

Solare Wassererwärmung in Mehrfamilienhäusern

Schlussbericht
Entscheidungsgrundlagen für solare
Warmwasseraufbereitungskonzepte

Ausgearbeitet durch

A. Primas, P. Fotsch, N. Ruf, Basler & Hofmann AG

.....

**Im Auftrag des
Bundesamtes für Energie**

Juli 2005

Auftraggeber:

Pilot- & Demonstrationsprogramm Solarwärme
Bundesamt für Energie BFE

Auftragnehmer:

Basler und Hofmann Ingenieure und Planer, Forchstrasse 395, CH-8032 Zürich
Tel. 01 387 11 22, Fax 01 387 11 00 · info@bhz.ch · www.bhz.ch

Autoren:

Alex Primas, Basler & Hofmann AG
Pascal Fotsch, Basler & Hofmann AG
Nicole Ruf, Basler & Hofmann AG

Begleitgruppe:

Ralph Eismann, Ernst Schweizer AG
Pierre Renaud, Planair SA
Fritz Schuppisser, Soltop AG

Juli 2005

Diese Studie wurde im Rahmen des Pilot- & Demonstrationsprogramms Solarwärme des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Verdankung

Wir bedanken uns bei allen Projektbeteiligten für die gute Zusammenarbeit. Ein besonderer Dank geht an das Bundesamt für Energie, vertreten durch Herr Urs Wolfer, das dieses Projekt finanziert hat.

Auch die Begleitgruppe leistete wesentliche Beiträge zur Ausrichtung der Studie und der Broschüre. Allen Mitgliedern sei für ihren engagierten und fachkundigen Einsatz herzlich gedankt.

Die Arbeit wäre ohne die umfangreichen Informationen und Systemgrundlagen der verschiedenen Anbieter von Solaranlagen nicht möglich gewesen, wofür wir uns ganz besonders bedanken möchten. Im weitern gilt der Dank den Mitgliedern der Fachkommission Solarwärme des Fachverbandes SOLAR für die Inputs und die hilfreichen Kommentare zur Broschüre.

Alex Primas
Pascal Fotsch
Nicole Ruf

Zusammenfassung

Ausgangslage	<p>Es existieren viele Konzepte für die solare Warmwasseraufbereitung, aber bisher fehlt eine Zusammenstellung der verschiedenen Systeme für Bauherren mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen, Einsatzgebiete und Einsatzgrenzen.</p>
Aufgabenstellung, Ziel	<p>Ziel der Studie war die Erarbeitung einer Informationsbroschüre¹ für solare Warmwasseraufbereitungskonzepte. Der Schwerpunkt lag bei Systemen die sich für bestehende Mehrfamilienhäuser eignen. Dem Bauherrn / Entscheidungsträger soll damit ein systematisches Vorgehen aufgezeigt werden und mit Hilfe von geeigneten Entscheidungskriterien eine Beurteilung der in Frage kommenden Lösungen ermöglicht werden.</p>
Vorgehen	<p>Die benötigten Systemdaten wurden in einer schriftliche Befragung von insgesamt 48 Solarfirmen erfragt. Die für die praktische Anwendbarkeit der Sonnenenergie wichtigen Besonderheiten bzw. Kenndaten wurden in die Broschüre einbezogen.</p>
Gebäudesituationen	<p>Folgende vier typische Gebäudesituationen wurden für die Beurteilung der Solar-systeme definiert:</p> <ul style="list-style-type: none">– Warmwasser und Heizung pro Gebäude– Warmwasser pro Gebäude, Heizung zentral für mehrere Gebäude– Warmwasser und Heizung zentral für mehrere Gebäude– Warmwasser wohnungsweise, Heizung pro Gebäude <p>Für die Charakterisierung der Gebäudesituation kommen zudem folgende Einfluss-faktoren als Beurteilungskriterien zur Anwendung:</p> <ul style="list-style-type: none">– Mögliche Kollektorfläche– Einfluss von Orientierung und Kollektorneigung– Anlagengrösse (Anzahl Personen in Gebäude oder Siedlung)– Verfügbare Stellfläche für Speicher
Bewertung der Systemkonzepte	<p>Für die Bewertung der Systemkonzepte wurden folgende Kriterien verwendet:</p> <ul style="list-style-type: none">– Anlagengrösse– Speichervolumen Solar, Stellfläche für Speicher (Solar und Gesamt)– Investitionskosten– Integrierbarkeit in bestehende Anlagen– Deckung der Zirkulationsverluste durch die Solaranlage– Möglichkeit für Heizungsunterstützung <p>Die verschiedene Systemkonzepte wurden einander direkt gegenübergestellt und deren Vor- und Nachteile analysiert. Folgende Fragestellungen wurden untersucht:</p> <ul style="list-style-type: none">– Brauchwasserspeicher oder Pufferspeicher?– 1-Speicher System oder mehrere Speicher in Serie?– 1-Speicher System oder Kombispeichersystem?– 2-Leiter oder 4-Leiter System? <p>Folgende Themen, welche im Zusammenhang mit dem Betrieb von Solaranlagen von speziellem Interesse sind wurden unabhängig von den Gebäudesituationen untersucht:</p> <ul style="list-style-type: none">– Legionellen– Kalkablagerungen– Überhitzungsschutz

¹ BFE Broschüre „Solare Wassererwärmung in Mehrfamilienhäusern“ zu beziehen bei SWISSOLAR

Zusammenfassung	II
Inhaltsverzeichnis	III
1. Ausgangslage	1
2. Ziel und Vorgehen	1
2.1. Ziel der Arbeit	1
2.2. Zielpublikum der Broschüre	1
2.3. Vorgehen	1
3. Warum eine Informationsbroschüre?	2
4. Gebäudesituation und Einflussfaktoren	3
4.1. Gebäudesituation	3
4.2. Einflussfaktoren	4
4.2.1 Mögliche Kollektorfläche	4
4.2.2 Einfluss von Orientierung und Kollektorneigung	6
4.2.3 Kollektorfläche, Speichervolumen und Anlagengrösse	6
4.2.4 Speichervolumen und notwendige Stellfläche	7
5. Geeignete Systeme	8
5.1. Für Beurteilung verwendete Kriterien	8
5.2. Warmwasser und Heizung pro Gebäude	9
5.3. Warmwasser pro Gebäude, Heizwärme aus Zentrale	11
5.4. Warmwasser und Heizwärme aus Zentrale	13
5.5. Warmwasser wohnungsweise, Heizung pro Gebäude	15
6. Vergleich von Systemkonzepten	17
6.1. Brauchwasserspeicher oder Pufferspeicher?	17
6.2. 1-Speicher System oder mehrere Speicher in Serie?	18
6.3. 1-Speicher System oder Kombispeichersystem?	19
6.4. 2-Leiter oder 4-Leiter System?	20
6.4.1 Verluste in Zirkulationsleitungen	21
7. Weitere Aspekte	22
7.1. Legionellen	22
7.2. Kalkablagerungen	23
7.3. Überhitzung	24
7.4. Überwälzen der Mehrinvestitionen	24
8. Definition des solaren Deckungsgrades	25
9. Literatur	26

Juli 2005, B-3479.00, AP / PF / NMR

Basler & Hofmann
Ingenieure und Planer AG, Mitglied SIA/USIC

Zürich: Forchstrasse 395, CH-8032 Zürich
Tel. 044 387 11 22, Fax 044 387 11 00

Esslingen: Bachweg 1, CH-8133 Esslingen
Tel. 01 387 15 22, Fax 01 387 15 00

1. Ausgangslage

Es existieren viele Konzepte für die solare Warmwasseraufbereitung, die in verschiedensten Gebäuden realisiert und teilweise auch analysiert wurden. Bisher fehlte jedoch eine Zusammenstellung über die verschiedenen Systeme mit den jeweiligen Vor- und Nachteile deren Einsatzgebiete und Einsatzgrenzen. Diese Fragen haben eine grosse Bedeutung für Bauherren, welche beispielsweise eine Gebäudesanierung planen, und wissen möchten ob für ihr Gebäude eine Solarlösung überhaupt in Frage kommt und wenn ja wie die am besten geeignete Lösung aussieht. Daher ist ein entsprechender Leitfaden für Bauherren ein wichtiger Ansatz der solaren Wassererwärmung in Mehrfamilienhäusern Vorschub zu leisten.

2. Ziel und Vorgehen

2.1. Ziel der Arbeit

Die Studie verfolgt folgende Ziele:

- Erarbeitung eines Leitfadens (Entscheidungsgrundlage) für Warmwasseraufbereitungskonzepte, der dem Bauherrn / Entscheidungsträger ein systematisches Vorgehen aufzeigt. Mit Hilfe von geeigneten Entscheidungskriterien soll eine Beurteilung der mögliche Lösungen aufgezeigt werden.
- Der Schwerpunkt der Arbeit bildet die Sonnenenergienutzung im Zusammenhang mit der Sanierungen von Mehrfamilienhäuser
- Im speziellen sollen Systemlösungen für Siedlungen mit Warmwasserverbünden (über ein Nahwärmenetz zusammengeschlossene Gebäudegruppen wie z.B. Wohnbaugenossenschaften / Siedlungen) aufgezeigt werden.
- Berücksichtigt werden nicht nur die wirtschaftlichen Aspekte, sondern auch Fragen der Systemintegration sowie energetische Aspekte.

Es werden folgende Dokumente erarbeitet:

- Leitfaden für Bauherren und Entscheidungsträger in Form einer Broschüre². Darin werden die wichtigen Meilensteine im Entscheidungsprozess und wichtige Informationsquellen erwähnt.
- Vier Beispiele von realisierten Anlagen zusammengefasst als Faktenblätter für die Broschüre („gute Beispiele“, welche zur Nachahmung anregen sollen)
- Ein Schlussbericht mit den wichtigsten Daten, Grundlagen und der verwendeten Literatur. Der Bericht enthält zudem die Grundlagen zu den gewählten Entscheidungskriterien.

2.2. Zielpublikum der Broschüre

Das anvisierten Zielpublikum für die Broschüre kann wie folgt charakterisiert werden:

- keine Spezialisten
- Entscheidungsträger ohne technischem Hintergrund (Verwalter, Vorstände von Wohnbaugenossenschaften etc.)
- Kaderleute in grösseren Installationsfirmen
- Architekten (als Berater des Bauherrn)
- interessierte Bewohner (MFH und Genossenschaften)

2.3. Vorgehen

Für die Erhebung der Systemdaten wurde eine schriftliche Befragung von insgesamt 48 Solarfirmen (Hersteller, Planer) durchgeführt. Darin wurden Angaben und Kennwerte zu vier vorgegebenen Gebäudesituationen erfragt. Mit diesen Angaben

² BFE Broschüre „Solare Wassererwärmung in Mehrfamilienhäusern“ zu beziehen bei SWISSOLAR

und weiteren Daten aus Literatur sowie Experteninformationen wurden die für die Broschüre verwendeten Grundlagen erarbeitet.

