



Jahresbericht 1998, z.Hd. des Bundesamtes für Energie

Projekt Nr. 27006

SERSO, Sonnenenergierückgewinnung aus Strassenoberflächen, Messkampagne und Simulation des saisonalen Erdspeichers

Zusammenfassung:
In den Jahren 1991 bis 1994 hat das Tiefbauamt des Kantons Bern in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Strassenbau an einer Brücke der Nationalstrasse N8 bei Därligen ein Projekt realisiert. Dabei wird die im Sommer dem Brückenbelag entzogene Solarwärme in einem Felsspeicher zwischengelagert und im Winter zur Eisfreihaltung dieser Brücke wieder verwendet. In der anschliessenden Messkampagne (1994 - 1997) konnte die Funktionalität der Anlage aufgezeigt werden.
Im Februar 1998 wurde die Anlage von der Berner Fachhochschule, Hochschule für Technik und Architektur (HTA) Burgdorf, Abteilung Energietechnik übernommen, mit der Aufgabe, den einwandfreien Betrieb der Anlage sicherzustellen und die Messkampagne zwecks Langzeitauswertung weiterzuführen.
Die ausgewiesenen Energiebilanzen und Kennzahlen der Entlade- und Ladephase 1997/98 bestätigen die Tendenz der Vorjahre: Die Anlage kann dank laufenden Optimierungen immer effizienter, d.h. mit immer geringerem Stromaufwand betrieben werden. Zusätzliches Optimierungspotential steckt in der saisonalen Speicherbewirtschaftung. Dieses soll im Betriebsjahr 1999 untersucht werden.

Berichterstatter: Markus Sommer
e-mail: markus.sommer@isburg.ch

Institut: Berner Fachhochschule
HTA Burgdorf
Abteilung Energietechnik
3400 Burgdorf
Tel. 034 426 43 71

Internet: <http://www.isburg.ch>

1 Einleitung / Projektziele

Die Idee SERSO

Im Sommer heizen sich die Strassenbeläge in unseren Breitengraden durch die Sonneneinstrahlung z.T. auf über 60°C auf. Die Grundidee von SERSO ist es, diese anfallende Wärme zu sammeln, zwischenzuspeichern und im Winter wieder zu nutzen.

In den Jahren 1991 bis 1994 hat das Tiefbauamt des Kantons Bern in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Strassenbau an einer Brücke der Nationalstrasse N8 bei Därligen ein Projekt realisiert. Dabei wird die im Sommer dem Brückenbelag entzogene Wärme in einem Felsspeicher zwischengelagert und im Winter zur Eisfreihaltung dieser Brücke wieder verwendet.

Details über die zugrundeliegende Idee, über die Funktionsweise und über den Bau der Anlage sind im technischen Bericht *SERSO - Pilotprojekt zur Sonnenenergieückgewinnung aus Strassenoberflächen (Tiefbauamt Kt. Bern, 1994)* zu finden. Die Idee „SERSO“ wurde 1988 von W.Hess, Polydynamics LTD. Zürich, patentiert.

Welche Zielsetzungen hat SERSO?

Aus energietechnischer Sicht interessiert die Frage, wie sich thermische Sonnenenergie aus Strassenbelägen gewinnen, im Untergrund speichern und im Winter wieder nutzen lässt (saisonale Speicherung).

Neben bautechnischen Fragen wie z.B. das Langzeitverhalten von Strassenbelägen mit eingebauten Rohrregistern, wird der praktische Nutzen konkret aufgezeigt. Die Unfallgefährdung auf der Autobahnbrücke soll reduziert werden, indem der Fahrbahn bei Glatteisgefahr Wärmeenergie aus dem Felsspeicher zugeführt wird.

Projektstand SERSO

SERSO wurde in den Jahren 1991 bis 1994 unter der Federführung der Firma Polydynamics LTD. Zürich realisiert. Aus der anschliessenden, ausführlichen Messkampagne - sie dauerte bis Ende 1997 - gingen alle relevanten Bilanzen, Kennzahlen und Wirkungsgrade der Anlage hervor. Die Funktionalität konnte aufgezeigt werden.

