

# **Solare Direktheizung bei der „Holz-Sonne-Kopplung“ in Niedrigenergie- und Passivhäusern**

**Auftraggeber:** SGD Süd Forschungsanstalt für Waldökologie und  
Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz

**Auftragnehmer:** Fachhochschule Trier  
Fachbereich Maschinenbau und Fahrzeugtechnik  
Prof. Dr.-Ing. Hartmut Zoppke

**Datum:** 21.06. 2004

|       |                                                                         |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Projektziel                                                             | 3  |
| 2     | Stand der Technik                                                       | 3  |
| 3     | Lösungsansatz                                                           | 4  |
| 4     | Versuchsobjekt                                                          | 4  |
| 4.1   | Solaranlage                                                             | 5  |
| 4.2   | Kachelofen mit emissionsarmer Holzfeuerung                              | 5  |
| 4.3   | Lüftungsanlage                                                          | 6  |
| 4.4   | Vernetzung                                                              | 7  |
| 4.4.1 | Verknüpfung Lüftungsanlage - Solarkollektoren<br>„Solare Direktheizung“ | 7  |
| 4.4.2 | Verknüpfung Lüftungsanlage – Solarspeicher „Luftheizung“                | 8  |
| 4.4.3 | Verknüpfung Lüftungsanlage Kachelofen                                   | 9  |
| 5     | Ertragsmessung und Auswertung an der Pilotanlage                        | 10 |
| 5.1   | Versuchs- und Messtechnik                                               | 10 |
| 5.2   | Erfasste und ausgewertete Messgrößen                                    | 10 |
| 5.3   | Mögliche Betriebsmodi der Anlage                                        | 11 |
| 5.3.1 | Gleichzeitige Speicherladung und solare Direktheizung                   | 11 |
| 5.3.2 | Nur Speicherladung                                                      | 11 |
| 5.3.3 | Nur solare Direktheizung                                                | 11 |
| 5.4   | Ergebnisse                                                              | 12 |
| 5.4.1 | Exemplarische Darstellung der Betriebsdaten (Tagesverlauf)              | 12 |
| 5.4.2 | Energieanteile gesamt                                                   | 14 |
| 5.4.3 | Energieanteile nach Monaten (Tagessummen)                               | 15 |
| 6     | Bewertung und Ausblick                                                  | 22 |
| 7     | Zusammenfassung                                                         | 23 |
| 8     | Abbildungsverzeichnis                                                   | 24 |

## 1. Projektziel:

Bei der Holz-Sonne-Kopplung zur Beheizung und Warmwassererzeugung in Niedrigenergiehäusern (NEH) und Passivhäusern ist folgende Aufgabenteilung und Ergänzung beider Heizsysteme sinnvoll bezüglich Emissionsminimierung, Wirkungsgrad- und Komfortsteigerung:

- in Phasen mit erhöhtem Heizbedarf und geringem solaren Gewinn (Tage mit niedrigen Außentemperaturen und ohne, bzw. mit geringer Sonneneinstrahlung): phasenweiser Nennlastbetrieb der Holzfeuerung und Zwischenspeicherung der nicht direkt benötigten Wärme
- in den übrigen Phasen: Deckung des Wärmebedarfes alleine durch die thermische Solaranlage bzw. durch Wärmeentnahme aus dem Pufferspeicher.

Ein Teillastbetrieb der Holzfeuerung in Phasen geringen Wärmebedarfs ist wegen der dabei ansteigenden Emissionen und abnehmendem Wirkungsgrad nach Möglichkeit zu vermeiden. Wegen stark erhöhter Emissionen in der Anheiz- und Glutphase von Holzfeuerungen (und aus Gründen des Bedienkomforts) sind darüber hinaus häufige kurze Betriebsphasen in kurzen Abständen möglichst zu vermeiden.

*Ziel ist es daher, bei begrenztem Kostenaufwand die Leistungsfähigkeit und Effizienz thermischer Solaranlagen so weit zu steigern, dass bereits an kalten Tagen mit geringer Sonneneinstrahlung ausreichende Heizleistungen ohne Unterstützung einer im Intervall- oder Teillastbetrieb laufenden Holzfeuerung erreicht werden.*

## 2. Stand der Technik

Bei Solaranlagen zur Heizungsunterstützung und Brauchwassererwärmung dient in der Regel ein Pufferspeicher als Bindeglied zwischen Wärmeerzeuger und Verbraucher, der über Wärmetauscher be- und entladen wird.

Bei Heizungsanlagen mit Holz-Sonne-Kopplung stellt dieser Pufferspeicher gleichzeitig das Bindeglied zwischen Solaranlage und Holz- (Stückholz- oder Pellets-) Feuerung her. Mit dieser Speichereinbindung sind folgende Nachteile verbunden:

- bei jedem Wärmetauschkvorgang findet eine Absenkung des Temperaturniveaus und damit eine „Entwertung“ der gewonnenen Energie statt
- zusätzlich zur Sonneneinstrahlung begrenzt das aktuelle Temperaturniveau des Speicherwassers (im unteren Teil des Speichers am Ort des Solarwärmetauschers) die Laufzeit und damit den Wärmeertrag der Anlagen, da bei zunehmender Beladung die für einen Wärmeübergang im Speicher erforderliche Temperatur im Solarkollektor steigt und u.U. bei geringer Einstrahlung nicht mehr erreicht wird
- mit zunehmender Speicherbeladung und damit steigendem Temperaturniveau im Kollektorkreis sinkt, besonders bei geringen Außentemperaturen im Winter und in der Übergangszeit, der Wirkungsgrad des Solarkollektors. Dieser Effekt ist bei konventionellen Flachkollektoren, die über eine mangelhafte Isolation verfügen, besonders stark ausgeprägt.

### 3. Lösungsansatz

Mit dem Ziel der Steigerung des Ertrages, des Deckungsanteiles und der Kosteneffizienz solarer Heizungsanlagen im Verbund mit Holzheizungen sollen folgende anlagentechnische Lösungsmöglichkeiten der beschriebenen Problematik systematisch bezüglich ihrer Wirksamkeit untersucht werden, die bisher als Standardlösung am Markt nicht oder nur eingeschränkt verfügbar sind:

- direkte Einbindung des Solarkollektorkreises in das Heizungssystem: „solare Direktheizung“
- anlagentechnische Verknüpfung von thermischer Solaranlage, Holzfeuerung und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Die Maßnahmen sollen mit geringem zusätzlichem Kostenaufwand und einfachen technischen Anlagenkonzepten realisierbar sein.

Es wurde im Vorfeld erwartet, dass durch diese Konfiguration der Anlage folgende Potentiale erschlossen werden:

- Absenkung des Temperaturniveaus im Kollektorkreis durch zusätzlichen Luft-Wärmetauscher hinter dem Speicher, dadurch Erhöhung des Kollektorwirkungsgrades bei niedrigen Außentemperaturen um ca. 5 – 10%
- deutlich längere Laufzeiten und gesteigerter Ertrag der thermischen Solaranlage besonders an Tagen mit geringer Einstrahlung und teilweise geladenem Speicher durch eine direkte Wärmeabnahme zum Heizen auf niedrigem Temperaturniveau, auch unterhalb der unteren Speichertemperatur
- Vermeidung bzw. Verringerung der „Entwertung“ der gewonnenen Wärme durch überflüssige Wärmetauschvorgänge bei der solaren Direktheizung

### 4 Versuchsobjekt

In einem vom Verfasser bewohnten Niedrigenergiehaus (Abb. 4-1) wurde als Pilotprojekt die nachfolgend beschriebene Anlage realisiert und auf Langzeiterträge und Alltagstauglichkeit untersucht:



**Bild 4-1**

#### 4.1 Solaranlage:

- 13 m<sup>2</sup> Flachkollektor (Fa. Phönix, Modell „IVERIA“) an der Südfassade (siehe Abb. 4-1).
- Kollektoren mit selektiver TiNOx-Beschichtung und zusätzlicher Wärmedämmung an der Unterseite.
- Kollektorwinkel (45° vertikal) optimiert für maximale Erträge in der Heizperiode.
- effizienter Schichtspeicher (Fa. Consolar, Modell „Solus“, Volumen: 1050 l) mit:
  - selbstregelndem Thermosiphon zur geschichteten Be- und Entladung
  - Warmwassererzeugung für Zapfstellen in Bad und Küche sowie für Wasch- und Spülmaschine im Durchlauf
  - 2. Wärmetauscher (Vorwärmung des Brauchwassers) am Speicherboden. Verbessert die Temperaturschichtung (kalter Bereich unten) und ermöglicht dadurch eine Wärmeeinspeisung mit gutem Wirkungsgrad selbst bei geringem Strahlungsangebot im Winter
  - gute Wärmedämmung.
- Solarleitungsnetz optimiert auf geringe Wärmeverluste (kleine Rohrdurchmesser, hohe Dämmstärke) und geringe Strömungsverluste (minimierte Rohrlängen, große Biegeradien) zur Minimierung der erforderlichen elektrischen Pumpenleistung.
- Solarsteuerung (Fa. Consolar, „Control 600“) optimiert auf:
  - möglichst direkt nutzbare Einspeisetemperaturen bei Speicherladung (Intervallbetrieb bei begrenzter Einstrahlung)
  - maximalen Wärmeertrag bei geringer Einstrahlung (automatische Vorwärmregelung im Winter)
  - Einstrahlungs- und Außentemperaturabhängige Ansteuerung von Speicherladung und / oder direkter Solarheizung (nicht im Standardumfang enthalten)
  - minimale Einschaltdauer (→ Energieverbrauch) der Pumpe.
- PC-Schnittstelle zur Ertragsdatenerfassung und -auswertung.

#### 4.2 Kachelofen mit emissionsarmer Holzfeuerung:



**Bild 4.2-1: Kachelofen im Rohbau**



**Bild 4.2-2: Holzfeuerung**

Ofenbau: Fa. Manthey

Feuerung: vom Verfasser modifizierter Prototyp

- Sehr geringe Emissionen (Kohlenmonoxid-Konzentration bei 1,5% der zulässigen Grenzwerte) und hoher Verbrennungswirkungsgrad durch:
  - separate Wirbelkammer-Nachverbrennung der Rauchgase vor Eintritt in den Wärmetauscher
  - Optimierung und Isolation des Brennraumes zur Erzeugung ausreichender Verbrennungstemperaturen zwischen 650 und 1000 °C zur vollständigen Oxidation der Rauchgase
  - elektronische Abbrandregelung mit Lambda-Sonde
- Große Speichermasse ( $\approx 2$  to Schamotte) in Lehm gesetzt (Bild 4.2-1) und Wasserwärmetauscher (Bild 4.2-2) mit Anschluss an Solarspeicher ermöglichen :
  - teilweise Entkopplung von Wärmeerzeugung und Wärmeverbrauch (z.B. temperatur-/ zeitgesteuerte automatische Heizung aus dem Solarspeicher, wenn der Ofen nicht in Betrieb ist)
  - schnellen, emissionsarmen Holzabbrand bei Nennleistung
  - beeinflussbare Anteile von Warmluft-, Warmwasser- und Strahlungsleistung

#### 4.3 Lüftungsanlage

Die Lüftungswärmeverluste in der Heizperiode werden durch Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung minimiert (Fa. Paul-Wärmerückgewinnung, Modell „WRG-90-multi“, Leistungsaufnahme 2x13...30W, Volumenstrom: 60...125 m<sup>3</sup>/h):

- hoher Wärmerückgewinnungsgrad (bis 90%) durch innovativen Kanal-Wärmetauscher im Gegenstrom
- sehr geringer Verbrauch elektrischer Energie durch:
  - kleine Dimensionierung der Anlage (), ermöglicht durch eine auf minimale Strömungswiderstände optimierte Kanalführung (z.B. Leitgitter in Krümmern)
  - effiziente 24V Gleichstrom-Radialventilatoren
  - bedarfsorientierte freie Programmierung der Lüftungssteuerung
- Lüftungsleitungen in der wärmeisolierten Installationsebene der Holzständerwände verlegt (Bild 4.3-1, Rohbau).