Die für die praktische Anwendbarkeit der Sonnenenergie wichtigen Besonderheiten und Kenndaten wurden in die Broschüre einbezogen. Dies sind beispielsweise:

- Verfügbare Dach- und / oder Bodenflächen, Angaben zu Orientierung, Kollektorneigung und Beschattung
- Verfügbare bzw. notwendige Speicherkapazität bzw. Stellfläche für die Speicher sowie Angaben über die Zugänglichkeit (Türbreiten)
- Art der bestehende Warmwasseraufbereitung. In Frage kommende Sanierungsoptionen (Synergien)
- Angaben zu Fördermittel sowie geltenden Vorschriften

Für verschiedene Gebäudesituationen werden geeignete Solarkonzepte dargestellt und deren Eigenschaften Vor- / Nachteile, Kosten, etc. aufgezeigt.

3. Warum eine Informationsbroschüre?

Der Verbreitung von Solaranlagen stehen verschiedene Bedenken und teilweise falschen Vorstellungen der Gebäudebesitzer. So zeigt eine Untersuchung von [Gerheuser, 2003] das die Hälfte der Befragten Solaranlagen als „eine Technologie, die noch nicht ganz ausgereift ist“ bezeichnen³. Dieses fehlende Vertrauen in die Solartechnologie ist natürlich nicht förderlich, wenn die Idee aufkommt in einem Mehrfamilienhaus eine Solaranlage zu installieren. Positiv ist hingegen, dass die Aussage „Eine Solaranlage zeigt, dass jemand mit der Zeit geht“ bei 80% der Befragten auf Zustimmung stößt.

Ein Hindernis sind die durch den Bauherrn vermuteten hohen Mehrkosten. So fanden 80% die Aussage „Im Vergleich zu einer konventionellen Anlage ist eine Solaranlage immer noch viel zu teuer“ zutreffend⁴. Das dies auch anders sein kann sollen die in der in diesem Projekt geplanten Broschüre dargestellten Beispiele zeigen.

Die Resultate aus [Gerheuser, 2003] zeigen im weiteren, dass eine neutrale Information und Beratung sehr wichtig ist (86% Zustimmung). Ein erster Schritt zu einer neutralen Beratung durch einen Fachspezialist kann dabei die Informationsbroschüre sein, welche die wichtigsten Schritte auf dem Weg zum Ziel und gute Beispiele und Lösungen aufzeigt.

³ Sehr zutreffend: 17%; eher zutreffend: 34%; gar nicht zutreffend: 16%

⁴ Sehr zutreffend: 47%; eher zutreffend: 33%; gar nicht zutreffend: 2%

4. Gebäudesituation und Einflussfaktoren

Das jeweils geeignete System für die solare Wassererwärmung ist stark von der vorhandenen Gebäudesituation abhängig. Dem Bauherren stehen primär Angaben zur Gebäudesituation zur Verfügung. Bereits mit diesen Angaben soll dem Bauherr einen Überblick gegeben werden, welche Anlagentypen für seine Situation geeignet sind. Zudem kann der Bauherr durch die Beurteilung einiger weniger Kriterien die Eignung bestimmter Systeme für seine Gebäudesituation klären. Als Basis dazu wurden vier typische Gebäudesituationen definiert und verschiedene Einflüsse untersucht.

4.1. Gebäudesituation

Folgende vier Gebäudesituationen wurden für die Evaluation geeigneter Solarlösungen in diesem Projekt definiert:

1. Siedlung mit x MFH, 3-geschossig (EBF⁵ pro Gebäude = 1500 m², 12 Wohnungen) Heizwärme und Warmwassererzeugung autonom für jedes Gebäude. Warmwassererzeugung mit einem eigenen Heizkessel pro Gebäude.
2. Siedlung mit 5 MFH, 3-geschossig (EBF pro Gebäude = 1500 m², 12 Wohnungen) mit zentraler Heizwärmeversorgung für die gesamte Siedlung aus einer bestehenden Heizzentrale. Separate Warmwasserversorgung pro Gebäude.
3. Siedlung mit 5 MFH, 3-geschossig (pro Gebäude EBF = 1500 m², 12 Wohnungen) mit zentraler Warmwasserversorgung sowie zentraler Heizwärmeversorgung für die gesamte Siedlung. Beibehaltung der zentralen Warmwasserversorgung aus der Heizzentrale bei einer Sanierung.
4. Siedlung mit x MFH, 3-geschossig (pro Gebäude EBF = 1500 m², 12 Wohnungen) Heizwärmeerzeugung autonom für jedes Gebäude. Warmwassererzeugung pro Wohnung mit separaten Wohnungsboilern (vor Sanierung pro Wohnung ein Elektroboiler).

In Tabelle 4.1 sind die charakteristischen Eigenschaften der verschiedenen Gebäudesituationen zusammengefasst.

Tabelle 4.1 Charakterisierung der Gebäudesituationen

Sit.	WW-Erzeugung, Solaranlage	Anzahl Personen	WW-Bedarf	Kollektorfläche *)	Nachheizung
1	je Gebäude	30	1.2 m ³ /d	15 bis 36 m ²	Heizung oder elektrisch
2	je Gebäude	30	1.2 m ³ /d	15 bis 36 m ²	Heizung über Nahwärme oder elektrisch
3	Zentral für 5 Gebäude	150	6.0 m ³ /d	75 bis 180 m ²	Heizung
4a	je WNG	2.5	0.1 m ³ /d	15 bis 36 m ²	Elektrisch
4b	je WNG; Solaranlage für 12 WNG gemeinsam	30	1.2 m ³ /d	15 bis 36 m ²	Heizung

*) spezifische Kollektorfläche: 0.5 bis 1.2 m²/Person

4a) Bei Ausrüstung einzelner Wohnungen (z.B. Dachwohnungen).

4b) Solaranlage gemeinsam für alle Wohnungen des Gebäudes, aber WW-Boiler in jeder Wohnung.

Für die vier beschriebenen Gebäudesituationen wurden mit Hilfe eines Fragebogens die aktuell zum Einsatz kommenden Systemkonzepte bei den wichtigsten Schweizer Solaranbietern erfragt⁶. In Kapitel 5 sind die wichtigsten Systemkonzepte je Gebäudesituation kurz dargestellt.

⁵ EBF: Energiebezugsfläche

⁶ Insgesamt wurden 48 Anbieter angeschrieben. Vom gesamten Rücklauf von 25% (12 Firmen) konnten 9 Fragebogen (19%) für die Auswertung verwendet werden.

4.2. Einflussfaktoren

Die vorhandene Gebäudesituation beeinflusst durch verschiedene Faktoren die Systemwahl und die Auslegung der Solaranlage. In Abbildung 4.1 sind einige wichtige Einflussfaktoren dargestellt:

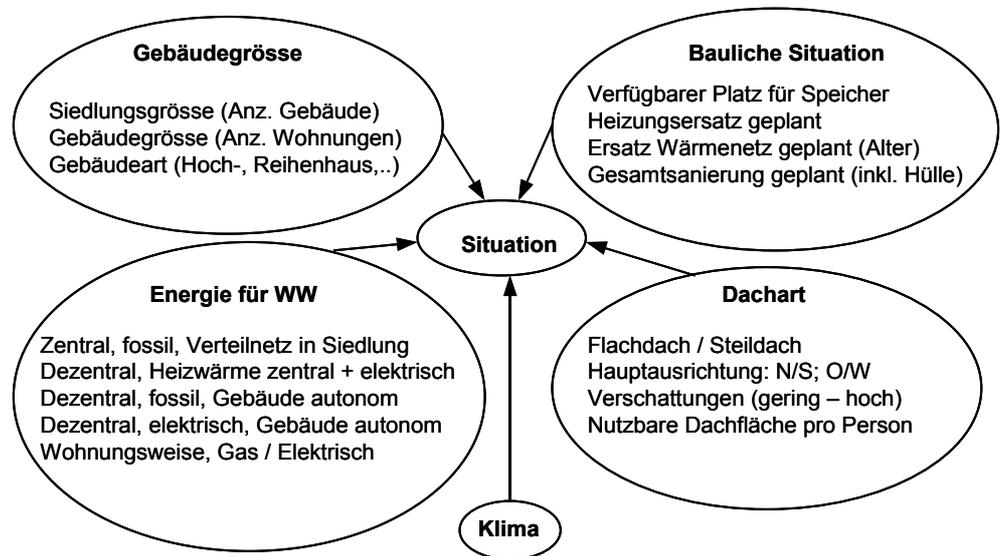


Abbildung 4.1 Einflussfaktoren Gebäudesituation

Aus den in Abbildung 4.1 dargestellten Einflussfaktoren können für verschiedene Auslegungsgrössen der Solaranlage Aussagen gemacht werden:

4.2.1 Mögliche Kollektorfläche

Die maximal mögliche Kollektorfläche pro Person ist abhängig von der Gebäudegrösse (Stockwerkzahl) und auch von der Anzahl zu versorgenden Gebäude bei zentralen Solaranlagen einer Siedlung.

Die maximal mögliche Kollektorfläche pro Person ist zudem von der nutzbaren Dachfläche abhängig. Tabelle 4.2 zeigt die für die nachfolgend dargestellten Berechnungen verwendete Definition des für eine Solaranlage nutzbaren Dachanteils:

Tabelle 4.2 Definition des nutzbaren Dachanteils

Bewertung	Nutzbarer Flächenanteil		Bemerkung
	Schrägdach *)	Flachdach	
Dachnutzung günstig	30-50%	60-100%	keine Beeinträchtigungen durch Aufbauten
Dachnutzung normal	10-30%	20-60%	einzelne Aufbauten (z.B. Lukarnen, etc..)
Dachnutzung ungünstig	< 10%	< 20%	viele Aufbauten (z.B. Lukarnen, etc..)

*) Bei Schrägdächern wird von einer maximale Nutzung von 50% der gesamten Dachfläche ausgegangen (keine Nutzung auf der nordseitigen Dachfläche)

Die für die nachfolgenden Graphen verwendeten Berechnungen basieren auf einer Energiebezugsfläche von 50 m² pro Person. Bei kleineren Energiebezugsflächen pro Person, reduziert sich die mögliche Kollektorfläche pro Person entsprechend.

Eigene Solaranlage
pro Gebäude

Besitzt jedes Gebäude eine eigene Solaranlage, so liegt der Haupteinfluss bei der Anzahl Geschosse und des Anteils der Dachfläche welche sich für Kollektoren eignet. In Abbildung 4.2 ist die Abhängigkeit der möglichen Kollektorfläche pro Person in Abhängigkeit der Anzahl Wohngeschosse aufgetragen.