Im Februar 1998 wurde die Anlage von der Berner Fachhochschule, Hochschule für Technik und Architektur (HTA) Burgdorf, Abteilung Energietechnik übernommen.

Die Aufgabe ist es nun, den einwandfreien Anlagebetrieb sicherzustellen und die Messkampagne weiterzuführen, mit dem Ziel, langfristige Auswertungen und Interpretationen zu ermöglichen. Auch soll die Anlage weiter optimiert und ein Simulations-Modell erstellt werden.

Womit befasst sich der vorliegende Jahresbericht?

Im vorliegenden Bericht sind im wesentlichen die Messergebnisse vom Oktober 1997 bis September 1998 (also je eine Entlade- und Ladeperiode) zusammengefasst. Zusätzlich werden die wichtigsten Grössen und Kennzahlen mit den vorangegangenen Jahren verglichen.

Die ausführlichen Messresultate der Betriebsjahre 1994 bis 1997 sind in den Halbjahresberichten (J.W.Eugster 1994 - 1997) zu finden.

2 Durchgeführte Arbeiten

Die Anlage wurde im Februar 1998 der Berner Fachhochschule, HTA Burgdorf übergeben.

In der Folge hat sich der Projektleiter in die Anlage eingearbeitet. Vor Ort wurde die Hydraulik mit allen Anlagekomponenten studiert. Verschiedene Betriebs- und Schaltungszustände wurden eingestellt und so das Verhalten der Anlage durchgespielt.

Die Parameter der Anlagesteuerung und -regelung sind nachvollzogen worden. Ebenso alle Verknüpfungen und Abhängigkeiten.

Die Datenübertragung via Modem ist nach Burgdorf an die HTA umgeleitet worden. Von allen Grössen der Messdatenerfassung wurde eine Plausibilitätskontrolle durchgeführt, auch von allen Formeln und Umrechnungen. Die Sicherung und Archivierung der Messdaten wurde eingerichtet, so dass ein Zugriff auf alle Messdaten jederzeit lückenlos und schnell möglich ist.

3 Resultate

Nachfolgend sind die wesentlichen Messergebnisse und Kennzahlen des Betriebsjahres 1997 / 98 (1. Okt. 1997 bis 30. Sept. 1998) dargestellt. Um einen Langzeitvergleich machen zu können, werden die wichtigsten Grössen aus den Jahren 1994 bis 1997 ebenfalls aufgeführt.

3.1 Energiebilanzen / Anlagebetrieb

In der folgenden Energiebilanz werden die gesamten in den Felsspeicher eingelagerten resp. aus dem Speicher bezogenen Wärmemengen pro Halbjahr (Lade- oder Entladeperiode) dargestellt:

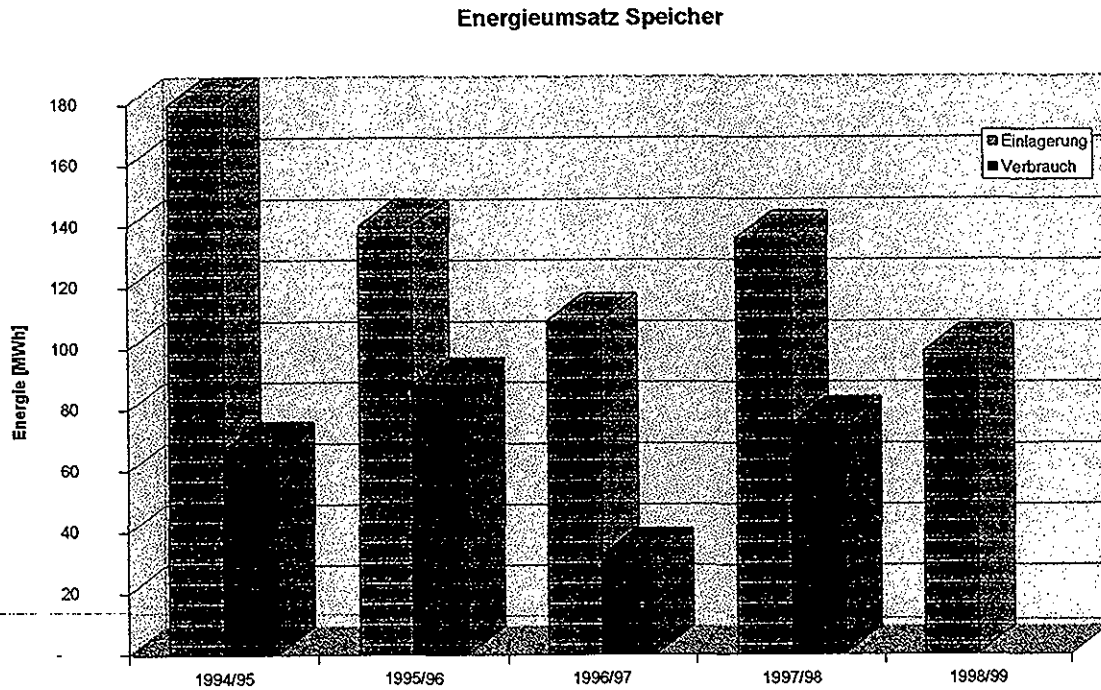


Bild 1: Energieumsatz Speicher 1994 - 1998

Die Bilanz zeigt deutlich, dass in der Ladeperiode jeweils mehr Wärme eingespeichert wird, als dann in der anschliessenden Entladeperiode wieder bezogen wird. Die grösste Energiemenge konnte während der ersten Ladeperiode eingespeichert werden, weil die Anlage einen noch kalten Felsspeicher aufladen konnte. Im Sommer 1998 wurde die kleinste Wärmemenge eingelagert, dies unter anderem als Folge der geringen Sonneneinstrahlung während dieser Zeit. Die Meteomessung vor Ort ergab eine Strahlungssumme, die rund 20% unter dem Durchschnitt der Vorjahre lag.

Die leicht sinkende Tendenz der eingelagerten Wärmemengen im Sommer ist eine Folge der laufenden Anlageoptimierung, die vorsieht nicht möglichst viel Energie einzulagern, sondern nur soviel wie nötig ist, um eine ausgeglichene Speicherbilanz zu erreichen (siehe Kap. 3.3)

Für die Entlade- und Ladeperiode 97/98 sind die Monatssummen der verbrauchten und eingelagerten Wärmemengen in der folgenden Grafik dargestellt:

Energieumsatz Speicher

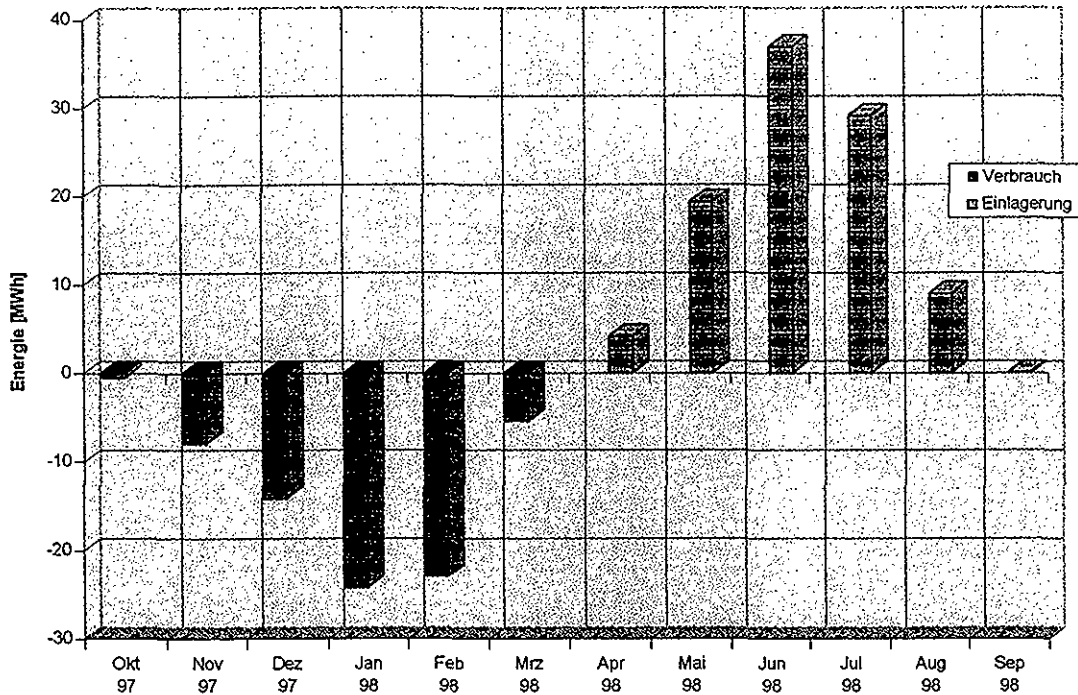


Bild 2: Energieumsatz Speicher 1997/98 Monatssummen

Aus der Monatsbilanz geht hervor, dass allein in den Monaten Januar und Februar rund 2/3 der gesamten Wärme bezogen wurde. Der Dezember weist einen Anteil von rund 20% auf. Die Monate Oktober, November und März waren milde Wintermonate, was sich im Verbrauch widerspiegelt. Auch die Einlagerung im Sommer konzentrierte sich im wesentlichen auf drei Monate (Mai-20%, Juni-37% und Juli 29%).

Wie sich die laufende Verbesserung des Anlagebetriebes der letzten vier Jahre auf die Betriebszeiten auswirkt, zeigt das nachfolgende Diagramm:

Laufzeiten der Anlage

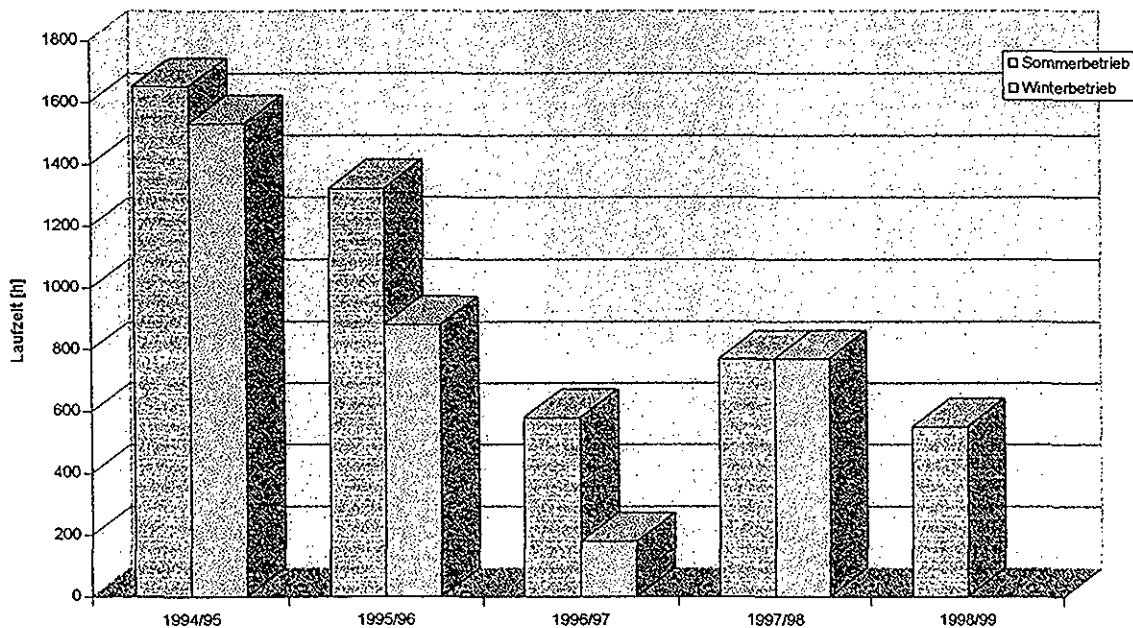


Bild 3: Betriebszeiten der Anlage 1994 - 1998

Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass die Betriebszeit der Anlage im Sommer um mehr als 50% reduziert werden konnte. Der Ertrag ist jedoch nur um runde 25% gesunken (vgl. Grafik „Energieumsatz Speicher“).