**Bild 4.3-1**

#### 4.4 Vernetzung

Neben der Optimierung der Einzelkomponenten liegt die eigentliche Innovation der untersuchten Anlage in ihrer systemtechnischen Verknüpfung und vernetzten Steuerung. Dadurch wird eine Effizienzsteigerung und Mehrfachnutzung der Einzelkomponenten erreicht.

##### 4.4.1 Verknüpfung Lüftungsanlage – Solarkollektoren („solare Direktheizung“)

Der Rücklauf der Solaranlage kann über das Ventil  $M_2$  (Abb. 4.3.1-1) direkt durch einen weiteren Wasser-Luft-Wärmetauscher (Fa. Weinmann und Schanz, Modell WHR 4/40/20, Abb. 4.3.2-1, Mitte) im Zuluftstrang der Lüftungsanlage geleitet werden.

Technische Daten: Strömungsquerschnitt Luft: 200x400 mm, Nennwärmeleistung 10kW (gerechnet bei Vor-/Rücklauftemperatur 60/40°C, 0°C Zulufttemperatur, 1250 m<sup>3</sup>/h Luft- und 620l/h Wasservolumenstrom). Im Betrieb ca. 500 W Heizleistung.

- Unterstützung der passiven Solarheizung (solare Einstrahlung durch die Fenster) durch Nutzung der Solarwärme zum Ausgleich von Wärmeverlusten über die Zuluft der Lüftungsanlage
- Erhöhung des Kollektorwirkungsgrades bei niedrigen Außentemperaturen durch niedrigere Rücklauftemperatur
- Wenn das Strahlungsangebot nicht zur Warmwasserbereitung ausreicht, kann vom Solarregler über das Ventil  $M_1$  (Abb. 4.3.1-1) ein Bypass zur solaren Direktheizung ohne Speicherladung geschaltet werden
- Ein Anlaufen der Solarpumpe bewirkt sofortige Abschaltung der Heizkreispumpe.
- Über eine PC-Schnittstelle können alle relevanten Daten zur Messung und Auswertung der Erträge und Temperaturen ausgelesen und gespeichert werden.

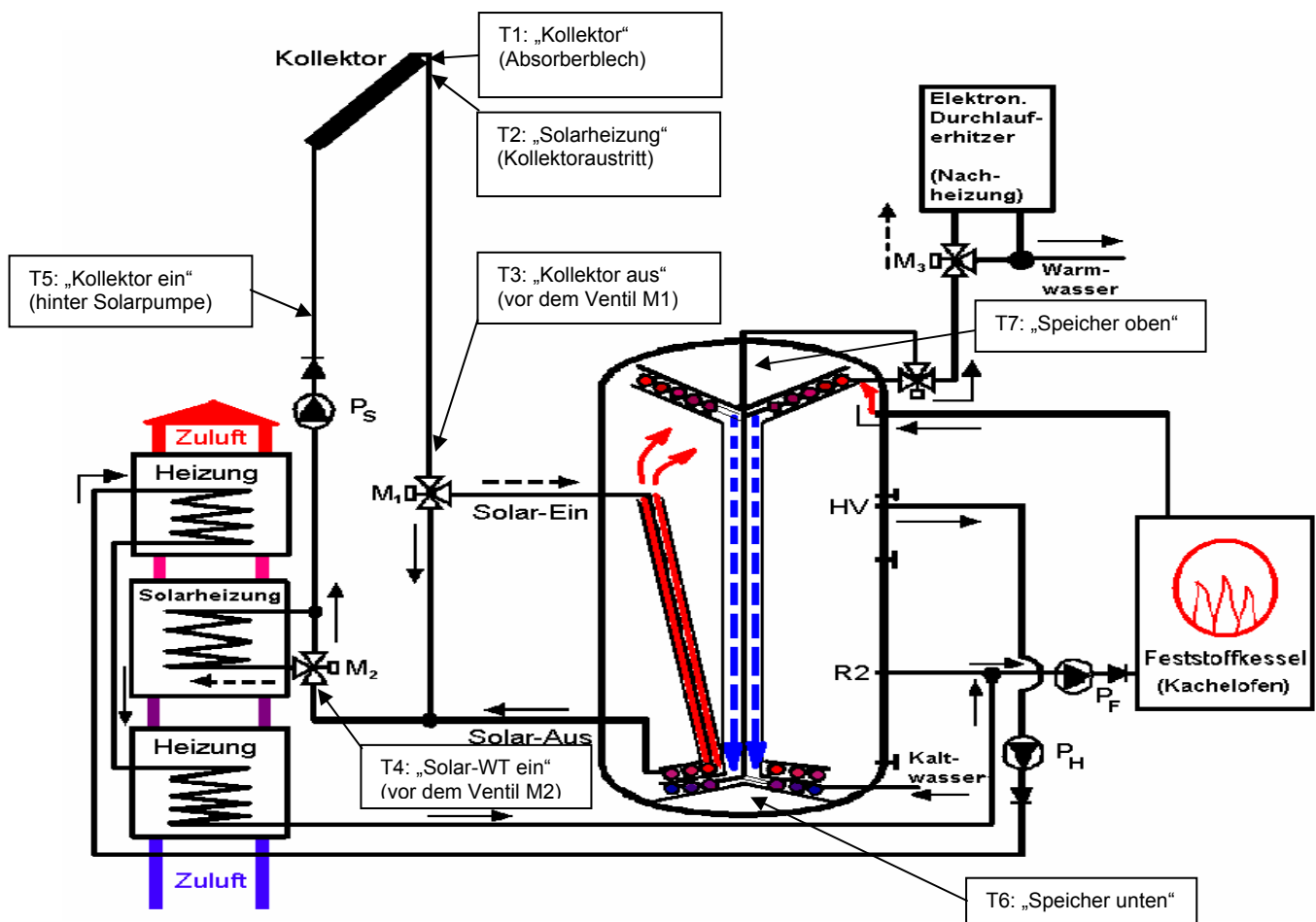


Bild 4.4.1-1: Schematische Darstellung der Gesamtanlage



#### 4.4.2 Verknüpfung Lüftungsanlage – Solarspeicher (Luftheizung)

- Einbindung von zwei weiteren Wasser-Luft-Wärmetauschern (Abb. 4.3.2-1 oben und unten, technische Daten siehe Kapitel 4.3.1), wasserseitig gespeist aus dem Solarspeicher, im Gegenstromprinzip in den Zuluftstrang der Lüftungsanlage (hinter dem Wärmetauscher der Wärmerückgewinnung). Durch große Tauscherflächen auf kompaktem Raum ist ein niedriges Vorlauftemperatur-Niveau möglich.
- Anpassung der Querschnitte der Wärmetauscher an die Querschnitte der Lüftungskanäle durch Adapterstücke (Prototypen)



**Bild 4.4.2-1 Lüftungswärmetauscher, Rohbau**

- Energieeinsparung durch schnelle Reaktionsgeschwindigkeit der Warmluftheizung auf den momentanen Wärmebedarf.
- Programmierte Raumtemperatur-Zeit-Regelung mit drei bedarfsangepassten Temperaturniveaus pro Tag.
- Die Heizkreispumpe für die Wärmetauscher wird zusätzlich durch eine elektronische Steuerung auf konstante Rücklauftemperatur in den Speicher getaktet. Dadurch Erhalt der Temperaturschichtung im Solarspeicher.
- Die elektronische Steuerung sperrt die Luftheizung, sobald die direkte Solarheizung oder der Holzofen in Betrieb gehen.
- Keine weiteren Heizkörper/ Heizflächen im Haus erforderlich, dadurch keine weiteren Verluste durch Wärmetransport auf hohem Temperaturniveau.



#### **4.4.3 Verknüpfung Lüftungsanlage – Kachelofen (Feststoffkessel)**

Der Kachelofen ist in das Zuluftsystem der Lüftungsanlage integriert (Bild 4.2-1 unten links). Dadurch:

- Verteilung des Warmluftanteils des Ofens in die Wohnräume im EG und OG.
- Zwischenspeicherung von solar erzeugter Warmluft in der Schamotte-Speichermasse des Ofens (dadurch auch indirekte Verknüpfung Solaranlage – Kachelofen).
- Beim Anheizen des Ofens wird elektronisch gesteuert die Lüftungsanlage auf reduzierten Abluft-Volumenstrom geschaltet, um den Verbrennungsluftbedarf des Ofens ohne zusätzliche Zuluftkanäle zu kompensieren.
- Sofortige aktive Sperrung der Warmluftheizung bei Betrieb der Feuerung.

## **5. Ertragsmessung und Auswertung an der Pilotanlage**

### **5.1 Versuchs- und Messtechnik**

- Temperatursensoren Pt 100 bzw. Pt 1000 als
  - Tauchfühler:
    - Speichertemperatur oben und unten
    - Austritt Kollektor („Solarheizung“)
    - Tauchhülse angelötet an Absorberblech im Kollektor („Kollektor“)
  - Anlegefühler (montiert mit Spannbändern und Wärmeleitpaste)
    - Ein- und Austritt an der Solarstation in Speichernähe
    - Eintritt Wärmetauscher Solarheizung
  - Freier Fühler
    - Außentemperatur (Hauswand, Nordseite im Schatten)
- Volumenstrommesser
- Einstrahlungssensor (Fa. TRITEC Energie GmbH, „Spektron 200“)
- Datenlogger für Einstrahlungswerte (Fa. TRITEC Energie GmbH, „SIC 100 plus“)
- Solarregler (Fa. Consolar, „CONTROL 600“) mit PC-Schnittstelle zur Anlagenregelung und Messdatenerfassung und Visualisierung der Betriebszustände
- Notebook Sony „Vaio“ zur Messdatenspeicherung und -Weiterverarbeitung

### **5.2 Erfasste und ausgewertete Messgrößen**

Wie in Bild 4.3.1-1 dargestellt, wurden die Temperaturen mit Pt 1000-Messelementen an verschiedenen Stellen des Systems kontinuierlich gemessen und als Minutenmittelwerte aufgezeichnet.

Zusätzlich wurden die Außentemperatur im Schatten an windgeschützter Stelle sowie der Volumenstrom der Solarflüssigkeit erfasst.

Als Referenz wurde darüber hinaus die eingestrahlte Sonnenenergie mit einem Strahlungssensor gemessen und über einen separaten Datenlogger als Minutenmittelwert sowie als aufintegrierte Energie aufgezeichnet. Durch Hard- und Softwareprobleme war es leider im Anschluss nicht möglich, die so aufgezeichneten Minutenwerte mit den übrigen Temperatur-, Leistungs- und Energiedaten der Anlage zu synchronisieren, sodass auf eine Auswertung verzichtet werden muss und keine absoluten Wirkungsgrade der Anlage ermittelt werden können.