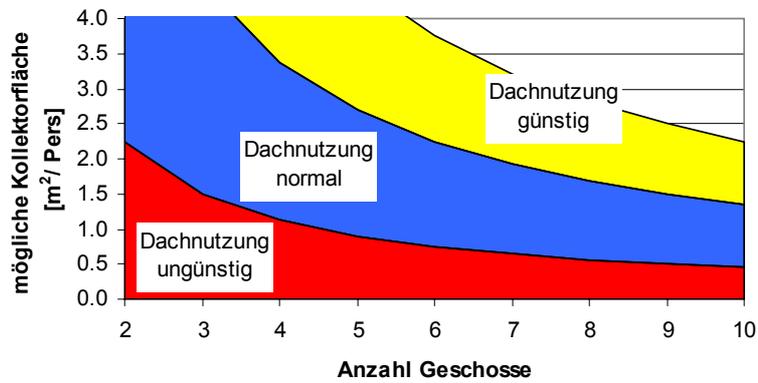


Abbildung 4.2 Spezifische Kollektorflächen für Gebäude mit eigener Solaranlage

Solaranlage für mehrere Gebäude

Versorgt eine zentrale Solaranlage mehrere gleichartige Gebäude (Anlage nur auf dem Dach eines Gebäudes), so reduzieren sich die möglichen spezifischen Kollektorflächen entsprechend der Anzahl angeschlossener Gebäude. Abbildung 4.3 zeigt die Abhängigkeit für eine Siedlung mit 3-stöckigen Gebäuden und Abbildung 4.4 zeigt die Abhängigkeit für eine Siedlung mit 6-stöckigen Gebäuden.

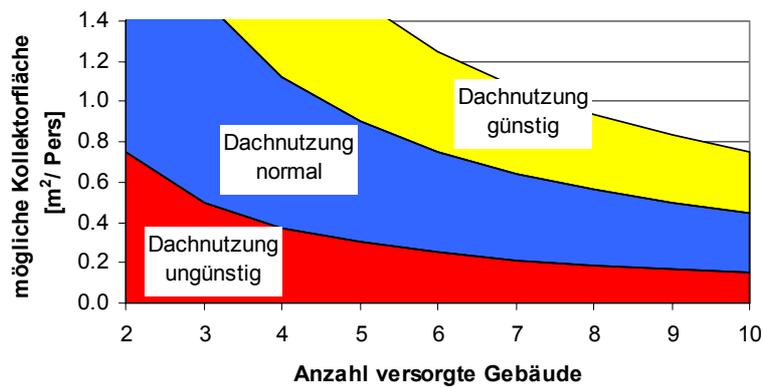


Abbildung 4.3 Spez. Kollektorflächen; zentrale Solaranlage; Siedlung mit 3-stöckigen Gebäuden

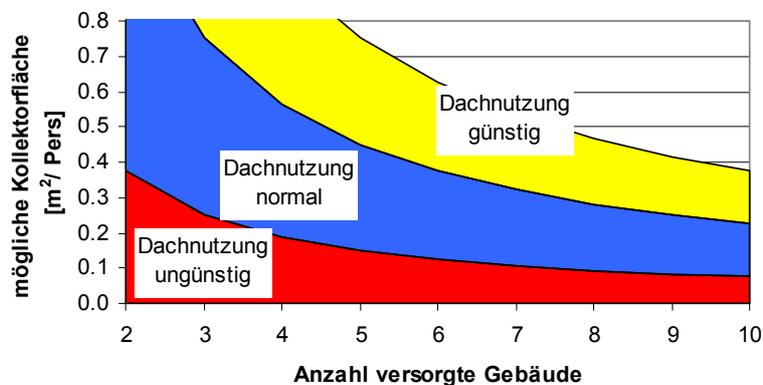
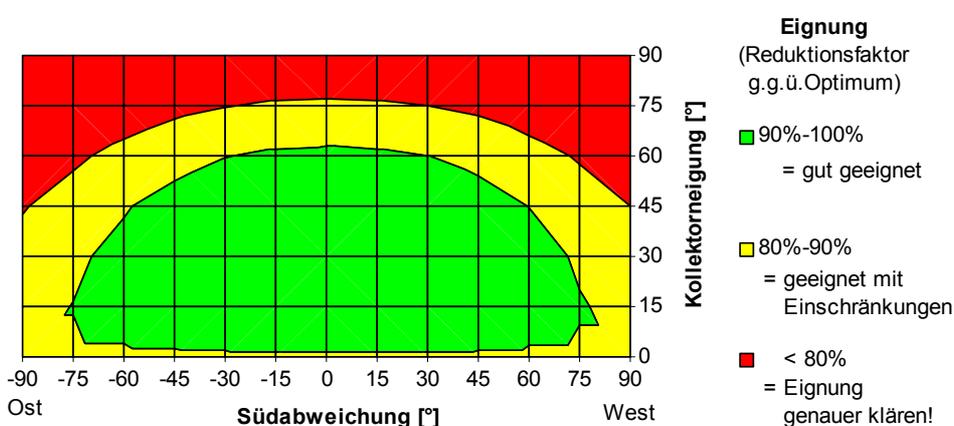


Abbildung 4.4 Spez. Kollektorflächen; zentrale Solaranlage; Siedlung mit 6-stöckigen Gebäuden

4.2.2 Einfluss von Orientierung und Kollektorneigung

Wie Abbildung 4.5 zeigt ist der Einfluss der Kollektorneigung und der Kollektorausrichtung in einem weiten Bereich nur gering. Für eine erste Abklärung liegen Flächen mit einer Südabweichung bis +/- 60° und Kollektorneigungen bis 60° im so-largeeigneten „grünen Bereich“. Liegen die verfügbaren Flächen ungünstiger (z.B. West-Ost Ausrichtung des Daches) so ist eine Ertragsberechnung angezeigt um die geeignetste Dachfläche zu wählen. Dasselbe gilt bei Kollektoren, welche in eine Fassadenfläche integriert werden sollen. Mit Ausnahme von Vakuumkollektoren⁷ wird durch die vertikale Kollektoranordnung der Ertrag deutlich reduziert. Bei gleichzeitiger Nutzung der vertikalen Kollektorfläche als Fassadenhaut kann eine solche Lösung aber trotzdem von Interesse sein. In den meisten Fällen ist jedoch ein geneigter Einbau der Kollektoren z.B. als Vordach vorzuziehen. Eine genauere Abklärung der Eignung ist in diesen Fällen notwendig.



Ortsbezug der Graphik: Zürich

100% Wert entspricht Ertrag eines nach Süden ausgerichteten Kollektors mit 30° Neigung

Abbildung 4.5 Einfluss von Kollektorneigung und Orientierung auf den Kollektorertrag

Aufgrund Kondensatbildung durch mangelhafte Belüftung soll für Flachkollektoren eine minimale Kollektorneigung von 15° nicht unterschritten werden. Um zu verhindern dass Schnee auf dem Kollektor liegen bleibt ist in Bergregionen eine minimale Kollektorneigung von 35° zu wählen. Für gewisse Vakuumröhrenkollektoren (Heat-Pipe Systeme) ist aus strömungstechnischen Gründen eine minimale Neigung der Röhre von ca. 25° erforderlich.

4.2.3 Kollektorfläche, Speichervolumen und Anlagengröße

Eine Auswertung von 151 in Österreich realisierten Anlagen mit solarer Warmwassererwärmung [Fink et al., 1999] zeigt, dass sowohl die spezifische Kollektorfläche (in m² pro Person) wie auch die vorhandene Gesamtspeichervolumen in weiten Bereichen variiert. Wie Abbildung 4.6 zeigt, liegen die spezifischen Kollektorflächen bei kleinen Anlagen im Mittel deutlich höher als bei grossen Anlagen. Bezogen auf die Kollektorfläche liegt das Gesamtspeichervolumen unabhängig von der Anlagengröße im Mittel bei etwa 70 l/m² Kollektor.

⁷ Vakuumröhrenkollektoren mit drehbaren Absorberflächen erzielen gute Erträge auch bei einem Einbau in vertikalen Fassadenflächen (Röhren waagrecht verlegt).

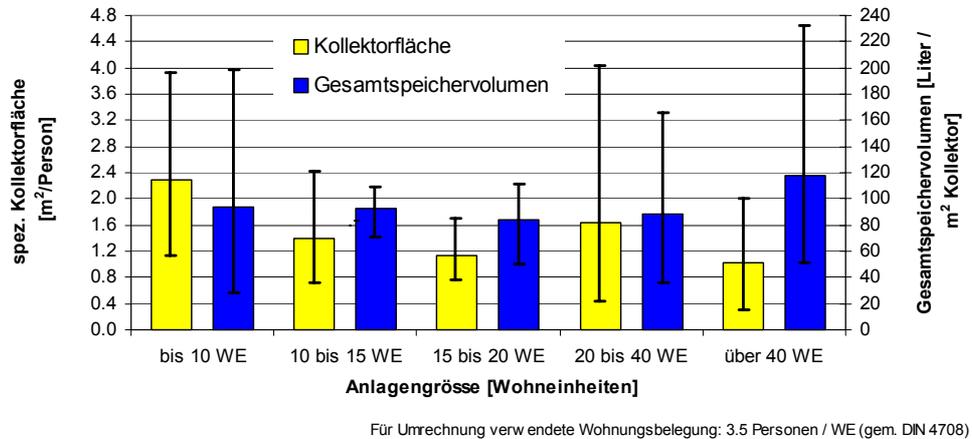


Abbildung 4.6 Spez. Kollektorflächen und spez. Gesamtspeichervolumen [Quelle: Fink et al., 1999]

4.2.4 Speichervolumen und notwendige Stellfläche

Das zusätzlich zu installierende Speichervolumen kann je nach angetroffener Situation sehr unterschiedlich sein. Das benötigte Speichervolumen ist stark vom Systemkonzept, dem Verbrauchsprofil sowie der zur Verfügung stehenden Leistung zur Nachwärmung abhängig. Einen Anhaltspunkt für die in der Praxis vorkommenden Gesamtspeichervolumina gibt die Auswertung in Abbildung 4.6. Aus den Angaben der Solarunternehmer zeigte sich eine Spannweite für die Auslegung der Solarspeichervolumen von 10 bis 80 l/m² Kollektor. Der Mittelwert lag dabei bei gut 45 l/m² Kollektor.

Den Bauherrn interessiert primär die Fläche, welche zusätzlich, bzw. insgesamt für Speicher zur Verfügung gestellt werden muss. Abbildung 4.7 zeigt die Abhängigkeit der benötigten Stellfläche vom Speichervolumen. Neben der Speicherhöhe und dem Speicherdurchmesser beeinflussen auch die Dämmstärke sowie vor allem auch der Platzbedarf der Verrohrung die benötigte Speicherfläche. In ungünstigen Fällen (mehrere Einzelspeicher, ungünstige Bedingungen für die Verrohrung) liegt daher die benötigte Stellfläche deutlich höher als bei günstigen Voraussetzung (nur ein grosser Speicher).

