Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103 (1985)
Heft: 49

Artikel: Solare Warmwasserbereitung
Autor: Zogg, Martin / Rieder, Medard / Hungerbühler, Roland
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75949

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Solare Warmwasserbereitung

Validiertes Simulationsprogramm

Von Martin Zogg, Medard Rieder und Roland Hungerbühler, Burgdorf

Mit den an der HTL-Burgdorf entwickelten Simulationsprogrammen SIWW1 und SIWW2 können solare Warmwasserbereitungsanlagen mit einem oder zwei Speichern auf der Basis von Stundenwerten der Meteodaten (Globalstrahlung und diffuse Strahlung auf Horizontalebene, Umgebungstemperatur) über einzelne oder mehrere Jahre simuliert werden. Dabei werden der Wärmeertrag am Kollektor, die an den Speicher übertragene Solarwärme, die Wärmeverluste des Leitungssystems und des Speichers, die dem Speicher entnommene Wärme, der Zeitanteil für die Warmwasserbereitung ohne Ergänzungsheizung mit Fremdenergie und weitere Grössen berechnet.

Die thermische Schichtung des Speicherinhalts wird berücksichtigt. Die Programme erlauben die Wahl zwischen unterschiedlichen Warmwasserverbrauchsmodellen zur Berücksichtigung von Tages- und/oder Jahresschwankungen.

Die Validierung an den Anlagen des SOFAS-Projektes in Hedingen hat gezeigt, dass die Simulationsprogramme eine rechnerische Erfassung solarer Warmwasserbereitungsanlagen im Rahmen der mit Messungen erreichbaren Genauigkeit ermöglicht. Im folgenden wird das Simulationsprogramm vorgestellt und über seine Validierung berichtet.

Simulationsprogramme

Berechnungsgrundlagen

Bei den Einspeicheranlagen (Bild 1) gelang es, die mittlere Temperatur des Kollektorkreislauf-Wärmeübertrager-Speicher-Systems innerhalb der Stundenintervalle mit konstanten Meteodaten analytisch zu bestimmen ([1], Seite 38/40). Da dies bei den Zweispeicheranlagen nicht mehr möglich war, musste für die Zweispeicheranlagen auf eine rein numerische Berechnung übergegangen werden.

Daraus erklären sich einige wesentliche Unterschiede zwischen dem Simulationsprogramm für Einspeicheranlagen (SIWW1) und jenem für Zweispeicheranlagen (SIWW2). Nachstehend werden die Berechnungsmodelle wie auch die getroffenen Annahmen und Vereinfachungen für die beiden Programme beschrieben. Einzelheiten dazu in [1] und [2]. In diesen Berichten wird auch der Simulationsablauf beschrieben.

Einspeicheranlagen (Programm SIWW1)

1. Die Strahlung und die Umgebungstemperatur werden innerhalb eines Stundenintervalls als konstant angenommen. Da die Verläufe innerhalb der Stundenwerte ohnehin nur interpoliert werden könnten, wurde im Interesse einer analytischen Erfassung des Gesamtsystems auf eine Interpolation der Meteodaten innerhalb der einzelnen Stundenintervalle verzichtet.

