

# SOLARUNTERSTÜTZTE WÄRMEVERSORGUNGSKONZEPTE FÜR MEHRFAMILIENHÄUSER IM VERGLEICH

Christian Fink<sup>1)</sup>, Richard Riva<sup>1)</sup>, Richard Heimrath<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> AEE INTEC, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE  
Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf  
Tel.: +43-3112 / 5886, Fax: DW -18  
E-Mail: [c.fink@ae.at](mailto:c.fink@ae.at), [r.riva@ae.at](mailto:r.riva@ae.at)

<sup>2)</sup> IWT, Institut für Wärmetechnik, TU-Graz  
Inffeldgasse 25, A-8010 Graz  
Tel.: 0316 / 873 7314  
E-Mail: [heimrath@iwt.tu-graz.ac.at](mailto:heimrath@iwt.tu-graz.ac.at)

## 1 Einführung

Zunehmend wurden in Österreich in den letzten Jahren mehrgeschossige Wohnbauten mit thermischen Solaranlagen ausgeführt und damit die konventionelle Wärmeversorgung unterstützt. Neben unterschiedlichen Hydrauliken im Solarsystem existieren große Unterschiede in der Art und Weise der Wärmeverteilung. Von Zwei-Leiter-Netzen über Drei-Leiter-Netze bis hin zu Vier-Leiter-Netzen reicht die Bandbreite der Wärmeverteilungssysteme. Da aber gerade das Konzept der Wärmeverteilung entscheidend für die Betriebstemperatur des Solarkreislaufes ist, können unterschiedlichste Betriebsergebnisse für Solaranlagen erzielt werden. Die Quantifizierung der Auswirkungen unterschiedlicher Wärmeverteilungssysteme auf die Effizienz von solarthermischen Systemen war Inhalt eines nationalen Forschungsprojektes. Die Ergebnisse dieses, vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ beauftragten Projektes werden im gegenständlichen Beitrag vorgestellt.

### Weitere Projektpartner:

S.O.L.I.D. GmbH, Gesellschaft für Solarinstallation und Design m.b.H

Sonnenkraft Vertriebs-GmbH, Klagenfurt

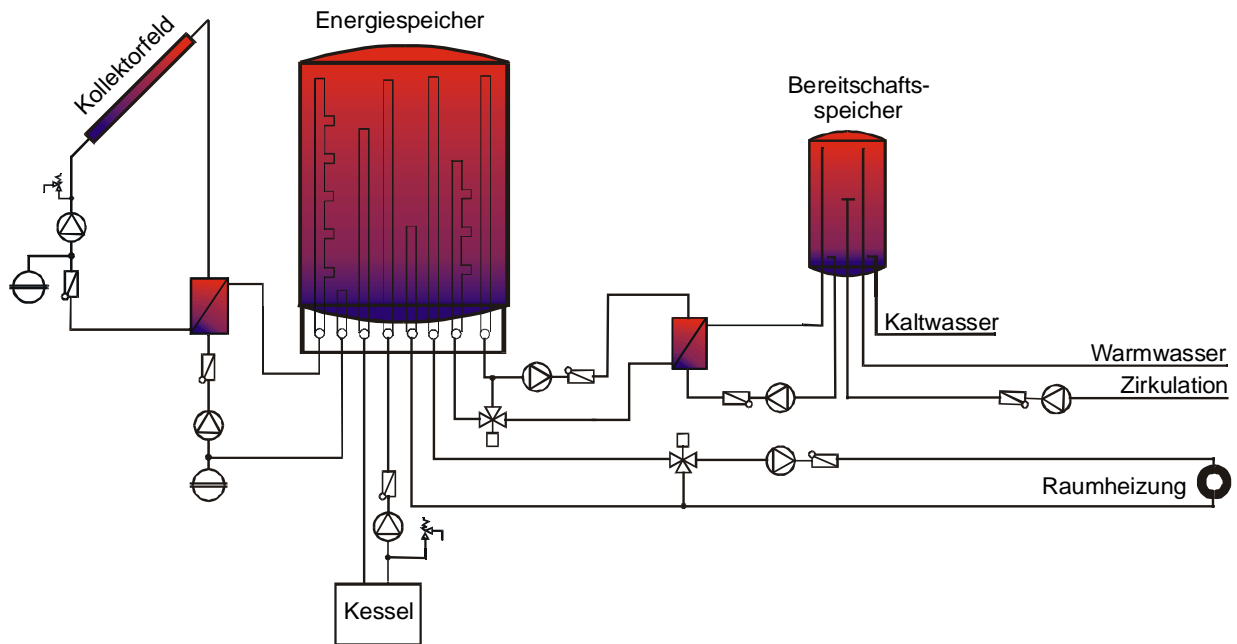
Neue Heimat, Gemeinnützige Wohnungs- und Siedlungsgesellschaft in Steiermark, Graz