Ebenfalls durch ein weiteres Hardwareproblem (Totalschaden in der CPU des für die Langzeitmessungen eingesetzten PC's vermutlich durch Überspannungen) musste ein Großteil der Messdaten extern von der Festplatte ausgelesen werden, wobei die Dateien einiger Monate irreparabel beschädigt wurden bzw. verloren gingen.

Es stehen damit nur Daten der Monate März 2001 – Mai 2002 zur Verfügung. Ausgewertet wurden (in den Heizperioden) die Monate März – Juni 2001, September – Dezember 2001 sowie Januar – Mai 2002.

Die Leistungs- und Energiedaten wurden folgendermaßen ermittelt: der Solarregler „Control 600“ berechnet aus der Temperaturdifferenz „Kollektor aus“ und „Kollektor ein“ (Ein- und Austrittstemperatur in der Solarstation der Anlage, siehe Abb. 4.3.1-1), dem gemessenen Volumenstrom („Solardurchfluss“) und der Wärmekapazität der Solarflüssigkeit die „Kollektorleistung“, welche als Minutenmittelwerte gespeichert wurde. Daraus werden durch Integration jeweils die Minuten- und Tagesenergiewerte berechnet und gespeichert, in den Messwertetabellen und Diagrammen als „Gesamtenergie“ bezeichnet.

Durch zusätzliche Messung und Aufzeichnung als Minutenwerte der Eintrittstemperatur der Solarflüssigkeit in den dem Speicher nachgeschalteten Wärmetauscher der Lüftungsanlage (siehe in Abb. 4.3.1-1 T4: „Solar-WT ein“) konnte jeweils der Anteil der direkt über die Lüftungsanlage im Haus verteilten „Heizenergie“ sowie der in den Solarspeicher eingespeisten „Speicherenergie“ berechnet werden.

### **5.3 Mögliche Betriebsmodi der Anlage**

#### **5.3.1 Gleichzeitige Speicherbeladung und solare Direktheizung**

Bedingungen:

- ausreichende Temperaturdifferenz (6 K zwischen „Kollektor aus“ und „Speicher unten“) für eine Speicherbeladung
- Speichertemperatur oben liegt unter der eingestellten Maximalgrenze von 90 °C
- ausreichende Absoluttemperatur der Solarflüssigkeit zur Wärmeabgabe an die Zuluft der Lüftungsanlage (eingestellt bei 35°C)
- Anforderung von Heizungswärme durch die programmierbaren Raumthermostate

Schaltzustand:

- Ventil M1 (siehe Abb. 4.3.1-1) leitet die Solarflüssigkeit durch die beiden Wärmetauscher im Solarspeicher
- Ventil M2 leitet die Solarflüssigkeit zusätzlich durch den Zuluftwärmetauscher „Solarheizung“ (siehe Abb. 4.3.1-1)

#### **5.3.2 Nur Speicherbeladung**

Bedingungen:

- ausreichende Temperaturdifferenz (6 K zwischen „Kollektor aus“ und „Speicher unten“) für eine Speicherbeladung
- Speichertemperatur oben liegt unter der eingestellten Maximalgrenze von 90 °C
- keine ausreichende Absoluttemperatur der Solarflüssigkeit zur Wärmeabgabe an die Zuluft der Lüftungsanlage (eingestellt bei 35°C)
- oder: keine Anforderung von Heizungswärme durch die programmierbaren Raumthermostate

Schaltzustand:

- Ventil M1 (siehe Abb. 4.3.1-1) leitet die Solarflüssigkeit durch die beiden Wärmetauscher im Solarspeicher
- Ventil M2 leitet die Solarflüssigkeit direkt zum Kollektor zurück

#### **5.3.3 Nur solare Direktheizung**

Bedingungen:

- keine ausreichende Temperaturdifferenz (6 K zwischen „Kollektor aus“ und „Speicher unten“) für eine Speicherbeladung
- oder: Speichertemperatur oben liegt über der eingestellten Maximalgrenze von 90°C
- ausreichende Absoluttemperatur der Solarflüssigkeit zur Wärmeabgabe an die Zuluft der Lüftungsanlage (eingestellt bei 35°C)
- Anforderung von Heizungswärme durch die programmierbaren Raumthermostate

Schaltzustand:

- Ventil M1 (siehe Abb. 4.3.1-1) leitet die Solarflüssigkeit am Solarspeicher vorbei direkt zum Ventil M2
- Ventil M2 leitet die Solarflüssigkeit durch den Zuluftwärmetauscher „Solarheizung“ (siehe Abb. 4.3.1-1)

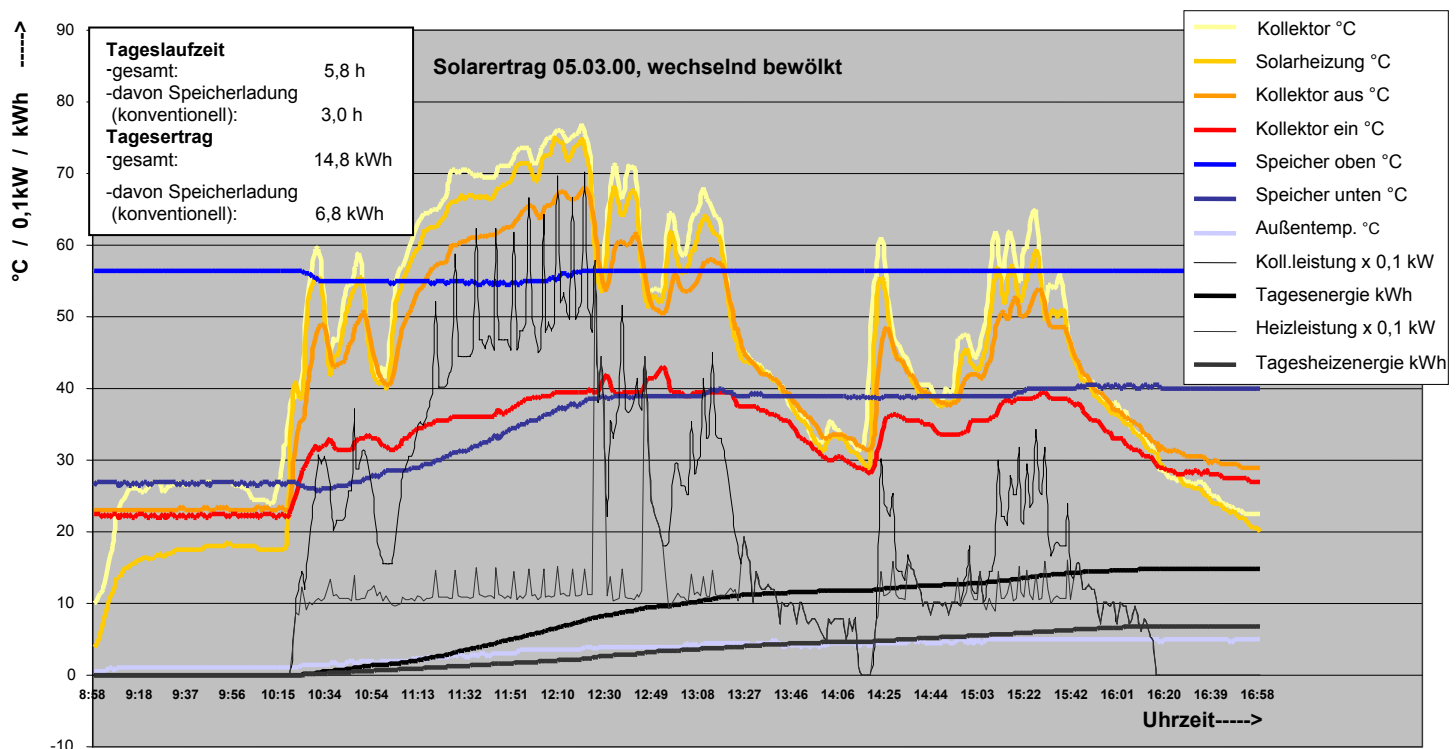
## 5.4 Ergebnisse

### 5.4.1 Exemplarische Darstellung der Betriebsdaten (Tagesverlauf)

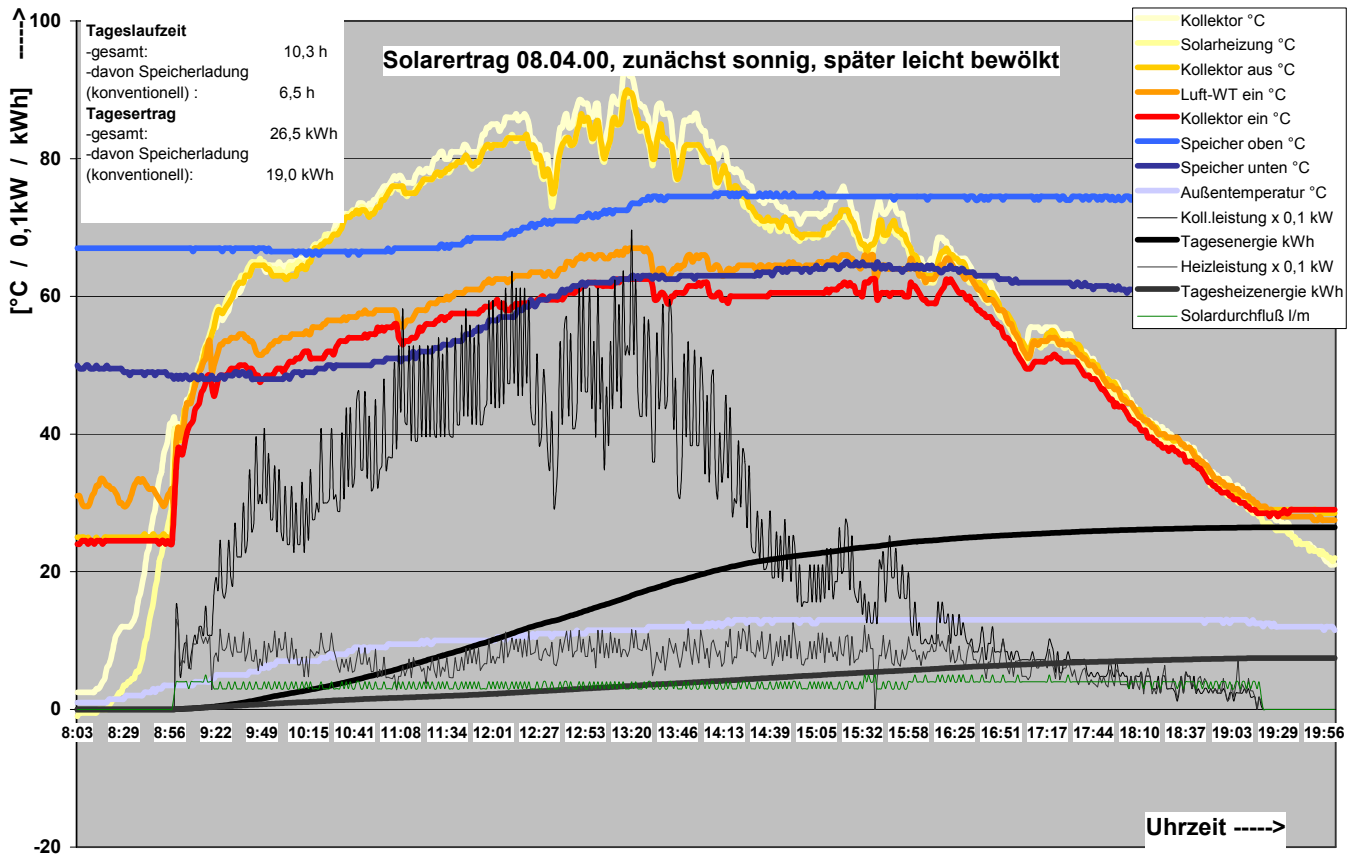
Mögliche Steigerungen des solaren Ertrages zur Heizungsunterstützung mit dem beschriebenen Anlagenkonzept wurden bereits vor Projektbeginn in Einzelmessungen nachgewiesen.