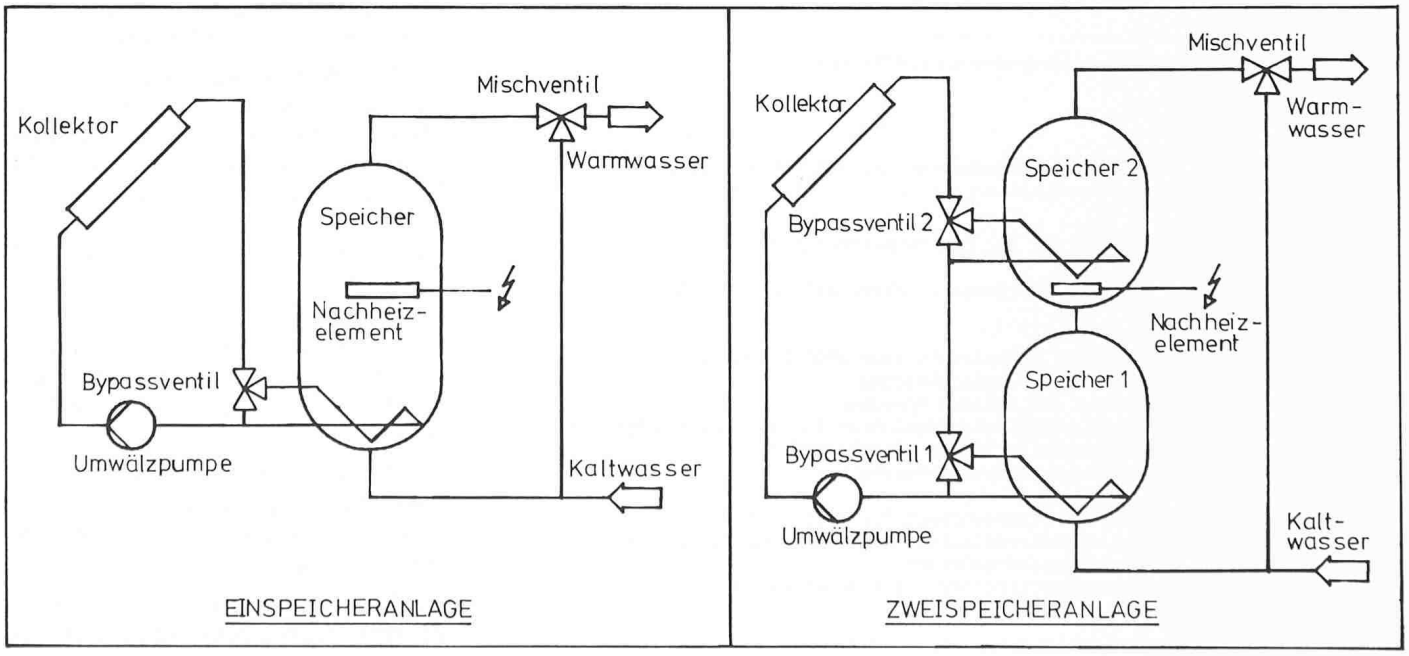
2. Die Strahlungsumrechnung von der Horizontalebene auf eine beliebig orientierte Absorberebene erfolgt mit dem Modell von Ambrosetti [3].

3. Ebenfalls im Interesse einer analytischen Erfassung des Gesamtsystems (Absorber-Kollektorkreislauf-Wärmeübertrager-Wärmespeicher) wird die Kollektorcharakteristik als linear angenommen. Die dadurch bedingten Fehler lassen sich durch einen geeigneten mittleren Kollektorwärmedurchgangskoeffizienten in engen Grenzen halten (Näheres in [1], Seite 24).

4. Die Wärmeübertragung von der Absorberfläche an den Wärmeträger des Kollektorkreislaufes wird jener bei den Prüfstandmessungen zur Bestimmung der Kollektorparameter gleichgesetzt. Diese Vereinfachung erlaubt keine Berücksichtigung der in [4 und 5] erörterten Änderungen der mittleren Temperaturdifferenz zwischen dem Wärmeträger und der Absorberfläche bei Durchströmungsbedingungen, die jenen auf dem Kollektorprüfstand nicht entsprechen. Sie ermöglicht aber eine direkte Verwendung der auf Prüfständen gemessenen Kollektorkennwerte.

5. Der Wärmeertrag des Kollektors und die Wärmeverluste des Rohrleitungssystems werden mit der mittleren Temperatur des Kollektorkreislaufes bestimmt. Eine exaktere Erfassung der Absorbertemperatur wäre nur bei sehr genauer Kenntnis der Kollektorkennwerte und unter gleichzeitigem Verzicht auf die Einschränkung 4 sinnvoll. Da die Wärmedämmwirkung im Bau

Bild 1. Mit den Simulationsprogramm erfassbare Ein- und Zweispeicheranlagen zur Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie



METEODATEN:	1. Stundenwerte der Umgebungstemperatur, der Globalstrahlung auf die Horizontalebene und der Diffusstrahlung auf die Horizontalebene
	2. Simulationsperiode (einzelne oder mehrere Jahre)
	3. Geographische Breite
	4. Geographische Länge
	5. Höhe über Meer
KOLLEKTOR:	6. Neigungswinkel
	7. Südabweichnug
	8. optischer Wirkungsgrad für direkte Strahlung
	9. optischer Wirkungsgrad für diffuse Strahlung
	10. Wärmedurchganskoeffizient
	11. Wärmekapazität
	12. Absorberfläche
WAERMEUEBER-TRAGUNGSSYSTEM	13. NTU-Wert der Leitungen im Gebäude
	14. NTU-Wert der Leitungen ausserhalb des Gebäudes
	15. Anzahl Rohrschlangen im Speicher
	16. Rohrlänge pro Schlange
	17. Rohraussendurchmesser
	18. Durchmesser der Rohrschlange
	19. Anschlussleistung der Umwälzpumpe
	20. Wirkungsgrad der Umwälzpumpe
	21. Volumenstrom des Wärmeträgers
	22. Zusammensetzung des Wärmeträgers (Vol-% Glykol)
	23. Auslegunstemperatur (für die Stoffwertberechnung)
SPEICHER	24. Speichervolumen
	25. Anzahl thermischer Schichten
	26. NTU-Wert des Speichers
	27. Schlankheitsgrad des Speichers
	28. Anschlusswärmeverlustverhältnis
	29. Starttemperaturen des Speichers
	30. Anzahl elektrisch nachgeheizter Schichten
	31. Wirkungsgrad der Zusatzheizung
	32. Temperaturbegrenzung für die Zusatzheizung
GEBAEUDE	33. Gebäudeinnentemperatur
STEUERUNG	34. Anzahl Temperaturdifferenzsteuerungen
	35. Temperaturdifferenz für Pumpeneinschaltung
	36. Temperaturdifferenz für Pumpenausschaltung
	37. Temperaturdifferenz für Speicherzuschaltung
WARMWASSER	38. Gesamttagesverbrauch
	39. Verbrauchsmodell
	40. Unterschied Januar-Juli-Verbrauch
	41. Verbrauchstemperatur
	42. Kaltwassertemperatur
	43. maximale Speichertemperatur
	44. Hysterese für maximale Speichertemperatur

