

# **Entwicklung der Programmpakete SIWW zur Simulation thermischer Solaranlagen**

**Vom Pionierprogramm 1975 bis  
zum validierten SIWWH 1989**



**Ein Rückblick  
von  
Martin Zogg**

## **Projektassistenten**

**Roland Hungerbühler  
1981 - 1984**

**Medard Rieder  
1985 - 1986**

**Markus Arnet  
1987 - 1989**

**Oberburg**

**Februar 2010**

„Mit Ihren Simulationsprogrammen haben Sie in der Geschichte der Solarenergienutzung einen Meilenstein gesetzt“ [Pierre Bremer, BEW-Forschungsprogrammleiter thermische Solarenergie an einer Programmleitersitzung<sup>1</sup> im Jahr 1994].

Das grosse Interesse an Energiefragen nach der ersten Ölkrise 1973 und die weit divergierenden Prognosen zur thermischen Nutzung der Solarenergie motivierten mich zu einer – meines Wissens - europaweit<sup>2</sup> erstmaligen dynamischen Simulation einer Gesamtanlage zur solaren Warmwasserbereitung. In den Jahren **1975/1976** habe ich in einer ausserordentlichen Freizeitanstrengung ohne jede finanzielle Unterstützung ein auf Stundenwerten der Meteodaten (direkte Strahlung, diffuse Strahlung, Umgebungstemperatur und Windgeschwindigkeit) basierendes **Pionierprogramm entwickelt** [1]. Wie spätere Validierungen bestätigten, vermochte es das dynamische Verhalten einer solaren Warmwasserbereitungsanlage bereits recht genau zu erfassen.

Nebst der Auslegung einzelner Anlagen konnte mit dem Pionierprogramm erstmals die Jahresnutzwärme in Abhängigkeit der Absorbergrösse, der Speichergösse und der Kollektorneigung nachvollziehbar aufgezeigt werden. Damit wurde es möglich, auch die Wirtschaftlichkeit solarer Warmwasserbereitungsanlagen zu bestimmen ([1], Abschnitt 10).

Der **zehnjährige Weg bis zur allgemeinen Anerkennung** in der Anwendung als Planungswerkzeug, als Hochrechnungsmethode im SOFAS<sup>3</sup>-Projekt „Kurztestmethode für Sonnenenergieanlagen KTSA“ und als Grundlage für die SOFAS-Planungsunterlagen war allerdings recht steinig. Zuerst traute man den Simulationsergebnissen nicht und ich wurde gar als Gegner der Solarenergienutzung verschrien. Oft bekam ich von den potenziellen Anwendern „Graue Theorie“ zu hören. Man verliess sich lieber auf theoretisch bedenkliche „Handrechnungen“, die nicht völlig überraschend stets zu etwas zu rosigen Ergebnissen führten. Dann hatte das EIR<sup>4</sup> lange Zeit Mühe, dass ausgerechnet der theoretische Teil in der SOFAS-Messkampagne an einer Ingenieurschule durchgeführt wurde. Die SOFAS-Praktiker wurden schliesslich durch ein geschicktes Einbinden unserer Simulationsprogramme als Teilprojekt in ein SOFAS-Vorhaben von Dr. Gerhard Schriber vom BEW<sup>5</sup> zur Zusammenarbeit gebracht. Die Wende brachte aber auch dort (wir wurden immer wieder als „Simulanten“ bezeichnet) erst die Validierung unserer Simulationsprogramme an den vom SOFAS ausgeführten Referenzanlagen. Die Praktiker waren verblüfft, dass unsere Rechnungsergebnisse im Rahmen der Messgenauigkeit mit den Messergebnissen übereinstimmten. Und das ohne jede nachträgliche Anpassung der Berechnungsmodelle! Das war endlich der ersehnte Durchbruch. Vermutlich hat es die Kritiker geärgert, dass wir dann bei einer Anlage sogar einen Messfehler nachweisen konnten. Dort wurde die Validierung unserer Programme zu einer Validierung der Messungen... Die Tabelle 1 zeigt die einzelnen Etappen der Entwicklung der SIWW-Programme.

Das Projekt SIWW mit einem Gesamtzeitaufwand von 8.3 Arbeitsjahren und zusätzlichen 1.9 Arbeitsjahren in Semester- und Diplomarbeiten der Studenten war meines Wissens das **erste grössere Forschungsprojekt an einer Schweizerischen Ingenieurschule**. Das Pioniervorhaben ist denn auch an zahlreiche institutionelle Barrieren gestossen, deren Öffnung erheblichen Durchhaltewillen erforderte. Ohne die stete Unterstützung durch Dr. Gerhard Schriber vom BEW wäre mein Ansturm auf die Barrieren wohl zu früh gewesen.

<sup>1</sup> Ich war von 1993 bis 2002 Leiter des BEW/BFE-Forschungsprogramms „Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung, Abwärmennutzung“ und traf dort auch nach dem Abschluss unserer Projekte zur Simulation thermischer Solaranlagen P. Bremer regelmässig.

<sup>2</sup> In den USA wurde an der Universität Wisconsin ebenfalls 1975 das Simulationsprogramm TRNSYS (TRaNsient SYstems Simulation) zur Simulation thermischer Solaranlagen entwickelt. Ich erfuhr davon erst in den 80er Jahren. Das seither stark ausgebaute Programm wird bis heute zur Simulation thermischer Systeme eingesetzt.

<sup>3</sup> Sonnenenergie-Fachverband Schweiz.

<sup>4</sup> Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung; das spätere Paul Scherrer Institut (PSI).

<sup>5</sup> Bundesamt für Energiewirtschaft BEW – später Bundesamt für Energie BFE.

<b>THERMISCHE SOLARENERGIE – COMPUTERSIMULATIONEN.....</b>		<b>3</b>
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG UND MODULENTWICKLUNG</b>	<b>1975..... 5</b>
<b>2</b>	<b>PIONIERPROGRAMM</b>	<b>1976-1977 ..... 6</b>
	2.1 .Kurzbeschreibung des Pionierprogramms	7
	2.2 .Entwicklungsschritte	10
	2.3 .Dokumentation und Publikationen	11
<b>3</b>	<b>ENTWICKLUNG DER SIWW-PROGRAMME</b>	<b>1981-1984 ..... 12</b>
	3.1 .Wie es dazu kam	12
	3.2 .Vorprojekt April 1981 bis September 1981	14
	3.3 .Erste Projektphase Oktober 1981 bis September 1983	15
	3.4 .Verlängerung erste Projektphase Okt. 1983 bis Sept. 1984	17
<b>4</b>	<b>VALIDIERUNG - THERMOSIPHON - KENNZAHLMETHODE</b>	<b>1985/86 ..... 20</b>
<b>5</b>	<b>PROGRAMMAUSBAU – EINBEZUG RAUMHEIZUNG</b>	<b>1987/1989 ..... 24</b>
<b>6</b>	<b>KTSA – VERGLEICH MIT TRNSYS – PROJEKTENDE</b>	<b>1989-1992..... 28</b>
<b>7</b>	<b>REFERENZEN.....</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>33</b>

## THERMISCHE SOLARENERGIE – COMPUTERSIMULATIONEN

**Tabelle 1:** Übersicht zur Entwicklung der SIWW-Programme

<b>Jahr</b>		<b>Programm</b>	<b>V.</b>	<b>Finanzierung</b>
1975	Beginn der Modulentwicklung			Zogg
1976	<b>Pionierprogramm</b> für einen durchmischten Speicher mit berechnetem Kollektorwirkungsgrad	Pionierprogramm	1	Zogg
1977	Letzte Korrekturen am Pionierprogramm; Publikationen dazu, Bericht in <i>Blauer TR-Reihe</i>	Pionierprogramm	1	Zogg

1981	Anstellung Roland Hungerbühler als Projektassistent Studien zum Kollektorwirkungsgrad Übernahme gemessener Kollektordaten			NEFF <sup>6</sup> / BEW
1982 1983	Ausbau des Pionierprogramms zum SIWW1 mit den folgenden Ergänzungen und Modifikationen: - HTU-NTU-Konzept für die Wärmeübertragung - Iterationsfreie Wärmedurchgangsberechnung bei einseitig freier Konvektion - analytische Erfassung des Gesamtsystems - Strahlungsumrechnungsmodell von Ambrosetti - thermisch geschichteter Speicher - Integration gemessener Kollektordaten - Metodaten auch für Locarno-Monti und Davos - diverse weitere kleinere Modifikationen	SIWW1	2	NEFF / BEW
1984	Erweiterung von SIWW1 auf 2 geschichtete Speicher 3 Steuerungskonzepte für SIWW1N und SIWW2	SIWW2	2	NEFF / BEW
1985	Anstellung von Medard Rieder als Projektassistent Validierung von SIWW1N und SIWW2			BEW/NEFF/ SOFAS
1986	Dimensionsanalyse, Kennzahlmethode Simulation von Thermosiphonanlagen Validierung von SIWWT Vertrieb des PC-Programmpakets mit KENN, SIWW1, SIWW2 und SIWWT durch INFOSOLAR	KENN SIWWT	2	BEW/NEFF/ SOFAS
1987 1988	Anstellung von Markus Arnet als Projektassistent Numerische Variante von SIWW1 mit drei Steuerungskonzepten SIWW1N und SIWW2 ergänzt durch: - Zusatzwärmerung auch mit Heizkessel, Sperrzeiten - Wärmeverluste durch Zirkulationsleitungen - Aufteilung Zusatzwärmeverluste auf Anschlüsse - drei Steuerungskonzepte - Einlesen Stundenwerte Warmwasserverbrauch - spezielle Varianten für Kurztestmethode Hilfsprogramme für SIWWT (Widerstandsbeiwert) Version 3 des PC-Programmpakets mit KENN, SIWW1, SIWW1N, SIWW2 und SIWWT an INFOSOLAR Entwicklung des Programms SIWWH für solare Warmwasserbereitung und Raumheizung. Zusätzlich - Modellierung Trinkwasser-Innenboiler - Stundenwerte des Heizwärmebedarfs aus Datenfile	SIWW1N  SIWW1N SIWW2  SIWWTCWK  SIWWH	2  3 3  3  4	BEW/NEFF/ SOFAS
1989	Vergleich SIWW mit TRNSYS99969 Unterstützung SOFAS-Kurztestmethode			BEW
1990 1991	Noch sporadische Kontakte zu SOFAS-KTSA und dem Forschungsprogrammleiter P.Bremer			
1992	FOTRAN-Quellencode des SIWW-Paktes am 22.Januar 1992 an Herrn Ernst Rohner von der Firma Exertec Engineering AG in Rapperswil übergeben. SIWW läuft unter der Polysun-Oberfläche.			

<sup>6</sup> Nationaler Energie-Forschungs-Fonds

# 1 EINLEITUNG UND MODULENTWICKLUNG

1975

**Meine ersten Vorarbeiten** zur Simulation von Anlagen zur Nutzung der thermischen Solarenergie gehen auf das Jahr 1975 zurück. Nach dem Aufbau des Unterrichts in Verfahrenstechnik für die Maschinenbauklassen des Technikums Burgdorf<sup>7</sup> im 5. und 6. Semester beschäftigten mich die damals sehr unterschiedlichen Prognosen zur technischen Nutzung der Solarenergie. Sie reichten von „Höchstens eine marginale Ergänzung zur Energieversorgung“ bis zu „Vollständiger Ersatz der fossilen Brennstoffe ist nur eine Frage weniger Jahre“. Die künftige Energieversorgung genoss nach der ersten Ölkrise im Jahr 1973 höchste Priorität<sup>8</sup>. Die teilweise unerhört simplen Prognosen zur Solarenergienutzung waren dringend durch realistischere Berechnungen abzulösen.

**Voraussetzung dazu war eine Abkehr von der bisher üblichen Untersuchung einzelner Anlagekomponenten hin zu einer dynamischen Erfassung des ganzen Systems.** Es war bereits klar, dass die solare Warmwasserbereitung die wirtschaftlich interessanteste Variante der thermischen Solarenergienutzung darstellt. Deshalb habe ich meine Arbeiten vorerst auf diese Nutzungsvariante konzentriert. Ich gelangte rasch zur Überzeugung, dass dazu genügend Ingenieurwissen vorhanden sei, um die zu gewinnende solare Nutzwärme ohne aufwändige Messungen durch eine Computersimulation mit genügender Genauigkeit voraus zu berechnen.

Voraussetzung zur dynamischen Erfassung ganzer Warmwasserbereitungsanlagen war die Verfügbarkeit der **Meteodaten** (Globalstrahlung, diffuse Strahlung, Temperatur und Windgeschwindigkeit<sup>9</sup>) in hinreichender zeitlicher Auflösung. Ich erfuhr, dass diese bei der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt (SMA) für Kloten, Davos und Locarno-Monti verfügbar waren.

Ich entschloss mich darauf, ein entsprechendes Simulationsprogramm zu entwickeln. 1975 entwarf ich **erste Berechnungsmodelle** für die optischen und thermischen Verluste in den Kollektoren<sup>10</sup>; aber auch für den Wärmetransport von der Absorberoberfläche in das Wasser des Speichers inklusive Druckverlusten und Pumpleistung. Weiter habe ich mich mit der Umrechnung der Strahlung auf eine beliebig geneigte Ebene befasst. Damit das Ganze konkreter wurde, habe ich dann komplexere Modelle in BASIC programmiert. Der Abstieg von Möglichkeiten am Rechenzentrum der ETH-Zürich<sup>11</sup>, die ich während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter genoss, auf die minimalen Möglichkeiten am Technikum Burgdorf war deprimierend. Wir hatten nur zwei PDP-Computer<sup>12</sup> mit Eingabe ab Lochstreifen und Ausgabe auf einer Art elektrischer Schreibmaschine mit Lochstreifen Stanzer/Leser<sup>13</sup>. Einen Bildschirm hatte der Computer noch nicht. Die Variablenbezeichnungen waren auf zwei Zeichen begrenzt,

<sup>7</sup> Ich trat meine Stelle als hauptamtlicher Dozent am damaligen Technikum Burgdorf im Frühjahr 1973 an. Da es für Maschineningenieure auf dieser Stufe kein brauchbares Buch gab, habe ich in den Jahren 1973/1975 umfangreiche eigene Unterrichtsunterlagen erarbeitet. Diese wurden zur Grundlage einer Publikationsreihe in der Technischen Rundschau und den späteren Lehrbüchern zur Mechanischen Verfahrenstechnik und zur Thermischen Verfahrenstechnik ([www.zogg-engineering.ch](http://www.zogg-engineering.ch) → Publikationen). Sobald es 1975 wieder „etwas Luft“ gab, habe ich mich mit Abschätzungen zur Solarenergienutzung befasst.

<sup>8</sup> Näheres dazu in „Zogg, M.: Geschichte der Wärmepumpe - Schweizer Beiträge und internationale Meilensteine, 1. Aufl., Zogg Verfahrens- und Energietechnik, Oberburg 2009, ISBN 978-3-033-02154-9.; Download ab [www.zogg-engineering.ch](http://www.zogg-engineering.ch)

<sup>9</sup> Zur Abschätzung der Wärmeverluste von der Kollektorabdeckung an die Umgebung. Infolge Übernahme der Kollektorkennlinien von Prüfstandmessungen haben wir die Windgeschwindigkeit trotz deutlichem Einfluss (Bild 10) ab 1982 nicht mehr berücksichtigt.

<sup>10</sup> Verlässliche gemessene Kollektordaten standen damals noch nicht in genügender Breite zur Verfügung. Ich habe diese deshalb rein rechnerisch bestimmt und lag damit durchaus im Bereich der späteren Messwerte.

<sup>11</sup> In den Jahren 1970 bis 1972 habe ich für meine Dissertation „Zogg, M.: Strömungs- und Stoffaustauschuntersuchungen an der Sulzer-Gewebepackung, Dissertation Nr. 4886 der ETH-Zürich, Verlag Hans Schellenberg, Winterthur 1972“ die Programmiersprache FORTRAN kennen gelernt und am Rechenzentrum umfangreiche numerische Rechnungen durchgeführt. Ganze Schachteln von Lochkarten – der Computer vor gewöhnlich Sterblichen gut abgeschirmt in einem klimatisierten Saal....

<sup>12</sup> 16-Bit-Computer von DEC. Noch 1973, in meinem ersten Jahr als Dozent am damaligen Technikum Burgdorf, habe ich den mühsamen Kampf um einen Zugang an den BEDAG-Computer (gemeinsame Nutzung durch die Uni Bern, das Inselspital und die kantonale Verwaltung) begonnen. Erst 1974 erhielt ich via Regierungsrat (!) die Bewilligung mit tiefster Priorität und beschränkter Rechenzeit...

<sup>13</sup> Solche Geräte wurden damals für den Telex-Verkehr eingesetzt.

worunter die Transparenz der Berechnungsanweisungen stark litt: **Bild 1**. An eine Computersimulation war nicht zu denken – wohl aber an die Entwicklung und den Test einzelner Berechnungsmodule. Insbesondere habe ich 1975 bereits Testprogramme für die in [1], Abschn. 5.4 und 5.5 beschriebenen optischen und thermischen Verluste erstellt und die Ergebnisse Plausibilitätsprüfungen unterzogen. Einige Unterstützung fand ich im Rahmen von Semester- und Diplomarbeiten am Technikum Burgdorf im Wintersemester 1975/76. Zumindest konnte ich mich während der Betreuungs- und Korrekturzeit intensiv mit relevanten Themen beschäftigen.

S2 - 14/2

```

4 PRINT"STRAHLUNGSVERLUSTE ZWEIER GLEICHER SCHEIBEN      BP 76.3.17"
5 PRINT"1. ZEILE: 1. SCHEIBE / 2. ZEILE: 2. SCHEIBE      BD. 3, S. 1, SVZS"
7 PRINT:PRINT
8 LET E=1
9 DEF FNS(X)=ATN(X/SQR(1-X*X))
11 LET P1=3.14159265
12 PRINT"BRECHUNGSZAHLE N1 = ";INPUT N1
13 IF N1=0 THEN 100
14 PRINT"SCHEIBENDICKE S1(M) = ";INPUT S1
15 PRINT"ABSORPTIONSKOEFFIZIENT C1(1/M2) = ";INPUT C1
16 PRINT:PRINT
17 PRINT"PHI (GRAD)", "REFL. AUSSEN", "REFL. INNEN", "ABSORPT.", "DURCHL."
18 PRINT
20 FOR P= 0 TO 90 STEP 10
30 LET P3=P*P1/180
40 GOSUB 4060
50 PRINT P, E1, E-E2-E1-Q1, Q1, E2
51 LET E=E2: LET S1=S1/2
52 GOSUB 4060
53 PRINT P, E1, E-E2-E1-Q1, Q1, E2
55 LET E=1: LET S1=2*S1
56 PRINT
60 NEXT P
70 PRINT:PRINT:PRINT
80 GOTO 12
100 END
4060 REM REFLEXION-ABSORPTION 4000 BIS 4130
4065 LET P4=P3
4070 GOSUB 4105
4072 LET E1=E*R1
4080 LET E2=(E-E1)*EXP(-C1*S1*N1/SQR(N1*N1-SIN(P4)*SIN(P4)))
4085 LET Q1=E-E1-E2
4090 LET P4=FNS(SIN(P3)/N1)
4095 GOSUB 4105
4100 LET E2=E2*(1-R1)
4102 RETURN
4105 REM REFLEXION
4106 LET R1=SIN(P4)
4107 LET R1=SQR(N1*N1-R1*R1)
4110 LET A1=COS(P4)
4115 LET R3=(R1-A1)/(R1+A1)
4120 LET R2=(N1*N1*A1-R1)/(N1*N1*A1+R1)
4125 LET R1=.5*(R3*R3+R2*R2)
4130 RETURN

```

**Bild 1:** Beispiel einiger BASIC-Anweisungen mit damals noch auf zwei Zeichen beschränkten Variablenbezeichnungen.

## 2 PIONIERPROGRAMM

1976-1977

Das zumindest in Europa **erste Simulationsprogramm für Anlagen zur Warmwasserbereitung** habe ich in achtmonatiger Freizeitarbeit von anfangs März bis anfangs November 1976 entwickelt. Dabei mussten auch schöne Wochenenden und die ganzen Ferien geopfert werden. Oft habe ich bis Mitternacht gearbeitet. Für Zeichnungsarbeiten<sup>14</sup> habe ich meinen Studenten, Niklaus Zehnder, angestellt. An der in unserem Wohnzimmer (!) aufgestellten Zeichnungsmaschine habe auch ich gelegentlich mit Tusche, Schablonen und Abriebbuchstaben gewirkt. Meine verständnisvolle Frau Blanca hat dabei tüchtig mitgeholfen und mich vor allem auch moralisch unterstützt. Sie hat in dieser Zeit auch unsere Kinder David (1973) und Andreas (1974) so hervorragend betreut, dass ihnen durch mein „Solarhobby“ kein Schaden erwuchs. Für die Reinschrift des ausführlichen Berichts [1] (**Bild 2**) konnte ich eine Hausfrau mit KV-Ausbildung engagieren. All dies habe ich ohne jede finanzielle Unterstützung aus dem eigenen Sack berappt. Obwohl der Druck direkt ab der mit meiner mechanischen Hermes-

<sup>14</sup> Wir hatten an der ISB keinen Plotter. Viele Bilder in [1] entstanden durch Aufzeichnen von Hand (z.B. das Bild 25 in [1], S.64). Millimeterpapier zum Aufzeichnen und Pauspapier für die Originale in Tusche waren üblich. Meinem Studenten N. Zehnder habe ich sogar aus den „Ferien“ im Toggenburger Wintersberg Vorlagen geschickt...