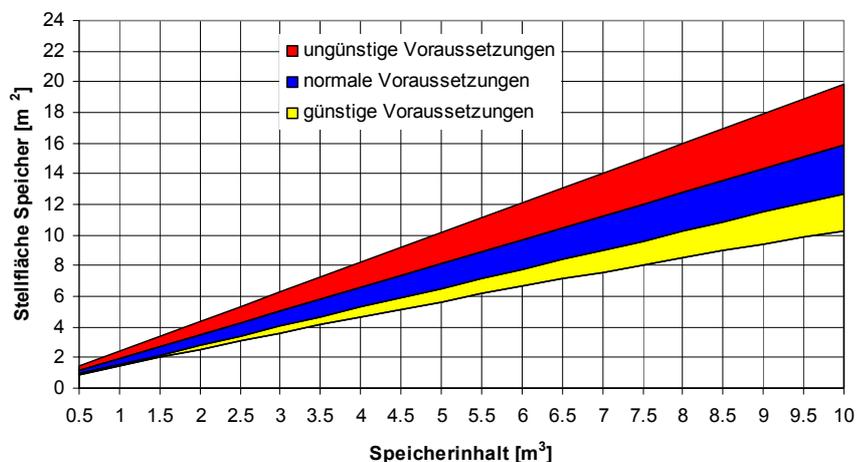


Abbildung 4.7 Abhängigkeit der benötigten Stellfläche vom Speichervolumen

5. Geeignete Systeme

5.1. Für die Beurteilung verwendete Kriterien

Anlagengrösse	Die bei den Solarfirmen erhobenen Daten basieren auf den in Tabelle 4.1 dargestellten Anlagengrössen (Bezug Warmwasserbedarf). Einschränkungen bezüglich der geeigneten Anlagengrösse sind für die einzelnen Systeme in den folgenden Tabellen jeweils dargestellt. Bei Systemen mit nur einem Speicher ist die Anlagengrösse durch die Speichergrösse beschränkt. Für Anlagen, welche mehr als 30 Personen mit Warmwasser versorgen, eignen sich Systeme mit mehreren Speichern meist besser. Für Mehrspeichersysteme besteht im Prinzip keine Einschränkung der Anlagengrösse nach oben. Für Anlagen mit weniger als etwa 20 Personen eignen sich Einspeichersysteme meist besser.
spezifische Kollektorfläche	Je nach gewünschtem solaren Deckungsgrad werden spezifische Kollektorflächen von etwa 0.5 bis 1.2 m ² pro Person eingesetzt.
Speichervolumen Solar	Das für die Solarwärme zur Verfügung zu stellende Speichervolumen ist sehr stark von der Anlagenkonfiguration abhängig. Dabei ist neben dem Regelkonzept, der Art der Einbindung und der Wärmeeinbringung (high Flow, low Flow; Wärmetauscherfläche) auch das Zusammenwirken mit der Nachheizung (Heizleistung, Bereitschaftsvolumen, Zapfprofil) von Bedeutung. Die von den Solarfirmen angegebenen Speichervolumen streuen daher sehr stark. Für die Kennwerttabellen wurden daher als grobe Richtgrössen typische Werte gemäss [ENS, 2003] verwendet.
Stellfläche für Speicher	Da sowohl das Gesamtspeichervolumen wie auch das Solarspeichervolumen stark von der Anlagenkonfiguration (Solarkonzept, bestehende Komponenten und Heizleistung) beeinflusst werden, erschien eine Angabe des Gesamtspeichervolumens wenig sinnvoll. Um dem Bauherrn einen Hinweis auf die Grössenordnung der benötigten Stellfläche für die Speicher zu geben, wurde aus typischen Werten für die Speichervolumen die benötigten Stellflächen berechnet.
Investitionskosten	Die Investitionskosten (Systemkosten, inkl. Installation, Speicher, Regelung, etc.) für die Anlagen streuen in einem weiten Bereich. Schwierigkeiten bieten vor allem die je nach Anlagesituation und -zustand sehr unterschiedlichen Aufwendungen. Die aus der Befragung erhaltenen Investitionskosten pro m ² Kollektorfläche für die verschiedenen Gebäudesituationen enthalten daher teilweise auch Kosten für Speicher, welche auch bei einem konventionellen System notwendig wären. Für die Angaben in den Kennwerttabellen wurden nur die Mehrkosten, welche durch die Installation der Solaranlage entstehen einbezogen. Es wurde von einer günstigen Ausgangslage ausgegangen (z.B. Speichersanierung notwendig bei Einspeicher-Systemen). Da die Kosten neben der Anlagengrösse stark von der Anlagesituation abhängen, können die angegebenen Kostenwerte nur als grobe Richtwerte verstanden werden.
Integrierbarkeit	Die Integrierbarkeit in bestehende Anlagen ist vor allem bei den Systemen mit Vorwärmerspeicher sehr gut, da der Eingriff in das bestehende System gering ist. Je nach Ausgangssituation (z.B. notwendiger Speicherersatz) wird aber auch bei den anderen Systemen eine gute Integrierbarkeit erreicht.
Deckung der Zirkulationsverluste	Die Deckung der Zirkulationsverluste ist bei denjenigen Systemen möglich, welche bei fehlendem Verbrauch Solarwärme auf hohem Temperaturniveau zur Verfügung stellen können. Dies ist vor allem bei Systemen der Fall, welche über einen mehrstufigen Wärmetauscher (low Flow oder vari Flow Systeme) und / oder eine Zirkulationsumschaltung (bzw. Umschichtungspumpe) verfügen. Die Einbindung der Zirkulation in den Solarspeicher sollte aber nur dann erfolgen wenn sichergestellt ist, dass die hohen Volumenströme der Zirkulation (ca. 2-5 mal so hoch wie das mittlere Zapfvolumen) die Schichtung des Solarspeichers nicht zerstören.
Heizungsunterstützung	Eine solare Heizungsunterstützung ist nur bei Systemen mit Pufferspeicher oder Kombispeicher möglich. Systeme welche die Solarwärme über die Heizungsleitungen auf die Warmwasserspeicher führen haben systembedingt eine Heizwärmeunterstützung.

5.2. Warmwasser und Heizung pro Gebäude

Bei dieser Gebäudesituation wird das Warmwasser und die Heizwärme zentral für alle Wohnungen eines einzelnen Gebäudes erzeugt. Das Gebäude (bzw. jedes Gebäude bei einer Siedlung) besitzt eigene Solarkollektoren. In einer Siedlung mit mehreren solcher Gebäuden besitzt jedes Gebäude eine eigene Heizung. Diese Gebäudesituation wird häufig angetroffen (von 80% der Antwortenden genannt) und es wurden auch viele Anlagen für diesen Versorgungstyp realisiert. Damit zeigt sich bei diesem Versorgungstyp auch die grösste Breite an eingesetzten Systemen.

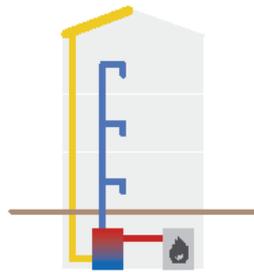


Abbildung 5.1 Prinzipschema Gebäudesituation; Warmwasser und Heizung pro Gebäude

Für diese Gebäudesituation eignen sich folgende Systeme:

- System mit Vorwärmespeicher
- 1-Speicher System
- Mehrspeichersystem mit Pufferspeicher
- Kombispeichersystem

In Tabelle 5.1 sind Kennwerte zu den vier Systemtypen zusammengefasst.

spezifische Kollektorfläche	Die von den Solarfirmen im Fragebogen angegebenen spezifische Kollektorflächen reichen von 0.5 bis 1.0 m ² pro Person. Von den Solarfirmen am häufigsten genannt wurde eine spezifische Kollektorfläche von 0.8 m ² pro Person.
Speichervolumen Solar	Die von den Solarfirmen angegebenen Speichervolumen für den Solarteil reichen in dieser Gebäudesituation von 10 bis 71 Liter pro m ² Kollektorfläche. Im Mittel wird ein Wert von 45 Liter pro m ² Kollektorfläche erreicht.
Stellfläche für Speicher	Der geringste Platzbedarf für die Aufstellung der Speicher wird bei 1-Speicher Systemen erreicht. Bei grossen Anlagen schneiden die Systeme mit Pufferspeicher und Bereitschaftsspeicher bezüglich Platzbedarf am günstigsten ab.
Investitionskosten	Abbildung 5.2 zeigt die aus der Befragung erhaltenen Investitionskosten pro m ² Kollektorfläche für die Gebäudesituation. Die angegebenen Investitionskosten beinhalten die gesamten Systemkosten, inkl. Installation, Speicher, Regelung, etc.

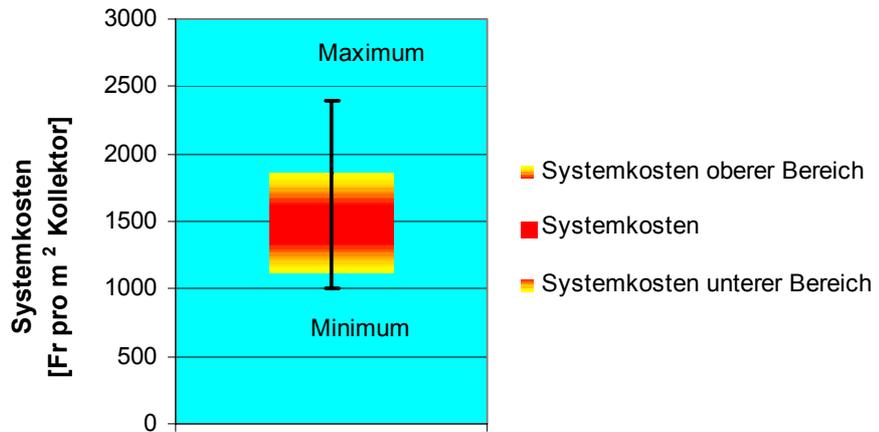


Abbildung 5.2 Systemkosten Solaranlage; Warmwasser und Heizung pro Gebäude

Für die Angaben in Tabelle 5.1 (Systemspezifische, grobe Richtwerte) wurden nur die Mehrkosten, welche durch die Installation der Solaranlage entstehen einbezogen. Vor allem die Kosten für die Speicher werden dadurch gegenüber den in Abbildung 5.2 gezeigten Kosten deutlich reduziert.