Immobilien Schuster, Graz

## 2 Auswahl von solarunterstützten Wärmeversorgungssystemen und Definition von Referenzgebäuden

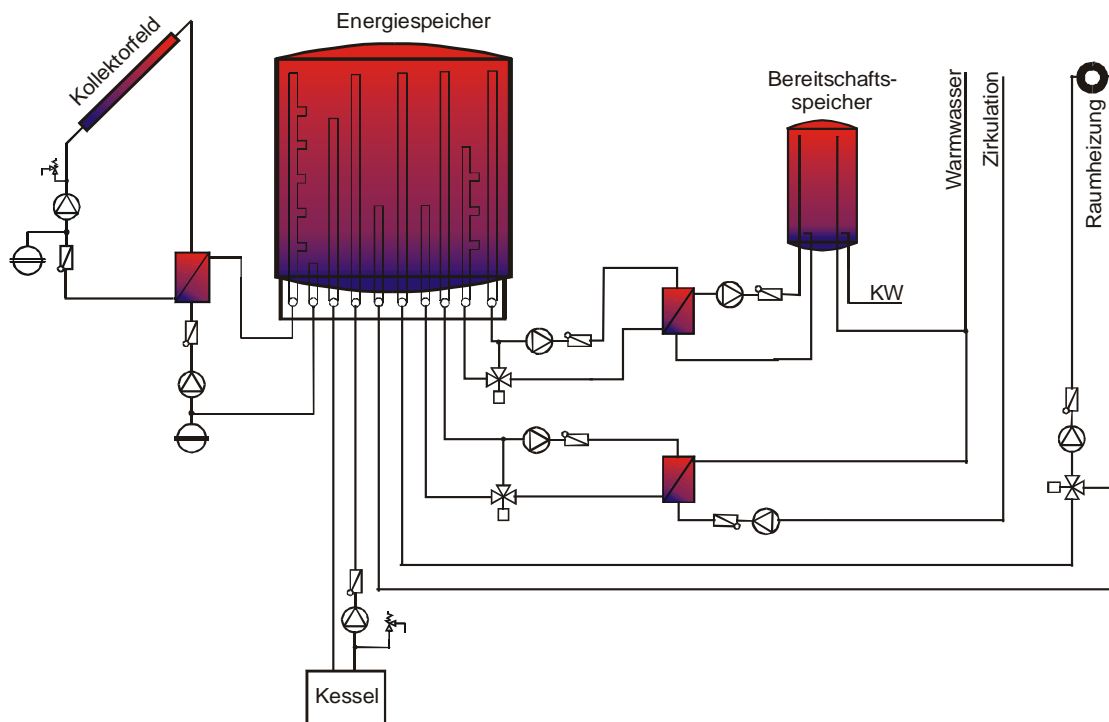
Für die Untersuchungen wurden vier solarunterstützte Wärmeversorgungssysteme ausgewählt, die in Österreich häufig Anwendung finden. Zwei der ausgewählten Konzepte entsprechen der Kategorie der Vier-Leiter-Netze, zwei entsprechen der Kategorie der Zwei-Leiter-Netze. Charakteristisch für Vier-Leiter-Netze ist die Verteilung von Brauchwasser und Raumwärme über zwei Leitungspaare. Die Brauchwassererwärmung erfolgt zentral. Bei Zwei-Leiter-Netzen erfolgt der Wärmetransfer über ein Rohrleitungspaar und das Brauchwasser wird dezentral (mittels Durchflusserwärmer oder Sub-Speicher) in den Wohnungen erwärmt. Das Solarsystem der Referenzhydraulikkonzepte wurde als ident betrachtet. Da in Zwei-Leiter-Netzen systembedingt die Solarwärme auch der Raumwärmeversorgung (RWV) zur Verfügung steht, wurden zur besseren Vergleichbarkeit auch die Vier-Leiternetze seitens der Anlagenhydraulik so gestaltet, dass eine Heizungsnutzung der Solarwärme möglich ist. Die Nachheizung mittels konventioneller Energieträger erfolgt jeweils im Energiespeicher, welcher in den Simulationen als Schichtspeicher berücksichtigt wurde.

Abb. 1 - Die für Vergleichsrechnungen ausgewählten vier solarunterstützten Wärmeversorgungskonzepte:



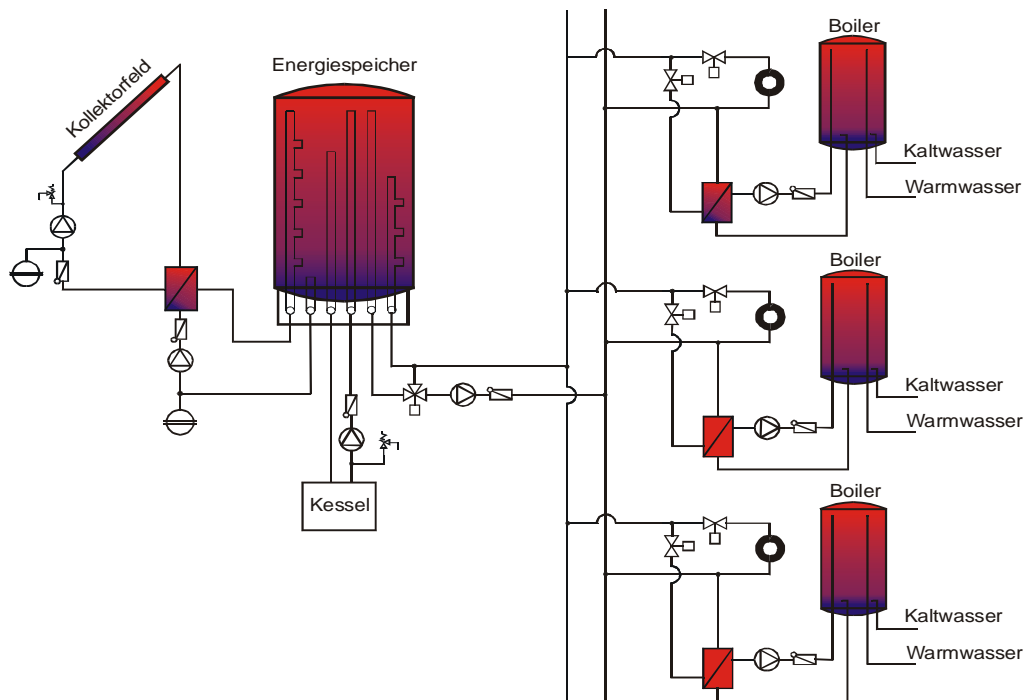
### „Vier-Leiter-Netz, RWV“

Anwendung: Solarunterstützte Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung.  
 Vier-Leiter-Netz mit zentralem Energie- und Bereitschaftsspeicher im Ladespeicherprinzip



### „Vier-Leiter-Netz, RWV, inkl. zus. WT“

Anwendung: Solarunterstützte Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung. Vier-Leiter-Netz mit zentralem Energie- und Bereitschaftsspeicher im Ladespeicherprinzip. Die Verluste der Brauchwasserverteil- und Zirkulationsleitung werden über einen zusätzlichen Wärmetauscher aus dem Energiespeicher gedeckt.