Schreibmaschine geschriebenen Reinschrift erfolgte, habe ich der Technischen Rundschau sogar das Autorenhonorar für das „blaue Heft“ erlassen<sup>15</sup>.

**Bild 2:** Der im Wesentlichen 1976 entstandene – aber infolge diverser Verzögerungen erst im Mai 1977 erschienene - Bericht [1] zu meinem Pionierprogramm mit für die Praxis wichtigen Simulationsergebnissen und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen wurde über 2'000 mal verkauft.



Solche Arbeiten waren damals an Höheren Technischen Lehranstalten HTL (despektierliche Bezeichnung für diese Schulen – und ab 1977 Ingenieurschulen) noch nicht üblich. Die Professoren dieser Schulen sollen unterrichten und nicht forschen, war die allgemein verbreitete Ansicht. Im Kanton Bern nannte man uns aus Rücksicht auf die Universität nur „Dozenten“, während in der Ostschweiz jeder Gymnasiumslehrer stolzer „Professor“ war...

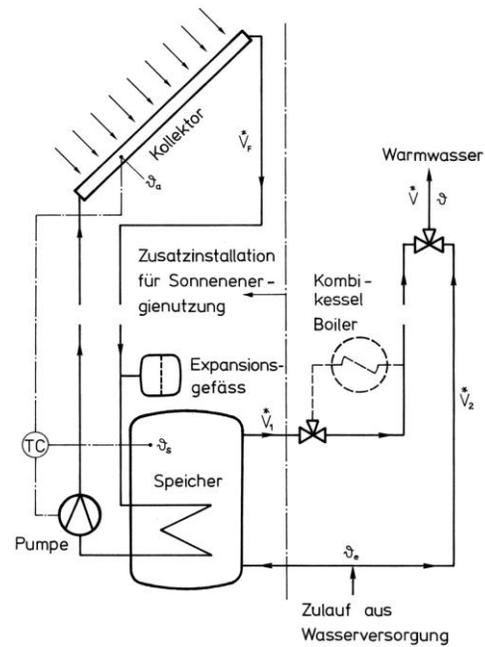
## 2.1 Kurzbeschreibung des Pionierprogramms

In [1] habe ich das Pionierprogramm ausführlich dokumentiert. Ich beschränke mich hier auf das Wesentlichste. Simuliert wurde mit dem Pionierprogramm eine einfache Anlage zur solaren Warmwasserbereitung gemäss dem **Bild 3**. Die Wärmeübertragung vom Kollektorkreislauf ans Trinkwasser im Speicher erfolgte über eine Rohrschlange durch freie Konvektion. Die durch die Wärmeübertragungen Absorberblech/Kollektorkreislauf und Kollektorkreislauf/Trinkwasser bedingten Temperaturabfälle wie auch die Pumpleistung wurden berücksichtigt. Der Speicherinhalt wurde als ideal durchmischt angenommen.

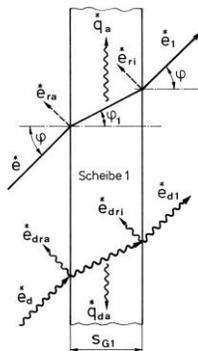
Da noch keine umfangreichen, verlässlichen Messungen an Kollektorprüfständen verfügbar waren<sup>16</sup>, erfolgte die **Berechnung des Kollektorwirkungsgrads** aus dem optischen Wirkungsgrad (**Bild 4**) und den thermischen Verlusten (**Bild 5**). Diese Grössen wurden aus den Absorberabmessungen, der Dicke und dem Abstand der Abdeckgläser (**Bild 6**), der Wärmeleitfähigkeiten der Kollektorelemente und der Wärmeträgerflüssigkeit, den natürlichen Absorptionskoeffizienten der Glasscheiben für direkte und diffuse Strahlung, der Brechzahl, dem Absorptionskoeffizienten für Solarstrahlung und dem Emissionskoeffizienten des Absorbers für Wärmestrahlung sowie dem Strahlungseinfallswinkel berechnet. Die Wärmeverluste durch die seitliche Einfassung des Kollektors wurden mit einem Zuschlagsfaktor zu den rückseitigen Wärmeverlusten berücksichtigt. Selbstverständlich wurden für die dynamische Erfassung auch die Wärmekapazitäten von Absorber, Kollektorkreislauf und Speicherinhalt erfasst.

<sup>15</sup> Der Preis für [1] konnte damit auf auch für damalige Verhältnisse bescheidene Fr. 16.80 festgelegt werden. Es ging mir um Information – nicht um Geld.

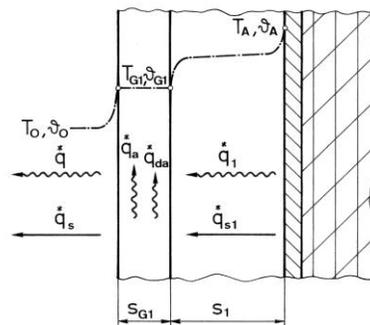
<sup>16</sup> Es wurde noch eifrig über Sinn oder Unsinn einer Zweifachverglasung diskutiert



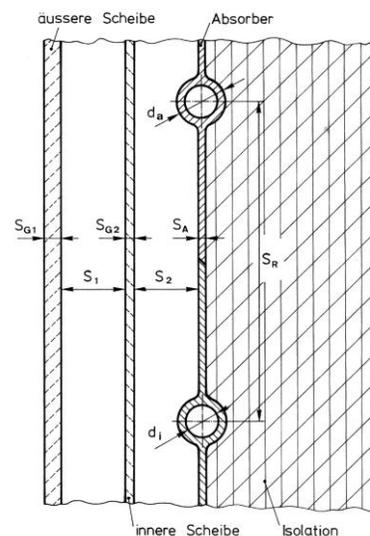
**Bild 3:** Mit dem Pionierprogramm simulierte Anlage. (aus [1])



**Bild 4:** Zur Berechnung der optischen Verluste der Kollektoren. Näheres in [1].



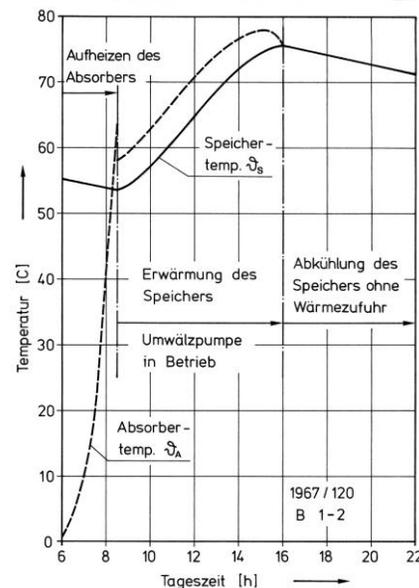
**Bild 5:** Zur Berechnung der vorderseitigen Wärmeverluste für das Beispiel einer Abdeckscheibe. Näheres in [1].



**Bild 6:** Schnitt durch den Absorber. Wärmeleitung durch das Absorberblech und Wärmeübergang an den Wärmeträger im Kollektorkreislauf wurden berechnet. (aus [1])

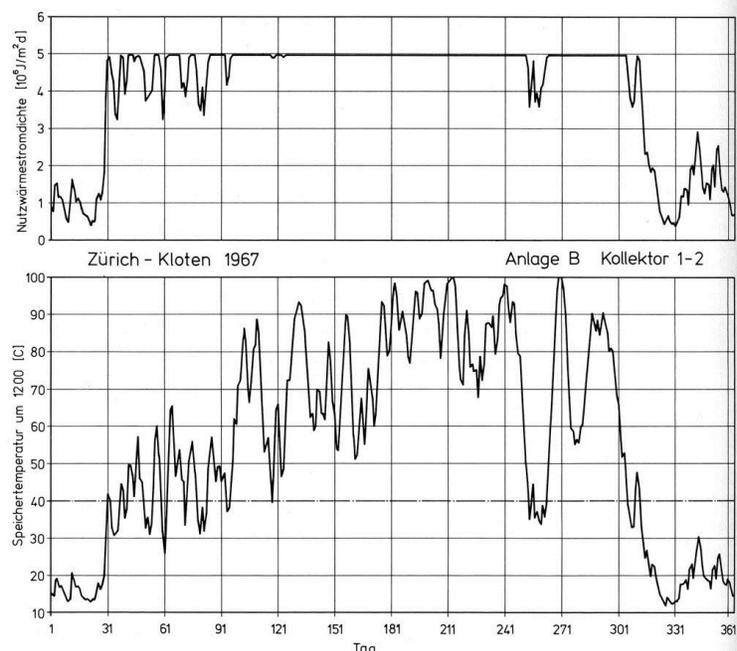
Als **Meteordaten** wurden Stunden-Messwerte der SMA für die Jahre 1964 bis 1972 für Zürich-Kloten<sup>17</sup> verwendet. Dabei wurden nebst der direkten Strahlung auf eine Horizontalebene, der diffusen Strahlung und der Umgebungstemperatur auch die Windgeschwindigkeit zu einer besseren Erfassung des Wärmeübergangs von der äusseren Kollektorscheibe an die Umgebung berücksichtigt. Selbstverständlich erfolgte eine stündliche Umrechnung der direkten Strahlung auf die Kollektorebene.

Das **Bild 7** zeigt ein Beispiel eines mit dem Pionierprogramm berechneten Tagesverlaufs der Absorber- und Speichertemperatur.



**Bild 7:** Absorber- und Speichertemperatur der in [1] beschriebenen Anlagevariante B für den 120. Tag des Jahres 1967 für Zürich-Kloten. ([1], Bild 27)

Im **Bild 8** wird der Jahresverlauf der Speichertemperatur und der Nutzwärmestromdichte aufgezeigt. Man erkennt daraus deutlich die im Sommer über dem Bedarf liegende solare Wärmeproduktion (horizontaler Verlauf bei knapp  $5 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2 \text{ d}$ ).



**Bild 8:** Jahresverlauf der Speichertemperatur um 12:00 und der pro Tag und Quadratmeter Absorberfläche gewonnenen Nutzwärme für die in [1] beschriebene Anlagevariante B für das Jahr 1967 in Zürich-Kloten. ([1], Bild 28)

<sup>17</sup> Einigermassen repräsentativ für das schweizerische Mittelland. Einige Rechnungen habe ich auch für Davos und Locarno-Monti durchgeführt.

## 2.2 Entwicklungsschritte

Am 24. März 1976 nahm ich mit Dr. P. Valko von der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt SMA Kontakt auf. Er stellte sich sofort hinter mein Vorhaben und versprach mir, die benötigten Meteodaten zur Verfügung zu stellen. Allerdings waren diese auf dem Computer des Rechenzentrums der ETH-Zürich gespeichert. Die SMA konnte (oder wollte?) sie nicht für Rechnungen an der Universität Bern freigeben. Um die Reisewege zu minimieren, habe ich die Entwicklung in vier Schritten durchgeführt:

1. **Aufstellen der** in [1] ausführlich beschriebenen **Berechnungsmodelle**. Da noch keine genügenden Messungen an Prüfständen vorlagen, bin ich von den physikalischen und geometrischen Daten der Abdeckgläser und des metallischen Absorbers ausgegangen (Absorber und Kollektorabmessungen, Absorptions- und Emissionskoeffizient des Absorbers, Dicke, Brechzahl und natürlicher Absorptionskoeffizient der Glasscheiben). Auf eine Modellierung der thermischen Speicherschichtung wurde verzichtet. Im Übrigen habe ich das Wesentliche der späteren SIWW-Programme bereits implementiert.
2. **Entwicklung und Test einzelner Berechnungsmodule** am Technikum Burgdorf. Leider war dies nur in BASIC und, wie bereits erwähnt, nur mit Variablen aus höchstens zwei Normalzeichen möglich.
3. Anschliessend habe ich **die Testmodule in die Programmiersprache FORTRAN übersetzt**. Die Module fügte ich dann zu einem Simulationsprogramm für die ganze Anlage zusammen. Die Programme habe ich mit fiktiven Meteodaten an der Universität Bern<sup>18</sup> getestet. Dies war damals äusserst mühsam. Ich sass stundenlang an den Lochmaschinen im Locherraum. Jede Anweisungszeile musste auf eine Lochkarte gestanzt werden. Alle Lochkarten des Programms haben etwa eine Schuhschachtel gefüllt. Infolge tiefster Priorität (nach Inselspital, kantonaler Verwaltung und Universität) konnte ich meine Programme nur über die Nacht laufen lassen. Oft bin ich am Folgetag nach Bern gereist, um dem Outputfach nur eine einzige Fehlermeldung (die erst noch recht intransparent war) zu entnehmen<sup>19</sup> ...
4. **Durchführung der eigentlichen Simulationsrechnungen** mit echten Meteodaten der SMA am Rechenzentrum der ETH-Zürich. Auch hier war der Zugang für mich sehr mühsam. Ich musste zuerst ans EIR in Würenlingen zu Herrn Dr. P. Kesselring reisen und ihn für mein Vorhaben gewinnen. Er gestand mir darauf ein recht beschränktes Rechenkonto für die ETH zu. Glücklicherweise haben mir Herr Dr. Valko und sein Mitarbeiter H. Bantle jeweils grosszügig aus dem zu engen Korsett des EIR (eine schäbige Schikane!) geholfen.... H. Bantle zeigte mir, wie die Meteodaten aus der SMA-Datenbank einzulesen seien. Die erste Programmversion lief am RZ der ETH-Z am 1. Juli 1976! Aber bis zum einwandfreien Funktionieren blieb noch ein langer Weg. Mit vielen Fahrten auch von unserem Feriendomizil im Toggenburger Wintersberg. Oft kam ich erst sehr spät nach Hause.

Ein **Zwischenfall** ist erwähnenswert. Nach der Entdeckung eines Fehlers im Programm<sup>20</sup> am 8. Februar 1977 musste ich das bereits abgelieferte Manuskript [1] beim Hallwag-Verlag stoppen. In Tag- und Nachtarbeit musste ich die Simulationen an der ETHZ nochmals durchführen und zahlreiche Diagramme (damals von Hand) neu zeichnen. Am 3. März 1977 konnte ich das korrigierte Manuskript abliefern. Es war wirklich nicht immer einfach, ein solches Projekt neben

---

<sup>18</sup> Wie bereits erwähnt, wurde das Rechenzentrum der Universität Bern, des Inselspitals und der kantonalen Verwaltung durch die Firma BEDAG (Berner Datenverarbeitung AG) betrieben. Den Zugang dazu musste ich mir 1973/74 äusserst mühsam erkämpfen → Geschichte zu meinen neuen Berechnungsunterlagen zur Sedimentation kugelförmiger Teilchen im Jahr 1975.

<sup>19</sup> Wenn ich verhindert war, holt oft auch Blanca für mich die Outputs.

<sup>20</sup> Ich kann leider nicht mehr eruieren, wo der Fehler war und wie er sich auswirkte. Für Dokumentationen blieb mir in dieser hektischen Periode keine Zeit...

einer anspruchsvollen Berufsarbeit ganz alleine durchzuziehen! An einen Assistenten konnte man damals am Technikum Burgdorf noch gar nicht denken.

## 2.3 Dokumentation und Publikationen

**Berechnungsgang** und **Berechnungsmodelle** habe ich in [1] ausführlich dokumentiert. Wie ein 1984 durchgeführter Vergleich zwischen meinem Pionierprogramm (Stand nach der Fehlerbehebung im Februar 1977) mit dem weiterentwickelten SIWW1 bestätigte, lieferte mein Pionierprogramm bereits erstaunlich gute Ergebnisse (Abweichung der errechneten Jahresnutzwärme bei vernünftigen Speichergrößen unter 4.6%)<sup>21</sup>.