In den graphisch dargestellten Auswertungen des Solarertrages für zwei exemplarische Frühjahrsstage mit unterschiedlicher Sonneneinstrahlung wird der zusätzlich erzielte Ertrag durch die „solare Direktheizung“ als „Tagesheizenergie“ dargestellt (Abb. 5.4.1-1 und 5.4.1-2)

In den Diagrammen wird deutlich, dass mit dem beschriebenen Konzept Wärme auf sehr geringem Temperaturniveau abgenommen und direkt genutzt werden kann. Die Kollektor-Rücklauftemperatur: „Kollektor ein“ und teilweise sogar die Kollektor-Vorlauftemperatur: „Kollektor aus“ können deutlich niedriger als die untere Temperatur des Pufferspeichers: „Speicher unten“ liegen, was bei einer konventionellen Anlage den Betrieb der Anlage und damit einen Wärmeertrag ausschließt.



**Bild 5.4.1-1: Exemplarische Darstellung der Messdaten der Versuchsanlage, niedrige Speichertemperaturen zu Beginn des Tages**



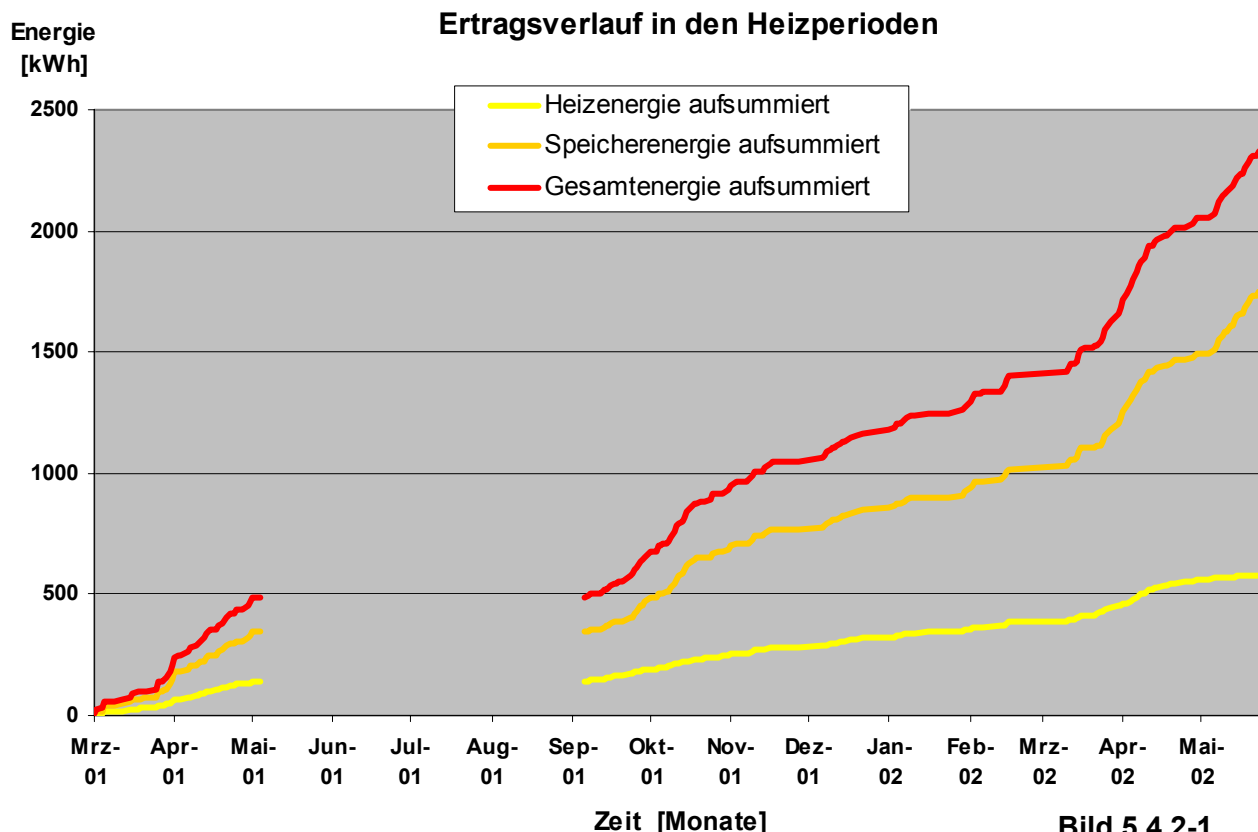
**Bild 5.4.1-2: Exemplarische Darstellung der Messdaten der Versuchsanlage, relativ hohe Speichertemperaturen zu Beginn des Tages**

Über einen Zeitraum von zwei Jahren (2001, 2002) wurden die Erträge und die Leistungsanteile in den Heizperioden von konventioneller Speicherbeladung und solarer Direktheizung und damit insbesondere die Auswirkungen der in Kapitel 4.3.1 beschriebenen Verknüpfung zwischen Lüftungsanlage und Solarkollektoren systematisch gemessen und ausgewertet.

Damit konnte die Steigerung der Kosteneffizienz und des Heizertrages von solaren Heizungssystemen durch die beschriebene Lösung evaluiert werden.

Es wurden jeweils nur die Zeitanteile berücksichtigt und ausgewertet, in denen ein Heizbedarf im untersuchten Haus bestand.

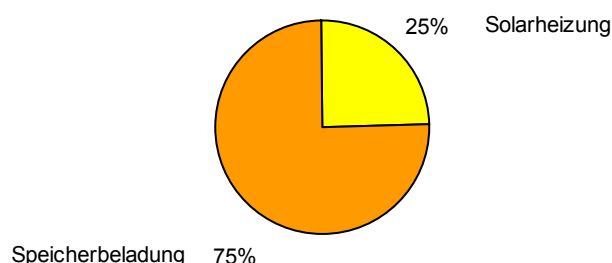
### 5.4.2 Energieanteile gesamt



Es wird deutlich, dass die größten (zusätzlichen) Heizenergieerträge in den „Übergangsmonaten“ der Heizperioden, d.h. in den Monaten März, April sowie im September und Oktober anfallen. Dies ist dadurch zu erklären, dass in den Monaten vor September und nach April in der Regel (in Niedrigenergiehäusern) kein Heizbedarf besteht und in den Monaten November bis Februar die Sonneneinstrahlung, von wenigen Ausnahmen abgesehen, und damit die Energieerträge sehr gering sind.

Die Gesamtanteile während der Heizperioden der Projektlaufzeit zeigt das folgende Diagramm (Bild 5.4.2-2):

#### Energieanteile



**Bild 5.4.2-2**

Es kann damit festgestellt werden, dass durch die beschriebenen Modifikationen ein zusätzlicher Ertragsgewinn in den Heizperioden von etwa 30% gegenüber einer Anlage mit alleiniger Speicherladung realisiert werden kann. Außerhalb der Heizperioden (Sommermonate) sind Solaranlagen zur Heizungsunterstützung in Wohnhäusern in der Regel deutlich überdimensioniert, sodass schon bei konventionellen Konzepten nicht der volle Ertrag genutzt werden kann.



### 5.4.3 Energieanteile nach Monaten (Tagessummen)

Im folgenden werden die aus den gemessenen Minutenwerten (Temperaturen, Volumenströme, siehe Bild 4.3.1-1) berechneten und aufsummierten Energiewerte (siehe Kapitel 5.2) für die untersuchten Monate der zwei Heizperioden graphisch dargestellt.

Es werden jeweils in den Balkendiagrammen die Tagessummen für die Anteile der solaren Direktheizung, der Speicherladung und der Summe aus beiden Anteilen dargestellt.

Außerdem zeigt ein Kreisdiagramm jeweils die Anteile der Monatssummen.

Die Tageshöchsttemperaturen sind ebenfalls in einem separaten Diagramm als Zusatzinformation mit aufgeführt. Es zeigt sich aber, wie zu erwarten, keine Korrelation zwischen Temperatur- und Ertragswerten.

An Tagen ohne dargestellte Energie- und Temperaturwerte war entweder die Sonneneinstrahlung für ein Anlaufen der Anlage und damit einen Energieertrag zu gering oder es bestand zu keinem Zeitpunkt des Tages ein Heizwärmebedarf im untersuchten Wohnhaus. In einigen Fällen lag die Ursache auch in den eingangs erwähnten Datenverlusten.