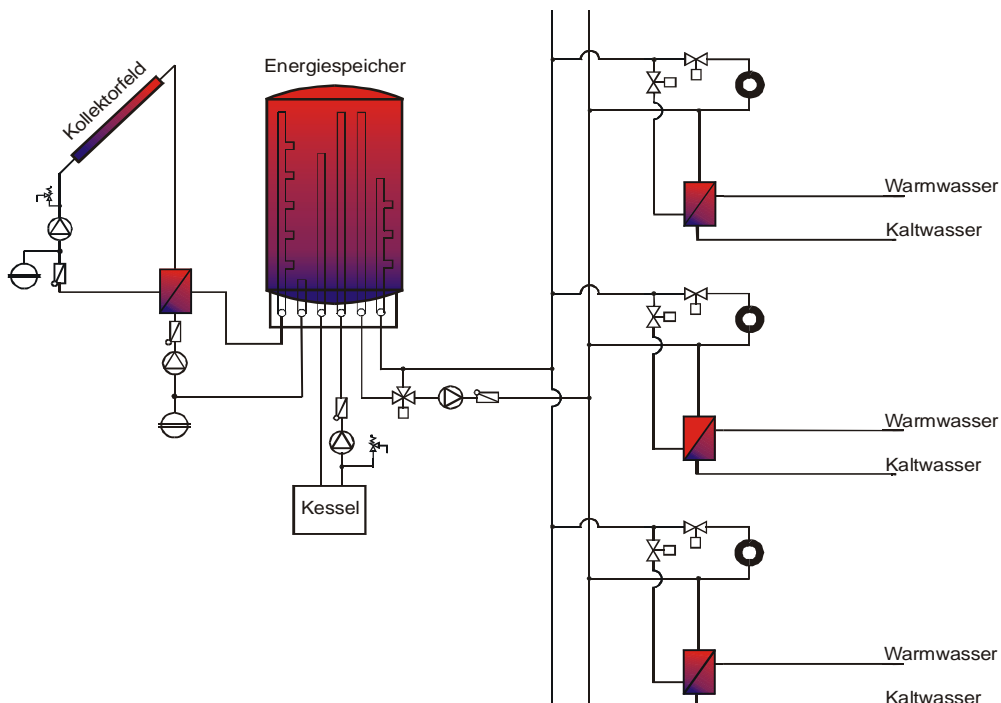


### „Zwei-Leiter-Netz, dez. Boiler“

#### Anwendung:

Solarunterstützte Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung

Zwei-Leiter-Netz mit zentralem Energiespeicher und dezentraler Brauchwassererwärmung – Speicherprinzip.



### Zwei-Leiter-Netz, dez. Stationen“

#### Anwendung:

Solarunterstützte Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung Zwei-Leiter-Netz mit zentralem Energiespeicher und dezentraler Brauchwassererwärmung – Durchflussprinzip.

In den weiteren Betrachtungen erfolgte einerseits ein ökologischer Vergleich (mit welchem Konzept kann der größte Anteil an Nachheizenergie substituiert werden) und andererseits ein ökonomischer Vergleich (mit welchem Konzept kann der geringste Gesamtwärmepreis erzielt werden).

Da bei Systemvergleichen auch die Art (Bebauungsdichte, Energiedichte) und Größe des Gebäudes (Anzahl der Wohneinheiten) eine wesentliche Rolle spielen, wurden repräsentative Referenzgebäude definiert. Anhand von Recherchen zu in Österreich realisierten Gebäuden (Häufigkeiten von Gebäudegrößen und Bauarten sowie zum energietechnischen Standard) wurden jeweils ein Referenzgebäude mit 5 Wohnungen (reihenhausartige Bebauung), eines mit 12 Wohnungen (dreigeschossig) und eines mit 48 Wohnungen (sechsgeschossig) gewählt.

Die Modellierung der Referenzgebäude und der Referenzhydraulikkonzepte erfolgte in der dynamischen Simulationsumgebung TRNSYS. Jedes Referenzhydraulikkonzept wurde jedem Referenzgebäude zugeordnet und die Wärmeversorgungssituation (Brauchwasser und Raumwärme) simuliert.

### 3 Ergebnisse des Systemvergleichs nach energetischen Aspekten

Bewertet wurden die vier Systeme anhand der Kennzahlen Solarer Deckungsgrad, Spezifischer Ertrag und Systemwirkungsgrad sowie anhand des Nachheizenergiebedarfs. Diese Größen wurden jeweils für 11 unterschiedlich große Solarsysteme ermittelt und über der Auslastung aufgetragen. Die Auslastung ist ein Maß für die Dimensionierung einer Solaranlage und beschreibt, mit welcher Last (bei Heizungsunterstützungen der jährliche Wärmebedarf) ein Quadratmeter Kollektorfläche beaufschlagt wird.

Die Unterschiede im Systemvergleich für das Referenzgebäude mit 5 Wohnungen zeigen deutliche energetische Vorteile für Zwei-Leiter-Netze (siehe Abb. 2).