Tabelle 5.1 Kennwerte zu geeigneten Systemtypen. Gebäudesituation: Warmwasser und Heizung pro Gebäude

System		System mit Vorwärmespeicher	1-Speicher System	Mehrspeicher-system mit Pufferspeicher	Kombispeicher-system
Anlagengrösse:	Personen	keine Einschränkung	bis 30	keine Einschränkung	bis 30
Solarer Deckungsgrad:	%	20-40	20-60	20-60	40-60
Kollektorfläche	m ² pro Person	0.5-0.8	0.5-1.2	0.5-1.2	0.8-1.2
Speichervolumen Solar *)	l pro m ² Kollektor	30-40	40-50	30-40	40-50
Stellfläche Solarspeicher	m ² pro m ² Kollektor	0.04-0.07	0.05-0.09	0.04-0.07	0.05-0.09
Stellfläche alle Speicher	m ² pro m ² Kollektor	0.13-0.19	0.11-0.16	0.10-0.19	0.11-0.16
Solare Mehrinvestition **)	Fr. pro m ² Kollektor	1'000-1'600	1'200-1'500	900-1'400	1'200-1'600
Integrierbarkeit in bestehendes System		✓✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Sind Zirkulationsverluste solar gedeckt?		kaum	teilweise	teilweise	teilweise
Ist solare Heizungsunterstützung möglich?		nein	nein	möglich	möglich
Art der Zusatzheizung		bzw. +	bzw. +	bzw. +	bzw. +
*) Solarspeichervolumen beinhaltet nur das für die Solarnutzung zusätzliche Volumen (zusätzlich zum bisherigen Speichervolumen)					
**) Beinhalten die gegenüber einer konventionellen Anlage anfallenden Zusatzkosten. Sie sind stark von der Anlagesituation abhängig.					
Integrierbarkeit: ✓ = mässig; ✓✓ = gut; ✓✓✓ = sehr gut			= nur Heizkessel + = Heizkessel + elektrisch		

5.3. Warmwasser pro Gebäude, Heizwärme aus Zentrale

Bei dieser Gebäudesituation wird das Warmwasser in jedem einzelnen Gebäude individuell erzeugt. Jedes Gebäude besitzt eigene Solarkollektoren. Die Heizwärme wird für mehrere Gebäude einer Siedlung zentral in einer Heizzentrale erzeugt und über ein Nahwärmenetz verteilt.

Diese Gebäudesituation wurde von 30% der antwortenden Solarunternehmen häufig angetroffen. Diese Gebäudesituation ist bezüglich der in Frage kommenden Solarsysteme sehr ähnlich wie die in Kapitel 5.2 vorgestellte Gebäudesituation. Auch hier ist eine grosse Breite an geeigneten Systemen verfügbar. Neben den Systemen mit einer Solaranlage auf jedem der Gebäude ist für diese Gebäudesituation auch eine zentrale Anlage mit Verteilung der Solarwärme über das Nahwärmenetz der Heizung möglich.

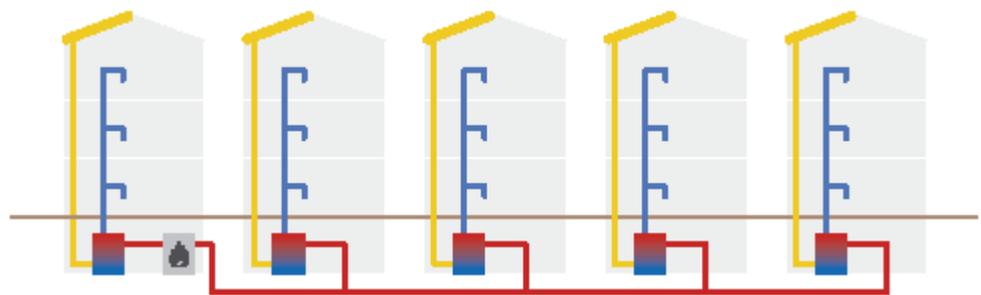


Abbildung 5.3 Prinzipschema Gebäudesituation: Warmwasser pro Gebäude, Heizwärme aus Zentrale

Für diese Gebäudesituation eignen sich folgende Systeme:

- System mit Vorwärm Speicher
- 1-Speicher System
- Mehrspeichersystem mit Pufferspeicher
- Kombispeichersystem
- System mit zentralem Pufferspeicher und Verteilung über Heizung

In Tabelle 5.2 sind Kennwerte zu den fünf Systemtypen zusammengefasst.

Diese Systemtypen sind auch geeignet wenn im Zuge einer Sanierung die bisherige zentrale Warmwasserversorgung für mehrere Gebäude (mit Verteilung über ein eigenes Leitungssystem) ausser Betrieb genommen wird.

spezifische Kollektorfläche	Die von den Solarfirmen im Fragebogen angegebenen spezifische Kollektorflächen reichen von 0.5 bis 1.1 m ² pro Person. Von den Solarfirmen am häufigsten genannt wurde eine spezifische Kollektorfläche von 0.8 m ² pro Person.
Speichervolumen Solar	Die von den Solarfirmen angegebenen Speichervolumen für den Solarteil reichen in dieser Gebäudesituation von 13 bis 71 Liter pro m ² Kollektorfläche. Im Mittel wird ein Wert von 45 Liter pro m ² Kollektorfläche erreicht.
Stellfläche für Speicher	Der geringste Platzbedarf für die Aufstellung der Speicher wird bei 1-Speicher Systemen erreicht. Bei grossen Anlagen schneiden die Systeme mit Pufferspeicher und Bereitschaftsspeicher bezüglich Platzbedarf am günstigsten ab.
Investitionskosten	Abbildung 5.4 zeigt die aus der Befragung erhaltenen Investitionskosten pro m ² Kollektorfläche für die Gebäudesituation. Die angegebenen Investitionskosten beinhalten die gesamten Systemkosten, inkl. Installation, Speicher, Regelung, etc.

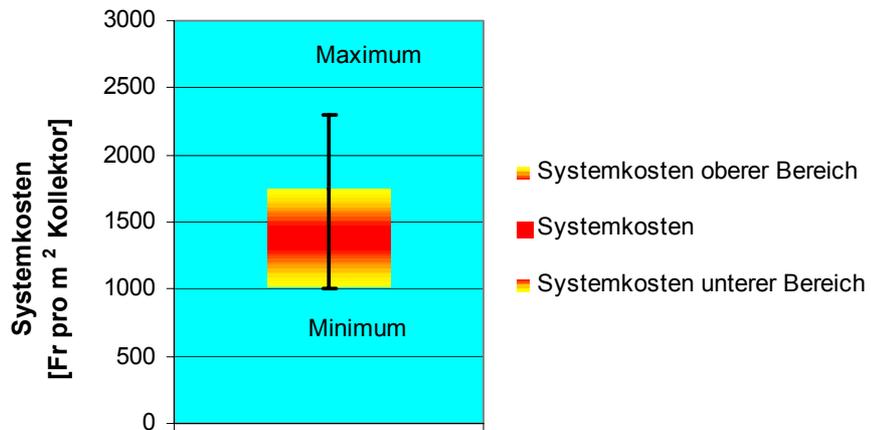


Abbildung 5.4 Systemkosten Solaranlage; Warmwasser pro Gebäude, Heizwärme aus Zentrale

Für die Angaben in Tabelle 5.2 (Systemspezifische, grobe Richtwerte) wurden nur die Mehrkosten, welche durch die Installation der Solaranlage entstehen einbezogen. Vor allem die Kosten für die Speicher werden dadurch gegenüber den in Abbildung 5.4 gezeigten Kosten deutlich reduziert.

Tabelle 5.2 Kennwerte zu geeigneten Systemtypen. Gebäudesituation: Warmwasser pro Gebäude, Heizwärme aus Zentrale

System		System mit Vorwärm-speicher	1-Speicher System	Mehrspeicher-system mit Pufferspeicher	Kombispeicher-system	System mit zentralem Pufferspeicher
Anlagengrösse:	Personen	keine Ein-schränkung	bis 30	keine Ein-schränkung	bis 30	keine Ein-schränkung
Solarer Deckungsgrad:	%	20-40	20-60	20-60	40-60	20-40
Kollektorfläche	m ² pro Person	0.5-0.8	0.5-1.2	0.5-1.2	0.8-1.2	0.5-0.8
Speichervolumen Solar *)	l pro m ² Kollektor	30-40	40-50	30-40	40-50	30-40
Stellfläche Solarspeicher	m ² pro m ² Kollektor	0.04-0.07	0.05-0.09	0.04-0.07	0.05-0.09	0.04-0.07
Stellfläche alle Speicher	m ² pro m ² Kollektor	0.13-0.19	0.11-0.16	0.10-0.19	0.11-0.16	0.13-0.19
Solare Mehrinvestition **)	Fr. pro m ² Kollektor	1'000-1'600	1'200-1'500	900-1'400	1'200-1'600	800-1'400
Integrierbarkeit in bestehendes System		✓✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓✓
Sind Zirkulationsverluste solar gedeckt?		kaum	teilweise	teilweise	teilweise	teilweise
Ist solare Heizungsunterstützung möglich?		nein	nein	möglich	möglich	ja
Art der Zusatzheizung						
*) Solarspeichervolumen beinhaltet nur das für die Solarnutzung zusätzliche Volumen (zusätzlich zum bisherigen Speichervolumen)						
**) Beinhalten die gegenüber einer konventionellen Anlage anfallenden Zusatzkosten. Sie sind stark von der Anlagesituation abhängig.						
Integrierbarkeit: ✓ = mässig; ✓✓ = gut; ✓✓✓ = sehr gut			= nur Heizkessel = Heizkessel + elektrisch			

5.4. Warmwasser und Heizwärme aus Zentrale

Bei dieser Gebäudesituation besteht eine gemeinsame zentrale Wärmeerzeugung für Warmwasser und Heizung für mehrere Gebäude einer Siedlung. Die einzelnen Gebäude werden über Nahwärmeleitungen sowohl mit Warmwasser als auch mit Heizwärme versorgt. Die Solarkollektoranlage ist zentral beim Gebäude mit der Heizzentrale angeordnet.

Diese Gebäudesituation wurde nur von 20% der antwortenden Solarunternehmen häufig angetroffen. Für diese Gebäudesituation kommen vor allem Systeme in Frage, welche für grosse Anlagen geeignet sind. Bei dieser Gebäudesituation ist im Sanierungsfall zu klären wie hoch die Zirkulationsverluste im (langen) Warmwassernetz sind, bzw. ob eine Sanierung nötig wäre oder ein Systemwechsel auf ein dezentrales System ev. von Vorteil.

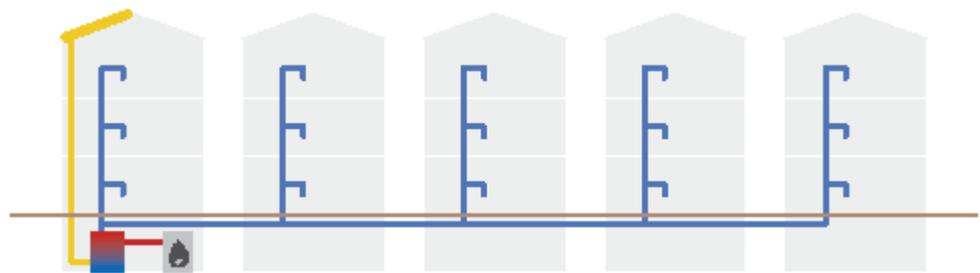


Abbildung 5.5 Prinzipschema Gebäudesituation: Warmwasser und Heizwärme aus Zentrale

Für diese Gebäudesituation eignen sich folgende Systeme:

- System mit Vorwärm Speicher
- Mehrspeichersystem mit Pufferspeicher

In Tabelle 5.3 sind Kennwerte zu den beiden Systemtypen zusammengefasst.

