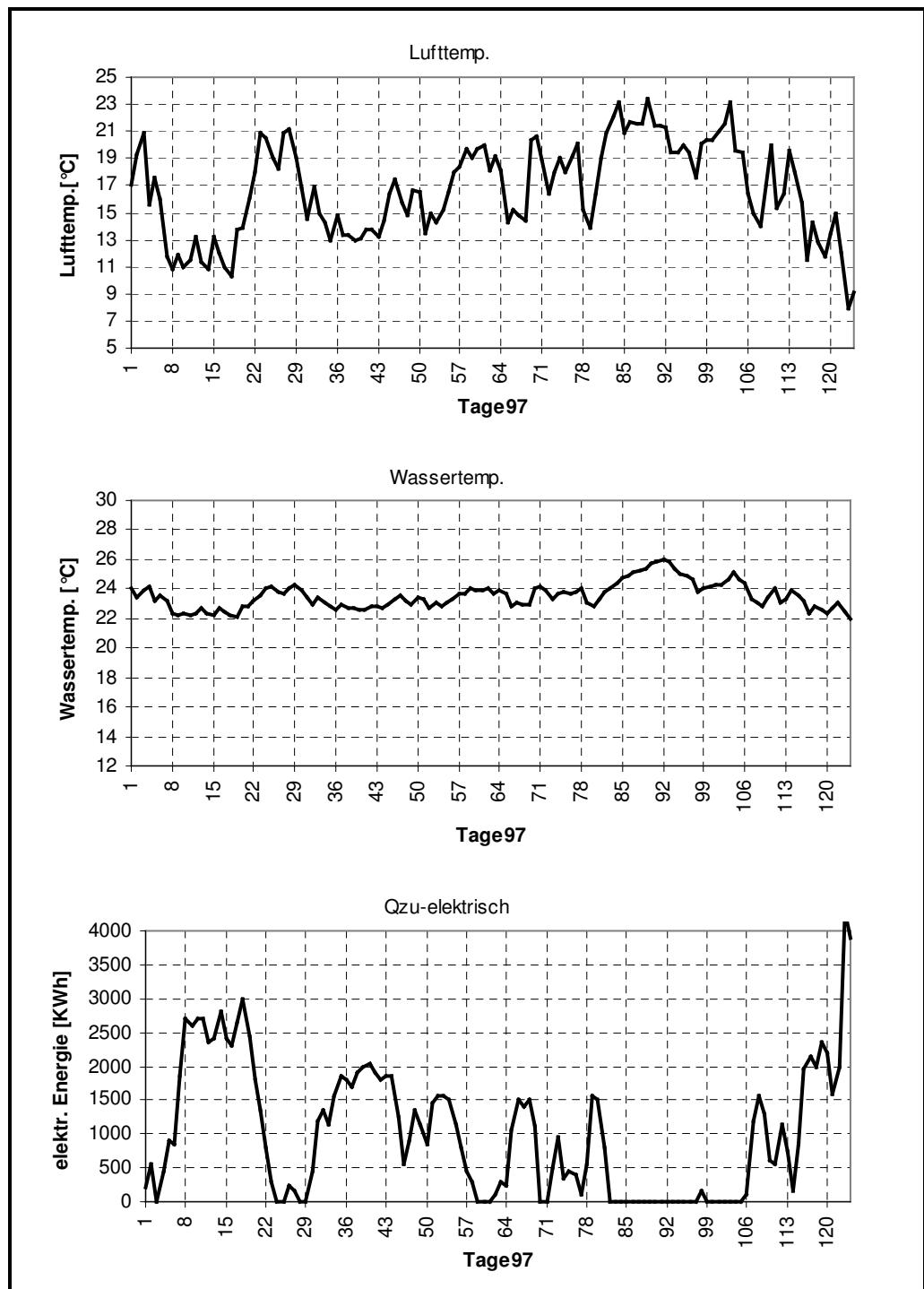


Bild 5: '97, Wasser- und Lufttemp. , zugeführte Heizenergie, elektrisch für Betrieb ohne Abdeckung, mit geregelter elektr. Beheizung