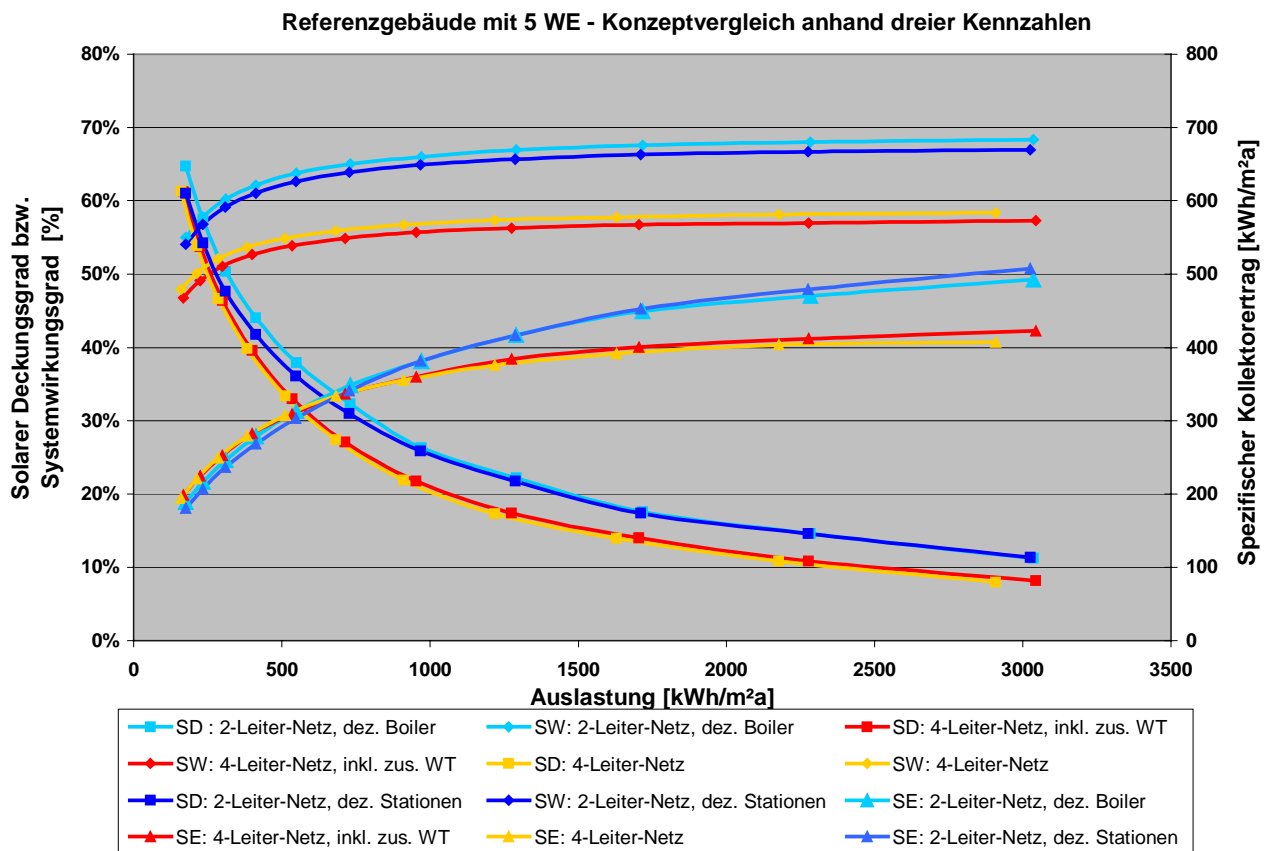


Abb. 2 - Vergleich der 4 Referenzhydraulikkonzepte am Referenzgebäude mit 5 Wohnungen an-

hand der Kennzahlen Solarer Deckungsgrad (SD), Systemwirkungsgrad (SW) und Spezifischer Solarertrag (SE).

Das Referenzgebäude mit 5 Wohnungen weist durch die reihenhausartige Bebauung, eine im Vergleich zu den anderen Referenzgebäuden wenig kompakte Bauform mit geringen Energieabnahmedichten auf. Diese geringen Energiedichten bedeuten für Vier-Leiternetze eine geringe Menge an „transportierter Energie je Laufmeter Netzlänge“, was sich in höheren Systemverlusten und somit wesentlich schlechteren Systemwirkungsgraden (Unterschiede zu Zwei-Leiter-Netzen liegen zum Teil über 10 %) zeigt.

Bei der Betrachtung des Solaren Deckungsgrades (SD) liegen Zwei-Leiternetze um über 5 % höher als Vier-Leiternetze. Die wesentlichen Ursachen hierfür liegen einerseits in den wesentlich tieferen Rücklauftemperaturen aus dem Verteilnetz, was deutlich höhere Solare Erträge bedeutet und andererseits im geringeren Gesamtenergiebedarf durch geringere Systemverluste (besserer Systemwirkungsgrad SW).

Die in energetischer Hinsicht entscheidende Größe bei der Beurteilung von Systemkonzepten ist der Nachheizenergiebedarf. Dieser zeigt die Zusammenhänge der vorhin behandelten Systemkennzahlen direkt. Abb. 3 zeigt die Unterschiede im Nachheizenergiebedarf zwischen den Referenzhydraulikkonzepten für das Referenzgebäude mit 5 Wohnungen.

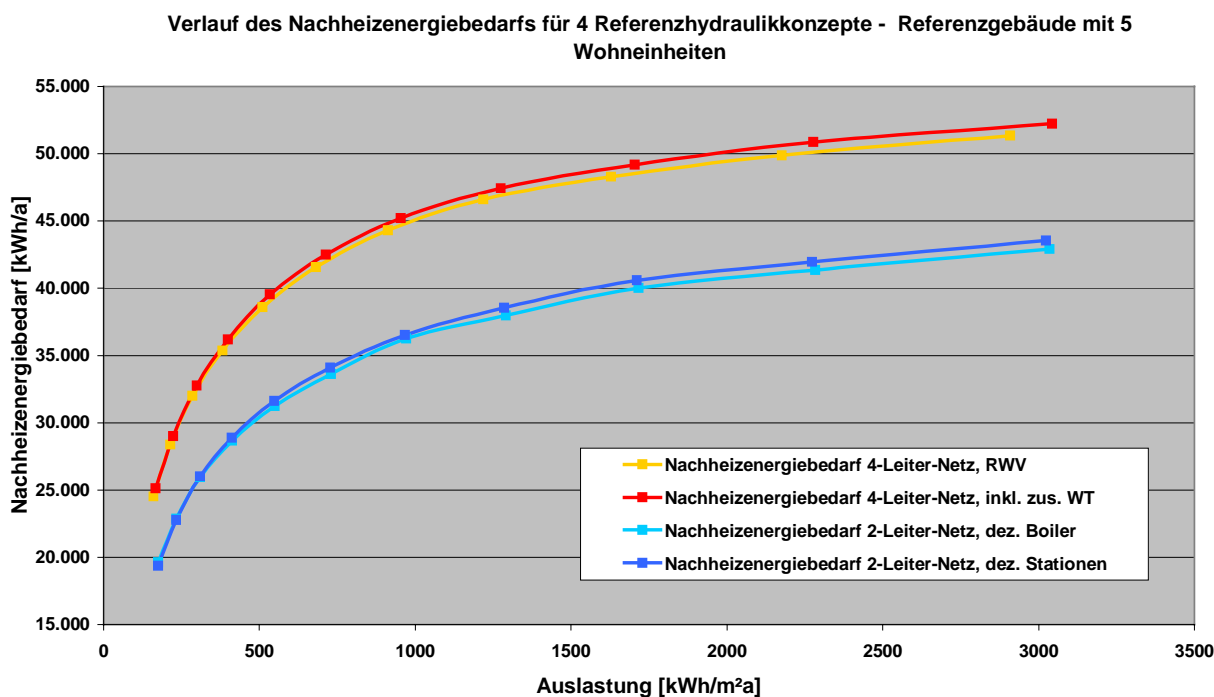


Abb. 3 - Der Nachheizenergiebedarf der 4 Referenzhydraulikkonzepte basierend auf dem Referenzgebäude mit 5 Wohnungen.

Zwischen Zwei-Leiter-Netzen und Vier-Leiter-Netzen zeigen sich enorme Unterschiede im Nachheizenergiebedarf. Der Nachheizenergiebedarf von Vier-Leiter-Netzen liegt bei dieser Gebäudegröße über die gesamte Bandbreite der Auslastung um etwa 20 – 25 % höher. Aus ökologischen Gründen sollten bei Anlagen und Gebäuden dieses Typs daher unbedingt Zwei-Leiter-Netze verwendet werden. Die Unterschiede zwischen den beiden Zwei-Leiter-Referenzkonzepten hingegen sind gering. Das Referenzhydraulikkonzept „Zwei-Leiter-Netz, dez. Boiler“ zeigt bei dieser Gebäudegröße leichte energetische Vorteile.