Wie bereits erwähnt, musste ich die BASIC-Module jeweils in FORTRAN übertragen. Dies ergab schwer interpretierbare Variablenbezeichnungen, da unsere erste BASIC-Version nur Variablen mit zwei Zeichen (Grossbuchstaben und Zahlen ohne Leerzeichen und Sonderzeichen) zuließ und ich hier zur leichteren Kontrolle der Übertragung bei dieser rudimentären Schreibweise blieb (**Bild 9**. Zur **Dokumentation des Programms** blieb mir kaum Zeit. Ich hatte ja noch alles im Kopf... Roland Hungerbühler (siehe unten) hat dies nach seiner Anstellung im April 1981 nachgeholt.

```

3410 Q9=Q3
      GOTO 3530
3430 DTKS=T5+10.-T4
      IF(DTKS.GT.0.) GOTO 3435
      X2=0.
      GOTO 3370
3435 CALL ZKO
      IF(X2.LT.3600.) GOTO 3480
      D4=(Q9*X1+Q4*X1*X1/2.)/C4
      T4=T4+D4
      GOTO 3280
3480 X1=X2
      CALL TEMIT
      X1=3600.
      GOTO 3370
3530 TS(M)=T5
      TK(M)=T4
      QN(M)=Q3
      IF(T5.LE.40.) GOTO 3250
3250 IS=IS+1
      CONTINUE
      X1=10800.
      U7=T5
      CALL TEMIT
      Z6=AA5*10746.6*(T5-10.)
      IF(((U7+T5)/2.).LE.40.) GOTO 3565
      IS=IS+3
      Z6=Z6*30./((U7+T5)/2.-10.)
3565 Z5=Z5+Z6
      ZS=ZS+Z6
      TS22=T5
      CIS=IS
      PRINT 1515,MD,TS5,TS(9),TK(9),QN(9),TS(11),TK(11),QN(11),TS(15),
      2TK(15),QN(15),TS(19),TK(19),TS22,P6,CIS,Z5,ZS
      X1=25200.
      CALL TEON
      X1=3600.
      GOTO 3010

```

Handwritten annotations in blue ink:

- Next to line 3430:  $\frac{\Delta A}{\Delta t} > 0$
- Next to line 3435:  $t_2 \rightarrow$
- Next to line 3480: Speicherpadding -
- Next to line 3530: } Werte Ausgeben
- Next to line 3565: Speicherpadding -
- Next to line 3565: } Nachattribution von 22-05 h

Handwritten annotation in red ink:

- Next to line 3435: G4 T5

**Bild 9:** Ausschnitt aus dem Pionierprogramm in FORTRAN.

Für mich waren die Ergebnisse der Simulationsrechnungen eher enttäuschend. Das Mittel der damaligen, enorm streuenden Prognosen des thermischen Jahresnutzungsgrads von Solaranlagen war offensichtlich zu optimistisch. **Sensationell waren die Ergebnisse** allerdings trotzdem, beruhten sie doch erstmals auf voll ausgeschöpften Möglichkeiten der nachvollziehbaren rechnerischen Voraussage für eine dynamische Systemsimulation. Dies erkannte auch der damalige Chefredaktor der Technischen Rundschau, Herr Silvio Grämiger. Ich habe ihm am 18. September 1976 eine Zusammenfassung und das Inhaltsverzeichnis zu [1] geschickt. Er wollte die Arbeit unbedingt publizieren. Am 3. November 1976 einigten wir uns auf die zusammenfassende Publikation „für jedermann“ [2] und einen ausführlichen Bericht mit dem vollstän-

<sup>21</sup> Vergleich der Simulationsergebnisse zwischen meinem Pionierprogramm (Stand 1977) mit SIWW1 für einen einfach verglasten, nicht selektiven Absorber bei unterschiedlichen Speichergrößen von Roland Hungerbühler, 24. Februar 1984.

digen Berechnungshintergrund im Rahmen der damals sehr populären „blauen Hefte“ der Technischen Rundschau [1]<sup>22</sup>.

Am 21. Januar 1977 habe ich am 4.Symposium der Schweizerischen Vereinigung für Sonnenenergie SSES<sup>23</sup> in Biel [3] über die Ergebnisse meiner Computersimulation berichtet. Da meine Resultate den Idealvorstellungen dieser Gemeinschaft nicht genügten, galt ich in SSES-Kreisen fortan für einige Jahre als **Gegner der Sonnenenergie**. Die SSES hat nicht einmal über mein Buch [1] berichtet...

Um meine Arbeit auch in nüchternen akademischen Kreisen bekannt zu machen, folgte eine Publikation der Ergebnisse in der Schweizerischen Bauzeitung [4]. Hier mit erfreulichem Echo. Auch in einem Abendkurs des Schweizerischen Technischen Verbands am Technikum Muttenz [5] und an einer Weiterbildungsveranstaltung der Firma Informis [6] liess ich meine Arbeiten einfließen.

Die erste **Reaktion** auf die Erst-Publikation in der Technischen Rundschau [2] kam am 4. Januar 1977 von Schweden. Weitere folgten - nebst „Solarfundis“ und Häuschenbesitzer auch fundierte Äusserungen. Pierre Bremer, der spätere BEW-Forschungsprogrammleiter für Solarthermik, fand meine Arbeit in seinem Schreiben vom 15.März 1977 wegweisend für die Zukunft der Solarenergie: Endlich klare Antworten auf viele Fragen der Solarenergienutzung... P. Bremer hat mir dann seine eigene Nomogrammmethod vorgestellt und mit den ebenfalls laufenden Arbeiten meines Freundes, Christoph Schmid in Winterthur, verglichen. P.Bremers Nomogrammmethod habe ich vertieft angesehen und ihm die Gründe für gewisse Abweichungen von der Simulation mitgeteilt. Am 2.September 1978 wollte die Universität Oldenburg gar das Listing meines Programms – was ich aber freundlich abwimmelte. Bis am 5. Februar 1980 wurden von [1] 1980 Exemplare verkauft.

### 3 ENTWICKLUNG DER SIWW-PROGRAMME

1981-1984

Die Weiterentwicklung des Pionierprogramms im Rahmen eines BEW-NEFF<sup>24</sup>-Projekts mit **Roland Hungerbühler** als Vollzeit-Assistent (er war mein bester Diplomand) und mir als Leiter mit wesentlicher Mitarbeit wurde mit einer Projektdefinitionsphase begonnen (1.April – 30. September 1981) und in der eigentlichen Projektphase vom 1.Oktober 1981 bis zum 30. September 1984 fortgeführt.

#### 3.1 Wie es dazu kam

Vorerst war meine Neugier zur Simulation solarer Warmwasserbereitungsanlagen gedeckt. Nebst diversen beruflichen Sonderaktivitäten bauten wir 1977/78 in Oberburg unser neues Einfamilienhaus. In Zusammenarbeit mit Dr. Schoeck von der Fima Hoval entwickelte ich ein System mit Speicherwasser im Solarkreislauf und automatischer Entleerung der Absorber bei Stillstand der Umwälzpumpe. Wir nannten es „**SolEnt-System**“. Da es dafür keine geeignete kommerzielle Kollektoren gab, habe ich diese zusammen mit meiner Frau Blanca in den Jahren 1977/1978 mit einer Gesamtfläche von 16 m<sup>2</sup> selbst gebaut und mit meinem Freund, Chris-

<sup>22</sup> [1] erschien infolge der Verzögerung durch die Behebung des anfangs Februar entdeckten Fehlers erst am 26.Mai 1977. Gegen Ende Jahr erschien von A.Duppenthaler und Dr. P. Kesselring vom EIR Würenlingen die Berechnung des Bruttowärmeertrags von Sonnenkollektoren (als Heft 130 der blauen TR-Reihe). Für mich bedeutete diese einen Schritt zurück.

<sup>23</sup> Die SSES wurde 1974 gegründet.

<sup>24</sup> BEW: Bundesamt für Energiewirtschaft, NEFF: Nationaler Energie-Forschungs-Fonds.

troph Schmid, auf dem Dach installiert<sup>25</sup>. Und dies gemäss der SSES als Gegner der Solarenergienutzung.... Zu dieser Zeit erschien auch mein Lehrbuch „Verfahrenstechnik I“ im Hallwag-Verlag. In den Jahren 1979/80 war ich in meiner spärlichen Freizeit zudem mit Forschungsarbeiten zur Filtration mit kompressiblen Kuchen beschäftigt<sup>26</sup>.

Meine Arbeiten zur Solarenergie hatten sich inzwischen herumgesprochen. Im April 1980 kam wieder Bewegung ins Solarthema. Dr. Gerhard Schriber, damals Leiter des BEW-Energieforschungsprogramms Solarenergie, hat mich angefragt, ob ich meine Arbeiten zur Solarenergienutzung wieder aufnehmen würde. Er stellte mir die **Finanzierung eines Assistenten – ein völliges Novum an unserer Ingenieurschule**<sup>27</sup> – und die Übernahme der Kosten für meine Unterrichts-Entlastung um 4 Lektionen für die Projektleitung in Aussicht. Das war Balsam für meine Dozentenseele! Bereits am 30. April 1980 habe ich eine entsprechende Projektskizze (125 kFr für eine Projektdauer von 2 Jahren) zur Erweiterung meines Pionierprogramms um eine solare Hilfsheizung, eine Validierung an bestehenden Anlagen und dem Erarbeiten von Berechnungsunterlagen für die Praxis verfasst.

Das Sagen hatte offenbar die Eidgenössische Fachkommission für die Nutzung der Sonnenenergie (KNS). Sie hat meine Skizze am 30. Mai 1980 behandelt und verwies in einem Brief von Dr. E. Kiener (Direktor BEW) vom 10. Juni an die Direktion unserer Ingenieurschule auf die Kompetenzzentren zu diesem Thema an der EPFL<sup>28</sup> und am EIR. Sie unterstützte zwar mein Anliegen – forderte aber eine Koordination mit der EPFL und dem EIR.

Am 16. Juli 1980 fand darauf am BEW das denkwürdige **Koordinationsgespräch** mit den Herren Dr. Gerhard Schriber (BEW), Prof. Dr. Peter Suter (EPFL, Präsident der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE), Dr. Jean-Marc Suter (EIR, Vorhabensleiter Solarwärme) und mir statt. Unterstützt durch Gerhard Schriber konnte ich den noch etwas skeptischen Peter Suter (kann man so etwas an einer Ingenieurschule?) überzeugen, das Wagnis „Forschung an einer Ingenieurschule“ einzugehen. Den noch skeptischeren Jean-Marc Suter (ausgerechnet den theoretischen Teil an einer Ingenieurschule statt am EIR?) konnte ich wohl nicht befriedigen. Um die Praxisnähe zu stärken, schrieb ich am Folgetag<sup>29</sup> ein Gesuch um Beteiligung zur Ausarbeitung eines Pflichtenhefts an den SWKI<sup>30</sup> und den SOFAS. Schliesslich reichte ich am 22. August 1980 ein Projektgesuch in 9 Exemplaren (!) dem Nationalen Energieforschungs-Fonds NEFF ein. Das Gesuch für das geplante Zweijahresprojekt umfasste Folgendes: Experimentelle Validierung, diverse Verfeinerungen des Pionierprogramms, Ausarbeiten praxisingerechter Berechnungsunterlagen und eventuell kombinierte Warmwasserbereitung sowie Raumheizung. Gesamtbudget mit Infrastruktur 275 kFr: NEFF-Beitrag 145 kFr, Kantonsbeitrag 130 kFr – davon 100 kFr Infrastruktur und 30 kFr für Sekretariat und meine Entlastung um 4 Unterrichtslektionen<sup>31</sup>.

Die Behandlung beim NEFF verzögerte sich. So auch die Bewilligung des praktisch fiktiven Kantonsbeitrags. Am 8. Dezember 1980 erhielten wir die Kopie eines **Rückenschusses der SOFAS: Das Projekt sei unnötig – die anvisierten Berechnungsgrundlagen würden durch den SOFAS selbst erarbeitet**. Die Leute hatten keine Ahnung von einer Computersimulation, geschweige denn von den sich damit eröffnenden Auslegungsmöglichkeiten! **Gegenwind auch vom EIR** – es beantragte, nur 35 kFr für 6 Monate zu sprechen – mit abschliessendem Beweis, dass wir etwas Taugliches liefern könnten... Schliesslich wurde am

<sup>25</sup> Die Anlage läuft übrigens nach 32 Jahren immer noch zu unserer vollen Zufriedenheit.

<sup>26</sup> Zogg, M.: Filtration mit kompressiblem Kuchen, Swiss Chem 1(1979)5, 27/34 und Experimentelle Bestimmung der Filtrationseigenschaften kompressibler Filterkuchen, Swiss Chem 2(1980)6, 43/54.

<sup>27</sup> Unsere Schule wurde 1977 von „Kantonales Technikum“ in „Ingenieurschule Burgdorf ISB“ umbenannt. 1998 wurde sie Teil der Berner Fachhochschule.

<sup>28</sup> Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (ETH-Lausanne).

<sup>29</sup> Auf meiner privaten Speicherschreibmaschine mit einem 20-Zeichen-Display, die ich um 1980 für ca. 13'000 damalige Schweizerfranken für meine Publikationstätigkeit gekauft hatte. An der Ingenieurschule Burgdorf hätte man eine solche Anschaffung als unerhörten Luxus taxiert....

<sup>30</sup> Schweizerischer Verein von Wärme- und Klimaingenieuren; heute Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren

<sup>31</sup> 2 \* 2 Lektionen Semesterarbeiten im Sommersemester, 2 \* 2 Lektionen Programmieren im Wintersemester.

22. Dezember 1980 vom NEFF eine halbjährige Vorphase mit einem Beitrag von 35 kFr genehmigt. Für diese Vorphase wurde ein einmonatiger „Orientierungsaufenthalt“ des Assistenten am EIR vorgeschlagen. NEFF-Pate war Prof. Gränicher vom EIR... Da bei gutem Ausgang des Vorprojekts die weitere Finanzierung in Aussicht gestellt wurde, konnte ich nun immerhin meinen Wunschkandidaten, Roland Hungerbühler, engagieren. Nach den vielen Anstrengungen ein bescheidenes Weihnachtsgeschenk! Ohne den Einsatz von Gerhard Schriber hätte es wohl überhaupt keines gegeben. Im Interesse, Forschungsprojekte auch an Ingenieurschulen zu holen, schluckte ich die Kröte. Zudem stiegen die längerfristigen Chancen, da das BEW das Projekt in das *IEA Solar Heating and Cooling Programm* einbringen wollte. Ein noch am 27. Dezember 1980 an den Migros-Genossenschafts-Bund eingereichtes Gesuch brachte zusätzliche 5 kFr.

Trotz der nur für ein halbes Jahr gesicherten Finanzierung begann ich im Januar 1980 mit der Planung des Vorprojekts und der Organisation der geforderten Orientierungsaufenthalte von Roland Hungerbühler an der EPFL und am EIR. Für die Stellvertretung in den Übungen zur Verfahrenstechnik hatte ich mit meinem ehemaligen Diplomanden, Bruno Achermann, einen ausgezeichneten Fachmann gewonnen. Sein Arbeitgeber (Roche, Sisseln) gab ihn trotz der bescheidenen Entschädigung von nur 52 Fr/Lektion für die Sommersemester 1981 und 1982 frei. Am 27. Januar 1981 dankte Regierungsrat Bernhard Müller<sup>32</sup> unserem Schuldirektor Manfred Zellweger (nicht mir!), dass es ihm gelungen sei, diese Vorphase sicherzustellen... Immerhin bewilligte B.Müller meine Entlastung um vier Lektionen bereits für die Jahre 1981 und 1982 und es wurde ein spezielles Konto für mein Projekt eröffnet.

### 3.2 Vorprojekt April 1981 bis September 1981

Zu guter Letzt konnte Roland Hungerbühler seine Stelle als Sachbearbeiter des 134. NEFF-Projekts „Berechnungsunterlagen für die direkte Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie“ antreten. Nach einer gründlichen Einarbeitung in den aus Zeitgründen noch schlecht dokumentierten FORTRAN-Code meines Pionierprogramms absolvierte er seine **Orientierungsaufenthalte** am EIR (Dr. Jean-Marc Suter) an der EPFL (Prof. Dr. P. Suter). Der „Nutzungsgrad“ dieser „Lehrwochen“ erwies sich als eher gering...

Dr. P. Valko von der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt unterstützte unser physikalisches **Verständnis der Messergebnisse der SMA** durch das Überlassen zahlreicher relevanter Publikationen. Roland Hungerbühler hat sich mit vielen Tests gründlich in mein Pionierprogramm eingearbeitet und den Code durch zahlreiche Kommentare und die Verwendung einprägsamerer Symbole transparenter gemacht. In der Vorphase haben wir gezeigt, dass die in [1] verwendete Umrechnung der Strahlungsdaten auf beliebig geneigte Ebenen den Berechnungsgleichungen des EIR entspricht und dass sich die optischen Verluste von Ein- und Zweischeibenkollektoren bei diffuser Strahlung in Abhängigkeit der Scheibendicke, des natürlichen Absorptionskoeffizienten und des Kollektorneigungswinkels mit hinreichender Genauigkeit durch eine lineare Beziehung wiedergeben lässt.

Unser NEFF-Pate, Prof. Dr. H. Gränicher vom EIR, war offenbar mit dem Verlauf der Vorphase zufrieden und ersuchte mich am 20. Juli 1981, bis zum 20. August 1981 ein **NEFF-Gesuch für die Folgephase** einzureichen. Zusammen mit Roland Hungerbühler habe ich dieses detailliert geplant und am 15. August 1981 eingereicht.

Die Vorbereitungen für die **Orientierungs- und Koordinationssitzung** am BEW nahm ich ab dem 15. Juli 1981 an die Hand. Das geplante weitere Vorgehen haben wir an der Sitzung vom

<sup>32</sup> Volkswirtschaftsdirektor des Kantons Bern.

8. September 1981<sup>33</sup> ausführlich besprochen und - soweit sinnvoll - den Wünschen der Teilnehmer angepasst. Unter anderem wurde der Einbezug einer solaren Unterstützung der Raumheizung und eine Erfassung der thermischen Speicherschichtung sowie die zur berücksichtigenden Anlagevarianten beschlossen. In Ergänzung zu meinen eigenen Vorstellungen kam im Wesentlichen die Anlage mit zwei in Serie geschalteten Warmwasserspeichern hinzu. Aus zahlreichen Voten und Koordinationsempfehlungen mit Hochschulinstituten hörte ich immer wieder ein „Können die das?“ heraus. Auch die Rechenzeit war damals noch ein ernsthaftes Thema. Wir beschlossen für die künftigen Phasen die Bildung einer **Projektbegleitgruppe** mit den Mitgliedern Dr. Gerhard Schriber (BEW), Dr. J.-M. Suter (EIR), P. Therre (EPFL) und R. Schärer (SOFAS). Auf Anregung von Vanoli/Suter (EIR) nahm ich am 15. September 1981 mit dem Physiker Dr. Schreitmüller von der TU-Stuttgart Kontakt auf, der ebenfalls an ähnlichen Problemen arbeitete.

### 3.3 Erste Projektphase Oktober 1981 bis September 1983

Der NEFF hatte für dieses Zweijahresprojekt ein Budgetdach von 275 kFr bewilligt. Die (bis auf 30 kFr) fiktiven Eigenleistungen des Kantons Bern wurden am 21. Oktober 1981 mit 130 kFr zugesagt. Es galt noch einige administrative Hürden zu nehmen. So wurde mir erst Ende Oktober 1981 zugestanden, für das Projekt ein Sparkonto zu eröffnen. Ich wollte nämlich den ganzen Betrag nicht einfach in der Staatskasse verschwinden lassen. Insbesondere wollte ich allfällig unverbrauchte Mittel für eine spätere Phase sicherstellen.

Zu Beginn der ersten Projektphase haben Roland Hungerbühler und ich die im Rahmen eines laufenden IEA-Programms interessierende **Kollektorwirkungsgradberechnung** meines Pionierprogramm wie folgt **verfeinert** [7]:

- Erfassen der Südabweichung der Kollektorebene,
- Berücksichtigung der Mehrfachreflexion für die optischen Verluste des Kollektors,
- Zusätzliche rechnerische Erfassung der optischen Verluste für die diffuse Strahlung.

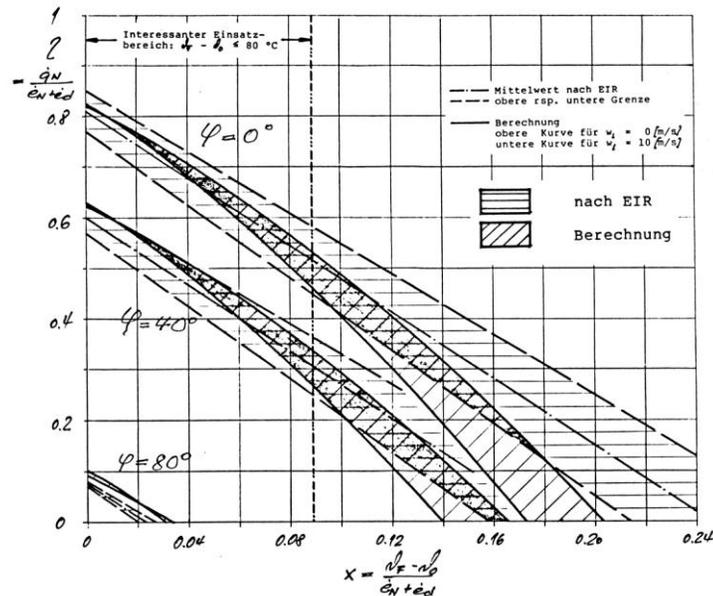
Mit dem derart **modifizierten Programm** wurden darauf Wirkungsgraddiagramme aus den physikalischen und geometrischen Daten des IEA-Referenzkollektors „Chamberlain“ errechnet. Das **Bild 10** zeigt das Ergebnis für eine Schönwettersituation (ausgezogene Kurve) und einen Vergleich mit der vom EIR aus den Messergebnissen am Prüfstand ermittelten strichpunktierten Gerade (untere und obere Fehlergrenze gestrichelt) für Einfallswinkel von 0°, 40° und 80° [8]. Auffallend ist der verblüffend deutliche Einfluss der Windgeschwindigkeit (obere Kurve für Windstille, untere für eine Windgeschwindigkeit von 10 m/s). Das Programm ermöglicht, die experimentellen Kollektorwirkungsgradmessungen zu interpretieren und allfällige Unstimmigkeiten zu erkennen. Es vermag auch Verbesserungsmöglichkeiten für die Kollektoren zu analysieren.