Tabelle 1. Eingabedaten zum Simulationsprogramm SIWW1 für Einspeicheranlagen

Tabelle 2. Zusätzliche Eingabedaten zum Simulationsprogramm SIWW2 für Zweispeicheranlagen

KOLLEKTOR	45. Koeffizient für die Temperaturabhängigkeit von K
WAERMEUEBER-TRAGUNGSSYSTEM	46. Wahl der Betriebsart (alternativ oder in Serie)
SPEICHER	47. zulässige Aufheizzeit (von 1900 bis 0500)
	48. Leistung der Zusatzheizung
	49. Volumen des zweiten Speichers
	50. Anzahl thermischer Schichten für den zweiten Speicher
	51. Schlankheitsgrad des zweiten Speichers
	52. Anschlusswärmeverlustverhältnis
STEUERUNG	53. Wahl der Steuerungsart für Ventil 2: (Kollektorkreislauf-, Leerlauftemperatur-, oder Wirkungsgradsteuerung)
	54. Temperaturdifferenz für Zuschaltung des zweiten Speichers

verlegter Isolationen nur abgeschätzt werden kann, wäre auch eine genauere Erfassung der Rohrleitungsverluste fraglich.

6. Der Volumenstrom des Wärmeträgers im Kollektorkreislauf wird als konstant angenommen. In Wirklichkeit treten infolge der Temperaturänderungen Abweichungen des Volumenstromes um ±10% vom Mittelwert auf (Stoffwerte, Pumpencharakteristik). Abschätzungen haben gezeigt, dass ihr Einfluss auf den Wärmeertrag vernachlässigbar ist.

7. Die Wärmeverluste der Rohrleitungen und des Speichers werden mit konstanten Wärmedurchgangskoeffizienten berechnet.

8. Für die Erwärmung der Komponenten des Kollektorkreislaufes werden die zeitlichen Temperaturänderungen aller Komponenten des ganzen Systems als gleich angenommen.

9. Die Steuerung der Pumpe und eines allfälligen Bypassventiles beruht auf dem Mittelwert der Absorbertemperatur und der Temperatur der beheizten Speicherschicht (Speicherschicht mit Wärmeübertrager).

10. Die Berechnung der Wärmeübertragung vom Kollektorkreislauf ans Speichermedium erfolgt nach Zogg/Hungerbühler [6] für Wendelrohrwärmeübertrager. Durch die Eingabe äquivalenter Rohrwendelabmessungen können auch andere Wärmeübertragertypen berücksichtigt werden.

11. Als für die Raumheizung nutzbare Wärmeverluste werden die bei mittleren Tagestemperaturen unter 12 °C im Gebäudeinnern anfallenden Leitungs- und Speicherverluste definiert.

12. Die Kaltwassertemperatur (Eintrittstemperatur in den Speicher) wird als während der ganzen Berechnungsperiode konstant angenommen.

13. Der Warmwasserbezug erfolgt jeweils am Ende eines Stundenintervalls. Da der tatsächliche Verbrauch auch nicht kontinuierlich erfolgt und das Verbraucherverhalten ohnehin nur über Modelle (siehe [1], Seite 31) erfassbar ist, wäre eine Verfeinerung kaum sinnvoll.

14. Der Speicherinhalt besteht aus einer endlichen Zahl (1 bis 20) volumengleicher Schichten. Innerhalb dieser thermischen Schichten ist die Temperatur konstant.