Auch für das Referenzgebäude mit 48 Wohnungen zeigt der Systemvergleich deutliche energetische Vorteile für Zwei-Leiter-Netze (siehe Abb. 4 und Abb. 5).

Das Referenzgebäude mit 48 Wohnungen weist im Vergleich zu den anderen beiden Referenzgebäuden (5 und 12 Wohnungen) durch die sechsgeschossige Bauweise eine noch größere Kompaktheit mit höheren Energieabnahmedichten auf. Daher liegen die Verläufe der Systemwirkungsgrade aller Referenzkonzepte noch näher aneinander als beim Systemvergleich der anderen Referenzgebäude. Vier-Leiter-Netze liegen im Systemwirkungsgrad aber trotzdem noch um etwa 4 - 5 % niedriger als das beste Zwei-Leiter-Netz (Referenzkonzept „Zwei-Leiter-Netz, dez. Stationen“).

Bei der Betrachtung des Solaren Deckungsgrades (SD) zeigt sich, dass Zwei-Leiter-Netze um bis zu 7 % höher liegen als Vier-Leiter-Netze. Die Spezifischen Solarerträge von Zwei-Leiter-Netzen liegen bis zu Solaren Deckungsgraden von 40 % entscheidend über den Spezifischen Solarerträgen von Vier-Leiter-Netzen. Erst bei Deckungsgraden über 40 % sind die Unterschiede im Spezifischen Solarertrag gering.

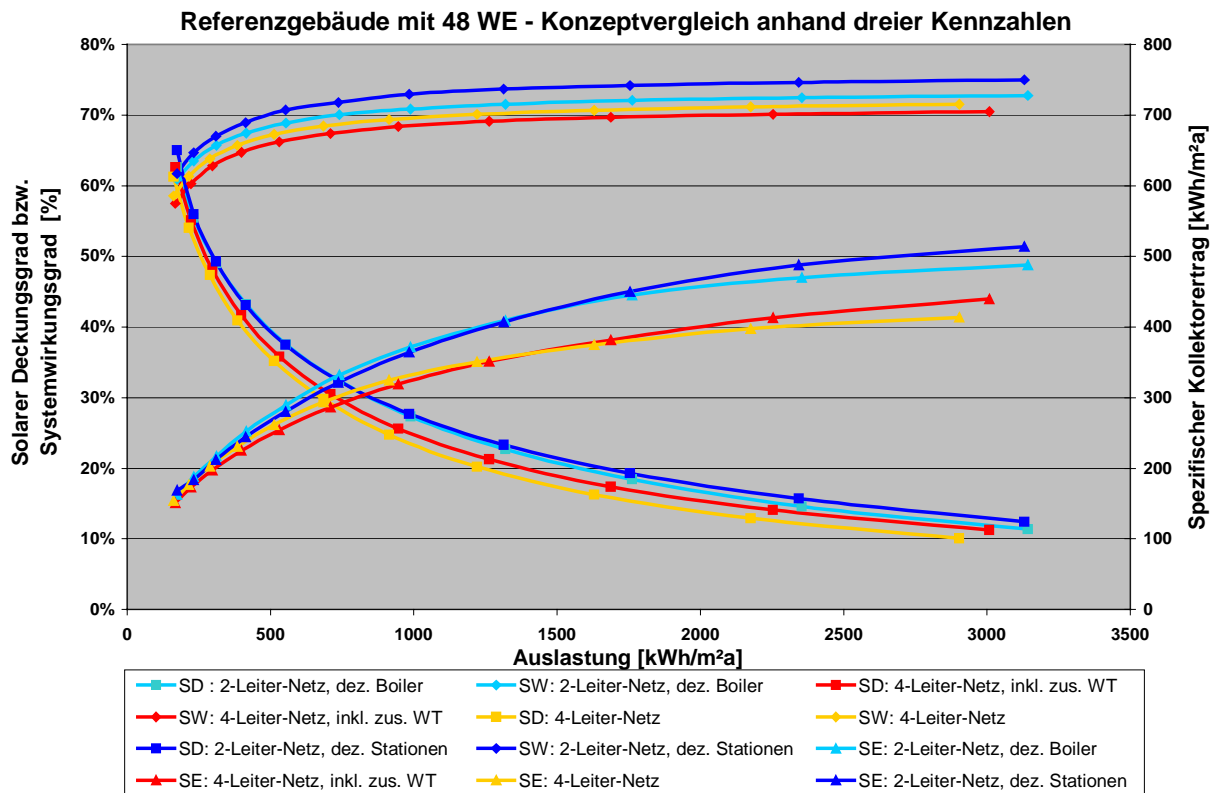


Abb. 4 - Vergleich der 4 Referenzhydraulikkonzepte am Referenzgebäude mit 48 Wohnungen anhand der Kennzahlen Solarer Deckungsgrad (SD), Systemwirkungsgrad (SW) und Spezifischer Solarertrag (SE).

Abb. 5 zeigt die Unterschiede im Nachheizenergiebedarf zwischen den Referenzhydraulikkonzepten für das Referenzgebäude mit 48 Wohnungen. Zwischen dem günstigsten Zwei-Leiter-Netz (Referenzkonzept „Zwei-Leiter-Netz, dez. Stationen“) und den beiden Vier-Leiter-Netzen zeigen sich bei dieser Gebäudegröße Unterschiede an benötigter Nachheizenergie von bis zu 10 %. Der Nachheizenergiebedarf des Referenzkonzeptes „Zwei-Leiter-Netz, dez. Boiler“ liegt genau dazwischen. Die Rückführung des Zirkulationsrücklaufs über einen externen Wärmetauscher im Referenzkonzept „Vier-Leiter-Netz, zus. WT“ hat gegenüber dem Referenzkonzept „Vier-Leiter-Netz, RWV“ einen etwas geringeren Nachheizenergiebedarf zur Folge.