Die Tabelle zeigt die aufgewendete Energie in '97 mit/ohne Nachtabdeckung

Zieltemperatur		Qzuelekt.	mittl.	nicht	noch	optimal:
		[KWh]	Wasser-	akzeptabel:	akzeptabel:	Tw>24 °C
			temp.	Tw<23 °C	23 °C<Tw<24 °C	
			[°C]	[Tage]	[Tage]	[Tage]
ohne Abdeckung "	24 °C konst.	161400	24,2	0	1	123
	22 °C - 24 °C geregelt	124850	23,5	41	50	33
mit Abdeckung "	24 °C konst.	67850	24,6	0	1	123
	22 °C - 24 °C geregelt	50400	24,0	40	38	46

Man erkennt, daß sowohl beim Betrieb ohne als auch mit Abdeckung über 20% der aufgewendeten Heizenergie eingespart werden kann. Am Temperaturverlauf sieht man deutlich, daß das Wasser an den kalten Tagen etwas kühler gehalten wird, jedoch immer über 22 °C, an den warmen Tagen sind die gewünschten 24 °C schnell wieder eingestellt.

Die Investition für diese recht große Ersparnis ist sehr klein, es wird (falls nicht der Schwimmmeister von Hand regelt) lediglich ein frei programmierbarer Temperaturregler für die Nachheizung benötigt.

2.3.3 Betrieb mit solarer Beheizung ohne Abdeckung

Für die Simulation der solaren Beheizung werden Daten über die Einstrahlung benötigt. Die maximale Sonneneinstrahlung an einem wolkenlosen Sommertrag beträgt um die Mittagszeit in unseren Breiten etwa 1000W/m². Hiervon kann ein Schwimmbadkollektor ca. 60-80% umwandeln, da er auf einem relativ zur Umgebung sehr günstigen Temperaturniveau betrieben wird, also kaum Wärme an die Umgebung verliert. Für das Jahr '97 liegen täglich gemessene Kollektorerträge einer Brauchwassersolaranlage aus Glashütten vor, so daß mit den auf Einstrahlung zurückgerechneten Werten der Schwimmbadbetrieb simuliert werden kann. Die Summe dieser Strahlungswerte beträgt zwischen dem 15.5.97 und dem 15.9.97 ca. 415KWh/m². Mit einem 500m² grossen Schwimmbadkollektor und 65% Wirkungsgrad beträgt also die in '97 erhaltene Energie theoretisch $Q_{\text{zusolar2}} = 134.875 \text{ KWh}$. Dies liegt nur wenig unter der benötigten Heizenergie. Allerdings trägt dies noch nicht der Verteilung von Energieangebot und -nachfrage Rechnung. **Bild 6** zeigt den Verlauf der Wassertemperaturen in '97 für die Betriebsarten ohne Abdeckung, ohne elektr. Beheizung, mit 300, 400, 500 und 600m² Kollektorfläche. Hierbei wird in der Simulation die Solaranlage beim Erreichen von 28 °C Wassertemperatur abgeschaltet, um eine zu hohe Bakterienvermehrung zu vermeiden.

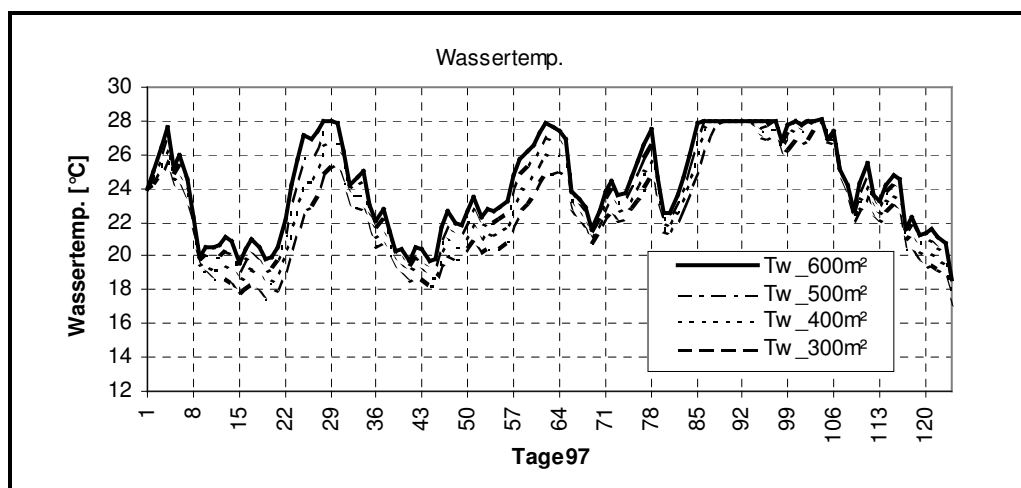


Bild 6: '97, Wassertemp. für Betrieb ohne Abdeckung, ohne elektr. Beheizung, 300, 400, 500 und 600m² Kollektorfläche