15. Zwischen den einzelnen thermischen Schichten findet - ausser bei Temperaturinversion - kein Wärmetransport statt.

16. Bei Temperaturinversion werden die betreffenden Schichten einschliess-

WAERMEMENGEN PRO m2 ABSORBERFLAECHE	KOLLEKTORKREISLAUF	SPEICHER 1	SPEICHER 2	HEIZUNG
BWE10 / Sollwaermebedarf [MJ]	2.996E+03 (100.00%)		2.107E+03 (100.00%)	
Waermeertrag der Kollektoren [MJ]	1.596E+03 (53.28%)			
mechanische Pumpenenergie [MJ]	4.020E+01 (1.34%)			
Leitungsverluste aussen [MJ]	-1.771E+01 (0.59%)			
Leitungsverluste innen [MJ]	-6.472E+01 (2.16%)			2.665E+01
Aufheizverluste [MJ]	-4.657E+01 (1.55%)			
Waermemenge an Speicher 1 [MJ]	-5.414E+02 (18.07%)	5.414E+02		
Waermemenge an Speicher 2 [MJ]	-9.661E+02 (32.25%)		9.661E+02 (45.86%)	
Verluste von Speicher 1 [MJ]		-6.288E+01		-2.026E+00
Verluste von Speicher 2 [MJ]			-4.730E+02 (22.45%)	2.600E+02
Waermemenge von SP1 an SP2 [MJ]		-4.785E+02	4.785E+02 (22.71%)	
Pumpenenergie / Nachheizung [MJ]	8.040E+01		1.010E+03 (47.94%)	
bezogene Waerme [MJ]			-1.984E+03 (94.16%)	
Differenz zum Sollwaermebedarf [MJ]			-1.230E+02 (5.84%)	
Zeitanteil mit WW ueber 50 C [%]			65.64	

		bezogen auf		
		Einstrahlung 3.978E+03 [MJ]	BWE10 2.996E+03 [MJ]	Sollwaermebedarf 2.107E+03 [MJ]
Nettowaermeertrag am Speicher	9.716E+02 [MJ]	24.42 [%]	32.43 [%]	46.12 [%]
Solarer Ertrag ohne Waermeverluste	8.934E+02 [MJ]	22.46 [%]	29.82 [%]	42.41 [%]
Solarer Ertrag mit Waermeverlusten im Gebaeude bei Aussentemp. > 12 C	1.178E+03 [MJ]	29.61 [%]	39.32 [%]	55.92 [%]
Solarer Ertrag mit saemtlichen Waermeverlusten im Gebaeude	1.494E+03 [MJ]	37.55 [%]	49.86 [%]	70.92 [%]

Tabelle 3. Ausgabebeispiel des Simulationsprogramms SIWW2 für eine Zweispeicheranlage (Eingabedaten

lich allfälliger Zwischenschichten vermischt.

17. Falls die solare Beheizung des Speichers nicht ausreicht, wird der Speicherinhalt ab der Schicht mit der Ergänzungsheizung nachts mit Fremdenergie beheizt (Näheres in [1], Seite 42).

Zweispeicheranlagen (Programm SIWW2)

Mit Ausnahme von 1, 3, 9 und 13 gelten die oben erörteten Berechnungsmodelle, Annahmen und Vereinfachungen. An die Stelle von 1, 3, 9 und 13 treten:

1a. Nur die Umgebungstemperatur wird während eines Stundenintervalls als konstant angenommen. Die durch den Absorber absorbierte Strahlung wird innerhalb der Stundenintervalle nach den Ausführungen in [2], Seite 18 durch eine Parabel oder zwei lineare Funktionen interpoliert.

3a. Die Kollektorcharakteristik kann auch mit Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten eingegeben werden.

9a. Die Steuerung der Pumpe und der beiden Dreiwegventile erfolgt nach den Ausführungen in [2], Seite 11/17 über Temperaturdifferenzen zwischen den entsprechenden Speicherschichten und

Anlagennummer	Speicherzahl	Speichervolumen [m^3]	Absorberfläche [m^2]	täglicher Bedarf an Warmwasser [m^3/d]
1	1	0.5	7.7	0.25
2	1	1.8	18.5	1.20
3	2	je 0.25	7.7	0.25

Tabelle 4. Charakteristische Daten der SOFAS-Versuchanlagen in Hedingen

Tabelle 5. Vergleich der wichtigsten gemessenen und simulierten Grössen über die gesamte Messperiode:
- *vom Kollektorkreislauf an den Speicher abgegebene Wärme*
- *durch Warmwasserbezug dem Speicher entnommene Wärme*
- *durch die Zusatzheizung eingebrachte Fremdenergie*
- *Pumpenlaufzeit*

Anlage	Wärme an Speicher gemessen [MJ]	Wärme an Speicher berechnet [MJ]	relativer Fehler [%]
1	9649	9265	−4.00
2	32067	30213	−5.80
3	10026	10087	0.60