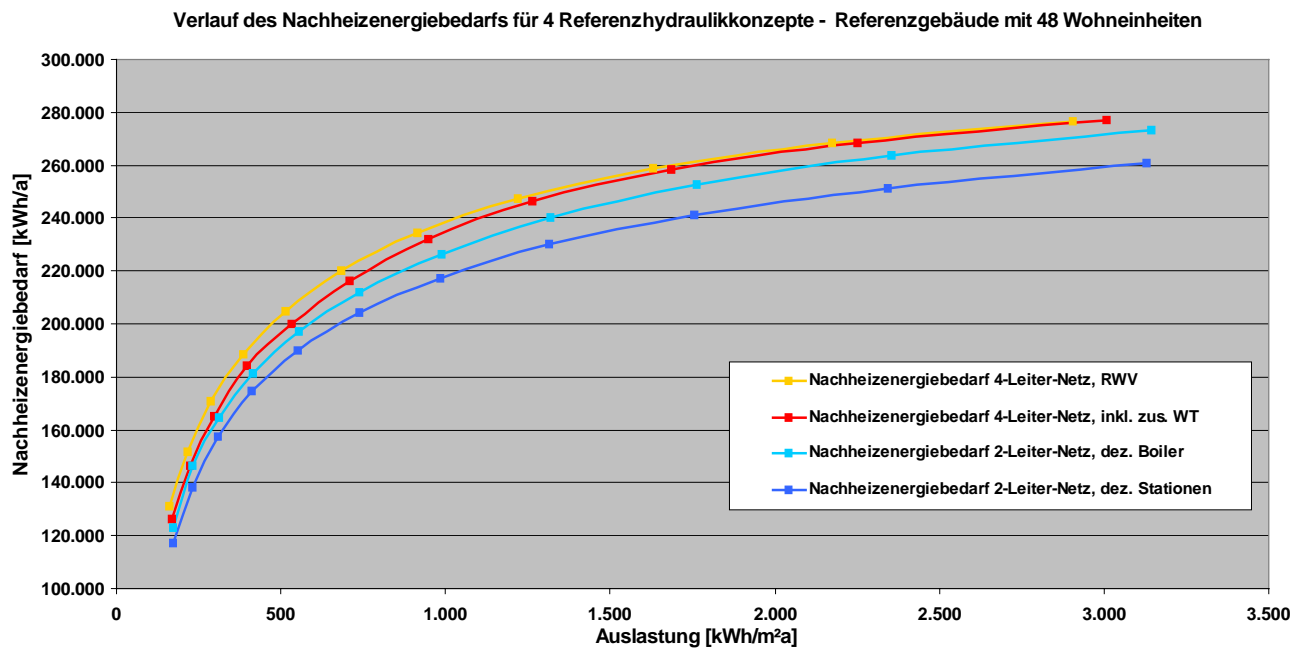


Abb. 5 - Der Nachheizenergiebedarf der 4 Referenzhydraulikkonzepte basierend auf dem Referenzgebäude mit 48 Wohnungen.

Die wesentlichen Vorteile des Zwei-Leiter-Netzes liegen einerseits beim effizienteren Verteilsystem sowie andererseits bei den tieferen Rücklauftemperaturen aus dem Wärmeverteilnetz. Auf Grund der dezentralen Brauchwassererwärmung und dem daraus resultierenden Wegfall der Zirkulationsleitung können bei Zwei-Leiter-Netzen konstante Netzrücklauftemperaturen von etwa 30 °C und somit tiefere Speichertemperaturen im untersten Bereich des Energiespeichers erreicht werden. Abb. 6 zeigt die mittleren Jahresrücklauftemperaturen zur Kollektoranlage für die beiden Zwei-Leiter-Netze sowie für das Vier-Leiter-Netz („Vier-Leiter-Netz, RWV“).

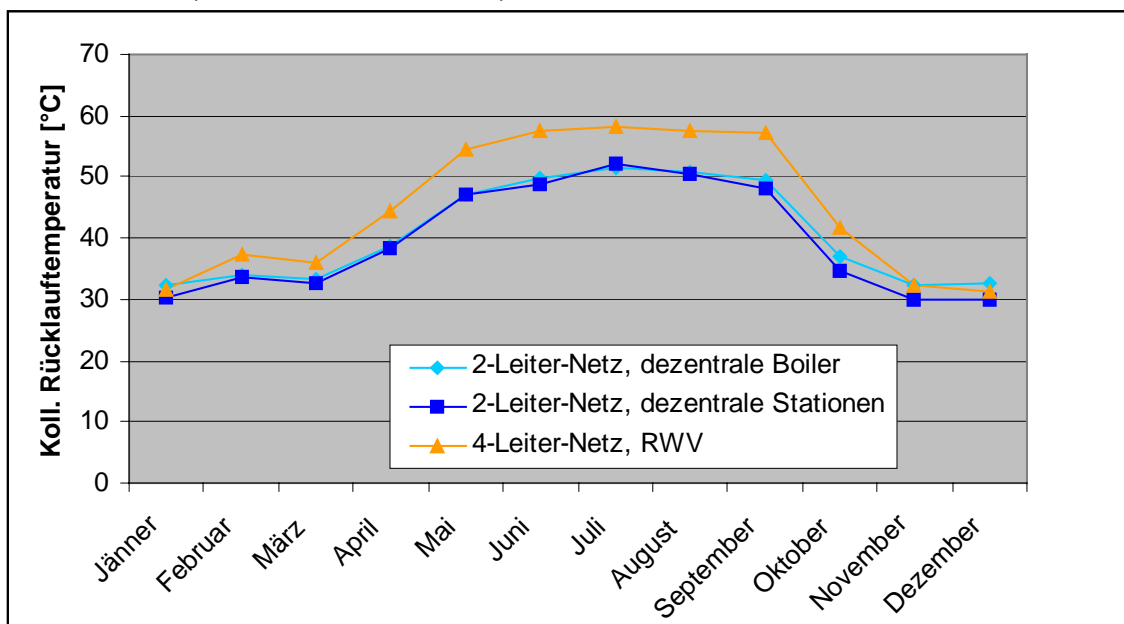


Abb. 6 - Vergleich der Rücklauftemperaturen zur Kollektoranlage aus dem Energiespeicher für zwei Zwei-Leiter-Netze und ein Vier-Leiter-Netz.

Die Basis für diesen Vergleich bildet das Referenzgebäude mit 12 Wohnungen bei einem Solaren Deckungsgrad von etwa 20 %. In den Sommermonaten - die Wärmelast wird vom Brauchwasserbedarf dominiert - können die Unterschiede zwischen den Kollektorrücklauftemperaturen aus dem Energiespeicher bis zu 10 K annehmen. Im Winterhalbjahr wird einerseits die Wärmelast vom Raumwärmebedarf dominiert und andererseits sind die gewählten Heizungsauslegungstemperaturen von 65 °C/40 °C eher gering, was sich in einer Annäherung der Kollektorrücklauftemperaturen der drei Referenzsysteme zeigt. Für die Kollektoranlage bedeutet dies tiefere Kollektorrücklauftemperaturen und daraus resultierend höhere Kollektorwirkungsgrade, was sich in höheren Spezifischen Erträgen widerspiegelt.