Der **Vergleich zwischen berechneten und am EIR-Prüfstand aus Messungen ermittelten Kollektorwirkungsgraden** zeigt für den IEA-Referenzkollektor Chamberlain in für die Sonnenenergienutzung interessanten Bereichen sehr gute Übereinstimmung: Bild 10. Bei rein diffuser Strahlung ergab die Rechnung etwas zu hohe Wirkungsgrade. Die Rechnungen zeigten, dass die vom EIR als „optischer Wirkungsgrad“ bezeichnete Grösse nicht unabhängig von der

<sup>33</sup> Anwesend an der Sitzung waren P. Therre als Vertreter von P. Suter (EPFL), J.-M. Suter (EIR), G. Schriber (BEW), J. Frei (Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern), H. Rüesch und R. Schärer (SOFAS). Entschuldigt haben sich D. Linder (Präsident NEFF) und J.R. Müller (Ingenieurbüro Orbe). Unentschuldigt blieben unser NEFF-Pate H. Gränicher, F. Reutimann (SSES) und Herr Wirz vom SWKI abwesend.

Strahlung und der Windgeschwindigkeit ist. Auch der vom EIR vorgeschlagene „konstante thermische Verlustfaktor“ ist eben nicht konstant. Er wird von der Strahlung, der Windgeschwindigkeit und dem Kollektorneigungswinkel deutlich beeinflusst [8].

**Bild 10:** Vergleich der mit dem nach [7] modifizierten Programm berechneten Wirkungsgrade mit dem vom EIR aus Prüfstandsmessungen angegebenen Verlauf für den IEA-Referenzkollektor *Chamberlain* für unterschiedliche Einfallswinkel. Gesamtstrahlung auf Horizontalebene ( $e_N + e_d$ ) = 900 W/m<sup>2</sup>, Umgebungstemperatur 15°C, Anteil der diffusen Strahlung 15%, Kollektorneigungswinkel 40°, Sonnenhöhenwinkel 90°, Geschwindigkeit des Wärmeträgers 0.0126 m/s. ([8], Bild 3)



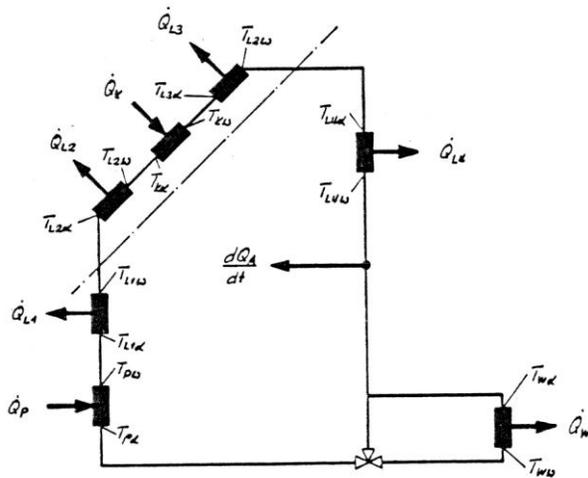
Zur Anpassung an die etwas fragliche Praxis mussten wir aber unsere ganze Kollektorwirkungsgradberechnung aufgeben. Sie wurde zugunsten einer **Übernahme an Prüfständen gemessener Kollektorwirkungsgrade** aus unserem Programm entfernt. Nicht ganz ohne „innere Widerstände“... [9].

Weiter haben wir die **Wärmeverluste in den Verbindungsleitungen** (ausser und innerhalb des Gebäudes getrennt) eingebaut und für das ganze Wärmeübertragungssystem (**Bild 11**) vom Absorber zum Speicherinhalt das **HTU-NTU-Konzept** [10] eingeführt. Zum Ersatz der üblichen umständlichen Iteration bei der Wärmeübertragung durch freie Konvektion von den Rohrschlangen an den Speicherinhalt haben wir im Oktober /Dezember 1982 nach Einführen geschickter dimensionsloser Kennzahlen eine **neue Methode zur iterationsfreien Auslegung von Wärmeübertragern mit einseitig freier Konvektion** gefunden [11] und ins Simulationsprogramm eingeführt. Das war für uns eine fachliche Sternstunde und es brachte eine deutliche Reduktion der Simulationszeit. Die Validierung der neuen Berechnungsmethode an einem realen Speicher der Firma Jenni, Oberburg, mit glatten Rohrwendeln (**Bild 12**) im Rahmen einer Diplomarbeit ergab eine innerhalb der Messgenauigkeit liegende Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung.

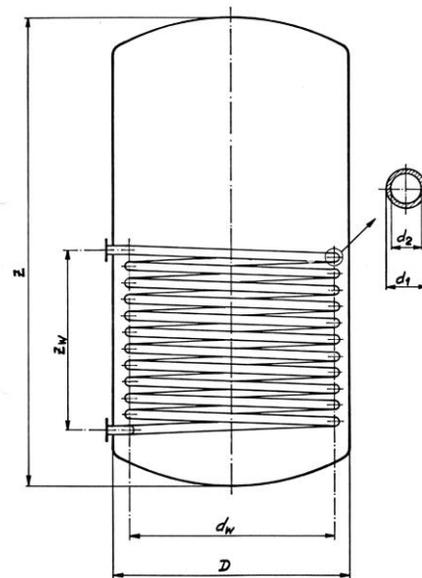
Zur Reduktion der Rechenzeit haben wir das **Gesamtsystem** (Kollektor, Wärmeübertragungssystem und Speicher) **analytisch** erfasst. Durch Einführen geeigneter **dimensionsloser Kennzahlen** konnten wir die grosse Zahl von Eingabegrößen reduzieren. Weiter haben wir das Strahlungsumrechnungsmodell von Ambrosetti übernommen und aufgrund von Pumpencharakteristiken die Volumenstromvariation des Kollektorkreislaufs in Abhängigkeit der Temperatur untersucht (sie erwies sich als vernachlässigbar).

Der **Transfer der Meteodaten von der SMA auf unseren Computer**<sup>34</sup> erwies sich als komplizierter als gedacht. Wir mussten dafür unseren Computerlieferanten Digital Equipment engagieren. Heute würde man sie per Internet auf den PC laden

<sup>34</sup> Wir hatten inzwischen an der Ingenieurschule Burgdorf auch einen wesentlich leistungsfähigeren Computer mit Plattenspeicher.



**Bild 11:** Wärmeübertragungssystem für die Simulationsrechnungen. L: Leitung Kollektorkreislauf, K: Kollektor, P: Umwälzpumpe, W: Wärmeübertrager im Speicher (aus [9]).



**Bild 12:** Glattrohrwendel zur Wärmeübertragung ans Speichermedium (aus [11]).

Infolge gegenüber der Planung wesentlich tieferer Bearbeitung einzelner Berechnungsmodule und noch genügender finanzieller Restmittel habe ich – verzögert durch meine Tätigkeit in Indonesien (Weltbankprojekt Polytechnic) und die Auslandsabwesenheit von Gerhard Schriber - der Ingenieurschule Burgdorf am 1. September 1983 ein **Verlängerungsgesuch um ein Jahr** bis zum 30. September 1984 eingereicht. Hauptziel waren eine transparente Dokumentation und die gewünschte Erweiterung auf eine Anlage mit zwei Speichern. Selbstverständlich hat der Regierungsrat dieses Verlängerungsgesuch bewilligt, da der Kanton dafür nur Büro und Computer zur Verfügung stellen musste. Dem Bundesamt für Energiewirtschaft entstanden keine zusätzlichen Kosten, da wir noch über einen ansehnlichen Restkredit verfügten.

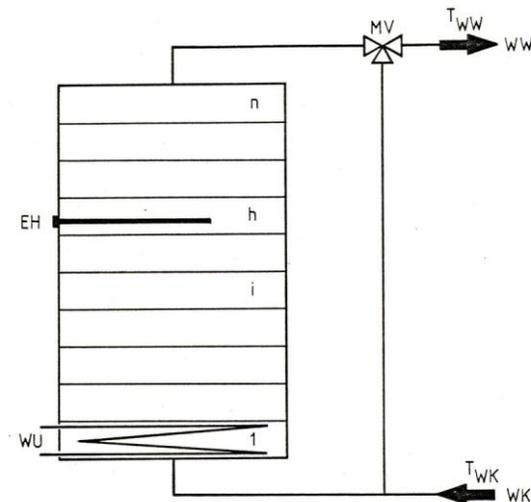
### 3.4 Verlängerung erste Projektphase Okt. 1983 bis Sept. 1984

Dem Problem der thermischen **Speicherschichtung** sind wir zwar ab April 1981 nachgegangen - vorerst noch nebenbei. Durch J.-M. Suters Kontakte im *IEA Solar Heating and Cooling Programm* habe ich von Dr. B.H.L. Betlem (Technischen Hochschule Eindhoven NL) im April/Juli 1982 Einiges zu deren Speicherschichtmodell erfahren. Viel Neues ergab sich daraus für uns allerdings nicht. Wir hatten das uns Mitgeteilte in eigenen Vorabklärungen ab August 1981 bereits untersucht. Im Herbst 1983 gingen wir das Problem vertieft an. Wir haben uns schliesslich für eine wahlweise Eingabe von 1 (Speicher vollständig durchmischt) bis 20 (ideale Schichtung) Speicherschichten entschieden: **Bild 13**. Nach einer Diplomarbeit und dem Studium zahlreicher experimenteller Untersuchungen, einem Wissensaustausch mit dem EIR<sup>35</sup> und der Einführung der Inversionsvermischung auch innerhalb eines Stundenintervalls (Februar 1984) haben wir folgende **Annahmen** getroffen:

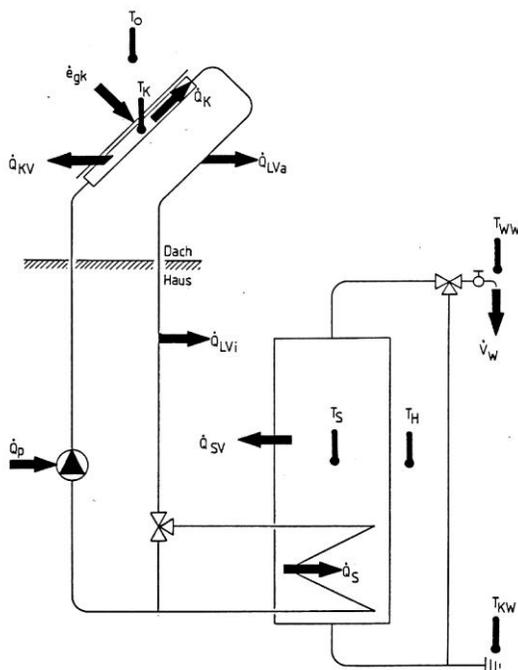
<sup>35</sup> Erfahrungsaustausch zur Modellierung von Warmwasserspeichern am EIR vom 20. Dezember 1983 mit den Teilnehmern Zogg/Hungerbühler, B. Schläpfer SOFAS/E. Schweizer AG, Dr. H. Weber/Dr. J.-M. Suter/Dr. R. Brunner/J. Habegger/M. Brack EIR (gut dotiertes EIR..!)

1. Kein Wärmetransport zwischen den Schichten.
2. Durchmischung der betreffenden Schichten nur im Temperaturinversionsfall.
3. Nur eine Temperaturschicht im Bereich des Wärmeübertragers des Kollektorkreislaufs.

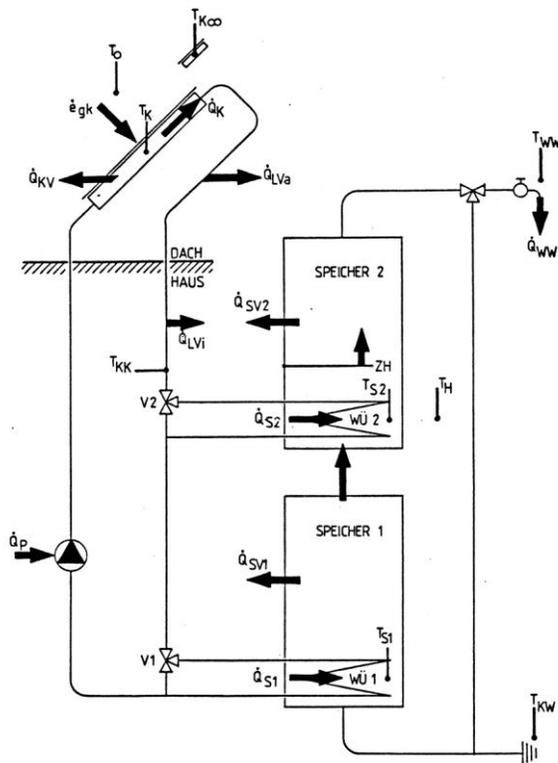
**Bild 13:** Berechnungsmodell für den geschichteten Speicher. WK: Kaltwasser, WU: Wärmeübertrager des Kollektorkreislaufs, EH: Ergänzungsheizung, MV Mischventil zur Erzeugung einer konstanten Verbrauchstemperatur (z.B. Haushahn), WW: Warmwasserentnahme (aus [12]).



Die Projektverlängerung um ein Jahr gab uns für **Anlagen mit einem Speicher** die Gelegenheit, das Erarbeitete zu ergänzen, sauber zu dokumentieren [12] und die Programme gründlich zu testen. Das **Bild 14** zeigt das Schema der simulierten Anlagen mit einem Speicher mit dem später auch extern als **SIWW1** bezeichneten Programm. Vereinfachende Annahmen, Berechnungsgrundlagen, Programmaufbau und Programmablauf werden in [12] ausführlich erörtert. Die als Input erforderlichen Stundenwerte der Meteorodaten standen für Zürich-Koten (1963 bis 1972), Davos (1961 bis 1970) und Locarno-Monti (1961 bis 1970) zur Verfügung. Den Bericht zur Simulation von Anlagen mit einem Speicher haben wir am 19. Juni 1984 am BEW der Arbeitsgruppe vorgestellt. Zum Erfassen unkonventioneller Steuerungskonzepte wurde eine später als **SIWWN** bezeichnete numerisch rechnende Variante des SIWW1 beibehalten.



**Bild 14:** Mit dem Programm SIWW1 simulierbare Anlagen zur solaren Warmwasserbereitung mit einem Wärmespeicher (aus [12]).



**Bild 15:** Mit dem Programm SIWW2 simulierbare Anlagen zur solaren Warmwasserbereitung mit zwei in Serie geschalteten Wärmespeichern (aus [13]).

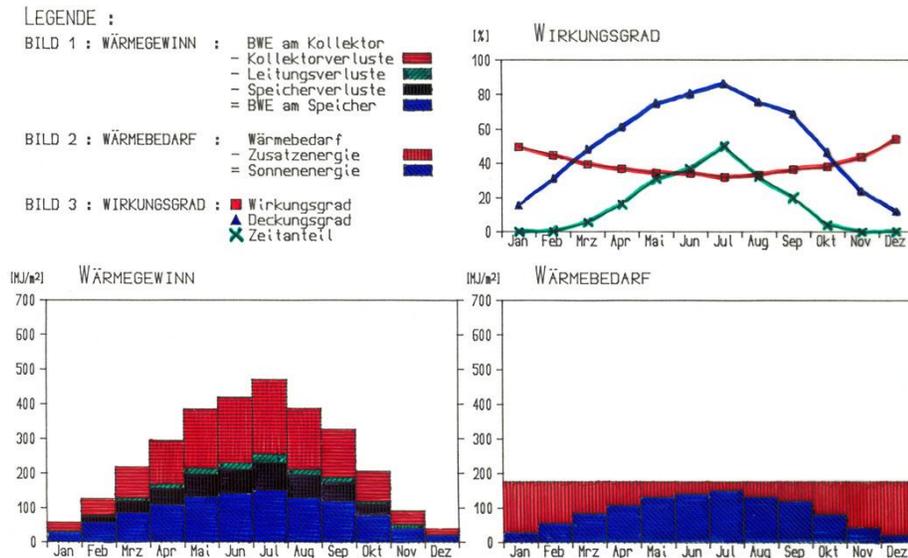
In einem zweiten Teil haben wir das Programm SIWW1 nach den Wünschen der Praxis zur Erfassung von Anlagen mit zwei in Serie geschalteten Wärmespeichern **SIWW2** ausgebaut: **Bild 15**. Die oben beschriebene analytische Lösung für Temperaturen und Wärmeströme musste hier durch eine zeitraubendere numerische Rechnung mit wählbarem Zeitschritt ersetzt werden. Die beiden im Bild 15 gezeigten Wärmeübertrager WÜ1 und WÜ2 lassen sich alternativ oder in Serie betreiben. Die Zuschaltung von WÜ2 kann wahlweise durch die Temperatur des Kollektorkreislaufs, die Leerlauftemperatur eines Referenzkollektors oder das Verhältnis von Leerlauftemperatur zur Temperatur in der entsprechenden Speicherschicht („Wirkungsgradsteuerung“) gesteuert werden. Ein- und Ausgabedaten sind analog zum Programm SIWW1. Auf Wunsch der Projektbegleitgruppe wird der solare Ertrag getrennt ohne Wärmeverluste im Gebäude und einschliesslich der Wärmeverluste im Gebäude bei Aussentemperaturen unter 12°C und bei allen Aussentemperaturen ausgegeben. Näheres in [13].

Mit beiden Programmen können einzelne Jahre oder mehrere Jahre durchgerechnet werden. Eine graphische Ausgabe der SIWW-Programme wird für ein Beispiel im **Bild 16** gezeigt. Eine tabellarische Ausgabe findet man im **Anhang 2**.

Gegen den Schluss der Phase 1 konnten wir uns noch einem **Einbezug der Raumheizung** widmen. Erste Überlegungen dazu gehen auf den Juni 1984 zurück. Wir mussten deren Verfeinerung aber noch zurückstellen. Der Begleitgruppensitzung vom 27. Juni 1984<sup>36</sup> erläuterten wir unsere Überlegungen zur Erfassung der solar unterstützten Raumheizung.

Wir waren sehr sparsame Projektnehmer. Der Gesamtaufwand von 1. April 1980 bis zum 30. September 1984 betrug nur Fr. 224'497. Am Projektende blieben noch rund Fr. 40'000 übrig.

<sup>36</sup> Leitung M. Zogg, Teilnehmer R. Hungerbühler, G. Schriber, J.-M. Suter/H. Weber EIR, J. Jenni/B. Schläpfer SOFAS, D. Auiulfi (ETHZ).