Wird im Zuge einer Sanierung die zentrale Warmwasserversorgung für die Siedlung ausser Betrieb genommen, so kommen die in Kapitel 5.3 besprochenen Systemtypen zur Anwendung.

spezifische Kollektorfläche	Die von den Solarfirmen im Fragebogen angegebenen spezifische Kollektorflächen reichen von 0.5 bis 1.1 m ² pro Person. Von den Solarfirmen am häufigsten genannt wurde eine spezifische Kollektorfläche von etwa 0.7 m ² pro Person.
Speichervolumen Solar	Die von den Solarfirmen angegebenen Speichervolumen für den Solarteil reichen in dieser Gebäudesituation von 13 bis 80 Liter pro m ² Kollektorfläche. Im Mittel wird ein Wert von 40 Liter pro m ² Kollektorfläche erreicht.
Stellfläche für Speicher	Die Systeme mit Pufferspeicher und Bereitschaftsspeicher schneiden bezüglich Platzbedarf am günstigsten ab.
Investitionskosten	Abbildung 5.6 zeigt die aus der Befragung erhaltenen Investitionskosten pro m ² Kollektorfläche für die Gebäudesituation. Die angegebenen Investitionskosten beinhalten die gesamten Systemkosten, inkl. Installation, Speicher, Regelung, etc.

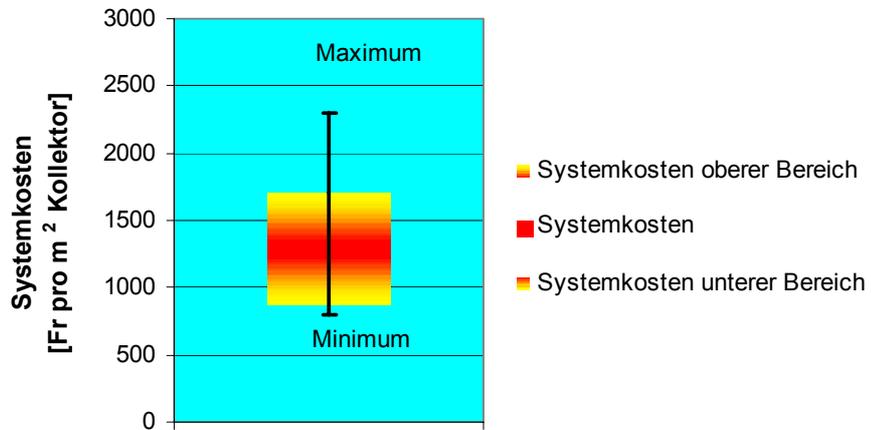


Abbildung 5.6 Systemkosten Solaranlage; Warmwasser und Heizwärme aus Zentrale

Für die Angaben in Tabelle 5.3 (Systemspezifische, grobe Richtwerte) wurden nur die Mehrkosten, welche durch die Installation der Solaranlage entstehen einbezogen. Vor allem die Kosten für die Speicher werden dadurch gegenüber den in Abbildung 5.6 gezeigten Kosten deutlich reduziert.

Tabelle 5.3 Kennwerte zu geeigneten Systemtypen. Gebäudesituation: Warmwasser und Heizwärme aus Zentrale

System		System mit Vorwärmespeicher	Mehrspeichersystem mit Pufferspeicher
Anlagengrösse:	Personen	keine Einschränkung	keine Einschränkung
Solarer Deckungsgrad:	%	20-40	20-60
Kollektorfläche	m ² pro Person	0.5-0.8	0.5-1.2
Speichervolumen Solar *)	l pro m ² Kollektor	30-40	30-40
Stellfläche Solarspeicher	m ² pro m ² Kollektor	0.04-0.07	0.04-0.07
Stellfläche alle Speicher	m ² pro m ² Kollektor	0.13-0.19	0.10-0.19
Solare Mehrinvestition **)	Fr. pro m ² Kollektor	900-1'400	800-1'200
Integrierbarkeit in bestehendes System		✓✓✓	✓✓
Sind Zirkulationsverluste solar gedeckt?		nein	teilweise
Ist solare Heizungsunterstützung möglich?		nein	möglich
Art der Zusatzheizung			
*) Solarspeichervolumen beinhaltet nur das für die Solarnutzung zusätzliche Volumen (zusätzlich zum bisherigen Speichervolumen)			
**) Beinhaltendie gegenüber einer konventionellen Anlage anfallenden Zusatzkosten. Sie sind stark von der Anlagesituation abhängig.			
Integrierbarkeit: ✓ = mässig; ✓✓ = gut; ✓✓✓ = sehr gut		= nur Heizkessel	+ = Heizkessel + elektrisch

5.5. Warmwasser wohnungsweise, Heizung pro Gebäude

Bei dieser Gebäudesituation wird das Warmwasser mit Wohnungsboilern dezentral in jeder einzelnen Wohnung gespeichert. Bestehende Warmwasser-Boiler in den Wohnungen werden bei einer Sanierung beibehalten (bzw. erneuert). Es ist kein Umbau zu einer zentralen Versorgung aller Wohnungen des Gebäudes vorgesehen.

Diese Gebäudesituation wurde von 40% der antwortenden Solarunternehmen häufig angetroffen. Die realisierten Anlagen beziehen meist nur ein Teil der Wohnungen eines Gebäudes ein (z.B. Dachwohnungen). Um alle Wohnungen eines Gebäudes ohne Warmwasserverteilung mit Solarwärme zu versorgen eignen sich in diesem Fall vor allem Systeme, welche über die bestehende Heizungsverteilung geführt werden.

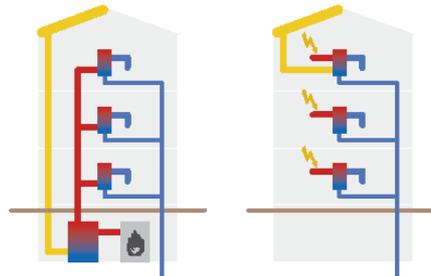


Abbildung 5.7 Prinzipschema Gebäudesituation: Warmwasser wohnungsweise, Heizung pro Gebäude

Für diese Gebäudesituation eignen sich folgende Systeme:

- Mehrspeichersystem mit Pufferspeicher
- autonome Kompaktsysteme (Eignung v.A. für einzelne Dachwohnungen)

In Tabelle 5.4 sind Kennwerte zu den beiden Systemtypen zusammengefasst.

Nicht in die Betrachtung einbezogen wurden Systeme, welche den Solarspeicher in den Kaltwasservorlauf der Wohnungsboiler einbinden. Solche Systeme weisen deutlich ungünstigere Eigenschaften bezüglich Solarertrag und Verlusten auf (starke Abhängigkeit vom Verbrauchsprofil).

Werden im Zuge einer Sanierung die Wohnungsboiler entfernt und ein zentrales Warmwassersystem für das ganze Haus eingebaut, so kommen die in Kapitel 5.2 besprochenen Systemtypen zur Anwendung.

spezifische Kollektorfläche	Die von den Solarfirmen im Fragebogen angegebenen spezifische Kollektorflächen reichen von 0.6 bis 1.1 m ² pro Person. Von den Solarfirmen am häufigsten genannt wurde eine spezifische Kollektorfläche von etwa 1 m ² pro Person.
Speichervolumen Solar	Die von den Solarfirmen angegebenen Speichervolumen für den Solarteil reichen in dieser Gebäudesituation von 37 bis 114 Liter pro m ² Kollektorfläche. Im Mittel wird ein Wert von 75 Liter pro m ² Kollektorfläche erreicht.
Stellfläche für Speicher	Die Systeme mit Pufferspeicher und einer Verteilung der Wärme über die Heizleitungen weisen aufgrund des zusätzlichen zentralen Pufferspeichers einen höheren Bedarf an Stellfläche auf. Dafür kann in der Wohnung ein Speicher mit kleinerem Volumen eingesetzt werden (Stellfläche in etwa identisch).
Investitionskosten	Abbildung 5.8 zeigt die aus der Befragung erhaltenen Investitionskosten pro m ² Kollektorfläche für die Gebäudesituation. Die angegebenen Investitionskosten beinhalten die gesamten Systemkosten, inkl. Installation, Speicher, Regelung, etc.

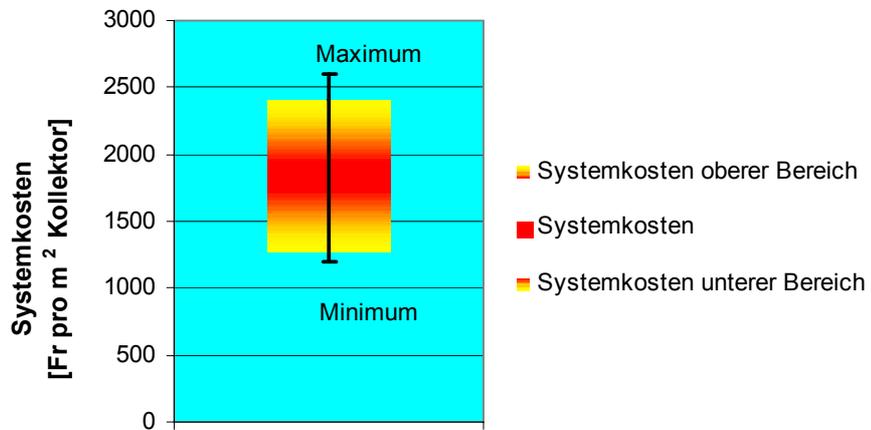


Abbildung 5.8 Systemkosten Solaranlage; Warmwasser wohnungsweise, Heizung pro Gebäude

Für die Angaben in Tabelle 5.4 (Systemspezifische, grobe Richtwerte) wurden nur die Mehrkosten, welche durch die Installation der Solaranlage entstehen einbezogen. Vor allem die Kosten für die Speicher werden dadurch gegenüber den in Abbildung 5.8 gezeigten Kosten deutlich reduziert.

Tabelle 5.4 Kennwerte zu geeigneten Systemtypen. Gebäudesituation: Warmwasser wohnungsweise, Heizung pro Gebäude

System		Mehrspeichersystem mit Pufferspeicher	Autonome Kompaktsysteme
Anlagengrösse:	Personen	keine Einschränkung	bis 10
Solarer Deckungsgrad:	%	20-60	40-60
Kollektorfläche	m ² pro Person	0.5-1.2	0.8-1.2
Speichervolumen Solar *)	l pro m ² Kollektor	30-40	50
Stellfläche Solarspeicher	m ² pro m ² Kollektor	0.04-0.07	0.3-0.5
Stellfläche alle Speicher	m ² pro m ² Kollektor	0.4-0.6	0.3-0.5
Solare Mehrinvestition **)	Fr. pro m ² Kollektor	900-1'400	1'500-1'800
Integrierbarkeit in bestehendes System		✓✓	✓ bis ✓✓
Sind Zirkulationsverluste solar gedeckt?		keine	keine
Ist solare Heizungsunterstützung möglich?		ja	nein
Art der Zusatzheizung			
*) Solarspeichervolumen beinhaltet nur das für die Solarnutzung zusätzliche Volumen (zusätzlich zum bisherigen Speichervolumen)			
**) Beinhalten die gegenüber einer konventionellen Anlage anfallenden Zusatzkosten. Sie sind stark von der Anlagesituation abhängig.			
Integrierbarkeit: ✓ = mässig; ✓✓ = gut; ✓✓✓ = sehr gut		= nur Heizkessel	= Nur elektrisch

6. Vergleich von Systemkonzepten

Ein Vergleich von Systemkonzepten ist in verschiedenen Publikationen zu finden. Speziell auf Mehrfamilienhäuser gehen [Berger et al., 2004] und [Fink et al., 1999] ein. Auf Simulationen oder Messungen basierende Vergleiche von Solarsystemen sind unter anderem in [Fink et al., 2003], [Fink, 2000], [Frei et al., 2000] und [Frei, 1999] zu finden.