Bewertet man die Tage mit Wassertemperatur $Tw < 23^\circ\text{C}$ als nicht akzeptabel, $23^\circ\text{C} < Tw < 24^\circ\text{C}$ als noch akzeptabel und die Tage mit $Tw > 24^\circ\text{C}$ als optimal, so ergibt sich abhängig von der Kollektorfläche folgende Verteilung:

Kollektor- fläche [m²]	Qzusolar2 [KWh]	mittl. Wasser- temp. [°C]	nicht akzeptabel: $Tw < 23^\circ\text{C}$ [Tage]	noch akzeptabel: $23^\circ\text{C} < Tw < 24^\circ\text{C}$ [Tage]	optimal: $Tw > 24^\circ\text{C}$ [Tage]
300	82961	22,6	72	17	39
400	107506	23,3	59	21	48
500	130133	23,9	51	16	61
600	151059	24,4	43	20	65

2.3.4 Betrieb mit solarer Beheizung und mit Abdeckung

Hier werden die Fälle "Abdeckung" und "solare Beheizung" miteinander kombiniert. Der geringere Heizbedarf durch die Nachtisolierung kann nun mit einer entsprechend kleineren Kollektorfläche erzeugt werden. In **Bild 7** werden die sich ergebenden Wassertemperaturverläufe dargestellt. Man erkennt, daß nun die Schwankungen zwischen minimaler und maximaler Wassertemperatur kleiner werden als beim Fall ohne Abdeckung 2.3.3. Dies liegt daran, daß ohne Abdeckung die Solaranlage entsprechend groß dimensioniert werden muß, um an kalten Tagen nicht zu stark abzusinken, dies führt aber zu einem zu großen Energieertrag der Anlage an warmen Tagen. Mit kleiner werdendem Energiebedarf (mit Abdeckung) wird das Gesamtsystem weniger "wetterfähig".

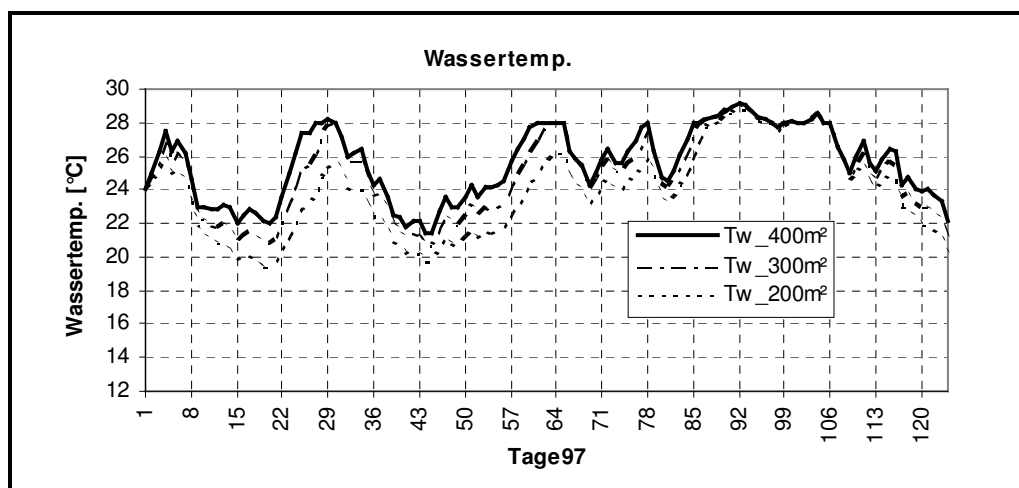


Bild 7: '97, Wassertemp. für Betrieb mit Abdeckung, ohne elektr. Beheizung, 200, 300 und 400m² Kollektorfläche

In der Tabelle wieder dargestellt die Energieerträge sowie die Bewertung der Tagzahlen. Als ausreichender Kompromiß wird die Anlage mit 300m² angesehen.