**Bild 16:** Graphisches Ausgabebeispiel für eine Anlage mit einem Speicher (aus [12]).

Es war eine Freude mit **Roland Hungerbühler** zusammen zu arbeiten. Er hatte eine rasche Auffassung, zog das Besprochene konsequent und verlässlich durch und konnte das Erarbeitete auch ausgezeichnet dokumentieren. Roland Hungerbühler wurde übrigens später auch Fachhochschuldozent.

#### 4 VALIDIERUNG - THERMOSIPHON - KENNZAHLMETHODE 1985/86

Die geplante **Phase 2** bis zum 31. März 1986 habe ich auf den Vorschlag von Gerhard Schriber im umfassenderen SOFAS-Vorhaben „**Praxisgerechte Regeln zur optimalen Planung und Ausführung von Sonnenenergieanlagen**“<sup>37</sup> untergebracht. E. Schweizer AG und ich haben das Gesuch an den NEFF am 28. September 1983 unterzeichnet. Während sich die E. Schweizer AG auf den Bau und das Ausmessen von Referenzanlagen und die Entwicklung einer Kurztestmethode für Solaranlagen konzentrierte, erhielten wir grünes Licht zur Durchführung folgender Teilprojekte mit einem Kredit für 1.8 Mannjahre:

1. Experimentelle Überprüfung der Simulationsrechnungen anhand der Messergebnisse an Referenzanlagen. Gegebenenfalls Anpassung einzelner Berechnungsmodule.
2. Extrapolation der Ergebnisse an den Referenzanlagen auf ein breiteres Spektrum von Anlagen. (Aus meiner Sicht hätte die Validierung an weniger Anlagen durchaus genügt, um dann den Ertrag analoger anderer Anlagen durch Computersimulationen anstelle konventioneller Extrapolationen zu berechnen. Aber hier waren wir den Praktikern noch zu weit voraus...)
3. Vereinfachung und zusammenfassende Darstellung der Erkenntnisse.

Für diese **zweite Projektphase** konnte ich wieder einen hervorragenden Diplomanden, **Medard Rieder**<sup>38</sup>, gewinnen. Er hatte bereits in seiner Diplomarbeit im Januar / Februar 1985 mit

<sup>37</sup> Projekt im Rahmen des IEA Solar Heating and Cooling Program, Task III

<sup>38</sup> Wie Roland Hungerbühler wurde später auch Medard Rieder Fachhochschuldozent.

der Validierung unserer SIWW-Programme begonnen und wurde vom 15. April 1985 bis zum 14. April 1986 fest angestellt. Zur zusätzlichen Simulation von Thermosiphonanlagen wurde die Phase 2 dann noch bis zum 31. Juli 1986 verlängert.

Ab April 1985 haben wir mit der **Validierung der Programme SIWW1 und SIWW2** an drei **SOFAS-Referenzanlagen** begonnen [14]. Um den Warmwasserbedarf dem effektiven Verbrauch bei den gemessenen Anlagen exakt übernehmen zu können, musste der Warmwasserbedarf als variable Größe eingelesen werden können. Zu Vergleichszwecken haben wir einige zusätzliche Temperaturen in die Programmausgabe übernommen. Das **Ergebnis der Validierung** war sehr erfreulich, lagen die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten bei Simulationsperioden über einem Monat doch innerhalb der bei den Referenzanlagen erzielten Messgenauigkeit: **Tabelle 2**.

**Tabelle 2:** Vergleich der wichtigsten gemessenen und mit SIWW berechneten Größen über die gesamte Messperiode an den SOFAS-Referenzanlagen.

Anlage 1 ( $7.7 \text{ m}^2 / 0.5 \text{ m}^3$ )  
 Anlage 2 ( $18.5 \text{ m}^2 / 1.8 \text{ m}^3$ )  
 Anlage 3 ( $7.7 \text{ m}^2 / 2 \cdot 0.5 \text{ m}^3$ )  
 mit zwei Speichern. (aus [15])

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

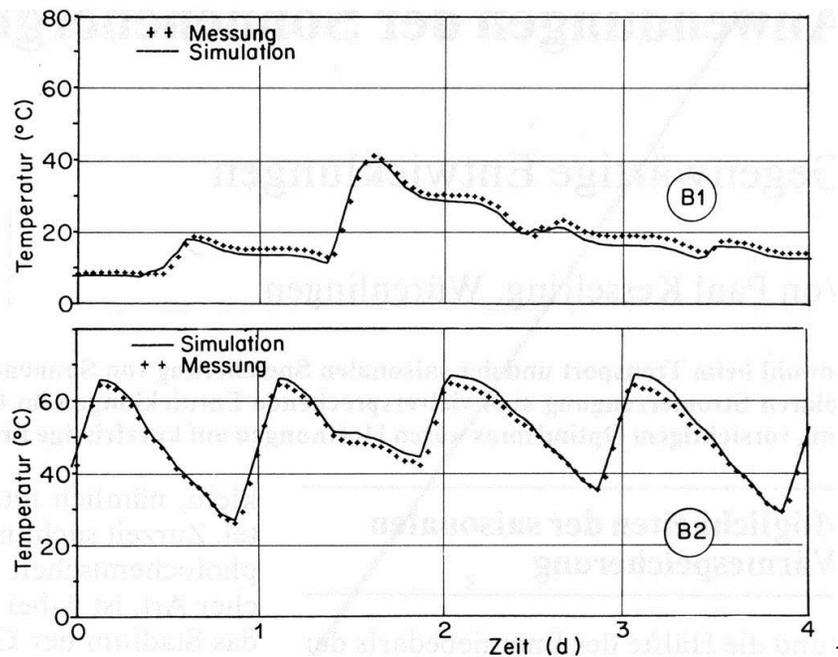
  

Anlage	Fremdenergie gemessen [MJ]	Fremdenergie berechnet [MJ]	relativer Fehler [%]
1	7470	7133	-4.50
2	42925	41825	-2.60
3	7942	7379	-7.10

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

**Bild 17:** Verlauf der gemessenen und der berechneten Speichertemperatur für die Anlage 3. Messungen vom 3. bis 6. Februar 1985. B1: Speicher 1 (unten), B2: Speicher 2 (oben). (aus [15])



Auch innerhalb eines Tagesverlaufs vermochten die SIWW-Programme das reale Geschehen sehr genau zu simulieren. Das **Bild 17** zeigt ein Beispiel für das SIWW2. In einem Fall kam es sogar zu der für Praktiker überraschenden Situation, dass die Computersimulation einen Messfehler aufdeckte... Näheres zur Validierung in [14].

Ich habe über diese erfreulichen Resultate am 5. Symposium der EPFL-Groupe de Recherche en Energie Solaire vom 14./15. Oktober 1985 in Lausanne berichtet und sie anschliessend mit Medard Rieder publiziert [15]. Der Vergleich mit allen Messergebnissen hat übrigens gezeigt, dass die Computersimulation mit 12 thermischen Speicherschichten die besten Ergebnisse liefert.

Unsere nächste Arbeit galt der geforderten **vereinfachten Berechnungsmethode** für solare Warmwasserbereitungsanlagen. Keine leichte Aufgabe bei den 44 Eingabegrößen für Einspeicher- und den 53 für Zweispeicheranlagen! Auch die Vertreter von Anlagemessungen müssten ob dieser grossen Zahl von Einflussgrößen kapitulieren. Es war mir rasch klar, dass dem Problem nur mit einer drastischen Reduktion der Anzahl Einflussgrößen durch Einführen geschickter **dimensionsloser Kennzahlen** beizukommen sei. Nusselt, Reynolds, Prandtl und wie sie alle heissen, liessen grüssen...! Nun war ich selbst gefordert. Meine Ideen sind in [16] und [17] zusammengestellt. Sie resultierten in **7 dimensionslosen Einflussgrößen**: einer dimensionslosen Zeit, einer dimensionslosen Kollektorkreislaufzeit, einer dimensionslosen Speichertemperatur, einer dimensionslosen Systemwärmekapazität, einer Einstrahlungskennzahl, einer Anlagekennzahl und einem dimensionslosen Kollektorsertrag. Die doch recht anspruchsvolle Theorie ist in [17] ausführlich beschrieben. Es würde zu weit führen, hier näher darauf einzugehen.

Medard Rieder hat mit 258 Computersimulationen die zur Anwendung der als „**Kennzahlmethode**“ bezeichneten Auslegungsmethode benötigten Diagramme berechnet und Koeffizienten für Näherungspolynome zur einfachen rechnerischen Anlagenauslegung bestimmt [16]. Die Methode wurde numerisch nur für Anlagen mit einem Wärmespeicher ausgearbeitet. Sie ermöglicht eine einfache Anlagenauslegung mit einer Genauigkeit des Jahreswärmeertrags von rund +/- 10% in einer einheitlichen Darstellung für alle Klimazonen der Schweiz. Gewisse Anlagen-Standardwerte (Kasten in [17]) sind dabei allerdings einzuhalten. In [18] wird ein ausführlich durchgerechnetes Beispiel präsentiert.

Inzwischen kam der **Personal Computer** in jedes Büro und eine Computersimulation anstelle der ungenaueren „Abkürzung“ über die Kennzahlmethode wurde für jedermann möglich. Mein Diplomand, Christoph Zahnd,<sup>39</sup> hat die SIWW-Programme in seiner Diplomarbeit Januar/Februar 1986 auf unseren ersten PC, den Olivetti M24, gebracht. Nach einigen weiteren Bearbeitungen haben wir das ganze **Programmpaket mit SIWW1, SIWW2 und der Kennzahlmethode** der Öffentlichkeit auf zwei 360-kB-Disketten angeboten [23]. Die Rechenzeit für eine Jahressimulation betrug damals bei einem Intel 8087-Prozessor mit arithmetischem Coprozessor und einem Arbeitsspeicher von 256 kB (!) für das SIWW1 8 Minuten und für das SIWW2 18 Minuten<sup>40</sup>. Da die Prozessoren rasch schneller wurden, haben wir mit dem PC-Programmpaket unsere theoretisch viel schönere Kennzahlmethode selbst umgebracht...

Im Rahmen seiner IEA-Verpflichtungen organisierte J.-M. Suter am EIR eine Übersetzung des Wesentlichen unserer bisherigen Arbeiten zur internationalen Verbreitung im Rahmen des „IEA Solar Heating and Cooling Program“ [19], [20]. Es freut uns, dass unsere Arbeiten damit auch eine internationale Verbreitung fanden.

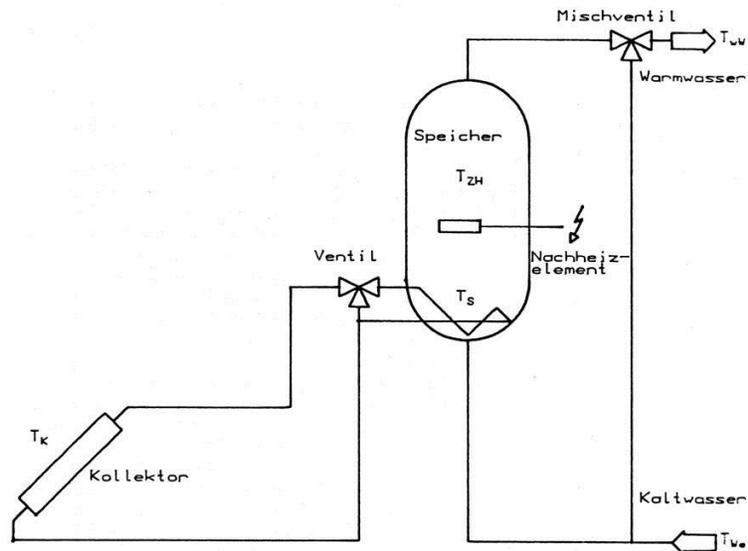
Die im Projektvertrag vorgesehene **Anpassung einzelner Berechnungsmodule** aufgrund der Messungen an den Referenzanlagen war nach den ausgezeichneten Validierungsergebnissen

<sup>39</sup> Christoph Zahnd war eine der markantesten Persönlichkeiten unter meinen Studenten. Unvergesslich bleibt mir, wie er bei einer gemeinsamen Skitour auf das Wildhorn vom Gipfel zum gelandeten Heli mit Skitouristen herunterfuhr und dem Bergführer für seinen misslichen Einsatz alle Schande sagte! Auch seine Begeisterung nach der Inbetriebnahme einer Harddisk (mit 10 MB!) an unserem Olivetti M24 bleibt mir unvergesslich (wir mussten vorher zum Laden des Fortran IV drei Floppy-Disketten einschicken...).

<sup>40</sup> Für eine Ganzjahressimulation haben die später entwickelten Programme mit der beschriebenen „Ur-PC-Umgebung“ folgende Rechenzeiten benötigt: SIWW1N 18 Minuten, SIWW2 61 Minuten. Ohne den damals noch optionalen arithmetischen Coprozessor lagen die Rechenzeiten etwa um den Faktor 15 höher! Die Rechenzeiten reduzierten sich bei den nächsten Prozessorgenerationen aber drastisch. Bereits beim Intel 386 reduzierte sich die Rechenzeit für eine Ganzjahressimulation von SIWWH auf 8 Minuten.

**hinfällig.** Eine der SOFAS-Referenzanlagen war eine mit den bisherigen SIWW-Programmen noch nicht simulierbare **Thermosiphonanlage**. Mit einer zusätzlichen Projektverlängerung um 3.5 Monate bis am 31.Juli 1986 konnten wir deshalb meinem lange gehegten Wunsch der Simulation von Thermosiphonanlagen nachgehen<sup>41</sup>. Das war für die Simulation klar die anspruchsvollste Variante. Am 29.August 1985 habe ich Medard Rieder meine Modellvorstellung mit sinnvollen Berechnungsannahmen dazu mitgeteilt. Im Prinzip einfach: Treibender Druck aus Dichtedifferenz Rücklauf – Vorlauf = Druckverlust im gesamten Kollektorkreislaufsystem. Näheres zu Annahmen und Vereinfachungen, Berechnungsgrundlagen, Ein- und Ausgaben des aus einer entsprechenden Modifikation von SIWW1 entwickelten Simulationsprogramms SIWWT findet man mit einem durchgerechneten Beispiel in [21]. Das **Bild 18** zeigt die mit SIWWT erfassbaren Anlagen.

**Bild 18:** Mit dem Programm SIWWT simulierbare Thermosiphonanlagen. Das Ventil im Kollektorkreislauf dient lediglich der Begrenzung der Speichertemperatur im Sommer. (aus [21])



Wie sich später zeigte, war dieser „erste Wurf“ ohne weitere Modifikation vollauf genügend. Der Vergleich der Berechnungsergebnisse von SIWWT an der SOFAS-Referenzanlage 4 mit Thermosiphon zeigte eine erstaunlich gute Übereinstimmung. Die an den Speicher abgegebene Solarwärme lag nach SIWWT über die ganze Messperiode nur um 4.2% unter dem Messwert [22]! Es zeigte sich, dass mit SIWWT auch die variablen Volumenströme im Kollektorkreislauf sehr gut erfasst wurden. Die erfolgreiche Simulation der Thermosiphonanlage hat in der Fachwelt viel Interesse gefunden. Die bisher letzte Anfrage dazu erhielt ich am 31.März 2004 von Herrn Klaus Mathoy in A-6534 Ried / Oberinntal.

Mit **Medard Rieder** hatte ich wiederum einen ausgezeichneten Mitarbeiter. Sogar unsere Söhne, David und Andreas, haben den anpackenden, originellen Lötchentaler mit seinem Töff mit „erwachsenem Ton“, seinem Paris-Dakar- und anderer Abenteuer<sup>42</sup> nach seinem Wegzug ins Wallis am 31.Juli 1986 sehr vermisst.

Nach Projektabschluss arbeitete ich bis zur Wiederaufnahme des Projekts am 1.Mai 1987 „auf kleinem Feuer“ privat weiter. Am 21. August 1986 verschickte ich die ersten Disketten mit allen lauffähigen Programmen an **INFOSOLAR**. Ich wartete die Quellenprogramme, brachte kleine Ergänzungen zur Aufnahme einer Seriennummer und weitere kleine Korrekturen an, beriet INFOSOLAR zum Betrieb auf ihrem PC und schrieb eine Benützungsanleitung für Käufer des Programms (ReadMe). Am 11.November 1986 erteilte ich INFOSOLAR das **Vertriebsrecht**

<sup>41</sup> Mein Brief an die SOFAS-Projektleitung vom 6.September 1985 sah dafür vorerst eine Projektverlängerung um 2 Monate vor. Am 27.Januar 1986 habe ich die Verlängerung dann auf 3.5 Monate vom 1. Mai 1986 bis zum 31.Juli 1986 aufgestockt.

<sup>42</sup> Besonders erinnere ich mich an die Aufregung an der Ingenieurschule Burgdorf, als Medard Rieder während den Sommerferien unter geschickter Nutzung aller Ferienabwesenheiten sämtliche Maschinen unseres Maschinenlabors gleichzeitig laufen liess... Das war doch sein gelungenes privates Maschinenfest!

für das **Programmpakt mit SIWW1 und SIWW2 sowie KENN und BWE<sup>43</sup>** gegen eine kleine Entschädigung für meine Umtriebe bis zur Unterrichtsentlastung im Rahmen der Phase 3 des Projekts. Ich habe diese Einnahme mit meinem Diplomanden, Christoph Zahnd, und mit Merdard Rieder, die mir bei der Behebung eines Fehlers halfen, entsprechend unserem Zeitaufwand aufgeteilt. Da wir den Aufwand unterschätzten, blieb mir hier nur ein Stundsatz von 51 Fr/h.

Den 1986 erreichten Detaillierungsgrad der Version 2 erkennt man aus dem Eingabebeispiel an der PC-Tastatur für das SIWW2 im **Anhang 1**. Die Stundenwerte der Meteodaten für Zürich-Kloten, Davos und Locarno-Monti wurden **dem PC-Programmpaket** nur noch als Datenfile für das Jahr 1968 mitgegeben. Die Simulation mit den Meteodaten für 1968 ergab nämlich etwa den Jahresmittelwert von Mehrjahressimulationen. Der **Anhang 2** zeigt die Berechnungsergebnisse für das gleiche Beispiel. Der **Anhang 3** verdeutlicht, dass für die Kennzahlmethode wesentlich weniger Eingaben nötig sind. Die mit \* gekennzeichneten Grössen sind fest vorgegeben und werden von KENN nur zur Orientierung ausgegeben. Falls von diesen Werten keine wesentlichen Abweichungen vorliegen, sind die Ergebnisse (**Anhang 4**) für praktische Zwecke in der Grobplanung ausreichend. Bei den heutigen Rechengeschwindigkeiten ist die Kennzahlmethode allerdings nur noch für das Verständnis der Zusammenhänge von Interesse.

Am 16. Januar 1987 hat mir Herr Schläpfer von E. Schweizer AG eine Unstimmigkeit zwischen den Simulationsergebnissen von SIWW1 und SIWW2 mitgeteilt. Ich musste diesem Problem zwischen den Phasen 2 und 3 ohne Projektassistent selbst nachgehen. Wie ich bei einigen Tests sah, trat dieser Fehler aber nur in einzelnen Fällen auf. Ich war darauf nebst meiner Tätigkeit an der ISB (Unterricht, Diplomarbeiten) buchstäblich Tag und Nacht<sup>44</sup> auf der **Fehlersuche**. Am 31. Januar 1987 fand ich den Fehler in einem Unterprogramm (SIKOK) zur Erfassung des Kollektorkreislaufs. Nach zahlreichen weiteren Tests konnte ich die Version 2.01 wieder an INFOSOLAR schicken.