#### März 2001

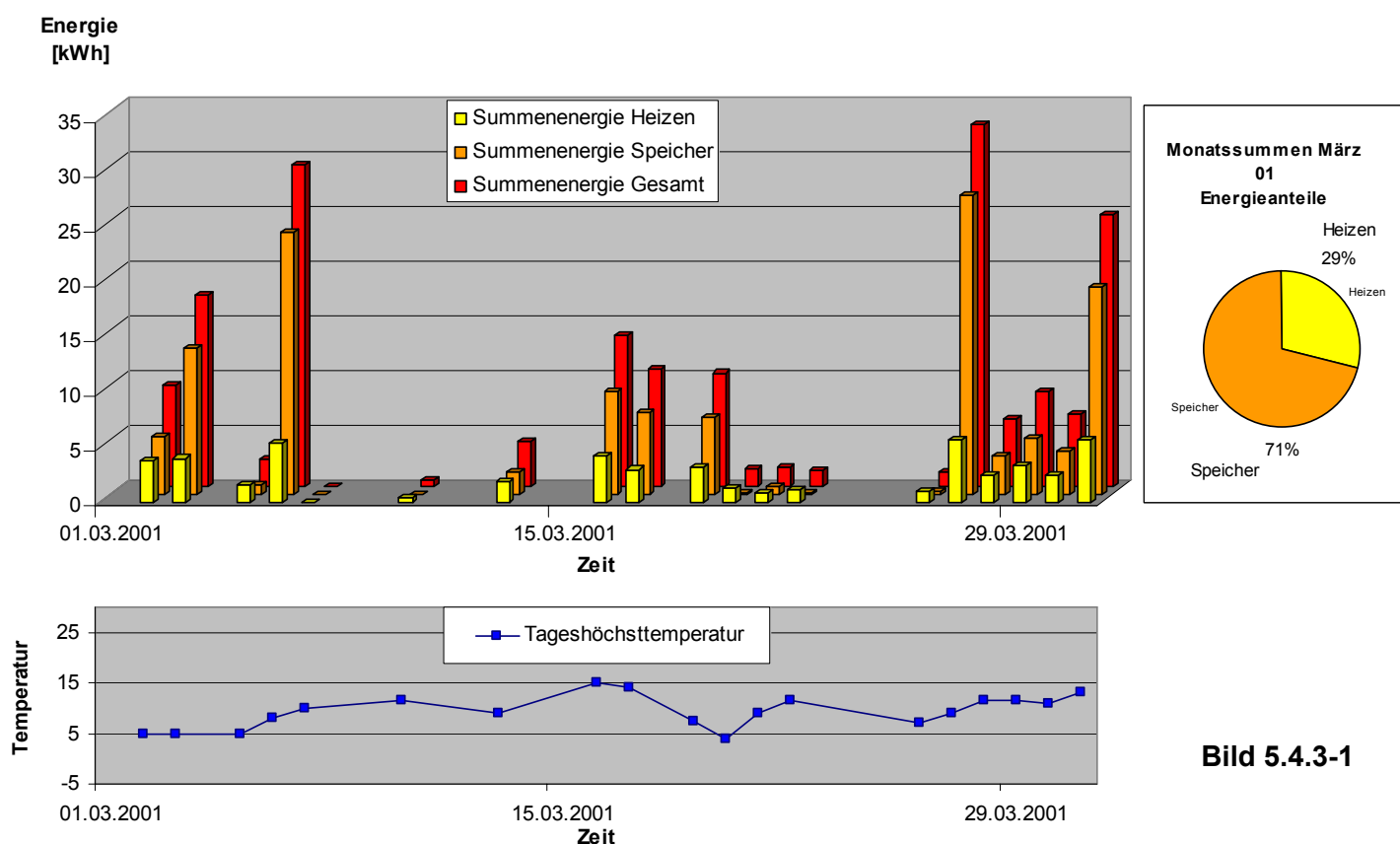
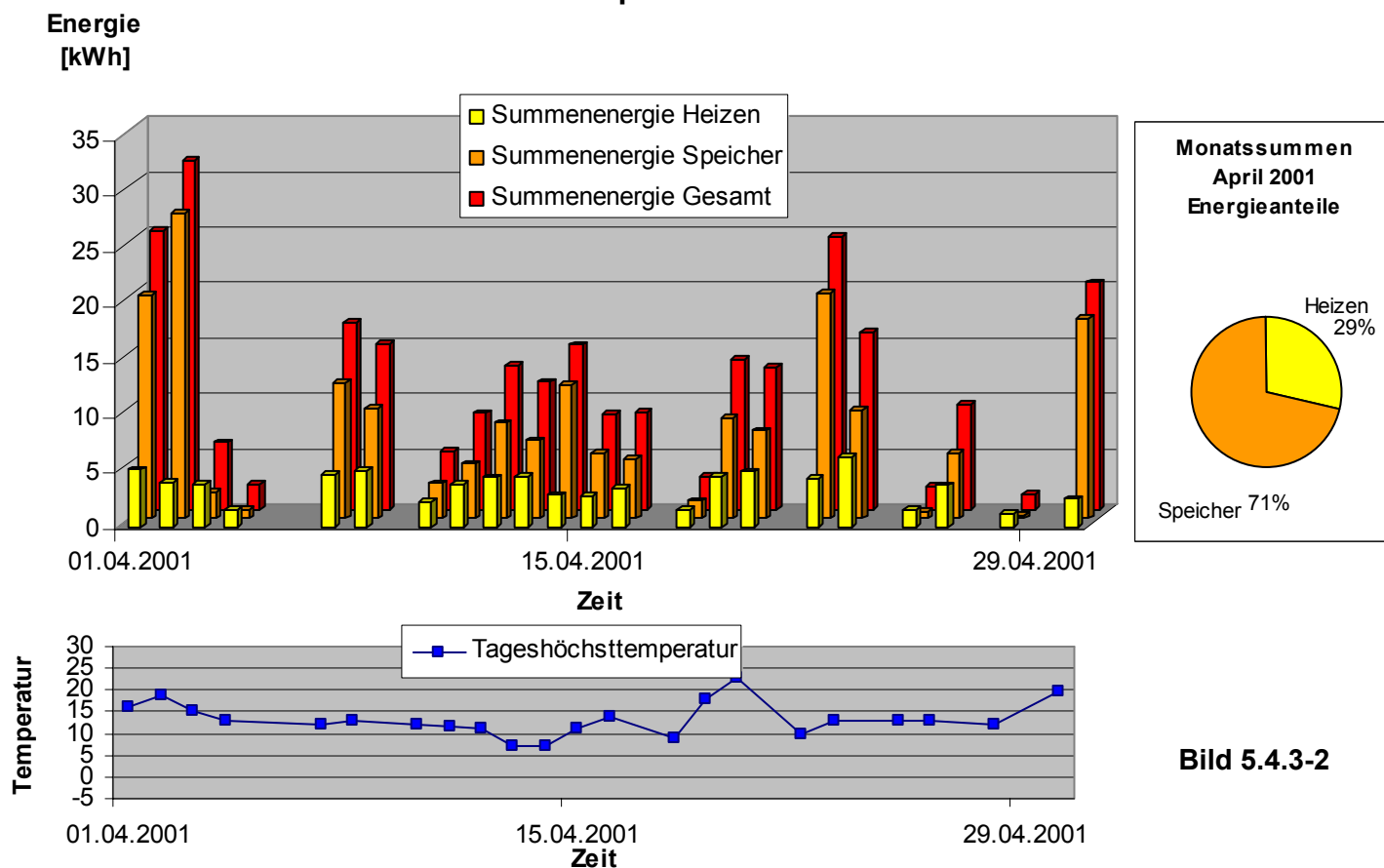
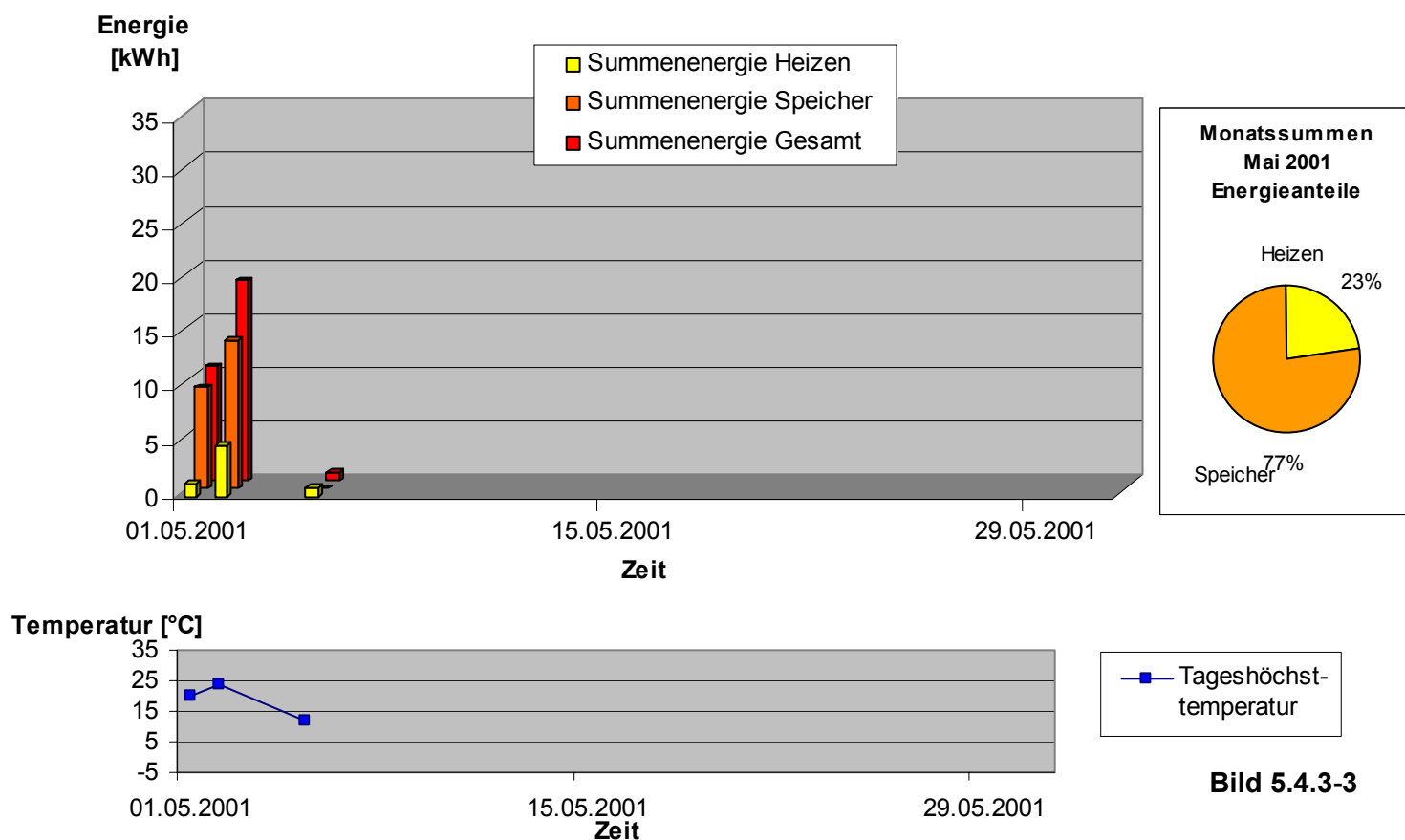
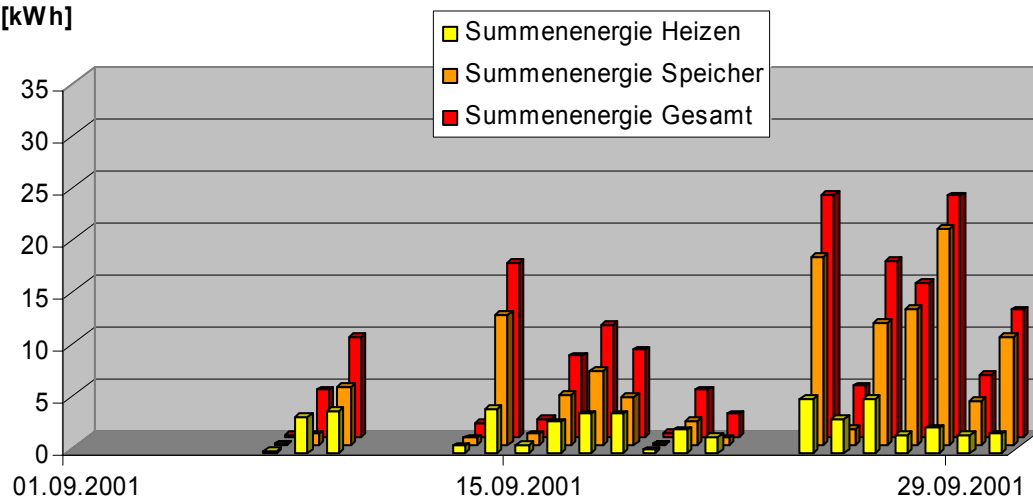


Bild 5.4.3-1

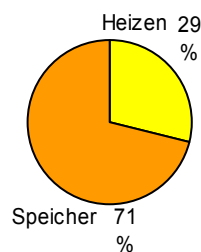
**April 2001****Bild 5.4.3-2****Mai 2001****Bild 5.4.3-3**

## September 2001

Energie  
[kWh]



Monatssummen  
September 2001  
Energieanteile



Temperatur [°C]