Kollektor- fläche [m ²]	Qzusolar2 [KWh]	mittl. Wasser- temp. [°C]	nicht akzeptabel: Tw<23 °C [Tage]	noch akzeptabel: 23 °C<Tw<24 °C [Tage]	optimal: Tw>24 °C [Tage]
200	46322	23,9	47	14	63
300	66498	24,9	35	11	78
400	81086	25,6	23	10	91

2.4 Vergleich zu anderen Berechnungen (Anbieter, Literatur)

Es wurden 2 Angebote eingeholt, eins von einem Abdeckungsvertrieber (siehe Königstein), eins von einem Kollektorvertrieber. Beide nahmen eine Berechnung vor, welche rein auf den Angaben Ort, Abmessungen des Beckens sowie der Zieltemperatur beruhen. Sie sind dem Anhang beigelegt.

Zur Berechnung Abdeckung:

Der Anbieter gibt einen Wärmedurchgangswert von $k=3,7\text{W/m}^2\text{K}$ an, mit welchem wir auch gerechnet haben unter Einbeziehung der Originaldaten (2.3.1). Er selbst rechnet mit mittleren Wetterdaten nach der DIN4710. Allerdings verrechnet er sich mehrmals: In Teil1 ermittelt er einen Wärmebedarf ohne Abdeckung von rund 450.000KWh, und mit Abdeckung eine Ersparnis von 216.000KWh, also etwa 47%. Hierauf basiert auch seine Rentabilitätsbetrachtung mit einer Amortisationszeit von 3,24Jahren. Der Fehler: die solare Einstrahlung in das Becken, die ja als Energiegewinn in die Bilanz eingeht, ist nicht berücksichtigt. Im Teil.2 gibt es ein Balkendiagramm, welches unter Berücksichtigung der solaren Gewinne auf 247.700 KWh ohne Abdeckung kommt. Dies ist schon realistischer. Beim Betrieb mit Abdeckung werden jedoch nur etwa 4.800KWh benötigt, eine Einsparung von 98%. Hier wird der Fehler gemacht, das Energieangebot (solare Einstrahlung an warmen Tagen) mit der Energienachfrage (Heizbedarf an kalten Tagen) in Deckung zu bringen, da einfach die Einzelposten über die gesamte Saison summiert werden und dann zum Schluß die Bilanz zwischen zu- und abgeführter Energie gezogen wird. Richtiger wäre es, dies tagweise zu tun, dann kommt nämlich heraus, daß speziell beim Betrieb mit Abdeckung auch ohne Nachheizung eine positive Bilanz entsteht und das Überangebot an Einstrahlung einfach verfällt.

Gleichwohl kann eine Einsparung von 50% als realistisch angesehen werden.

Zur Berechnung Kollektor:

Der Anbieter hat zwei Fälle betrachtet:

a) ohne Abdeckung, mit 400m² Absorberfläche

Er kommt auf einen solaren Energiegewinn der Anlage von 156.200 KWh, dies entspricht 390KWh/m². Die Wassertemperatur sackt nur einmal unter 18°C, bleibt sonst immer oberhalb 20°C und häufig über 24°C.

b) mit Abdeckung, mit 200m² Absorberfläche

Hier wird ein solarer Gewinn von 68.046 KWh angegeben, entspricht 340KWh/m². Die Temperatur verläuft deutlich harmonischer und generell etwas höher als bei a).

Der prinzipielle Verlauf deckt sich recht gut mit unserem Rechenmodell. Die absoluten Zahlen sind bei uns allerdings deutlich kleiner (107.500KWh bei 400m² ohne Abdeck. und 46.300KWh bei 200m² mit). Das liegt daran, daß wir mit der Umrechnung der in '97 gemessenen Strahlungswerte vorsichtiger waren: für '97 wurde eine Einstrahlung von 415KWh/m² von 15.5.-15.9 eingesetzt, der Kollektoranbieter rechnet hier mit 685KWh/m². Die Einsparung durch den Einsatz der Abdeckung deckt sich in etwa mit unseren Berechnungen/Messungen, nämlich etwa 58%.

Die Verluste ans Erdreich werden von beiden Anbietern mit kleiner 10% gerechnet, bei uns mit 10%.