## 5 PROGRAMMAUSBAU – EINBEZUG RAUMHEIZUNG 1987/1989

Die **dritte Projektphase** mit **Markus Arnet** als Mitarbeiter begann am **1. Mai 1987** und endete nach einer Verlängerung am **28. Februar 1989**.

Für das SOFAS-Projekt „Kurzzeittestmethoden für Sonnenenergieanlagen“ (**KTSA**) hat A. Eggenberger, Inhaber des Ingenieurbüros Eggenberger Bauphysik AG in Burgdorf, am 14. April 1986 eine Projektskizze ausgearbeitet. Ich bewarb mich für die Entwicklung der Hochrechnungssoftware, da dazu die SIWW-Programme zweifellos die besten verfügbaren Werkzeuge waren und weil ich unsere Arbeiten insbesondere noch durch Speicher mit Trinkwasser-Innenboiler und durch die Wärmeentnahme für die Raumheizung abrunden wollte.

Das BEW war auch dieser Meinung und hat uns für die Fortsetzung unserer Arbeiten zur Computersimulation von Solaranlagen das Teilprojekt „Hochrechnungs-Software“ zugesprochen. Die Phase 3 unseres Simulationsprojekts begann am 1. Mai 1987. Die Finanzierung war für weitere 21 Monate bis zum 31. Januar 1989 sichergestellt. Den Zeitabschnitt vom 1. Mai

<sup>43</sup> Bruttowärmeertrag (BWE) bei einer konstanten Kollektorkreislaufumtemperatur (z.B. 10°C). Eine vom EIR gewünschte Grösse von beschränktem praktischem Wert.

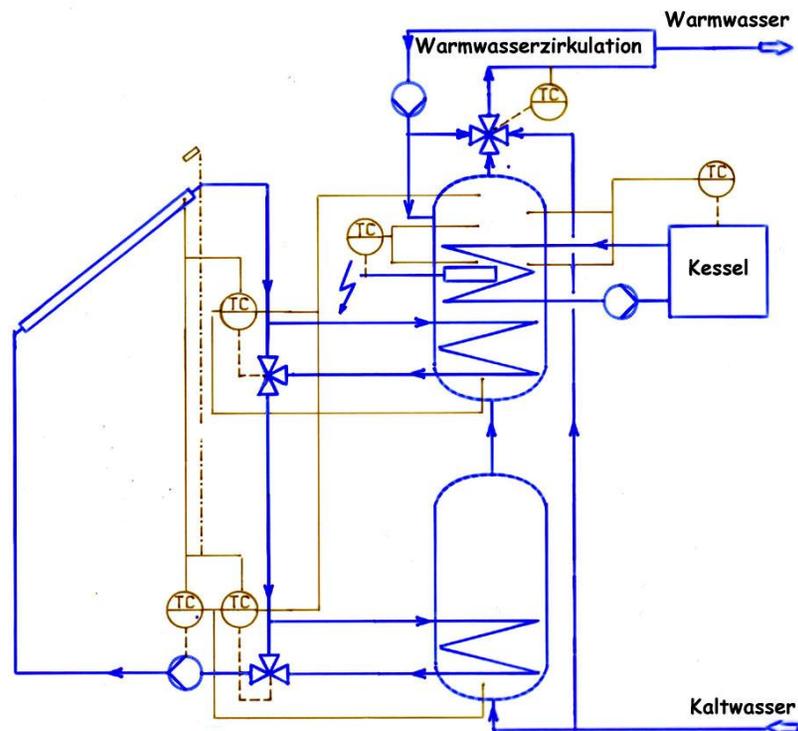
<sup>44</sup> Bei den Testsimulationen lief der PC für einige Tage während der ganzen Nacht im Büro neben unserem Schlafzimmer. Etwa alle 3 Stunden kam es zum Ausdruck der Ergebnisse auf unserem Nadeldrucker. Das Geräusch weckte mich (und leider auch Blanca...) – ich ging ins Büro zum PC – schaute mir die Ergebnisse an und gab darauf neue Parameter ein – dann versuchte ich wieder einzuschlafen...

1989 bis zum 31. Juli 1987 konnten wir mit Restmitteln aus der Phase 2 finanzieren. Die verbleibenden 128 kFr wurden vom BEW übernommen. Für den Projektabschluss musste das Vorhaben dann noch um einen Monat bis zum 28. Februar 1989 verlängert werden. Der Kanton Bern musste wiederum nur die Infrastruktur zu Verfügung stellen; es erwuchsen ihm keine direkten Kosten. Als dritten Projektmitarbeiter habe ich meinen ausgewählten Diplomanden, Markus Arnet, engagiert. Auch Markus Arnet war zu Projektbeginn nach seiner Diplomarbeit zum Thema bereits bestens eingearbeitet.

Von Mai 1987 bis Juli 1987 befassten wir uns mit der Aufnahme von Vakuumröhren-Kollektoren, der numerisch rechnenden **Variante SIWWN des SIWW1** zur Erfassung aller Steuerungskonzepte analog dem SIWW2. Weiter haben wir das Hilfsprogramm **SIWWTCWK** zur Berechnung des Widerstandsbeiwerts für die Eingabe ins **SIWWT** und das Hilfsprogramm **DRUCK** zur gemeinsamen Ausgabe der Ergebnisse aller Programme (KENN, SIWW1, SIWW1N, SIWW2 und SIWWT) entwickelt.

Die Programme **SIWW1N** und **SIWW2** wurden durch folgende Zusätze **ergänzt** [25]:

- Erweiterung der bisherigen Zusatzheizung mit einem Elektroheizstab durch eine **Zusatzheizung mit dem Heizkessel (Bild 19)** und der Möglichkeit, die Zusatzheizung auch während dem Tag durchzuführen. Eingabe stündlich wählbarer Zeiten für die Zusatzheizung
- Berücksichtigung von **Wärmeverlusten durch die Warmwasserzirkulation** im Gebäude.
- Wählbare **Perioden ohne Warmwasserbezug** (Abwesenheiten).
- **Aufteilung der Zusatzwärmeverluste im Speicher** auf die einzelnen Anschlüsse.
- Zusätzlich zur Steuerung über die Temperatur im Kollektorkreislauf wurde eine Steuerung über die **Temperatur eines Referenzkollektors** und eine **Wirkungsgradsteuerung** (Einschalten des Kollektorkreislaufs erst ab einem wählbaren minimalen Kollektorwirkungsgrad) eingeführt.



**Bild 19:** Zweispeicheranlage mit Kessel- und/oder Elektroheizungsanlage zur Simulation mit SIWW2, Version 3. (aus[25])

Speziell für die **Hochrechnung von Kurztests an Solaranlagen** zum Einsatz im Vorhaben „Kurztestmethode“ wurden in SIWW1N und SIWW2 folgende Zusätze aufgenommen:

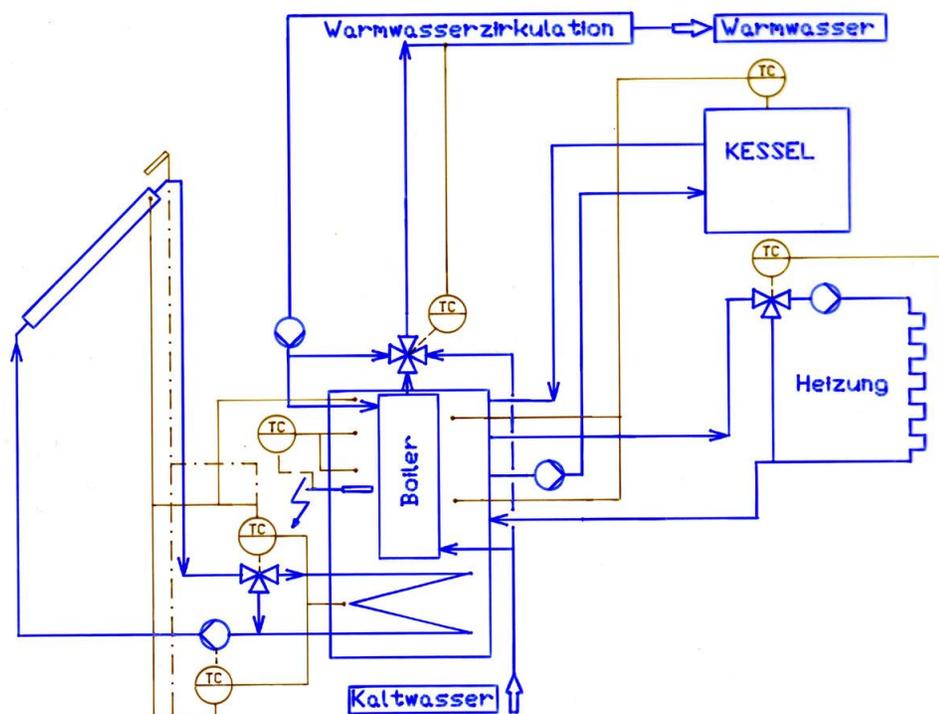
- Berücksichtigung des gemessenen Warmwasserverbrauchs durch Einlesen entsprechender Stundenwerte ab einem Datenfile.
- Verwendung gemessener Stundenwerte der Globalstrahlung auf Horizontal- und Kollektorebene.
- Ausgabe von Temperaturen und Wärmehin über ganze Tage und die ganze Messperiode.

Am 3. November 1988 konnten wir die **Version 3.00 des Programmpakets** zum Vertrieb an INFOSOLAR abliefern. Es umfasste nebst den bisherigen Programmen KENN, BWE, SIWW1 und SIWW2 nun auch SIWW1N, SIWWT und SIWWTCWK und wurde mit dem Handbuch [24] dokumentiert. INFOSOLAR verkaufte das Programmpaket mit Handbuch für Fr. 390.- und ein Update von der Version 2 auf die Version 3 für Fr. 100.- Bis am 27. Februar 1989 hat INFOSOLAR 35 Programmpakete verkauft. Eine spätere Meldung liegt mir nicht vor.

Neu wurde das Simulationsprogramm **SIWWH** zur **Miterfassung eines Wärmebezugs durch die Raumheizung** gemäss dem **Bild 20** entwickelt. Das neue Programm enthält alle oben beschriebenen Ausbaustufen. Zusätzlich wurden implementiert [26]:

- Ein **Trinkwasserinnenboiler**. Dies erforderte die Entwicklung eines neuen Speicher-schichtmodells mit Berücksichtigung des Wärmedurchgangs vom Speichermedium an das Trinkwasser (**Bild 21**)
- Einlesen von Stundenwerten des **Wärmebezugs der Raumheizung** aus einem Datenfile. Die Modellierung des Raumheizungswärmebedarfs haben wir bewusst Spezialisten überlassen. Es gab dafür bereits eine Vielzahl von Modellen und Berechnungsprogrammen. Sie war auch nicht Gegenstand unseres Projekts.
- 

**Bild 20:** Mit dem Programm SIWWH simulierbare Anlagen mit Innenboiler für das Trinkwarmwasser und einer zusätzlichen Entnahmemöglichkeit für die Raumheizung. (aus [26])





tent, Martin Schuchert, hat aber einen Flugtag, dem er beiwohnen konnte, derart abschreckend geschildert, dass ich dieses Vorhaben noch bis 1995 vor mich herschob!

## 6 KTSA – VERGLEICH MIT TRNSYS – PROJEKTENDE 1989-1992

Nach dem Weggang von Markus Arnet musste ich die SIWW Programme auf privater Basis weiter betreuen. Von **April bis September 1989** war ich vornehmlich mit dem **Vergleich der SIWW-Programme** mit einer von P. Jaboyedoff bei SORANE in Lausanne durchgeführten **TRNSYS-Simulation**<sup>46</sup> beschäftigt. Ich lieferte Herrn Jaboyedoff die Datenfiles mit den Eingaben und führte die Simulationen mit SIWWH durch. Es gab auch immer wieder Diskussionen mit P. Jaboyedoff und aufwändige vermeintliche Fehlersuchen, bis wir wirklich für eine identische Anlage rechneten. Der Vergleich zeigte für die Wärmeberechnungen erfreulich geringe Abweichungen von maximal 5% [29]. Die Gründe für einen etwas kleineren Ertrag der TRNSYS-Simulation lagen insbesondere in einer Rechnung mit nur 5 thermischen Speicherschichten (statt 12 bei SIWWH), einer etwas anderen Strahlungsumrechnung und der Vernachlässigung der durch die Umwälzpumpe zugeführten Wärme. Der Vergleich wurde am Expertentreffen zur Simulation solarer Heizanlagen vom 24. August 1989 von P. Jaboyedoff und mir vorgetragen und anschliessend gründlich besprochen. Die SIWW-Programme fanden damit gewissermassen eine offizielle Anerkennung.

In meiner letzten SOFAS-KTSA-Projektsitzung vom 4. September 1989<sup>47</sup> wurde der Wunsch geäussert, für die SIWW-Programme eine für weniger Geübte **geeignete Benutzeroberfläche** zu schaffen und zur Berechnung des Heizwärmebedarfs für SIWWH eines der bereits bestehenden Berechnungsmodelle (EMPA, LESO/EPFL,...) zu implementieren. Auch die Kennzahlmethode wurde zur Hochrechnung der Kurztestergebnisse wieder in Betracht gezogen.

An dieser Sitzung wurde meine Arbeit und jene meiner Mitarbeiter an der ISB verdankt und festgestellt, dass die **Schweiz nun mit SIWW über ein Simulationspaket verfüge, das den internationalen Vergleich nicht zu scheuen brauche**. Nebst den transparenten physikalischen Modellen wurde auch der Betrieb auf einem PC mit (inzwischen) kurzen Rechenzeiten gelobt. **Mein Projektteil wurde mit dieser Sitzung offiziell abgeschlossen**.

Die SIWW-Programme waren mit Ein- und Ausgaben über Datenfiles so konzipiert, dass eine anwenderfreundliche Umgebung problemlos erstellt werden konnte und dass die noch offene Berechnung des Raumheizungswärmebedarfs ebenfalls leicht angekoppelt werden konnte:

**Bild 22. Die physikalischen Probleme waren gelöst!** Das Programmieren einer neuen Benutzeroberfläche hätte keine Symbiose mit den von mir betreuten Semester- und Diplomarbeiten in Verfahrenstechnik mehr ergeben. Diese Fleissaufgabe hat mich nicht mehr interessiert.

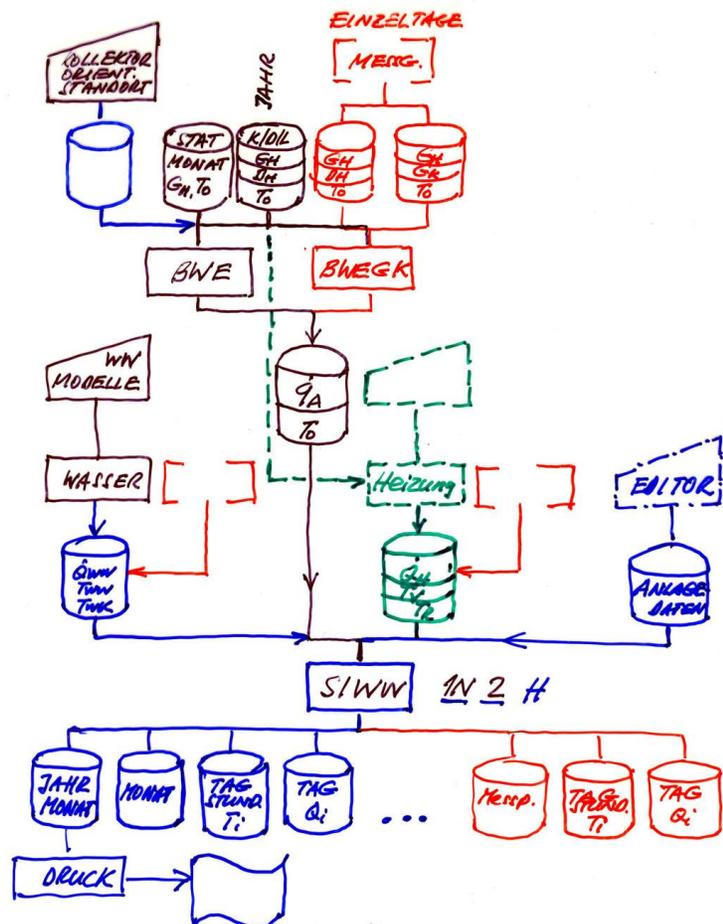
Für alle drei Phasen der BEW/NEFF-Projekte (ohne meine Pionierphase 1975/77) von 1981 bis 1992 haben meine Mitarbeiter 6.92 (83%) und ich selbst 1.38 (17%) Arbeitsjahre aufgewendet. Zu unseren 8.3 Arbeitsjahren kamen noch etwa 1.9 Arbeitsjahre meiner Studenten in relevanten Semester- und Diplomarbeiten hinzu. Die Gesamtkosten des SIWW-Vorhabens betrugen 456 kFr. Davon haben BEW/NEFF 411 kFr, der Kanton Bern (ohne Infrastruktur) 40 kFr und die Migros 5 kFr getragen. Das **Bild 23** zeigt die Aufteilung des Zeitaufwands für die einzelnen Aktivitäten und die Validierung.

<sup>46</sup> Durchgeführt von P. Jaboyedoff, SORANE SA, Lausanne.

<sup>47</sup> Teilnehmer Ch. Filleux, A. Eggenberger, M. Zogg, J.-M. Suter, R. Brunner, P. Bremer, G. Schriber und weitere mir unbekannte Personen.

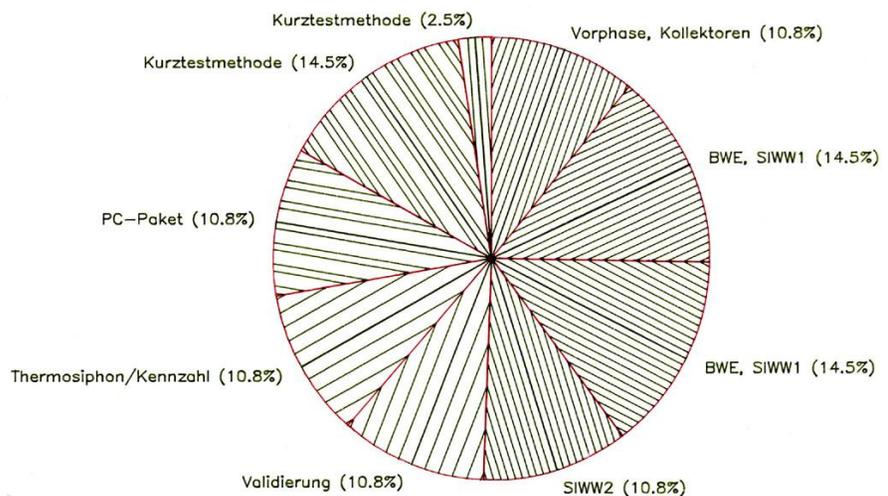
Struktur SIWW V 4.0

1989/1992



**Bild 22:** Ein- / Ausgabestruktur der Programme SIWW1N, SIWW2 und SIWWH über Datenfiles. In roter Farbe: Hochrechnung der Ergebnisse der Kurztestmethode (KTSA).

**Bild 23:** Aufteilung des Zeitaufwands für die einzelnen Aktivitäten zur Entwicklung der SIWW-Programme an der Ingenieurschule Burgdorf bis Ende Februar 1988 (noch ohne das SIWWH).