6.1. Brauchwasserspeicher oder Pufferspeicher?

Vorwärmssysteme mit einem zusätzlichen Brauchwasserspeicher als Solarspeicher sind in der Schweiz weit verbreitet. Systeme mit Pufferspeicher, welche in Österreich und Deutschland stark verbreitet sind, werden auch in der Schweiz in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen. Neben den vor allem bei grossen Anlagen geringeren Systemkosten weisen die Pufferspeicher auch bezüglich der Speicherausnutzung Vorteile auf.

Für Anlagen mit Pufferspeicher bestehen zudem Systeme mit einer Abgabe der Solarwärme vom Pufferspeicher an das Trinkwasser direkt über eine Durchlauferhitzer. Diese Systeme sind allerdings regelungstechnisch deutlich komplizierter und eignen sich nur für grosse Gebäude mit wenig schwankendem Warmwasserverbrauch.

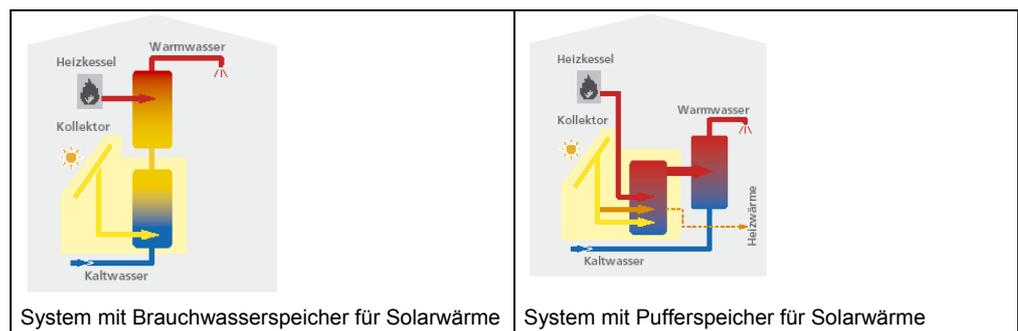


Abbildung 6.1 Systemskizzen. System mit Vorwärmerspeicher; System mit Pufferspeicher

Vor- und Nachteile von Systemen mit zusätzlichem Brauchwasserspeicher bzw. Systemen mit Pufferspeicher sind in Tabelle 6.1 dargestellt

Tabelle 6.1 Vor- und Nachteile von Systemen mit Brauchwasserspeicher bzw. Pufferspeicher

System mit Brauchwasserspeicher	System mit Pufferspeicher
Geringere Wärmeverluste für Wärmeübertragung, da ein Wärmetauscher weniger als bei Systemen mit Pufferspeicher benötigt wird.	Durch die Verwendung von Heizwasser anstatt Brauchwasser kann eine höhere Speichertemperatur (bis über 90°C) genutzt werden.
Integration in bestehende Systeme einfacher, da Solarspeicher direkt in Kaltwasserzulauf integriert werden kann.	Anlagenkonzepte mit gutem Legionellenschutz sind mit Pufferspeicher einfacher zu realisieren.
	Pufferspeicher ist aufgrund der geringeren Materialanforderungen deutlich günstiger
	Bei Systemen mit Pufferspeicher ist eine Wärmenutzung auch für Heizzwecke möglich.

6.2. 1-Speicher System oder mehrere Speicher in Serie?

Systeme mit nur einem Speicher sparen Stellfläche und haben (bei gleicher Dämmstärke) geringere Speicherverluste. Bei grösseren Speichervolumina ist demgegenüber die Einbringung und Aufstellung von mehreren kleinen Speicher einfacher.

Simulationsberechnungen in [Frei, 1999] zeigten nur sehr geringe energetische Vorteile des 1-Speicher Systems gegenüber einem System mit 2 Speichern. Viel bedeutender waren die höheren Erträge durch die Verwendung von low Flow Systemen mit einem zweitem Wärmetauscher im oberen Speicherbereich.

In [Fink, 2000] wurde in einem Objekt mit 6 hintereinander geschalteten 1000 l Solarspeichern ein Speicherverlust von 120% des effektiven Wärmebedarfs gemessen. Der sehr hohe Speicherverlust ist in diesem Objekt wird neben dem schlechten Verhältnis von Volumen zu Oberfläche auch auf die hohen Verluste der Durchdringungen für die Speicheranschlüsse sowie auf den im Objekt niedrigen Warmwasserbedarf zurückgeführt. Auch bei den andern beiden in [Fink, 2000] ausgemessenen Objekten (Systeme mit Solarpufferspeicher und Bereitschaftsspeicher) wurden Speicherverluste von 45-70% des Warmwasserbedarfs gemessen. Die Resultate zeigen, dass in der Praxis den Speicherverlusten hohe Beachtung geschenkt werden muss, vor allem auch was die Ausführung der Dämmung und der Speicheranschlüsse betrifft. In jedem Fall soll eine Aufteilung des Speichervolumens auf mehr als vier Speicher vermieden werden [BINE, 2002].

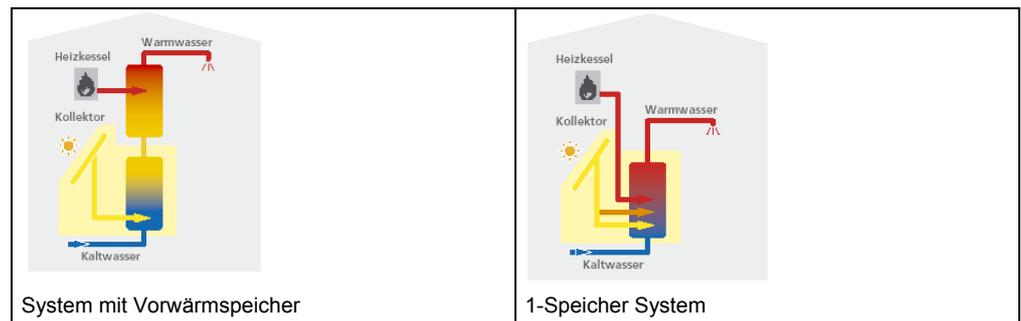


Abbildung 6.2 Systemskizzen. System mit separatem Vorwärm- und Bereitschaftsspeicher; 1-Speicher System

Vor- und Nachteile von Systemen mit separatem Vorwärm- und Bereitschaftsspeicher bzw. 1-Speicher Systemen sind in Tabelle 6.2 dargestellt

Tabelle 6.2 Vor- und Nachteile von Systemen mit einem bzw. mehreren Speichern

System mit Vorwärm- und Bereitschaftsspeicher	1-Speicher System
Integration in bestehende Systeme einfacher, da Solarspeicher direkt in Kaltwasserzulauf integriert werden kann.	Geringere Wärmeverluste des Speichers (kleinere Oberfläche, weniger Durchdringungen)
Einfachere Speichereinbringung da Speicherdurchmesser kleiner	Für gleiches Volumen wird weniger Stellfläche benötigt
Geeignet für grosse Anlagen	Geeignet für kleinere Anlagen

6.3. 1-Speicher System oder Kombispeichersystem?

Ob ein 1-Speicher System oder ein Kombispeichersystem verwendet werden soll hängt primär davon ab, ob auch Heizwärme solar bereitgestellt werden soll oder nicht. Soll nur das Warmwasser solar bereitgestellt werden, so hat 1-Speichersystem Vorteile wenn innerhalb kurzer Zeit eine grosse Menge Warmwasser benötigt wird. Kombispeichersysteme besitzen meist nur einen kleinen Brauchwasserspeicher (im Verhältnis zum Gesamtspeichervolumen). Damit ist im Gegenzug aber auch sichergestellt, dass das Warmwasser nur kurze Zeit gelagert wird und damit auch bei geringen Bezugsmengen hygienisch unproblematische Bedingungen herrschen.

Inwiefern eine Heizungsunterstützung aus energetischer Sicht sinnvoll ist aus den Resultaten von [Frei, 1999] ersichtlich. Darin wurden verschiedene Anlagenkonzepte für ein kleines Mehrfamilienhaus (16 Bewohner) untersucht. Bei einer Auslegung mit einer Kollektorfläche von 0.6 bis 1.2 m² pro Person zeigen sich keine energetischen Vorteile für das Kombispeichersystem mit Heizungsunterstützung im Vergleich zu einem 1-Speicher System mit gleichem Speichervolumen. Ist die Belegung im Haus sehr gering (nur 8 Personen entsprechend 2.5 m² Kollektorfläche pro Person) so hat das Kombispeichersystem mit Heizungsunterstützung einen um 20% höheren Ertrag. In diesen Fall ist das System allerdings für eine solare Wassersystem allein stark überdimensioniert.

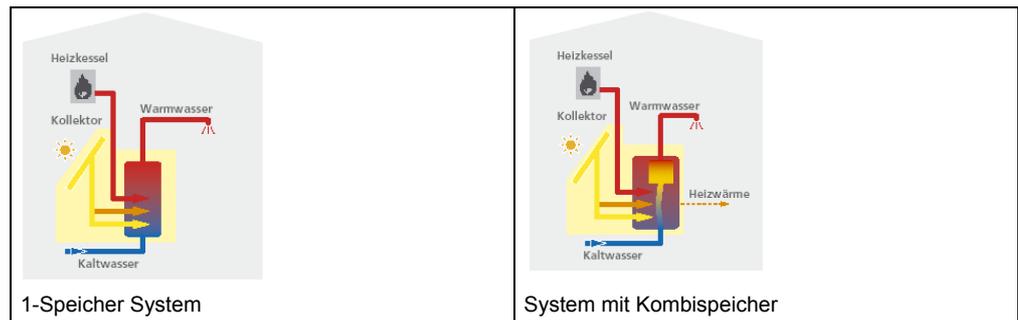


Abbildung 6.3 Systemskizzen. 1-Speicher System; System mit Kombispeicher

Vor- und Nachteile von 1-Speicher Systemen bzw. Systemen mit Kombispeicher sind in Tabelle 6.3 dargestellt

Tabelle 6.3 Vor- und Nachteile von 1-Speicher Systemen und Kombispeichersystemen

1-Speicher System	System mit Kombispeicher
Eignung für Gebäude mit höherem Warmwasserbedarf	Eignung für Gebäude mit geringem Warmwasserbedarf (geringe Belegung).
Geeignet vor allem auch für geringe bis mittlere Deckungsgrade	Geeignet wenn eine hohe (100%) Deckung für Warmwasser im ganzen Sommer erwünscht ist
Für reine Warmwassererzeugung das günstigere System	Geeignet, wenn Heizungsunterstützung gefordert oder gewünscht ist.