Der Vergleich zur Literatur [1], [2] ergibt folgende Faustregeln bzw "Hausnummern":

- Ertrag einer Schwimmbadsolaranlage 250KWh/m² und Saison
- bei gleicher Kollektorfläche ist beim Betrieb mit Nachtabdeckung die Wassertemperatur etwa 3°C höher als beim Betrieb ohne
- Kollektorfläche soll etwa 50-70% der Beckenoberfläche betragen (mit/ohne Abdeck.)
- Erstellkosten Solaranlage etwa 150DM/m²
- Kollektorstufigungsgrad etwa 50%

All diese Werte decken sich gut mit unserem Rechenmodell bzw. den damit erzielten Ergebnissen. Nur beim Kollektorstufigungsgrad rechnen wir mit 65%, da wir einen Teil der diffusen Strahlung bereits weggelassen haben (vgl. eingestrahlt Energie, oben). Der Gesamtertrag beträgt bei uns ebenfalls etwa 250KWh/m² und Saison, kann also so falsch nicht sein.

3. Ausführliches Ergebnis, wirtschaftlicher Teil

Es wird folgende vereinfachte Betrachtung durchgeführt:

- ohne Zinseinrechnung des eingesetzten Kapitals
- keine Verteuerung des derzeitigen Energiepreises
- keine Wartung oder Austausch der heute verwendeten Einrichtung

Fall1: Einsatz einer Nachtabdeckung, weiterhin elektr. beheizt (vgl. 2.3.1)

- geschätzte Erstellkosten ca. 70.000,-DM lt. vorläufigem Angebot
- Energieeinsparung = 109.983 Kwh/a x 0,083DM/KWh = 9.128 DM/a (Mittelwert aus den Jahren '96, '97, '98,)

Amortisationszeitraum: 70.000,-DM / 9.128DM/a = 7,7 Jahre

Fall2 : entspricht Fall1, jedoch zusätzlich mit vorgeschlagener Temperaturanpassung (vgl. 2.3.2)

- geschätzte Erstellkosten ca. 70.000,-DM lt. vorläufigem Angebot
- Energieeinsparung = 130.683 Kwh/a x 0,083DM/KWh = 10.847 DM/a (Mittelwert aus den Jahren '96, '97, '98,)

Amortisationszeitraum: 70.000DM / 10.847DM/a = 6,5 Jahre

Fall3: Einsatz einer Solaranlage, Absorberfläche 500m² , nicht mehr elektr. beheizt (vgl. 2.3.3)

- geschätzte Erstellkosten ca 100.000,-DM lt. vorläufigem Angebot

- Energieeinsparung = $192.133 \text{ Kwh/a} \times 0,083 \text{ DM/KWh} = 15.947,- \text{ DM/a}$ (Mittelwert aus den Jahren '96, '97, '98,)
Amortisationszeitraum: $100.000 \text{ DM} / 15.947 \text{ DM/a} = 6,3 \text{ Jahre}$

Fall4: Einsatz einer Solaranlage, Absorberfläche 300 m^2 und einer Nachtabdeckung, nicht mehr elektr. beheizt (vgl. 2.3.4)

- geschätzte Erstellkosten ca 130.000 DM ($60.000 \text{ Solaranl.,} + 70.000 \text{ Abdeck.}$) lt. vorläufigen Angeboten
- Energieeinsparung = $192.133 \text{ Kwh/a} \times 0,083 \text{ DM/KWh} = 15.947,- \text{ DM/a}$ (Mittelwert aus den Jahren '96, '97, '98,)
Amortisationszeitraum: $130.000 \text{ DM} / 15.947,- \text{ DM/a} = 8,2 \text{ Jahre}$

Die Lebensdauer von EPDM-Solaranlagenabsorbern liegt bei $>15 \text{ a}$. Über die Lebensdauer der angebotenen Abdeckung ist noch nichts bekannt, es werden hier noch Erfahrungswerte eingeholt werden.

4. Literaturangabe:

[1]: Solaranlagen-Planung, Dipl.-Phys. Heinz Ladener, '92

[2]: Erfahrungen mit Solaranlagen zur Schimmbadwassererwärmung in öffentlichen Bädern, ZfS (Zentralstelle für Solartechnik), '93, vom Bundesministerium gefördertes Forschungsprojekt