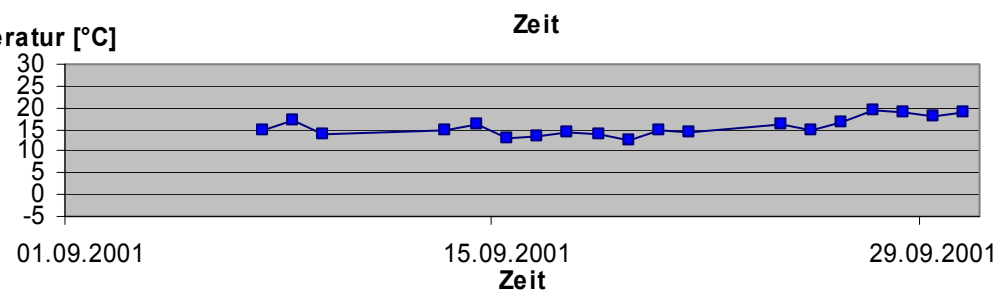
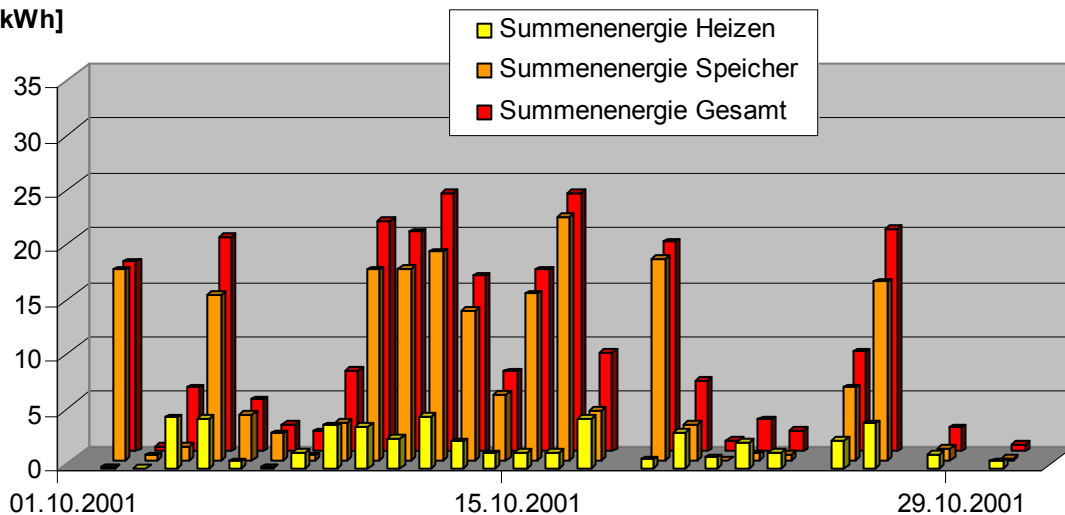


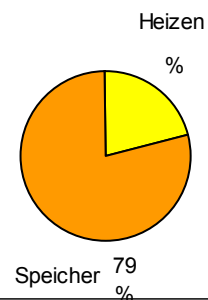
Bild 5.4.3-4

## Oktober 2001

Energie  
[kWh]



Monatssummen  
Oktober 2001  
Energieanteile



Temperatur [°C]

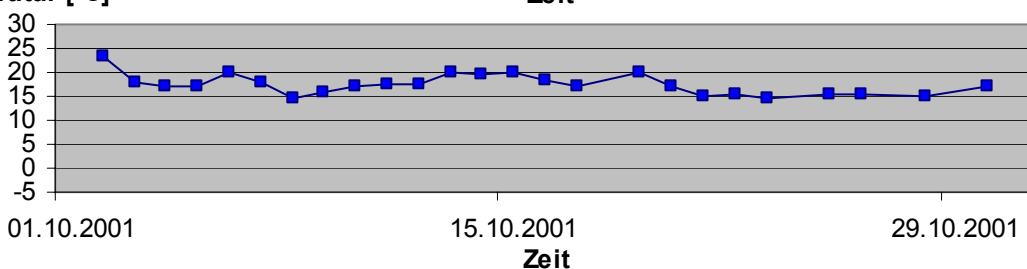
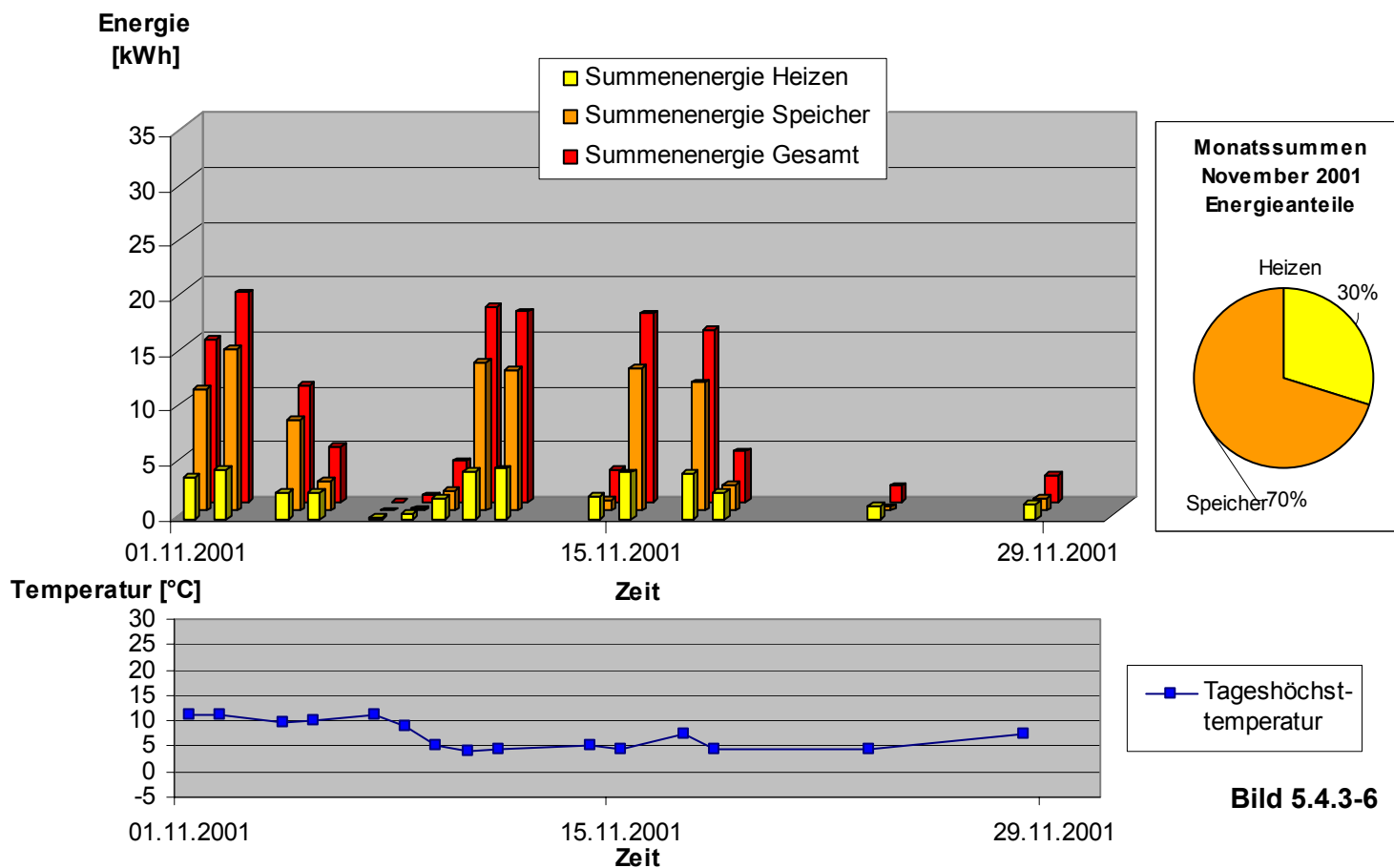
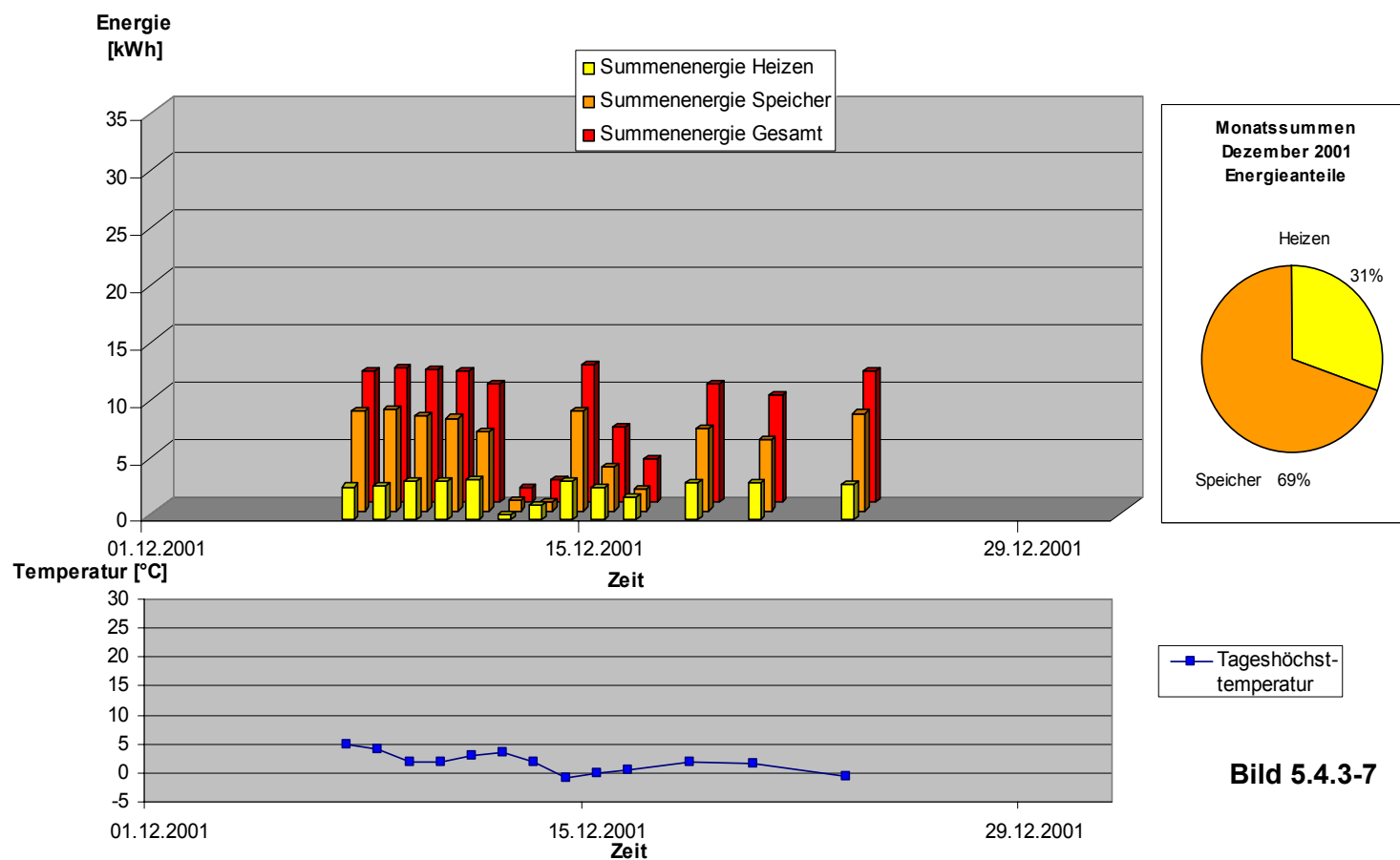