Zu beachten bleibt, dass diese tiefen Rücklauftemperaturen für die Kollektoranlage nur bei entsprechend konsequenter hydraulischer Abstimmung und Einregulierung des gesamten Wärmeverteilsystems erreicht werden können.

#### **4 Ergebnisse des Systemvergleichs nach ökonomischen Aspekten**

Neben der Höhe des verbleibenden Nachheizenergiebedarfes ist der Gesamtwärmepreis die entscheidende Größe beim Vergleich von Wärmeversorgungskonzepten. Ökonomische Vergleiche zwischen den fünf Referenzhydraulikkonzepten wurden anhand der erzielbaren Gesamtwärmepreise durchgeführt. Dabei wurden diese nach der Annuitätenmethode der VDI 2067, unter Berücksichtigung von kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten des gesamten Wärmeversorgungssystems (Kollektoranlage, Zusatzheizung, Wärmeverteilung, Wärmeabgabe, Brauchwassererwärmung und Wärmeverrechnung), ermittelt. Diese Art der Wärmepreisberechnung beruht auf der Bestimmung der durchschnittlichen jährlichen Kosten bzw. Kosteneinsparungen über die Nutzungsdauer, unter Berücksichtigung der Veränderung des Zeitwertes des Geldes (dynamische Methode). Die Basis für die Errechnung der Wärmepreise bildeten umfangreiche Kostenanalysen realisierter Systeme sowie Musterausschreibungen (Stand der Kosten- und Energiepreisanalysen: Jänner 2001). Zu erwähnen bleibt, dass bei der Wärmepreisermittlung keine Förderungen berücksichtigt wurden.

Abb. 7 zeigt den Nachheizenergiebedarf und den Gesamtwärmepreis anhand des Referenzgebäudes mit 5 Wohnungen. Der Gesamtwärmepreis wird als relativer Unterschied zwischen den Referenzkonzepten dargestellt. Die 100 % Basis bildet der höchste Wärmepreis des Referenzkonzeptes „Zwei-Leiter-Netz, dez. Stationen“ bei einer Auslastung von 170 kWh/m<sup>2</sup>a.



Nachheizenergiebedarf für ein Referenzgebäude mit 5 Wohneinheiten verglichen mit unterschiedlichen Konzepten

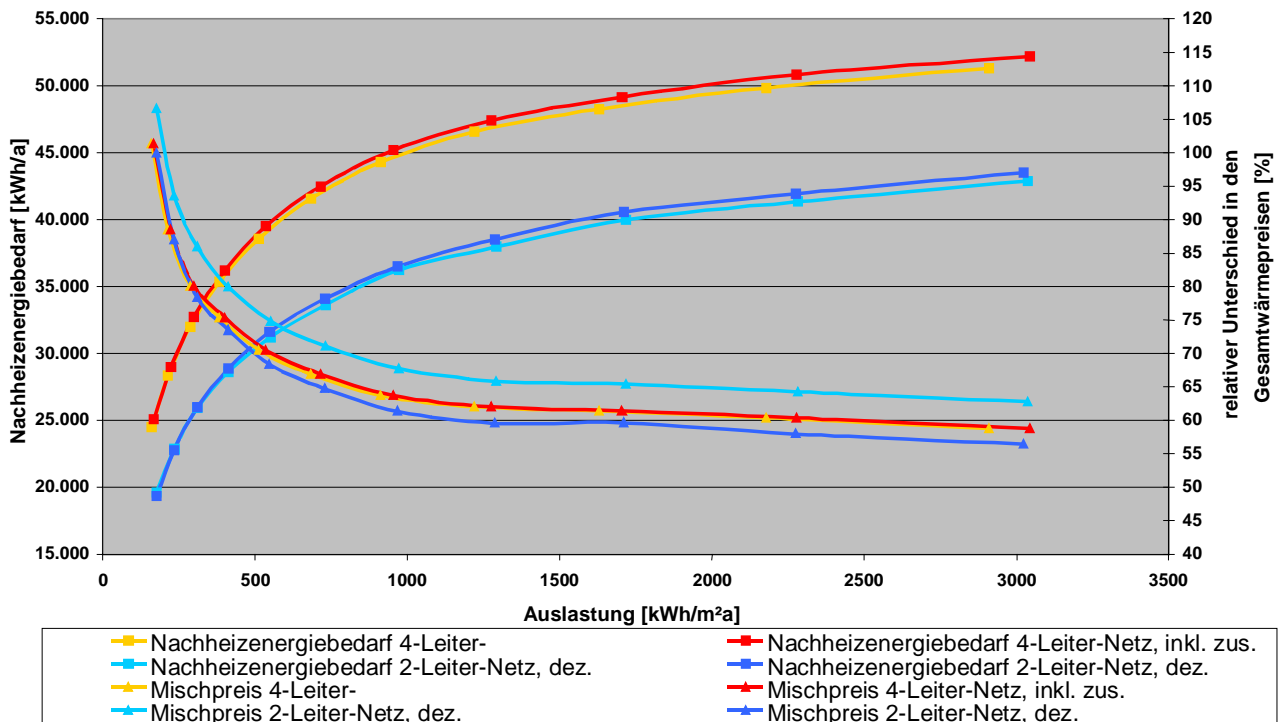


Abb. 7 - Der Unterschied der Gesamtwärmepreise sowie der Nachheizenergiebedarf der Referenzhydraulikkonzepte über der Auslastung; Basis ist das Referenzgebäude mit 5 Wohnungen (Förderungen wurden nicht berücksichtigt).

Beim Gesamtwärmepreis zeigt sich eine etwas andere Reihung der Referenzhydraulikkonzepte als beim Nachheizenergiebedarf. Das Referenzkonzept „Zwei-Leiter-Netz, dez. Stationen“ zeigt beim Referenzgebäude mit 5 Wohnungen den geringsten Gesamtwärmepreis, das Referenzhydraulikkonzept „Zwei-Leiter-Netz, dez. Boiler“ den höchsten. Die beiden Vier-Leiter-Netze liegen dazwischen. Auf Grund der geringen Abweichung der Investitionskosten sowie der energetischen Rahmenbedingungen sind die Gesamtwärmepreise der beiden Vier-Leiter-Netze nahezu gleich. Grundsätzlich sind die Unterschiede der von den Referenzhydraulikkonzepten erzielbaren Gesamtwärmepreise eher klein, weshalb der wesentlich geringere Nachheizenergiebedarf von Zwei-Leiter-Netzen bei der Auswahl von Systemkonzepten ausschlaggebend sein sollte.