Durch die Verkürzung der Betriebszeiten sinkt auch der Stromverbrauch für den Pumpenbetrieb:

	Sommerbetrieb [kWh]	Winterbetrieb [kWh]
1994/95	7'850	7'150
1995/96	6'500	4'450
1996/97	2'950	930
1997/98	4'250	3'900
1998/99	2'800	
Durchschnitt	4'870	4'100

Tabelle 1: Stromverbrauch für den Pumpenbetrieb

Die Tabelle enthält nur den Verbrauch der Umwälzpumpen, d.h. der Anteil für Hilfsbetriebe, für Steuerung und Regelung sowie für die Beheizung und Entfeuchtung des Betriebsgebäudes ist nicht enthalten.

3.2 Kennzahlen Strassenregister

Der Strassenbelag mit dem eingebauten Register funktioniert im Prinzip wie ein Sonnenkollektor. Eines der Ziele, die mit laufender Anlageoptimierung verfolgt wird, ist das Erreichen einer möglichst hohen durchschnittlichen Registerleistung. Dies würde bedeuten, dass für die nötige Wärmespeicherung im Sommer die Anlage immer wie weniger lange in Betrieb wäre und somit der Stromverbrauch minimiert würde. Eine weitere Folge der Anlageoptimierung ist das Begrenzen der Belagstemperatur im Sommer, was den Fahrbahnverschleiss positiv beeinflusst. Im untenstehenden Diagramm sind die mittleren Leistungen der Lade- und Entladephasen dargestellt. Sie berechnen sich wie folgt:

$$P_{\text{med}} = W / t_p$$

W: Eingespeiste oder entzogene Wärmeenergie
(vor dem Speicher gemessen)

t_p: Laufzeit der Speicherpumpen

Mittlere Leistungen Belagsregister

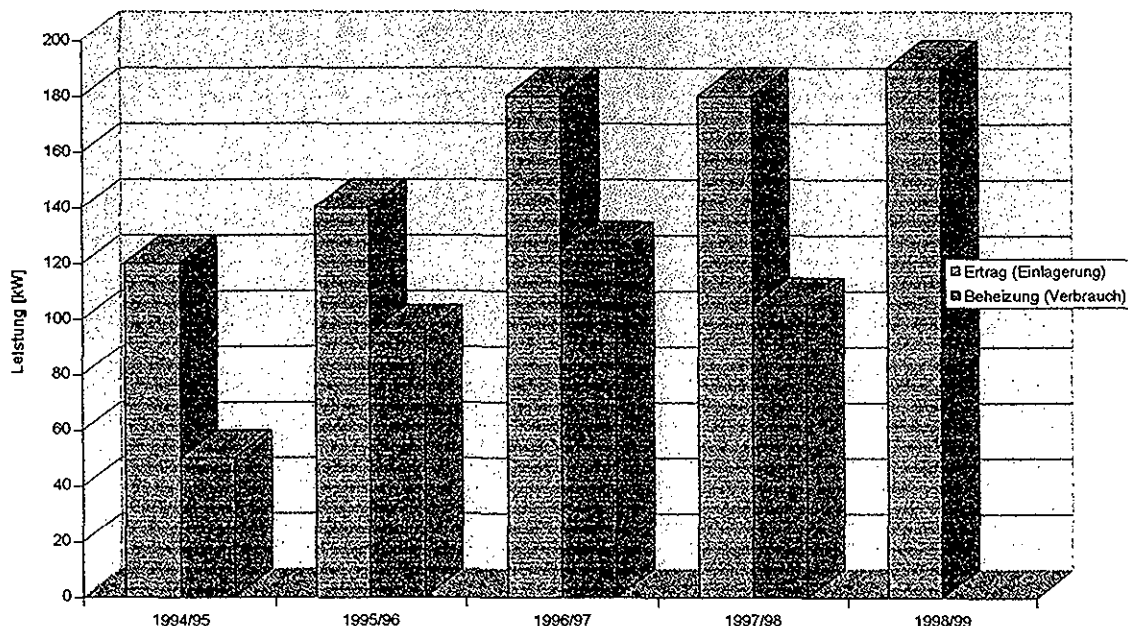


Bild 4: Mittlere Leistungen des Belagsregisters 1994 - 1998

Deutlich zu erkennen ist die steigende Tendenz der mittleren Lade- und Entladeleistungen, bedingt durch die laufende Anlageoptimierung.