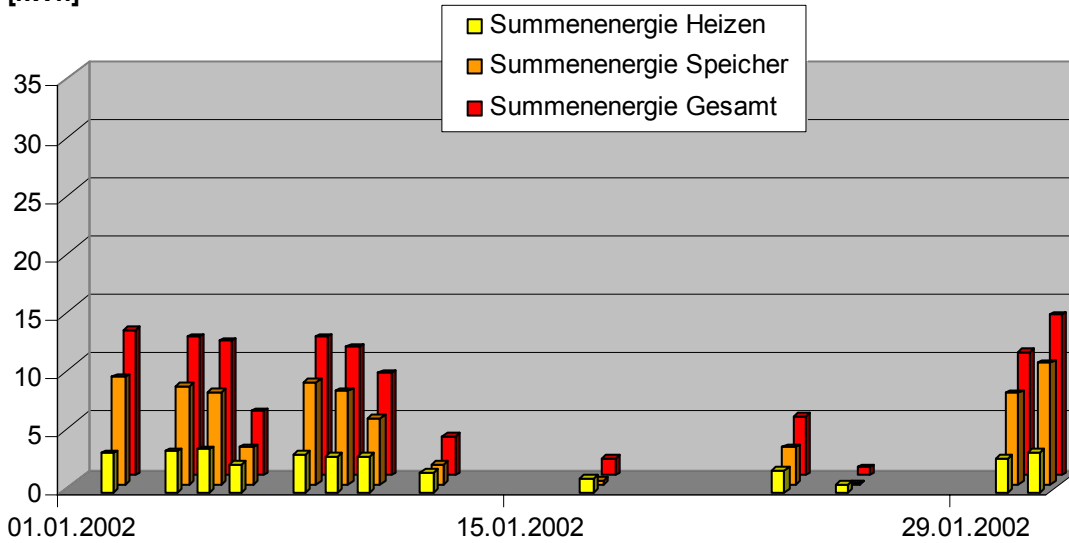
Bild 5.4.3-5

## November 2001

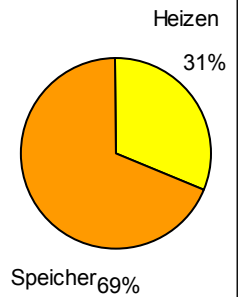
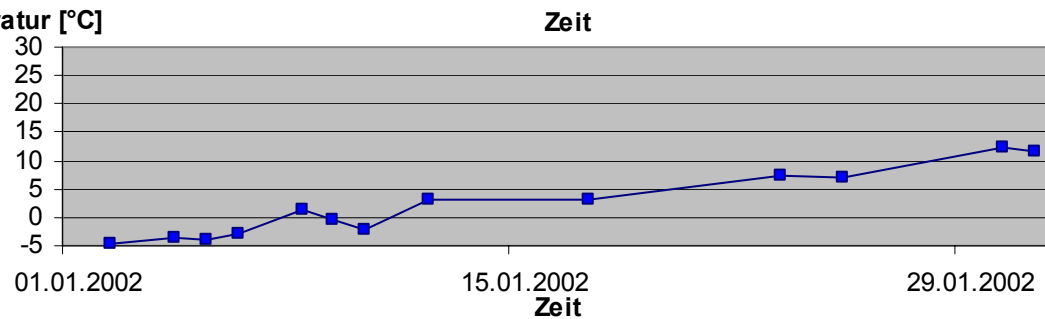
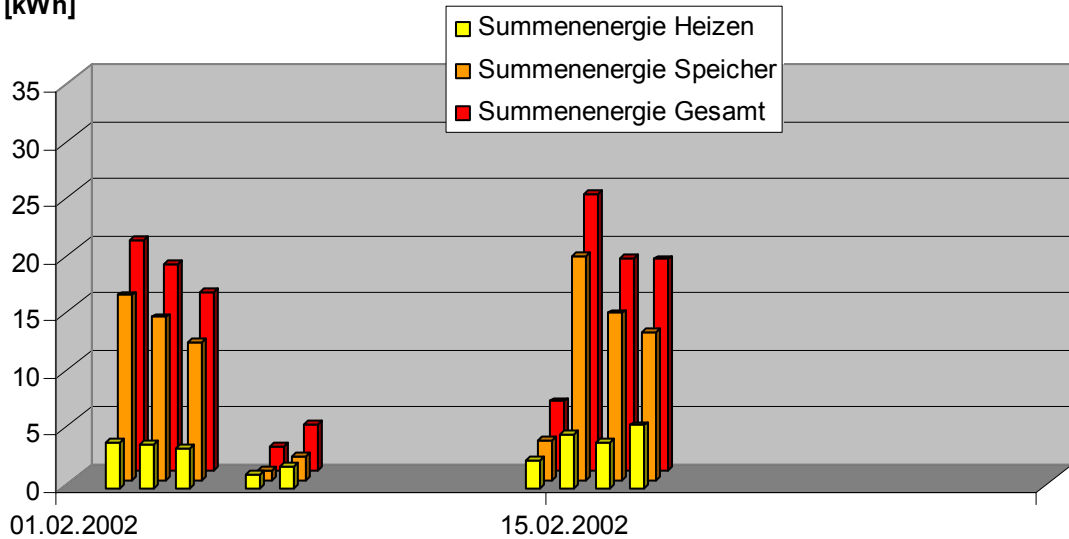


## Dezember 2001

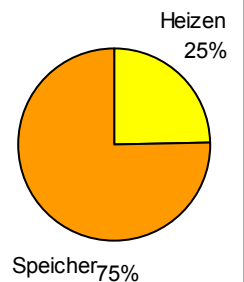
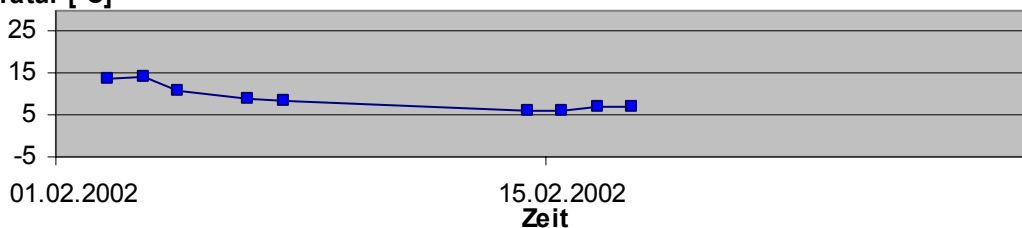


**Januar 2002****Energie  
[kWh]**

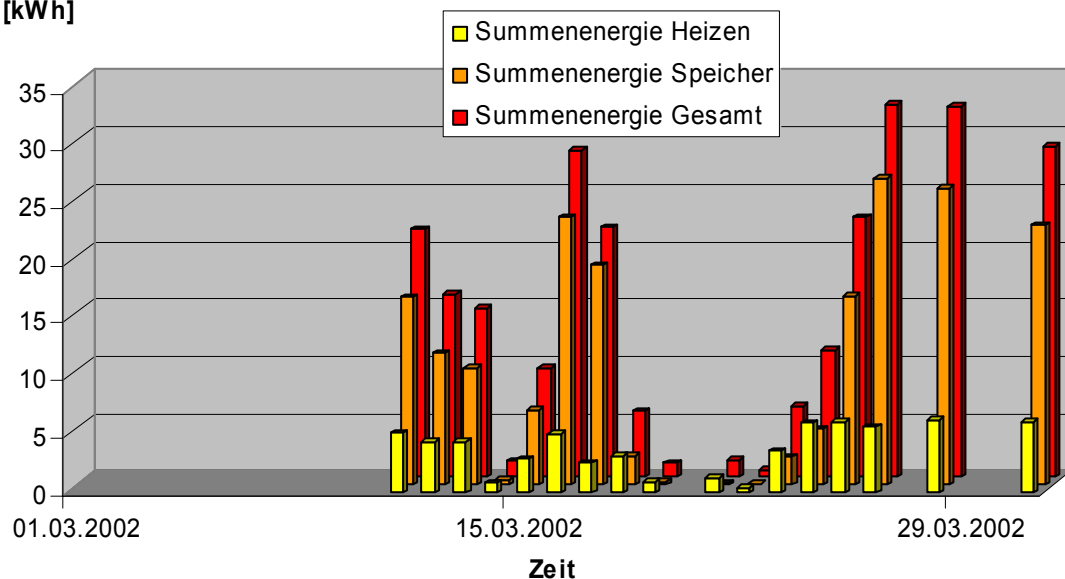
**Monatssummen  
Januar 2002  
Energieanteile**

**Temperatur [°C]****Bild 5.4.3-8****Februar 2002****Energie  
[kWh]**

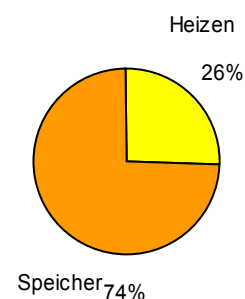
**Monatssummen  
Februar 2002  
Energieanteile**

**Temperatur [°C]****Bild 5.4.3-9**

## März 2002

Energie  
[kWh]

Monatssummen  
März 2002  
Energieanteile



Temperatur [°C]

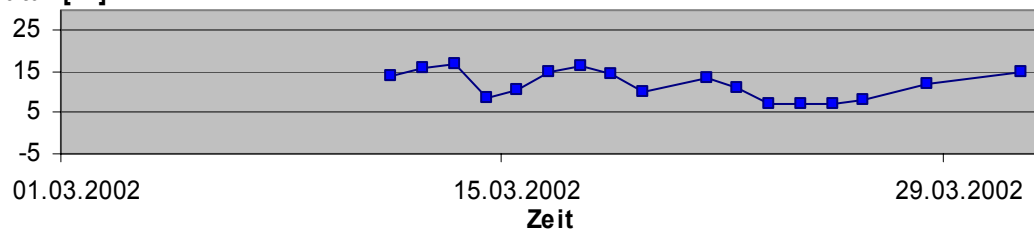
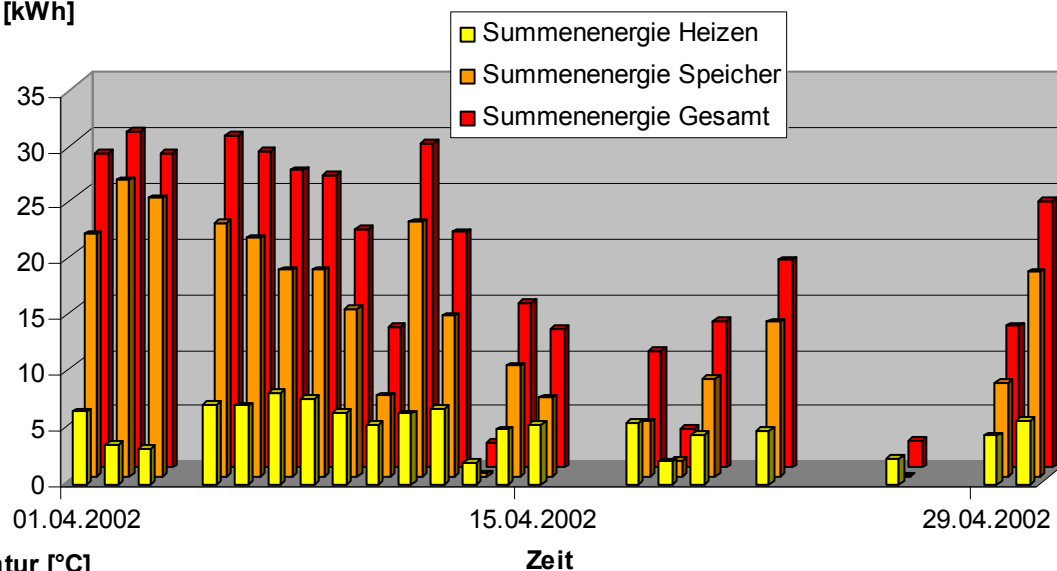
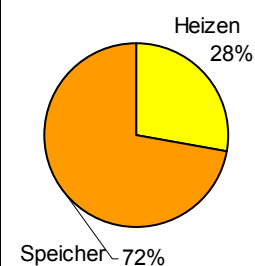