Anlage	entnommene Wärme gemessen [MJ]	entnommene Wärme berechnet [MJ]	relativer Fehler [%]
1	14273	13773	−3.50
2	70663	67939	−3.90
3	14198	14018	−1.30

Anlage	Fremdenergie gemessen [MJ]	Fremdenergie berechnet [MJ]	relativer Fehler [%]
1	7470	7133	−4.50
2	42925	41825	−2.60
3	7942	7379	−7.10

Anlage	Pumpenlaufzeit gemessen [h]	Pumpenlaufzeit berechnet [h]	relativer Fehler [%]
1	1178	1219	3.50
2	1667	1742	4.40
3	1313	1322	0.70

den Temperaturen des Kollektors (mittlere Absorbertemperatur), des Kollektorkreislaufs oder der Leerlauftemperatur eines Referenzabsorbers. Die Speicher werden entweder alternativ oder in Serie geladen. In beiden Fällen ist Kollektorkreislauftemperatursteuerung, Leerlauftemperatursteuerung(Referenzabsorber) oder Steuerung über das Verhältnis zwischen der Leerlauftemperatur eines Referenzkollektors und der Temperatur der untersten Schicht des Speichers 2 («Wirkungsgradsteuerung») möglich.

13a. Der Wasserbezug kann am Ende jedes Stundenintervalls erfolgen. Innerhalb eines Stundenintervalls sind aber zusätzlich auch gleich grosse diskrete Entnahmen möglich.

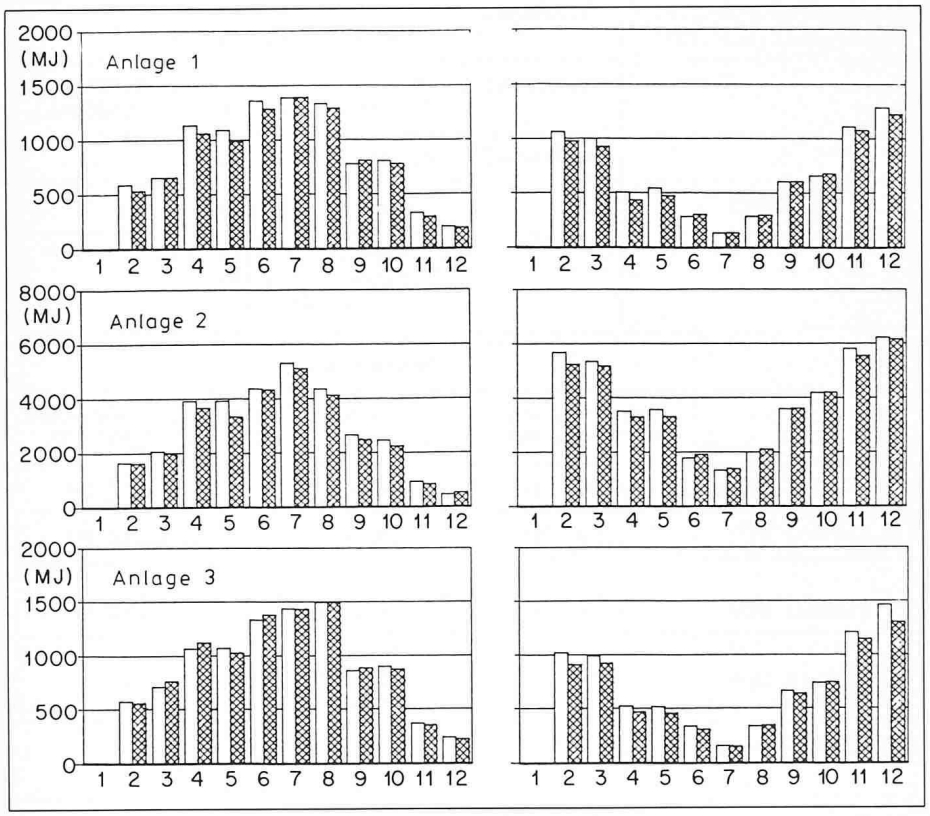


Bild 2. Monatsergebnisse für die Anlagen 1 bis 3. Links: vom Kollektorkreislauf an den Speicher abgegebene Wärme, rechts: durch die Zusatzheizung zur Nacherwärmung benötigte Fremdenergie ☐ Messung ▒ Simulation