Infolge umfangreicher Arbeiten im Zusammenhang mit dem Neubau „meines“ Verfahrenstechniklabors (inklusive Planung 1988 bis 1992) und der Entwicklung des PC-Programmpaketes zur

Thermischen Verfahrenstechnik (1990 bis 1991) hatte ich **1990** nur noch lose Kontakte zu Herrn A. Eggenberger (SOFAS-KTSA) und Herrn P. Bremer (seit 1988 BEW-Forschungsprogrammleiter für den Bereich Solarthermik). Immerhin habe ich Herrn Bremer am 19. April 1990 noch einen Vorschlag für ein **Einzonen-Simulationsmodell zur dynamischen Erfassung des Heizwärmebedarfs** für das Programm SIWWH unterbreitet.

P. Bremer, G. Schriber vom BEW und ich waren uns einig, dass nun für das SIWW-Paket eine für praktische Planer bequeme Eingabeumgebung entwickelt werden müsse. Wie bereits erwähnt war ich an dieser Fleissarbeit nicht interessiert und unterbreitete am 15. August 1991 dem BEW-Programmleiter, P. Bremer, eine Übergabe des ganzen Quellencodes gegen Abgeltung meines noch nicht gedeckten Zeitaufwands. P. Bremer fand in der Ingenieurschule Rapperswil eine an diesen Arbeiten interessierte Institution. Warum das Programm nicht direkt an diese Schule bzw. an das damals von U. Frei geleitete Institut für Solartechnik SPF ging, weiss ich nicht mehr. Ich habe **den gesamten FORTRAN-Quellencode des SIWW-Paktes am 22. Januar 1992 an Ernst Rohner von der Firma Exertec Engineering AG in Rapperswil übergeben.**

Damit ging für mich eine **lange, intensive berufliche Periode zu Ende**. Aber mit dem Laborneubau, der Übernahme der Funktion eines Abteilungsvorstehers, den Arbeiten an der 3. Auflage meines Lehrbuchs zur Mechanischen Verfahrenstechnik und an meinen Programmpaketen MVT und TVT zur Mechanischen und Thermischen Verfahrenstechnik hatte ich keine Zeit, dem nachzutruern.

Bereits im Sommer 1992 hatte Exertec die Betaversion mit einer graphischen Oberfläche für meine SIWW-Programme zum Test bereit. Exertec nannte das SIWW-Programm nun **TOURNESOL**. Im November 1992 musste ich das Programm über unsere Schule sogar kaufen (!) – es hiess nun **Polysun** – funktionierte aber noch immer mit unserem SIWW-Berechnungsteil. Hier kamen wir Burgdorfer im Literaturverzeichnis des Handbuchs noch vor. In späteren Publikationen fand ich unsere Namen überhaupt nicht mehr. Es hiess da nur noch, man habe an der Ingenieurschule Rapperswil ein tolles Simulationsprogramm entwickelt... Ich erhielt auch keinerlei Informationen über den Stand „unseres“ Berechnungskerns und über physikalische Modelle allfälliger Modifikationen oder Neuentwicklungen. Das war für mich sehr enttäuschend. Geblieben ist mir aber die Freude, dass unsere harte Pionierarbeit wenigstens eine anonyme Fortsetzung gefunden hat und dass die Benützeroberfläche ausgezeichnet programmiert wurde.

## 7 REFERENZEN

- [1] Zogg, M.: Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie, Blaue TR-Reihe, Heft 128, Verlag Technische Rundschau im Hallwag Verlag, Bern/ Stuttgart 1977.
- [2] Zogg, M.: Sonnenenergie, Technische Rundschau 69(1977)1,1/3; 2,1/3 und 3,1/3.
- [3] Zogg, M.: Energieeinsparung durch Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie im Schweizerischen Mittelland, Symposium Schweizerische Vereinigung für Sonnenenergie 1977, Symposiumsband 4, 221/236.
- [4] Zogg, M.: Auslegung von Anlagen zur Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie im Schweizerischen Mittelland, Schweizerische Bauzeitung 95(1977)46, 827/831.
- [5] Zogg, M.: Sonnenenergie, Unterlagen zum Abendkurs "Optimale Energienutzung" des Schweizerischen Technischen Verbands STV, Basel 1977.
- [6] Zogg, M.: Grundlagen zur direkten thermischen Nutzung der Sonnenenergie, Kursunterlagen Informis AG, Roggwil 1977.
- [7] Zogg, M., Hungerbühler, R.: Berechnung der nutzbaren Wärmestromdichte von Flachkollektoren mit einer Scheibe, Bericht K 82.1, Ingenieurschule Burgdorf 1982.
- [8] Zogg, M., Hungerbühler, R.: Vergleich zwischen berechneten und vom EIR experimentell bestimmten Kollektorwirkungsgraden am Beispiel des IEA-Referenzkollektors CHAMBERLAIN, Bericht K 82.2, Ingenieurschule Burgdorf 1982.
- [9] Zogg, M., Hungerbühler, R.: Wärmeübertragung vom Kollektor an das Speichermedium, Bericht W 82.8, Ingenieurschule Burgdorf 1982.
- [10] Zogg, M.: Wärme- und Stofftransportprozesse - Grundlagen und Einheitsoperationen der Thermischen Verfahrenstechnik, Verlag Sauerländer, Aarau/ Frankfurt a.M./ Salzburg und Otto Salle Verlag, Frankfurt a.M./ Berlin/ München 1983.
- [11] Zogg, M., Hungerbühler, R.: Iterationsfreie Auslegung von Wärmeübertragern mit einseitig freier Konvektion, Brennstoff-Wärme-Kraft, 35 (1983) 10 ,432/437.
- [12] Zogg, M., Hungerbühler, R.: Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie, Computersimulation für Anlagen mit einem Speicher, Ingenieurschule Burgdorf/ Bundesamt für Energiewirtschaft 1984. (Programm SIWW1)
- [13] Zogg, M., Hungerbühler, R.: Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie, Computersimulation für Anlagen mit zwei Speichern, Ingenieurschule Burgdorf/ Bundesamt für Energiewirtschaft 1984. (Programm SIWW2)
- [14] Rieder, M., Zogg, M.: Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie - Validierung der Computersimulationsprogramme SIWW1 und SIWW2, Ingenieurschule Burgdorf/ Bundesamt für Energiewirtschaft 1985.

- [15] Zogg, M., Rieder, M., Hungerbühler, R.: Validiertes Computersimulationsprogramm für die solare Warmwasserbereitung, Schweizer Ingenieur und Architekt, 103(1985)49, 1221/1225.
- [16] Zogg, M., Rieder, M.: Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie: Einfache Methode zur Berechnung des Wärmeertrags solarer Warmwasserbereitungsanlagen, Bundesamt für Energiewirtschaft, Ingenieurschule Burgdorf, Bern/ Burgdorf 1986.
- [17] Zogg, M., Rieder, M.: Bestimmung des Wärmeertrags solarer Warmwasserbereitungsanlagen mit dimensionslosen Kennzahlen, Schweizer Ingenieur und Architekt, 104(1986)24, 605/609.
- [18] Zogg, M., Rieder, M.: Wärmeertrag solarer Warmwasserbereitungsanlagen, Technische Rundschau 78(1986)21, 78/85.
- [19] Zogg, M., Rieder, M.: Simulation programs SIWW for solar domestic hot water systems, Beitrag für Task III Experts' Meeting in Stockholm 1986.
- [20] Zogg, M., Rieder, M.: A non-dimensional parametric group method for the design of solar hot water systems, Beitrag für Task III Experts' Meeting in Stockholm 1986.
- [21] Zogg, M., Rieder, M.: Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie: Computersimulation für Thermosiphonanlagen mit einem Speicher, Bundesamt für Energiewirtschaft, Ingenieurschule Burgdorf, Bern/Burgdorf 1986.
- [22] Rieder, M., Zogg, M.: Validierung des Programms SIWWT zur Simulation solarer Warmwasserbereitungsanlagen mit Thermosiphon-Kollektorkreislauf, Bundesamt für Energiewirtschaft, Ingenieurschule Burgdorf, Bern/ Burgdorf 1986.
- [23] Zogg, M., Zahnd, Ch., Rieder, M.: Auslegung solarer Warmwasserbereitungsanlagen mit dem PC, Technische Rundschau, 78(1986)35, 52/60..
- [24] Zogg, M., Rieder, M., Zahnd, Ch., Arnet, M.: Handbuch zum PC-Programmpaket SIWW zur Auslegung solarer Warmwasserbereitungsanlagen, Bundesamt für Energiewirtschaft, Ingenieurschule Burgdorf, Bern/ Burgdorf; InfoSolar, Brugg-Windisch 1987.
- [25] Zogg, M., Arnet, M.: Erweiterungen der Programme SIWW1N und SIWW2 zur solaren Wassererwärmung mit Ein- und Zweispeicheranlagen, Ingenieurschule Burgdorf/ Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1989.
- [26] Zogg, M., Arnet, M.: Kombinierte solare Wassererwärmung und Raumheizung - Simulationsprogramm SIWWH, Ingenieurschule Burgdorf/ Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1989.
- [27] Arnet, M., Zogg, M.: Validierungsbericht zum Programm SIWWH, Ingenieurschule Burgdorf/ Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1989.
- [28] Zogg, M., Arnet, M.: Handbuch zu den Simulationsprogrammen SIWWH, SIWW1N und SIWW2, Ingenieurschule Burgdorf/ Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1989.
- [29] Jaboyedoff, P. en association avec Zogg, M.: Comparaison de deux programmes de simulation dynamique d'installation solaire à production d'eau chaude sanitaire et chauffage, SORANE SA, Lausanne 1989.

## 8 ANHANG

**Anhang 1:** Eingaben für das Simulationsprogramm SIWW2 (Version 2) im PC-Programmpaket SIWW für ein Beispiel einer Anlage mit zwei Speichern gemäss Bild 15.

INFOSOLAR Postfach 311 CH-5200 Brugg \* Serie: Orig-Zo-86/1 \* Projekt: Beisp. Burgdorf 40 20 S1 / Seite 1  
 -----  
 | COMPUTERSIMULATION solarer Warmwasserbereitung mit zwei Speichern | Programm: SIWW2 /V.2.00(86) |  
 -----  
 Dr. Martin Zogg, Roland Hungerbühler, Medard Rieder, Christoph Zahnd Ingenieurschule Burgdorf

```
*****
*
*           Die Simulation wird für Burgdorf
*           auf der Basis der
* METEODATEN VON KLOTEN FUER DIE PERIODE: 01.01.68 - 31.12.68
*           durchgeführt.
*
*****
```

### 1. ANLAGEDATEN:

KOLLEKTOREN:	Anordnung :	Kollektoranstellwinkel (Neigungswinkel, horizontal:0) = 40.00 [Grad]
		Kollektororientierung (Südabweichung, West: +) = 20.00 [Grad]
Leistungskollektoren:		Kollektortyp S1
		optischer Wirkungsgrad Ao = .75 [-]
		optischer Wirkungsgrad, diffus Adif = .67 [-]
		Wärmedurchgangskoeffizient Ko = 3.50 [W/m <sup>2</sup> K]
		Temperaturabhängigkeitskoeff. b = .0030 [1/K]
		gesamte Einstrahlungsöffnung AK = 10.00 [m <sup>2</sup> ]
		gesamte Wärmekapazität (inkl.Fluid) McpK = 8.000E+04 [J/K]

### WAERMEUEBERTRAGUNGSSYSTEM:

Leitungen:		gesamte Wärmekapazität Mcpl = 2.693E+04 [J/K]
Stahl		Wärmeleitfähigkeit Rohr LamR = 50.0000 [W/mK]
		Wärmeleitfähigkeit Isolation LamI = .0400 [W/mK]
		Rohraussendurchmesser da = .0204 [m]
		Rohrinnendurchmesser di = .0164 [m]
		Isolationsaussendurchmesser di = .0704 [m]
	innen:	Länge Li = 15.0000 [m]
		Wärmeverlustbeiwert kALi = 3.0431 [W/K]
	ausen:	Länge La = 6.0000 [m]
		Wärmeverlustbeiwert kALa = 1.2172 [W/K]
Umwälzpumpe:		elektrische Anschlussleistung Pelp = 80.00 [W]
		Pumpennutzungsgrad Etap = .50 [-]
Wärmeübertrager 1:		Rohrlänge pro Schlange Zw1 = 26.4234 [m]
(Speicher 1)		Rohraussendurchmesser da1 = .0402 [m]
		Rohrinnendurchmesser di1 = .0360 [m]
		Anzahl parallele Ströme nW1 = 1 [-]
		Oberfläche (ausen) Ai1 = 3.33 [m <sup>2</sup> ]

INFOSOLAR Postfach 311 CH-5200 Brugg \* Serie: Orig-Zo-86/1 \* Projekt: Beisp. Burgdorf 40 20 S1 / Seite 2

| COMPUTERSIMULATION solarer Warmwasserbereitung mit zwei Speichern

Programm: SIW2 /V.2.00(86) |

Dr. Martin Zogg, Roland Hungerbühler, Medard Rieder, Christoph Zahnd

Ingenieurschule Burgdorf

Wärmeübertrager 2: (Speicher 2)	Rohrlänge pro Schlange	Zw2 =	26.4234 [m]
	Rohraussendurchmesser	da2 =	.0402 [m]
	Rohrinnendurchmesser	dI2 =	.0360 [m]
	Anzahl parallele Ströme	nW2 =	1 [-]
	Oberfläche (aussen)	AI2 =	3.33 [m2]
<b>SPEICHER:</b>			
Speicher 1:	Speichervolumen	VS1 =	4.000E-01 [m3]
	Wärmeverlustbeiwert des Speichers	kAS1 =	2.250E+00 [W/K]
	Schlankheitsgrad [1], Gl.(6.13.2)	XiG =	1.943E+00 [-]
	Wärmestromverhältnis [1], Gl. (6.13.1)	XiQ =	5.000E-01 [-]
Speicher 2:	Speichervolumen	VS2 =	4.000E-01 [m3]
	Wärmeverlustbeiwert des Speichers	kAS2 =	2.250E+00 [W/K]
	Schlankheitsgrad [1], Gl.(6.13.2)	XiG =	1.943E+00 [-]
	Wärmestromverhältnis [1], Gl. (6.13.1)	XiQ =	5.000E-01 [-]
Zusatzheizung	elektrische Anschlussleistung	Pelzh =	5.400E+03 [W]
	Wirkungsgrad der Zusatzheizung	EtaZH =	.95 [-]
	nachgeheizter Volumenanteil	vZH =	100.00 [%]
	eingestellte Solltemperatur	TZH =	60.00 [C]
	Hysterese	dTZh =	2.00 [C]
	Sperrzeit für Zusatzheizung	Tsperr =	5...22 [h]
GEBAEUDE:	Gebäude-Innentemperatur	TH =	15.00 [C]
<b>2. BETRIEBSGROESSEN:</b>			
SYSTEM:	WARMWASSERBEREITUNG MIT 2 GESCHICHTETEN SPEICHERN SOLAR-LADUNG DER SPEICHER ALTERNATIV		
WAERMETRAEGER:	Wasser/Glykol-Gemisch	Volumenanteil an Ethylenglykol	XF = 35.00 [%]
		Volumenstrom	VstF = 1.600E-04 [m3/s]
STEUERUNG:	Steuerungsart	Kreislauftemperatur geführte Steuerung	dTPe = 10.00 [C]
	Temperaturdifferenz	für Pumpeneinschaltung	dTPa = 3.00 [C]
		für Pumpenausschaltung	dTV1 = -100.00 [C]
		für Ventilsteuerung 1	dTV2 = 10.00 [C]
		für Ventilsteuerung 2	TSmx = 70.00 [C]
		Maximale Speichertemperatur	dTS = 2.00 [C]
		Hysterese maximale Speichertemperatur	
<b>3. WARMWASSERVERBRAUCH:</b>			
	Verbrauchsvolumen pro Tag	VwW =	4.000E-01 [m3]
	Verbrauchsunterschied Januar - Juli	dVwW =	.000E+00 [m3]
	Verbrauchsmodell (Tagesverlauf)	VerMod =	3
	Verbrauchsvariante im Stundenintervall	VerVar =	1
	Warmwassertemperatur	TwW =	55.000 [C]
	Kaltwassertemperatur	TWe =	10.000 [C]

## Anhang 2: Simulationsergebnisse von SIWW2 für das Beispiel gemäss Anhang 1 (Zweispelcheranlage).

INFOSOLAR Postfach 311 CH-5200 Brugg \* Serie: Orig-Zo-86/1 \* Projekt: Beisp. Burgdorf 40 20 S1 / Seite 3  
 | COMPUTERSIMULATION solarer Warmwasserbereitung mit zwei Speichern | Programm: SIWW2 /V.2.00(B6) |  
 Dr. Martin Zogg, Roland Hungerbühler, Medard Rieder, Christoph Zahnd | Ingenieurschule Burgdorf

JAHRESMITTELWERTE (Basis 1968)

EINSTRALUNGSÖFFNUNG = 10.0 [m<sup>2</sup>]

qK.: Für die eingegebene Kaltwassertemperatur berechneter Bruttowärmeertrag (pro m<sup>2</sup> Einstrahlungsöffnung).

WÄRMEMENGEN PRO m <sup>2</sup> EINSTRALUNGSÖFFNUNG	KOLLEKTORKREISLAUF [MJ/m <sup>2</sup> ]	SPEICHER 1 [MJ/m <sup>2</sup> ]	SPEICHER 2 [MJ/m <sup>2</sup> ]	HEIZUNG * [MJ/m <sup>2</sup> ]
qK10 und Sollwärmebedarf (rechts)	2986.3 (100.00%)		2733.5	
Wärmeertrag der Kollektoren	1787.5 ( 59.86%)			
Wärme von der Umwälzpumpe **	35.0 ( 1.17%)			
Leitungsverluste aussen (im Betrieb)	-29.6 ( -0.99%)			29.0
Leitungsverluste innen (im Betrieb)	-65.8 ( -2.20%)			
Nachtabkühlverluste aussen	-16.7 ( -0.56%)			
Nachtabkühlverluste innen	-37.2 ( -1.25%)			11.4
Wärmemenge an Speicher 1	-1257.5 ( 42.11%)	1257.5		
Wärmemenge an Speicher 2	-415.7 ( 13.92%)		415.7 ( 15.73%)	
Verluste von Speicher 1		-100.5		41.5
Verluste von Speicher 2			-283.1 ( 10.71%)	180.3
Wärmemenge von SP1 an SP2		-1157.0	1157.0 ( 43.79%)	
effektiv benötigte Nachheizwärme **			1352.7 ( 51.19%)	
bezogene Wärme			-2642.3 (100.00%)	
Differenz zum Sollwärmebedarf			-91.2	
Zeitanteil mit WW über 55 C [%]			73.25	

\* Im Gebäude bei Umgebungstemperaturen unter 12 C nutzbare Wärmeverluste (Beitrag an Raumheizung).  
 \*\* Benötigte Pumpenergie = 70.0 [MJ/m<sup>2</sup>], benötigte Nachheizenergie = 1423.9 [MJ/m<sup>2</sup>].

		bezogen auf		
		Einstrahlung * 4305.0 [MJ/m <sup>2</sup> ]	qK10 2986.3 [MJ/m <sup>2</sup> ]	bezogene Wärme 2642.3 [MJ/m <sup>2</sup> ]
Solarer Ertrag ohne Wärmeverluste **	1219.6 [MJ/m <sup>2</sup> ]	28.33 [%]	40.84 [%]	46.16 [%]
Solarer Ertrag mit Wärmeverlusten im Gebäude bei Aussentemp. < 12 C **	1481.9 [MJ/m <sup>2</sup> ]	34.42 [%]	49.62 [%]	56.08 [%]
Solarer Ertrag mit sämtlichen Wärmeverlusten im Gebaeude	1741.2 [MJ/m <sup>2</sup> ]	40.45 [%]	58.31 [%]	65.90 [%]

\* Jahresglobalstrahlung auf die Kollektorebene.  
 \*\* Sämtliche Speicherwärmeverluste werden dem Solarteil zugeordnet.