Abb. 8 zeigt die Kennzahlen anhand des Referenzgebäudes mit 48 Wohnungen. Der Gesamtwärmepreis wird wiederum als relativer Unterschied zwischen den Referenzkonzepten dargestellt. Die 100 % Basis bildet der höchste Wärmepreis des Referenzkonzeptes „Zwei-Leiter-Netz, dez. Stationen“ bei einer Auslastung von 170 kWh/m²a.

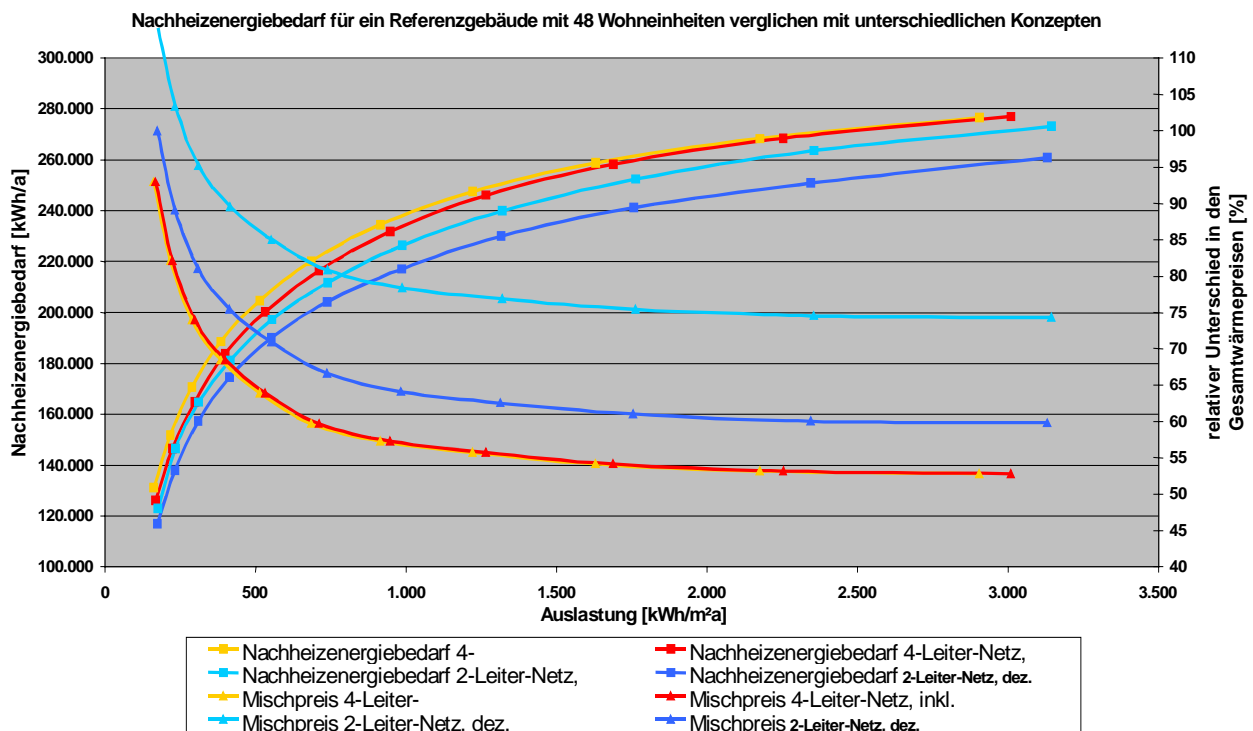


Abb. 8 - Der Unterschied der Gesamtwärmepreise sowie der Nachheizenergiebedarf der Referenzhydraulikkonzepte über der Auslastung; Basis ist das Referenzgebäude mit 48 Wohnungen (Förderungen wurden nicht berücksichtigt).

Die energetischen Vorteile von Zwei-Leiter-Netzen können auf Grund der vergleichsweise hohen Investitionskosten für die dezentrale Brauchwassererwärmung (Boiler und Stationen) den Gesamtwärmepreis von Vier-Leiter-Netzen nicht mehr erreichen. Das Referenzkonzept „Zwei-Leiter-Netz, dez. Boiler“ liegt hinsichtlich des Gesamtwärmeprices deutlich über dem Referenzkonzept „Zwei-Leiter-Netz, dez. Stationen“, Vier-Leiter-Netze liegen darunter.

Aus ökonomischer Sicht zeigen Vier-Leiter-Netze beim Referenzgebäude mit 48 Wohnungen (sechsgeschossig, sehr kompakt) Vorteile, aus ökologischer Sicht liegen aber Zwei-Leiter-Netze günstiger.

## 5 Ausblick und Empfehlungen

Über die Bandbreite der Referenzgebäudegrößen (5, 12 und 48 Wohnungen) zeigten sich wesentliche energetische Vorteile für Zwei-Leiter-Netze.

Generell kann gesagt werden: Je kompakter die Gebäude, desto geringer die Unterschiede im Nachheizenergiebedarf und umso größer die Unterschiede im Gesamtwärmeprice zwischen Zwei- bzw. Vier-Leiter-Netzen.

Bei kleinen bis mittleren Geschossbauten sind in ökologischer und ökonomischer Hinsicht Zwei-Leiter-Netze Vier-Leiter-Netzen vorzuziehen. Aber auch bei großen, kompakten Geschoss- und Siedlungsbauten sollten ökologische Aspekte vor ökonomische gestellt werden, was für die Umsetzung von solarunterstützten Wärmenetzen nach dem Prinzip des Zwei-Leiter-Netzes spricht.

Innerhalb der Kategorie der Zwei-Leiter-Netze ergibt sich folgende Anwendungsempfehlung:

Zwei-Leiter-Netze mit dezentralen Brauchwasserspeichern bieten sich auf Grund der sehr effizienten Betriebsweise des Verteilnetzes (Mikronetze) bei wenig kompakten Gebäuden mit geringen Energie-

abnahmedichten (reihenhausartige Bebauung) an. Zwei-Leiter-Netze mit dezentralen Durchflusserwärmern hingegen sind bei kleineren und größeren Geschosswohnbauten mit höheren Energieabnahmedichten (kompakte Gebäude) zu bevorzugen.

Systemkonzepte, die zusätzlich zur Brauchwassererwärmung die Solarwärme auch zur Heizungsunterstützung nutzen können, erzielen bei gleicher Größe um bis zu 10 % höhere Solarerträge als Konzepte, die nur zur Brauchwassererwärmung verwendet werden können.