Eingabedaten

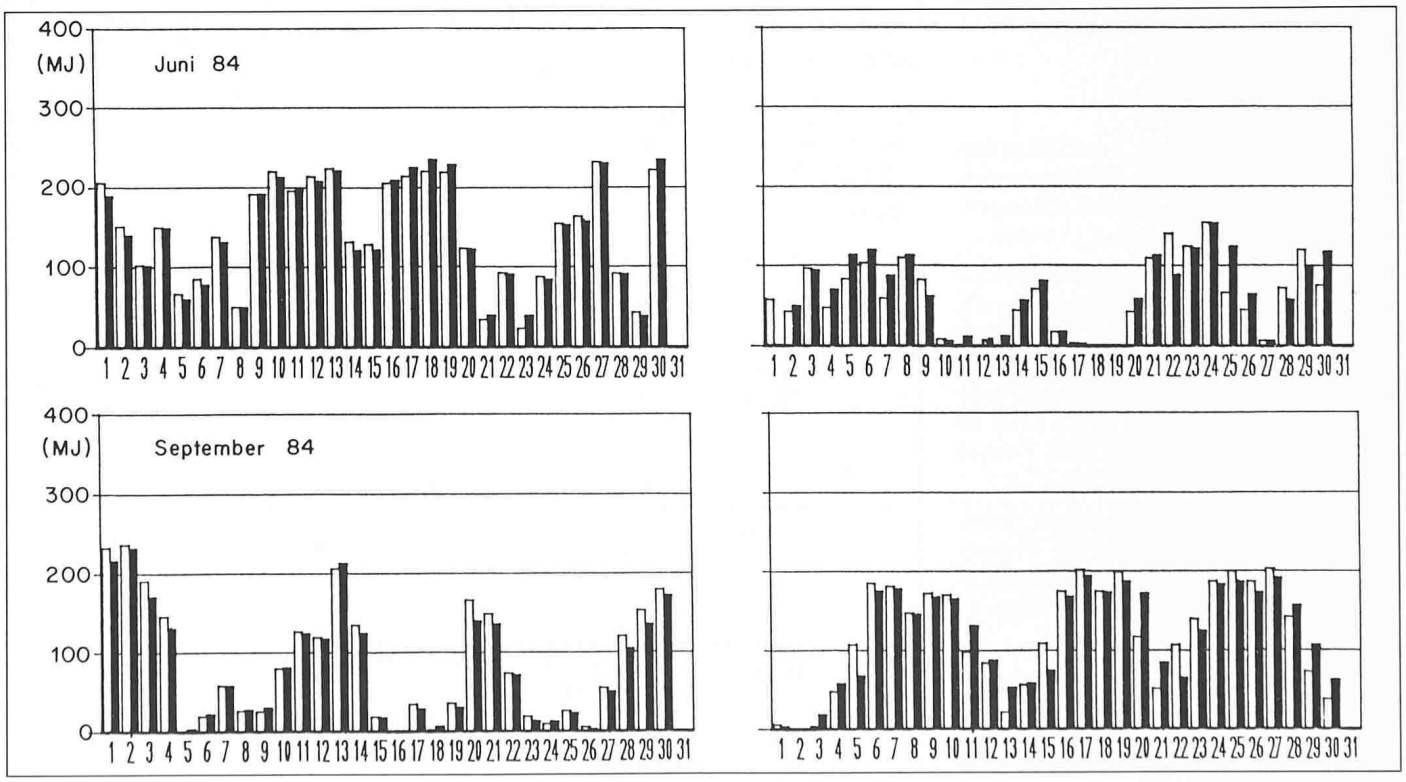
Die Programme benötigen Datenfiles mit Stundenwerten der Globalstrahlung und der diffusen Strahlung auf eine Horizontalebene und der Umgebungstemperatur. Diese stehen gegenwärtig aus Messungen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt für Zürich-Kloten (1963/72), Davos (1961/70) und Locarno-Monti (1961/70) zur Verfügung. Die weiteren Eingabegrössen sind in Tabelle 1 (für Zweispeicheranlagen siehe zusätzlich Tabelle 2) zusammengestellt. Wie man daraus erkennt, berücksichtigen die Programme 44 beziehungsweise 54 Einflussgrössen.

Ausgabe der Ergebnisse

Unter anderen werden die folgenden Grössen berechnet und ausgedruckt (Tabelle 3):

- Bruttowärmeertrag bei der Temperatur des eintretenden Kaltwassers
- Wärmeertrag der Kollektoren
- Wärmeverluste im Leitungssystem (innen und aussen)
- Wärmeverluste im Speicher (bzw. in beiden Speichern)
- Zeitanteil für Warmwassertemperaturen über der Solltemperatur ohne Zusatzerwärmung mit Fremdenergie
- solarer Ertrag ohne Wärmeverluste
- solarer Ertrag einschliesslich der Wärmeverluste im Gebäude bei Aussentemperaturen unter 12 °C

Bild 3. Tagesergebnisse am Beispiel der Anlage 2 für den Juni 1984 und den September 1984. Links: vom Kollektorkreislauf an den Speicher abgegebene Wärme, rechts: durch die Zusatzheizung zur Nacherwärmung benötigte Fremdenenergie ☐ Messung ■ Simulation