Die maximale Wärmeentzugsleistung (1/4 Std.-Mittelwert) des Belagsregisters beträgt für den Sommer 1998 $P_{th} = 566 \text{ kW}$. Im Vergleich mit den vorjährigen Ladephasen ($P_{th} = 350 \text{ bis } 705 \text{ kW}$) liegt dieser Wert rund 20% über dem Durchschnitt. Dieser Maximalwert ist im wesentlichen von der Witterung abhängig und kann nicht beeinflusst werden.

Die maximale Wärmeleistung des Registers im Heizbetrieb betrug im Winter 97/98 $P_{th\text{Heiz}} = 257 \text{ kW}$, was dem durchschnittlichen Spitzenwert der Vorjahre entspricht.

Bezogen auf die Belagsfläche resultieren die mittleren spezifischen Leistungen für den Wärmeentzug von $p_{th} = 425 \text{ W/m}^2$ resp. für den Heizbetrieb im Winter von $p_{th\text{Heiz}} = 193 \text{ W/m}^2$.

Der mittlere spezifische Belagsertrag beträgt für das Betriebsjahr 97/98 $q_{Koll} = 78 \text{ kWh/m}^2$ und entspricht rund dem Ertrag eines unverglasten Sonnenkollektors. Im Vergleich mit den Vorjahren 1994 bis 1997 liegt dieser Wert deutlich unter dem Durchschnitt von 109 kWh/m^2 . Die gemessene eingestrahlte Sonnenenergie auf die Strassenoberfläche ist jedoch auch um rund 20% tiefer gewesen als in den Jahren zuvor.

Die Belags- oder Kollektoreffizienz ist das Verhältnis von gewonnener Energie aus dem Strassenregister zur eingestrahlten Sonnenenergie. Dabei wird unterschieden zwischen der Gesamteffizienz, die die Einstrahlung während der ganzen Sommerperiode berücksichtigt und derjenigen, die nur die Betriebszeit betrachtet:

Belags- oder Kollektoreffizienz

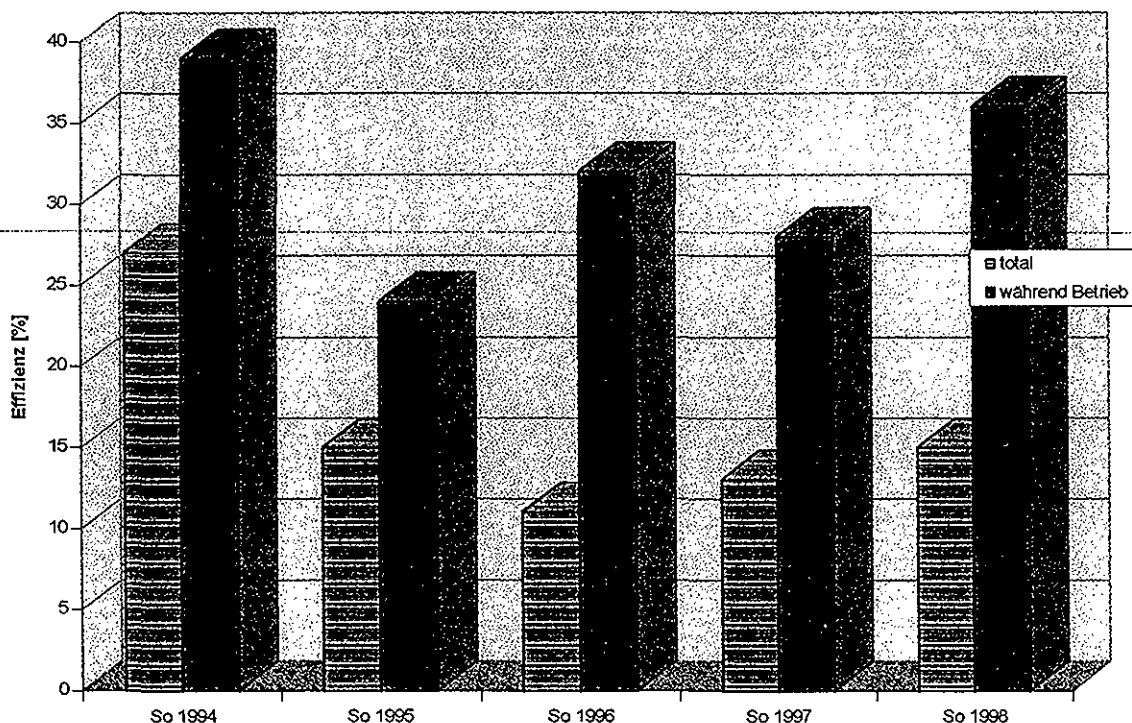


Bild 5: Belags- oder Kollektoreffizienz der Ladephasen 1994 - 1998

Abgesehen von der ersten Ladeperiode 1994 bei der der Speicher eine tiefere Ausgangstemperatur hatte als in den darauffolgenden Jahren, weist auch die Belagseffizienz eine steigende Tendenz auf. Die Belagseffizienz kann nicht direkt beeinflusst werden und spielt somit für die Anlageoptimierung eine untergeordnete Rolle. Sie dient jedoch als Vergleich mit anderen Solaranlagen und gibt Hinweise auf die Dimensionierung weiterer Anlagen.

3.3 Kennzahlen Felsspeicher

Die nachfolgende Grafik zeigt den Verlauf der Speichertemperatur über die Entlade- und Ladephase 97/98. Dargestellt ist je eine Sonde im Zentrum (M9), am Rand (M8) und ausserhalb (M10) des zylinderförmigen Felsspeichers. Pro Sonde sind jeweils die Fühler in den Tiefen 15m, 32m und 50m zu Tagesmittelwerten zusammengefasst worden:

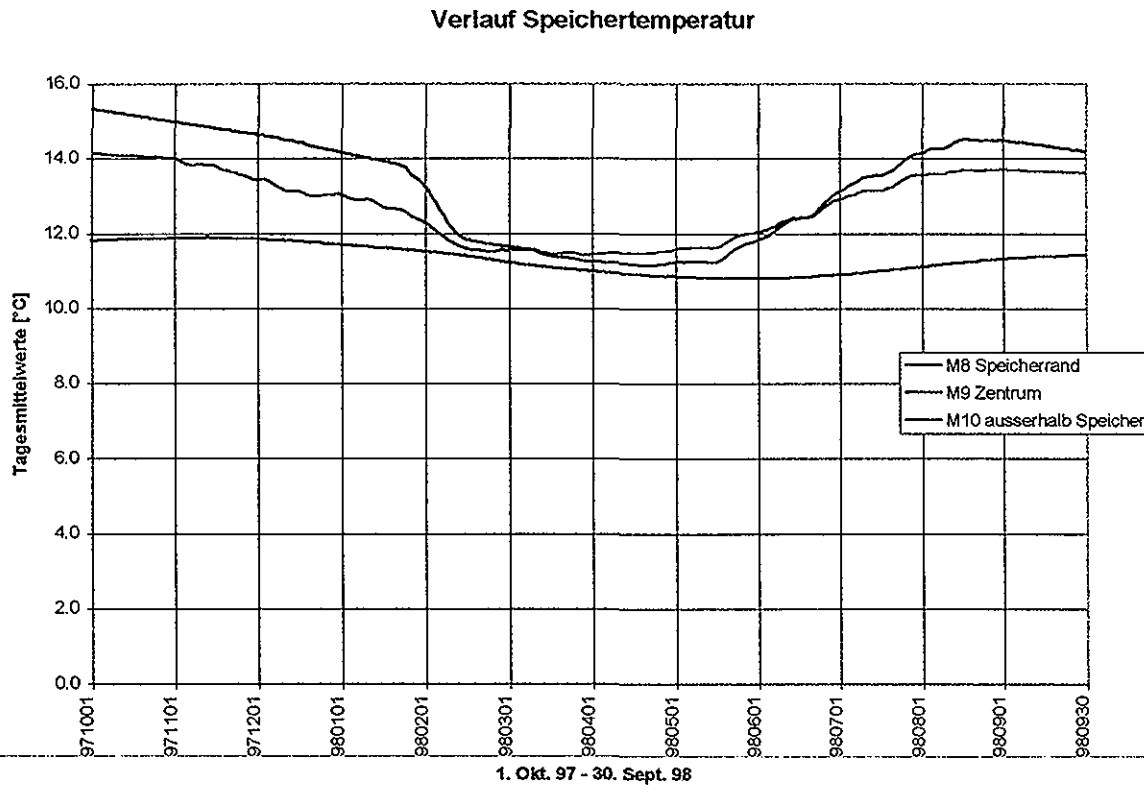


Bild 6: Verlauf der Speichertemperaturen Okt. 97 - Sept. 98

Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, dass die Ausgangstemperatur vom 1.10.97 bis zum 30.9.98 nicht wieder erreicht werden konnte. Der Grund liegt darin, dass der Entzug im Winter 97/98 - plus die Speicherverluste - durch den Ertrag im Sommer 98 nicht voll gedeckt werden konnten. Die Endtemperaturen im Herbst 98 liegen jedoch immer noch höher als die Ausgangstemperaturen vom Frühjahr 1994 (vgl. folgende Tabelle). Der Verlauf widerspiegelt die Entlade- resp. Lade-Charakteristik (vgl. Bild).

Die Messsonde ausserhalb des Speichers (M10, Abstand zum Speicherrand 6m) erfährt die Speicher-Temperaturänderungen jeweils mit einer deutlichen Zeitverzögerung und in gedämpfter Form. Aus dieser Information können Rückschlüsse auf das Speicherverhalten, vor allem auf die Speicherverluste gezogen werden.

Eine weitere wichtige Grösse für die Beurteilung des Speicherverhaltens ist die mittlere Speichertemperatur. Sie berechnet sich aus dem Mittelwert aller im Speicher verteilten 52 Temperaturfühler. Die Änderungen der mittleren Speichertemperatur während den bisherigen Lade- und Entladephasen gegenüber dem Ausgangszustand im April 94 zeigen folgendes Bild:

	Temperaturänderung [K]	Saldo [K]
Frühjahr 94	0	0
Eintrag So 94	4.63	4.63
Entzug Wi 94/95	-3.2	1.43
Eintrag So 95	3.4	4.83
Entzug Wi 95/96	-3.65	1.18
Eintrag So 96	2.83	4.01
Entzug Wi 96/97	-2.05	1.96
Eintrag So 97	3.26	5.22
Entzug Wi 97/98	-3.5	1.72
Eintrag So 98	2.71	4.43

Tabelle 2: Änderung der mittleren Speichertemperatur

Aus dieser Auflistung ist ersichtlich, dass der Speicher während den vier Betriebsjahren nie ganz „entladen“ wurde, der Saldo bewegte sich immer auf der positiven Seite. Der Saldo weist eine leicht steigende Tendenz auf. Diese Tatsache deutet auf zu grosse eingelagerte Wärmemengen hin. Diese müssten im Durchschnitt so gross sein, dass damit der Verbrauch im Winter plus die Speicherverluste gedeckt werden können. Ist das der Fall, wird der Saldo weder steigende noch sinkende Tendenz aufweisen, d.h. der Felsspeicher wird über längere Zeit betrachtet weder aufgeheizt noch abgekühlt.

4 Ausblick 1999

Neben der laufenden lückenlosen Datenerfassung, -auswertung und -archivierung wird ein Hauptschwergewicht in der Optimierung der Anlage sein. Die Strom- und Betriebskosten sollen dabei auf ein Minimum reduziert werden. Weiter wird die Bewirtschaftung des Felsspeichers behandelt werden. Eine ausgeglichene Bilanz - der Speicher darf, wie bereits gesagt, langfristig weder aufgeheizt noch ausgekühlt werden - ist das Hauptbestreben. Für den vorhandenen Felsspeicher soll ein Simulationsmodell erstellt werden.

Das übergeordnete Ziel für das Betriebsjahr 1999 ist jedoch, den fehlerfreien Anlagebetrieb sicherzustellen und die Fahrbahn sicher vor Vereisung zu schützen.

5 Publikationen 1998

Jahresbericht 1998