Bild 5.4.3-10

## April 2002

Energie  
[kWh]

Monatssummen  
April 2002  
Energieanteile



Temperatur [°C]

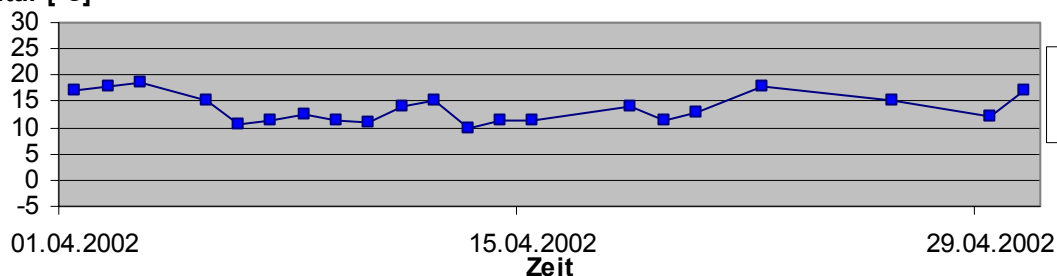
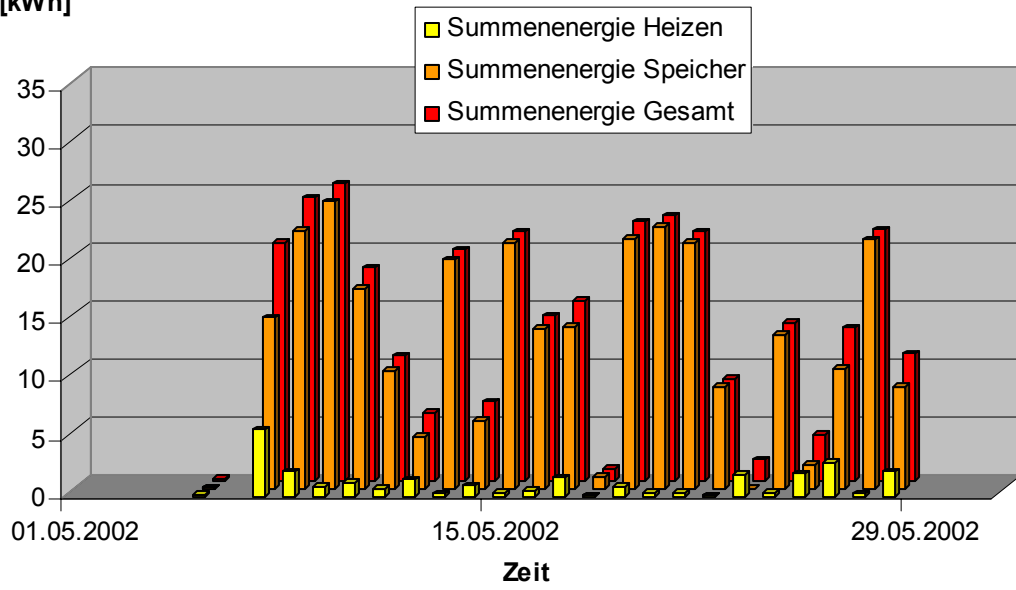


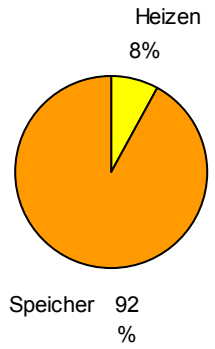
Bild 5.4.3-11

# Mai 2002

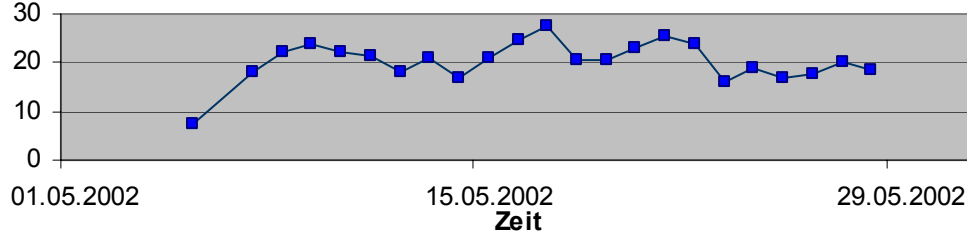
Energie  
[kWh]



Monatssummen  
Mai 2002  
Energieanteile



Temperatur [°C]



—■— Tageshöchst-  
temperatur

Bild 5.4.3-12

## 6. Bewertung und Ausblick

Die dargestellten Messergebnisse aus zwei Heizperioden sowie die praktischen Erfahrungen nach mittlerweile fünf Jahren –davon das erste Jahr ohne die beschriebene solare Direktheizung- zeigen, dass das Projektziel der Steigerung der Leistungsfähigkeit der thermischen Solaranlage bei der Heizungsunterstützung und die Vermeidung eines Teillastbetriebes der Holzheizung durch die beschriebenen Maßnahmen erreicht wurde. Die gemessenen Ertragssteigerungen durch die solare Direktheizung korrelieren mit der ermittelten Reduzierung des Brennstoffverbrauches und der Beobachtung, dass in den „Übergangsmonaten“ auch bei geringer Sonneneinstrahlung deutlich seltener die Stückholzfeuerung zum Heizen in Betrieb gesetzt werden muss.

Unter anderem durch die beschriebene Zwischenspeicherung von solar gewonnener Heizwärme in den Speichermassen des Kachelofens wird die Wärme zeitverzögert und damit auch zu den Tageszeiten abgegeben, in denen die direkten Wärmegewinne durch die Fensterflächen an der Süd- und Westseite nicht mehr wirksam sind.

Die Mehrkosten für die beschriebenen Anlagenmodifikationen bzw. –erweiterungen liegen für zwei elektrisch angesteuerte Ventile, einen Wasser-Luft-Wärmetauscher, Erweiterungen der Regelung und den Mehraufwand bei der Installation der Komponenten bei etwa 600 – 900 Euro und damit unter den Mehrkosten, die für eine Vergrößerung der Kollektorfläche mit gleichem Mehrertrag in der Heizperiode entstehen würden. Hinzu kommt, dass mit weiterer Vergrößerung der Kollektorfläche die Überproduktion in den Sommermonaten außerhalb der Heizperiode zunehmen würde und durch regelmäßige Übertemperaturen bei der Stagnation der Solaranlage zu einer vorzeitigen Alterung aller Komponenten führt.

Nachteilig ist bei dem beschriebenen Konzept zu sehen, dass die Anlagenkomplexität steigt und einige Komponenten am Markt nicht explizit für diesen Zweck angeboten werden. Damit ist der durchschnittliche Heizungsbauer bei der Auslegung und Installation einer solchen Anlage, aber auch bei der Einstellung der Parameter der Regelung häufig überfordert.

An dieser Stelle sind die Hersteller von Solar- und Lüftungsanlagen gefragt, in Kooperation aufeinander abgestimmte Anlagen anzubieten, die die entsprechenden Schnittstellen bereits vorsehen. Viele der heute verfügbaren Solarregelungen sind bereits ohne Zusatzmodule in der Lage, die erforderlichen Zusatzfunktionen bereit zu stellen.



## 7. Zusammenfassung

Es wird die Modifikation eines Heizungssystems vorgestellt, bei dem durch eine anlagentechnische Verknüpfung von thermischer Solaranlage, Stückholzfeuerung und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eine „solare Direktheizung“ durch direkte Einbindung des Solarkollektorkreises in das Heizungssystem realisiert wird.

Neben einer Erhöhung des Kollektorwirkungsgrades bei niedrigen Außentemperaturen werden dadurch deutlich längere Laufzeiten und gesteigerte Erträge der thermischen Solaranlage besonders an Tagen mit geringer Einstrahlung und bereits teilweise geladenem Speicher durch eine direkte Wärmeabnahme zum Heizen auf niedrigem Temperaturniveau erreicht. Darüber hinaus werden überflüssige Wärmetauschvorgänge vermieden.

Ein mehrjähriger Betrieb der Anlage verbunden mit einer Langzeitmessung aller relevanten Temperaturen in der Anlage und daraus der Energieanteile zeigt, dass in den Heizperioden solare Mehrerträge von etwa 30% ohne eine Vergrößerung der Kollektorfläche möglich sind.

Außerdem kann ein Teillastbetrieb der Holzfeuerung verbunden mit einem entsprechend ungünstigen Emissionsverhalten an Tagen mit geringem Heizbedarf weitgehend vermieden werden.

Um eine Markteinführung zu unterstützen und die Überforderung von Heizungsbauern durch eine zu große Anlagenkomplexität zu vermeiden, müssen aufeinander abgestimmte Systeme aus thermischen Solaranlagen und Lüftungsanlagen angeboten entwickelt und angeboten werden.

**8. Abbildungsverzeichnis**

|               |                                                                                                  |    |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 4-1      | Versuchsobjekt                                                                                   | 4  |
| Bild 4.2-1    | Kachelofen im Rohbau                                                                             | 5  |
| Bild 4.2-2    | Holzfeuerung                                                                                     | 5  |
| Bild 4.3-1    | Lüftungsanlage                                                                                   | 6  |
| Bild 4.4.1-1  | Schematische Darstellung der Gesamtanlage                                                        | 7  |
| Bild 4.4.2-1  | Lüftungswärmetauscher, Rohbau                                                                    | 8  |
| Bild 5.4.1-1  | Exemplarische Darstellung der Messdaten der Versuchsanlage,<br>niedrige Speichertemperaturen     | 12 |
| Bild 5.4.1-2  | Exemplarische Darstellung der Messdaten der Versuchsanlage,<br>relativ hohe Speichertemperaturen | 13 |
| Bild 5.4.2-1  | Ertragsverlauf in den Heizperioden                                                               | 14 |
| Bild 5.4.2-2  | Energieanteile (gesamt)                                                                          | 14 |
| Bild 5.4.3-1  | Tagessummen: März 2001                                                                           | 15 |
| Bild 5.4.3-2  | Tagessummen: April 2001                                                                          | 16 |
| Bild 5.4.3-3  | Tagessummen: Mai 2001                                                                            | 16 |
| Bild 5.4.3-4  | Tagessummen: September 2001                                                                      | 17 |
| Bild 5.4.3-5  | Tagessummen: Oktober 2001                                                                        | 17 |
| Bild 5.4.3-6  | Tagessummen: November 2001                                                                       | 18 |
| Bild 5.4.3-7  | Tagessummen: Dezember 2001                                                                       | 18 |
| Bild 5.4.3-8  | Tagessummen: Januar 2002                                                                         | 19 |
| Bild 5.4.3-9  | Tagessummen: Februar 2002                                                                        | 19 |
| Bild 5.4.3-10 | Tagessummen: März 2002                                                                           | 20 |
| Bild 5.4.3-11 | Tagessummen: April 2002                                                                          | 20 |
| Bild 5.4.3-12 | Tagessummen: Mai 2002                                                                            | 21 |