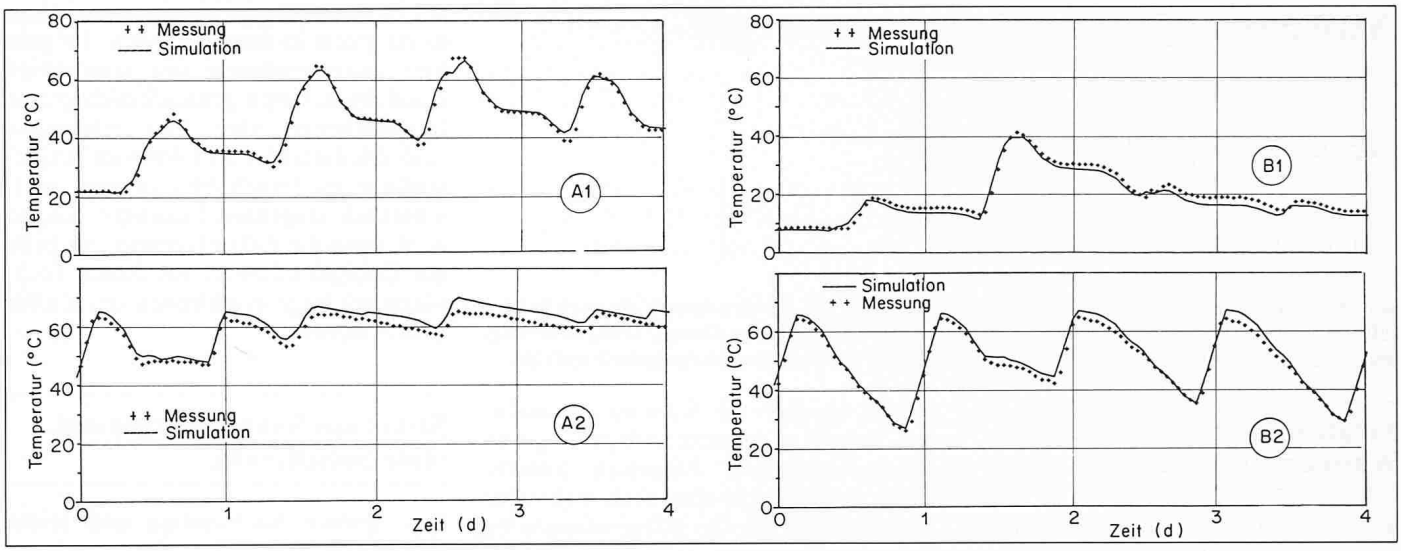


Bild 4. Stündlicher Verlauf der mittleren Speichertemperatur am Beispiel der Anlage 3. A1: 26./29. Aug. 1984, Speicher 1, A2: 26./29. Aug. 1984, Speicher 2, B1: 3./6. Feb. 1985, Speicher 1, B2: 3./6. Feb. 1985, Speicher 2

- solarer Ertrag mit allen Wärmeverlusten

Nebst den tabellarischen Ausgaben sind zur Veranschaulichung auch graphische Darstellungen der Monatsresultate (Wärmeeträge, Wärmeverluste, Anlagewirkungsgrad, solarer Dekkungsgrad) möglich (Näheres in [1], Seite 13/18 und [2], Seite 8/10).

Validierung der Simulationsprogramme

Die vorgestellten Simulationsprogramme für die solare Warmwasserbereitung wurden an den Messergebnissen der SOFAS-Versuchsanlagen in Hedingen mit einem und mit zwei Speichern validiert: Tabelle 4. Diese Anlagen werden in [7] und in [8] beschrieben. Die an diesen Anlagen vom Juni 1984 bis Mai 1985 gewonnenen Messergebnisse werden in [8] eingehend mit den Simulationsergebnissen der Simulationsprogramme SIWW1 und SIWW2 verglichen. Aus diesem ausführlichen Validierungsbericht werden nachstehend einige Ausschnitte wiedergegeben. Das Hauptergebnis dieses Vergleichs ist für die ganze Messperiode (mit Ausnahme des Januar 1985, an dem infolge der extrem kalten Witterung Probleme bei einzelnen Versuchsanlagen auftraten) in der Tabelle 5 zusammengefasst.