**Anhang 3:** Beispiel der Eingaben für die Kennzahlmethode (KENN). Die mit \* bezeichneten Grössen sind fest vorgegeben und werden vom Programm lediglich zur Orientierung ausgegeben.

INFOSOLAR Postfach 311 CH-5200 Brugg \* Serie: Orig-Zo-86/1 \* Projekt: Beisp. Burgdorf 40 20 S1 / Seite 1  
 | AUSLEGUNG VON EINSPEICHERANLAGEN MIT DER KENNZAHLMETHODE | Programm: KENN /V.2.00(86) |  
 -----  
 Dr. Martin Zogg, Medard Rieder INGENIEURSCHULE BURGENDORF

### 1. ANLAGEDATEN:

**KOLLEKTOREN:**

Bruttowärmeertrag qK bei Kaltwasser-			
eintrittstemperatur aus Programm BWE	qKe	=	2986.00 [MJ/m
Wärmedurchgangskoeffizient	Ko	=	3.50 [W/m2
gesamte Einstrahlungsöffnung	AK	=	10.00 [m2]
gesamte Wärmekapazität (mit Fluid)	McpK	=	8.000E+04 [J/K]

### WAERMEUEBERTRAGUNGSSYSTEM:

Leitungen:	Stahl	gesamte Wärmekapazität	Mcpl	=	2.675E+04 [J/K]
		Wärmeleitfähigkeit Rohr	LamR	=	50.0000 [W/mK]
		Wärmeleitfähigkeit Isolation	Lami	=	.0400 [W/mK]
		Rohraussendurchmesser	da	=	.0204 [m]
		Rohrinnendurchmesser	di	=	.0164 [m]
		Isolationsaussendurchmesser	dI	=	.0704 [m]
	innen:	Länge	Li	=	15.0000 [m]
		Wärmeverlustbeiwert	kALi	=	3.0431 [W/K]
	aussen:	Länge	La	=	6.0000 [m]
		Wärmeverlustbeiwert	kALa	=	1.2172 [W/K]
Wärmeübertrager:		*Oberfläche	Awü	=	3.3333 [m2]
		*Rohrinnendurchmesser	diwü	=	.0165 [m]
Umwälzpumpe:		elektrische Anschlussleistung	PeLP	=	80.00 [W]
		Pumpennutzungsgrad	EtaP	=	.50 [-]

**SPEICHER:**

Speichervolumen	VS	=	8.000E-01 [m3]
Wärmeverlustbeiwert	kAS	=	3.389E+00 [W/K]
Schlankheitsgrad [1], Gl.(6.13.2)	XiG	=	2.000E+00 [-]

Zusatzheizung

*nachzuheizendes Volumen entspricht	TZH	=	1.2 VwW
*Ausschalttemperatur der Zusatzheizung			60.00 [C]

### 2. BETRIEBSGROESSEN:

**WAERMETRAEGER:** Wasser/Glykol-Gemisch

*Volumenanteil an Ethylenglykol	X	=	35.00 [%]
*Volumenstrom	Vstf	=	1.593E-04 [m3/s]

**STEUERUNG:**

*Betriebsart	ohne Bypassventil	ANZDTR	=	1
*eingestellte Temp.differenz	für Pumpeneinschaltung	dTPe	=	10.00 [C]
	*für Pumpenausschaltung	dTPa	=	3.00 [C]
	*maximale Speichertemperatur	TSmax	=	70.000 [C]
	*Hysterese maximale Speichertemperatur	dTS	=	3.00 [C]

### 3. VERBRAUCH:

**WARMWASSERVERBRAUCH:**

Verbrauchsvolumen pro Tag	VwW	=	4.000E-01 [m3/d]
*Unterschied zw. Jan- und Juli-Verbrauch	dVwW	=	.000E+00 [m3/d]
Verbrauchstemperatur	TwW	=	55.000 [C]
*Verbrauchsmodell (Tagesverlauf)	ModVer	=	3
Kaltwassertemperatur	TWe	=	10.000 [C]

## Anhang 4: Ausgabe von KENN für das Beispiel gemäss Anhang 3.

INFOSOLAR Postfach 311 CH-5200 Brugg \* Serie: Orig-Zo-86/1 \* Projekt: / Seite 3  
 | AUSLEGUNG VON EINSPEICHERANLAGEN MIT DER KENNZAHLMETHODE | Programm: KENN /V.2.00(86) |  
 Dr. Martin Zogg, Medard Rieder INGENIEURSCHULE BURGDORF

JAHRESMITTELWERTE

EINSTRALUNGSOEFFNUNG = 10.0 [m2]

WAERMEMENGEN PRO m2 EINSTRALUNGS-OEFFNUNG	KOLLEKTORKREISLAUF [MJ/m2]	SPEICHER [MJ/m2]
qK10 und Sollwärmebedarf (rechts)	3000.0 (100.00%)	2733.5 (100.00%)
Wärmeertrag der Kollektoren	1746.6 ( 58.22%)	
Wärme von der Umwälzpumpe 2) 1)	20.2 ( .67%)	
Leitungsverluste aussen (Betrieb) 1)	-16.7 ( .56%)	
Leitungsverluste innen (Betrieb) 1)	-41.7 ( 1.39%)	
Nachtabkühlverluste aussen 1)	-7.6 ( .25%)	
Nachtabkühlverluste innen 1)	-18.9 ( .63%)	
Wärmemenge an den Speicher	-1682.0 ( 56.07%)	1682.0 ( 61.53%)
Verlust des Speichers		-298.7 ( 10.93%)
Nachheizwärme auf Sollwärmebedarf		1350.1 ( 49.39%)

- 1) Diese für die Ertragsbestimmung weniger wichtigen Grössen können mit der Kennzahlmethode nur sehr grob abgeschätzt werden. Falls sie speziell interessieren, müssen sie mit SIWM1 bestimmt werden.  
 2) Benötigte Pumpenergie = 40.4 [MJ/m2]

		bezogen auf	
		qK10 3000.0 [MJ/m2]	Sollwärmebedarf 2733.5 [MJ/m2]
Solarer Ertrag ohne Wärmeverluste **)	1343.0 [MJ/m2]	44.77 [%]	49.13 [%]
Solarer Ertrag mit sämtlichen Wärmeverlusten im Gebäude	1722.4 [MJ/m2]	57.41 [%]	63.01 [%]

\*\*\*) Sämtliche Speicherwärmeverluste werden dem Solarteil zugeordnet.

DIMENSIONSLOSE KENNZAHLEN DER ANLAGE :

Systemwärmekapazität	Einstrahlungskennzahl	Anlagekennzahl
7.767E-04	5.675E-02	1.396E+00

## Anhang 5: Beispiel einer Ausgabe des Programms SIWWH (aus [28]).

Dr. Martin Zogg, Markus Arnet INGENIEURSCHULE BURG DORF

COMPUTERSIMULATION solarer Warmwasserbereitung und Heizung mit einem Speicher Programm: SIWWH /V.4.00(88)

PROJEKT K T S A \* Serie: K TSA 880526 \* Projekt: Validierung 20.12.88 / Seite 366

SUMME ÜBER DIE MESSPERIODE VOM 1. 8. 85 BIS 31. 7. 86 EINSTRALUNGSÖFFNUNG = 58.8 [m2]

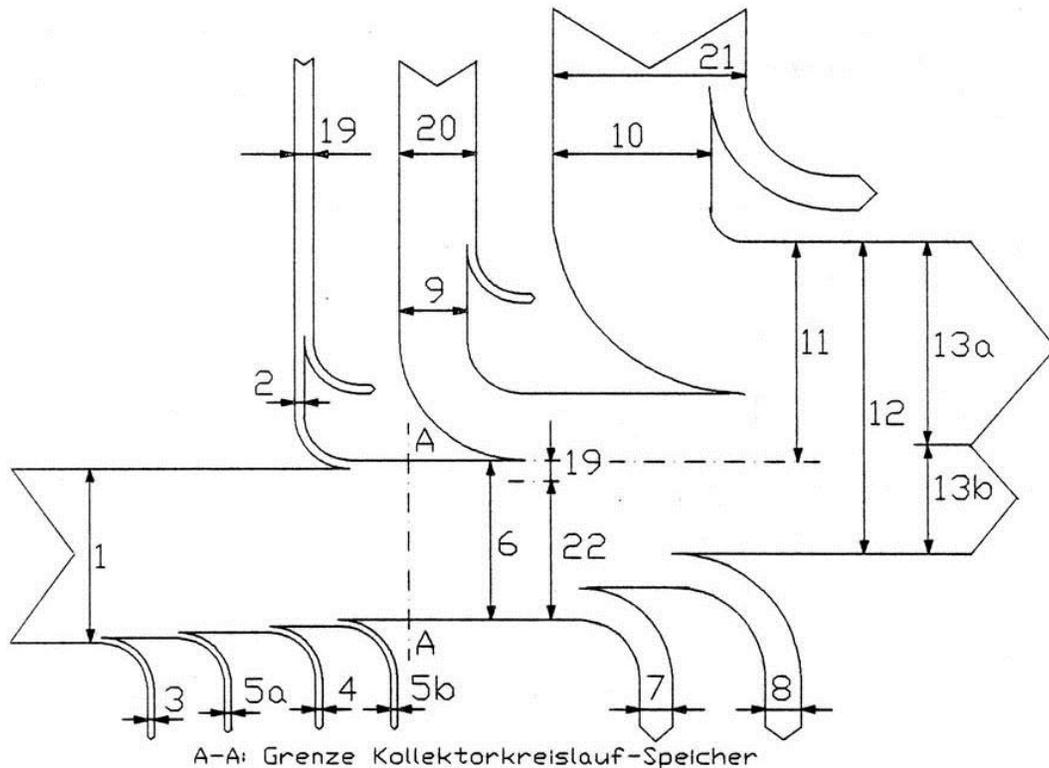
WAERMENMENGEN PRO m2 EINSTRALUNGS- ÖFFNUNG	KOLLEKTORKREISLAUF [MJ/m2]	SPEICHER [MJ/m2]	HEIZUNG * [MJ/m2]
Wärmeertrag Kollektoren bei T <sub>WK</sub> -14 Gesamt- bzw. Heizwärmebedarf	2722.5 (100.00%)	4086.6	3343.9
Wärmeertrag der Kollektoren	1016.0 ( 37.32%)		
Wärme von der Umwälzpumpe **	24.0 ( .88%)		
Leitungsverluste aussen (im Betrieb)	-14.2 ( -0.52%)		7.7
Leitungsverluste innen (im Betrieb)	-32.2 ( -1.18%)		
Nachtabkühlverlust aussen	-37.3 ( -1.37%)		
Nachtabkühlverlust innen	-12.2 ( -0.45%)		3.6
Wärme an Speicher	-944.1 ( 34.68%)	944.1 ( 23.10%)	
Verluste des Speichers		-292.8 ( 7.16%)	124.7
Verlust der Warmwasserzirkulation		-268.7 ( 6.58%)	150.4
Auskühlung mit Kollektorkreislauf		-37.0 ( .91%)	
Wärme von elektrischer Zusatzheizung		3750.0	
Wärme vom Kessel		3750.5 ( 91.78%)	
effektiv benötigte Nachheizwärme **			
bezogene Wärme		-4086.6 (100.00%)	-3343.9
davon Warmwasser bzw. Heizung			
Differenz zum Sollwärmebedarf			
Zeitanteil mit Warmwasser über 51 C		98.0 [%]	
Zeitanteil mit Warmwasser über 30 C		100.0 [%]	
Zeitanteil mit ausreichender Heizung			99.7 [%]
Änderung des Speicherwärmehalts		-9.5 ( -.23%)	

\* Im Gebäude bei Aussentemperatur unter 12 C nutzbare Wärmeverluste (Beitrag an Raumheizung).  
 \*\* Pumpenergie = 48.0 [MJ/m2], elektrische Nachheizenergie = .0 [MJ/m2], Kesselenergiebedarf = 3906.8 [MJ/m2]

		bezogen auf		
		Einstrahlung * 4394.0 [MJ/m2]	qK14 *** 2722.5 [MJ/m2]	bezogene Wärme 4086.6 [MJ/m2]
Solarertrag ohne Wärmeverluste **	859.1 [MJ/m2]	19.55 [%]	31.56 [%]	21.02 [%]
Solarertrag mit Wärmeverlusten im Gebäude bei Aussentemperatur < 12 C **	870.5 [MJ/m2]	19.81 [%]	31.97 [%]	21.30 [%]
Solarer Ertrag mit sämtlichen Wärmeverlusten im Gebäude	903.6 [MJ/m2]	20.56 [%]	33.19 [%]	22.11 [%]

\* Jahresglobalstrahlung auf die Kollektorebene.  
 \*\* Wärmeverluste der Leitungen des Kollektorkreislaufs innerhalb des Gebäudes.  
 \*\*\* qK: Wärmeertrag der Kollektoren bei Kaltwassereintrittstemperatur

## Anhang 6: Mit SIWWH berechnete Wärmen (aus [28]).



**Bild 1:** Wärmeflussdiagramm für eine Einspeicheranlage zur kombinierten solaren Wassererwärmung und Raumheizung (Programm SIWWH).

**Tabelle 1:** Legende

\*\* : Abweichungen für die Programme SIWW1N und SIWW2

Bild	Bezeichnungen	Bedeutung
1	Wärmeertrag der Kollektoren bei Kaltwasser-eintritt:	Bruttowärmeertrag der Kollektoren für die Kaltwassertemperatur als mittlere Kollektortemperatur.
	Gesamtwärmebedarf:	Sollwärmebedarf der Raumheizung und der Wassererwärmung.
	** Sollwärmebedarf:	Sollwärmebedarf für Wassererwärmung. (SIWW1N und SIWW2) **
	Heizwärmebedarf:	Sollwärmebedarf der Raumheizung.
	Wärmeertrag der Kollektoren:	Summe der von 0600 bis 1900 im Absorber frei werdenden Wärme abzüglich der Wärmeverluste am Kollektor.

Bild	Bezeichnungen	Bedeutung
2	Wärme von der Umwälzpumpe:	An den Kollektorkreislauf gehender Anteil der für den Betrieb der Pumpe benötigten elektrischen Energie.
3	Leitungsverluste aussen:	Während dem Pumpenbetrieb an die Umgebung abgegebener Wärmeverlust der Leitungen des Kollektorkreislaufs.
4	Leitungsverluste innen:	Während dem Pumpenbetrieb ans Gebäudeinnere abgegebener Wärmeverlust der Leitungen des Kollektorkreislaufs (der für die Raumheizung nutzbare Anteil - Aussentemperatur $\leq 12^{\circ}\text{C}$ - erscheint unter der Spalte "Heizung").
5a	Nachtabkühlverlust innen:	Änderung des Wärmehalts des Kollektorkreislaufs (Absorber, Leitungen, Wärmeträger) von 0600 bis 1900, aufgeteilt nach der Wärmekapazität der Leitung des Kollektorkreislaufs im Haus. Entspricht dem Nachtabkühlverlust, da angenommen wird, dass sich die Leitungen mit Inhalt nachts auf Umgebungstemperatur abkühlen.
5b	Nachtabkühlverlust aussen:	Änderung des Wärmehalts des Kollektorkreislaufs (Absorber, Leitungen, Wärmeträger) von 0600 bis 1900, aufgeteilt nach der Wärmekapazität der Leitung des Kollektorkreislaufs ausserhalb des Hauses plus der Wärmekapazität der Kollektoren.
6	Wärme an Speicher:	Vom Kollektorkreislauf an den Speicher abgegebene Wärme.
7	Verlust des Speichers:	Wärmeverluste des Speichers (der für die Raumheizung nutzbare Anteil - Aussentemperatur $\leq 12^{\circ}\text{C}$ - erscheint unter der Spalte "Heizung").
8	Verlust durch Warmwasserzirkulation:	Dem Boiler entzogener Wärmeverlust durch die Zirkulation des Warmwassers.
A	Auskühlung mit Kollektorkreislauf:	Nachtabkühlung über den Kollektorkreislauf beim Überschreiten der maximal zulässigen Kollektortemperatur.

Bild	Bezeichnungen	Bedeutung
9	Wärme von elektrischer Zusatzheizung:	Von der Elektrozusatzheizung an den Speicher abgegebene Wärme.
10	Wärme vom Kessel:	Vom Kesselkreislauf an den Speicher abgegebene Wärme.
11	effektiv benötigte Nachheizwärme:	Summe der von der Elektroheizung und dem Kesselkreislauf an den Speicher abgegebenen Wärme.
12	bezogene Wärme:	Für die Warmwasserbereitung und Heizung nutzbare Wärme.
13	davon Warmwasser bzw. Heizung:	Aufteilung der bezogenen Wärme in einen Warmwasser- bez. Heizungsanteil.
14	Differenz zum Sollwärmebedarf:	Summe des ungedeckten Wärmebedarfs zur Warmwasserbereitung und Raumheizung.
15	Zeitanteil mit Warmwasser über $xx^{\circ}\text{C}$ :	Zeitanteil, während dem der Speicher die geforderte Warmwassertemperatur $xx$ (Eingabegrösse $T_{\text{WW}}$ ) liefern kann.
16	Zeitanteil mit Warmwasser über $..^{\circ}\text{C}$ :	Zeitanteil, während dem der Speicher die Warmwassernutzgrenztemperatur (Eingabegrösse $T_{\text{WWmin}}$ ) überschreitet.
17	Zeitanteil mit ausreichender Raumheizung:	Zeitanteil, während dem der Speicher die benötigte Heizungs- vorlauftemperatur erreicht.
18	Änderung des Speicherwärmehalts.:	Wärmehalt des Speichers vor der Berechnungsperiode minus Wärmehalt des Speichers nach der Berechnungsperiode.
19	Pumpenenergie:	Durch die Umwälzpumpe des Kollektorkreislaufs aufgenommene elektrische Energie.
20	elektrische Nachheizenergie:	Durch die elektrische Zusatzheizung aufgenommene elektrische Energie.
21	Kesselenergiebedarf:	Dem Kessel zugeführte Energie.

Bild	Bezeichnungen	Bedeutung
22	Solarertrag ohne Wärmeverluste:	<p>Vom Kollektorkreislauf an den Speicher übertragene Wärme (6) minus Pumpenenergie (19) und Auskühlung mit Kollektorkreislauf (A)</p> <p>** Für SIWW1N und SIWW2 gilt: Vom Kollektorkreislauf an den Speicher übertragene Wärme (6) minus Pumpenenergie (19) minus Verlust des Speichers (7).**</p>
23	Solarer Ertrag mit Wärmeverlusten im Gebäude bei Aussentemperatur < 12°C:	<p>Ertrag gemäss (22) plus bei Aussentemperaturen &lt; 12°C anfallende Wärmeverluste der Leitungen des Kollektorkreislaufs im Inneren des Gebäudes (einschliesslich Nachtabkühlverluste).</p> <p>** In den Programmen SIWW1N und SIWW2 wird zusätzlich der Verlust des Speichers bei Aussentemperaturen &lt; 12°C addiert.**</p>
24	Solarer Ertrag mit sämtlichen Wärmeverlusten im Gebäude:	<p>Ertrag gemäss (22) plus gesamte Leitungsverluste innen (4) und (5a) (einschliesslich Nachtabkühlverluste).</p> <p>** In den Programmen SIWW1N und SIWW2 wird zusätzlich der gesamte Verlust des Speichers (7) addiert.**</p>