Die Abweichungen zwischen Messung und Computersimulation der Summen der vom Kollektorkreislauf an den Speicher abgegebenen Wärme liegen unter 6%. Sie liegen damit innerhalb der bei Messungen erreichten Fehlergrenzen. Auch die einzelnen Monatssummen ergeben ähnlich kleine Abweichungen zwischen Messung und Simulation. Zur Illustration ist im Bild 2 die dem Speicher durch den Kollektorkreislauf (Q_S) und mit der Zusatzheizung (Q_{ZH}) zugeführte Wärme für alle drei Anlagen wiedergegeben. In [8] findet man entsprechende Diagramme und Tabellen auch für die dem Speicher mit dem Warmwasser entnommene Wärme, die Pumpenlaufzeit, die mittlere Absorbertemperatur und die mittlere Speichertemperatur.

Wie bei der Verwendung von Stundenwerten der Meteodaten (Global- und Diffusstrahlung auf eine Horizontalebene, Umgebungstemperatur) nicht anders zu erwarten, treten bei den Tagessummen (Bild 3) etwas grössere Unterschiede zwischen Messung und Computersimulation auf. Die sich innerhalb eines Stundenintervalls abspielende «Feindynamik» der Meteorologie führt zu Tagesabweichungen, die sich aber innerhalb von zwei bis drei Tagen stets wieder ausgleichen. In [8] findet man zu allen Anlagen dem Bild 3 entsprechende Abbildungen auch für die dem Speicher entnommene Wärme und die Pumpenlaufzeit. Wie das Bild 4 zeigt, vermag das Simulationsprogramm auch den stündlichen Temperaturverlauf in den Speichern erstaunlich gut wiederzugeben.

Die Validierung hat weiter ergeben, dass das für die Simulationsprogramme entwickelte Modell zur thermischen Schichtung im Wärmespeicher die interessierenden Nutzwärmen bei Schichtenzahlen um 12 richtig wiederzugeben vermag. (Einzelheiten in [8], Abschnitt 4.1). Höhere Schichtenzahlen führen zwar zu einer exakteren Wiedergabe des Temperaturverlaufs über der Speicherhöhe – sie liefern aber (bei höherer Rechenzeit) dieselben Wärmeerträge.

Adresse der Verfasser: *Martin Zogg*, Dr. sc. techn. ETH, *Medard Rieder*, Masch.-Ing. HTL und *Roland Hungerbühler*, Masch.-Ing. HTL, Ingenieurschule Burgdorf, Abteilung Maschinentechnik, CH-3400 Burgdorf.

Verdankungen

Für die Finanzierung dieser Arbeit sei dem Nationalen Energieforschungs-Fonds und dem Kanton Bern bestens gedankt. Dem Schweizerischen Bundesamt für Energiewirtschaft danken wir für die Förderung des Projekts und Herrn B. Schläpfer vom SOFAS-Forschungsausschuss für das Bereitstellen der Messdaten, die gute Zusammenarbeit und die zahlreichen wertvollen Hinweise. Ein besonderer Dank gilt auch den Herrn R. Lanz und O. Jacot vom Rechenzentrum der Ingenieurschule.

Literaturverzeichnis

[1] *Zogg, M., Hungerbühler, R.:* Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie, Computersimulation für Anlagen mit einem Speicher, HTL-Burgdorf/Bundesamt für Energiewirtschaft Bern 1984.

[2] *Zogg, M., Hungerbühler, R.:* Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie, Computersimulation für Anlagen mit zwei Speichern, HTL-Burgdorf/Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1984.

[3] *Amrosetti, P.:* COLOUT: Simulationsprogramm für die Berechnung des Bruttowärmeetrages eines Sonnenkollektors, TM-33-88-19, Eidg. Institut für Reaktorforschung, Würenlingen 1983.

[4] *Zogg, M., Hungerbühler, R.:* Berechnung der nutzbaren Wärmestromdichte von Flachkollektoren mit einer Scheibe, Bericht K 82.1, HTL-Burgdorf/Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1982.

[5] *Zogg, M., Hungerbühler, R.:* Vergleich zwischen berechneteten und vom EIR experimentell bestimmten Kollektorwirkungsgraden am Beispiel des IEA-Referenzkollektors CHAMBERLAIN, Bericht K 82.2, HTL-Burgdorf/Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1982.

[6] *Zogg, M, Hungerbühler, R.:* Iterationsfreie Auslegung von Wärmeübertragern mit einseitig freier Konvektion, Brennstoff-Wärme-Kraft, 35 (1983) 10, 432/437.

[7] *Schneiter, P., Schläpfer, B., Wellinger, K.:* Praxisgerechte Regeln zur optimalen Planung und Ausführung von Sonnenenergieanlagen – Schlussbericht über das Vorprojekt, c/o E. Schweizer AG, Hedingen 1984.

[8] *Rieder, M., Zogg, M.:* Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie – Valdierung der Computersimulationsprogramme SIWW1 und SIWW2, HTL-Burgdorf/Bundesamt für Energiewirtschaft Bern 1985.