6.4. 2-Leiter oder 4-Leiter System?

In grösseren Mehrfamilienhäusern sind Konzepte mit getrennter Versorgung für Heizwärme und Warmwasser aus einer Heizzentrale häufig anzutreffen (Zentrale im Keller des Gebäudes bzw. für mehrere Gebäude einer Siedlung gemeinsam). Diese 4-Leiter Systeme weisen aufgrund der dauernden Zirkulation von warmen Wasser teilweise hohe Verluste auf.

In [Fink et al., 2003] wurden solar unterstützte Wärmeversorgungskonzepte (Warmwasser + Heizung) verglichen die auf 4-Leiter Systemen bzw. 2-Leiter Systemen (Wärmeverteilung über den Heizkreislauf) basieren.

Für weniger kompakte Gebäude, bzw. wenn die Energieabnahmedichte relativ gering ist, zeigen sich deutliche energetische Vorteile für die 2-Leiter Systeme. Der Nachheizbedarf liegt bei den 2-Leiter Systemen bis zu 10% tiefer. Der Grund für die bessere Leistung liegt neben den geringeren Verlusten auch in der tieferen Rücklauftemperatur aus dem Verteilnetz beim 2-Leiter System.

Je kompakter die Gebäudesituation bzw. je höher die Energieabnahmedichte desto geringer werden die Unterschiede zwischen 2-Leiter und 4-Leiter Systemen.

Bei den 2-Leiter Systemen sind Anlagenkonzepte mit dezentralen (wohnungswesisen) Speicher vor allem für Gebäude mit geringerer Energieabnahmedichte geeignet. Anlagenkonzepte, welche anstatt des Wohnungsboilers eine dezentrale Wärmeübergangsstation besitzen eignen sich für grosse Gebäude mit einer hohen Energieabnahmedichte. Die Systeme mit Übergabestationen sind durch den Wegfall der dezentralen Speicher in den Wohnungen deutlich günstiger jedoch nur einsetzbar, wenn die Heizung- und Warmwassertemperatur auf etwa demselben Temperaturniveau liegt.

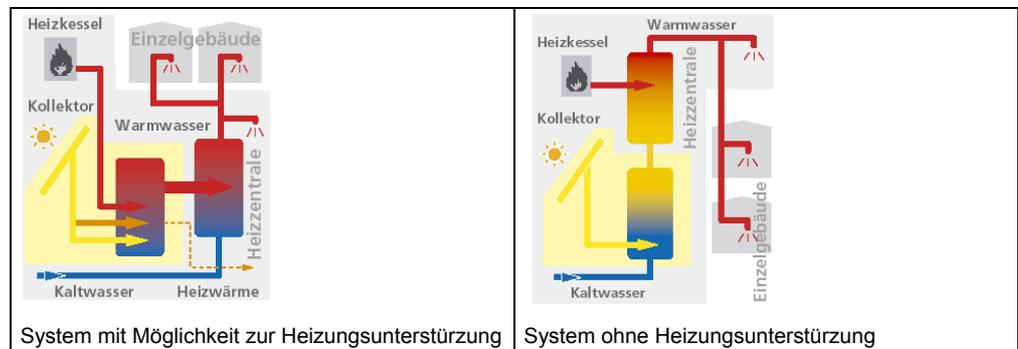


Abbildung 6.4 Systemskizzen. 4-Leitersysteme für Siedlungen mit zentraler Warmwasserversorgung

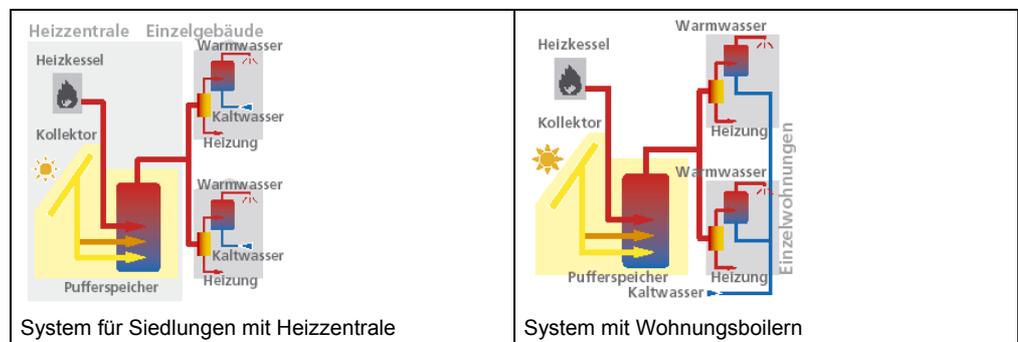


Abbildung 6.5 Systemskizzen. 2-Leitersysteme für Siedlungen mit zentraler Warmwasserversorgung

Vor- und Nachteile von 2-Leiter bzw. 4-Leiter Systemen sind in Tabelle 6.4 dargestellt

Tabelle 6.4 Vor- und Nachteile von 2-Leiter bzw. 4-Leiter Systemen

2-Leiter System	4-Leiter System
Geringere Verteilverluste v.a. bei weitverzweigten Verteilnetzen	Bei gut gedämmten kurzen Verteilungen und hohen Energieabnahmedichte dem 2-Leiter System energetisch ebenbürtig
Einfache Energiezählung mit nur einem Wärmehähler pro Wohnung möglich	Einfachere Regelung durch getrennte Systeme für Warmwasser und Heizung
Bei Sanierungen von Gebäuden mit Wohnungsboiler einfachste und günstigste Lösung.	Vor allem bei kompakten Gebäuden mit vielen Wohnungen kostengünstiger.

6.4.1 Verluste in Zirkulationsleitungen

In grösseren Gebäuden mit zentraler Warmwasserversorgung sind Zirkulationssysteme üblich. Damit wird sichergestellt, dass zu jeder Zeit an den Zapfstellen warmes Wasser verfügbar ist. Durch die dauernde Zirkulation des Warmwassers entstehen aber folgende Nachteile:

- Wärmeverluste durch die Zirkulationsleitungen können 20-100% des eigentlichen Warmwasserbedarfs ausmachen
- Strombedarf durch die Zirkulationspumpen
- Zirkulationsrückführung kann im Speicher zu Durchmischungen führen, was den Solarertrag mindern kann

Ob die Zirkulationsverluste solar gedeckt werden können hängt stark vom verwendeten System und den damit erreichten Temperaturen sowie dem Zapfprofil ab.

In verschiedenen Untersuchungen wurden Verluste der Warmwasserzirkulation ermittelt. Während in der Literatur spezifische Verlustwerte von 8-10 W/m angegeben werden, zeigten die Messungen von [Fink, 2000] spezifische Verlustwerte von 9-16 W/m. In [BINE, 2004] werden je nach Rohrkonstruktion spezifische Verlustwerte zwischen 8 und 12 W/m (DN 12) bzw. zwischen 10 und 15 W/m (DN 25) angegeben.

In den von [Fink, 2000] untersuchten drei Gebäuden machten die Zirkulationsverluste zwischen 22 und 117% des effektiven Warmwasserbedarfs aus. Auch die Berechnungen in [BINE, 2004] zeigen für kleine Mehrfamilienhäuser (8 Wohnungen) Zirkulationsverluste zwischen 32 und 67% des effektiven Warmwasserbedarfs. Für grosse Mehrfamilienhäuser (16 Wohnungen) liegen die Werte zwischen 25 und 40% des effektiven Warmwasserbedarfs.

Neben einer guten Dämmung der Zirkulationsleitung (am besten als Rohr-an-Rohr Dämmung) ist auch die Zirkulationsunterbrechung ein wichtiges Mittel für eine energetische Verbesserung.

Wie Resultate aus [Primas, 2004] zeigen, kann in Siedlungen mit einer älteren, zentralen Warmwasserverteilung (Einzelgebäude werden aus Heizzentrale mit Warmwasser versorgt) der Verlust durch die Warmwasserzirkulation höher als der eigentliche Warmwasserbedarf sein (Messwert 136%). In solchen Situationen müsste die Zirkulationsleitung erneuert werden und mit einer guten Dämmung versehen werden. Da dies jedoch oft mit hohen Kosten verbunden ist, ist in solchen Fällen eine Umstellung auf ein dezentrales System energetisch günstiger. Dadurch steigen zwar die Speicherverluste an, aber die Zirkulationsverluste werden stark reduziert bzw. fallen ganz weg (bei rein elektrischer Nachheizung).

7. Weitere Aspekte

7.1. Legionellen

Legionellen sind Bakterien, welche praktisch überall in der Natur vorkommen, so auch in allen Trinkwassersystemen. Die Konzentration im kalten Trinkwasser liegt bei ca. 1 KBE⁸ pro Liter. Konzentrationen bis 100 KBE pro Liter gelten als Legionellenfrei⁹. Mit Legionellen steckt man sich nicht beim Trinken von Wasser an, sondern durch Einatmen von kleinsten Wasserteilchen, so genannten Aerosolen. Duschen, Whirlpoolsysteme und Klimaanlage tragen deshalb am ehesten zur Infektion mit Legionellen bei. Damit die Legionärskrankheit aber ausbricht, muss die Person in der Regel gesundheitlich angeschlagen sein.

Bei Konzentration zwischen 1'000 bis 10'000 KBE pro Liter spricht man von einer Kontamination und eine Überprüfung der Anlage ist angezeigt. Über 10'000 KBE pro Liter liegt eine schwerwiegende Kontamination vor und Stilllegung und Sanierung der Anlage ist angezeigt.

Sogar unter idealen Bedingungen erfolgt die Vermehrung der Legionellen langsam: die Verdoppelungszeit liegt bei ungefähr vier Stunden und es braucht etwa zwei bis vier Tage, um in Laborkulturen Kolonien nachzuweisen. Tabelle 7.1 zeigt die Risikobeurteilung für Legionellenwachstum bei verschiedenen Wassertemperaturen und Aufenthaltsdauern [Wolferen, 2001].

Tabelle 7.1 Risikobeurteilung für Legionellenwachstum (Quelle: Wolferen, 2001)

Temperatur	Dauer a)	Risiko b)	Dauer a)	Risiko b)	Dauer a)	Risiko b)
< 25°C	unbeschränkt	neutral				
25-45 °C	< 2 Tage	neutral	2-7 Tage	< 1'000 KBE/l	> 7 Tage	< 100'000 KBE/l
45-50 °C	unbeschränkt	neutral				
50-55 °C	unbeschränkt	neutral				
55-60 °C	> 1 h	*	> 2 h	**	> 3 h	***
60-65 °C	> 3 min	*	> 5 min	**	> 10 min	***

a) Aufenthaltsdauer bei angegebener Temperatur

b) Risikobeurteilung: neutral = Wert unter 50 KBE/l (nicht nachweisbar)

* = Reduktion der keimbildenden Einheiten (KBE) um einen Faktor 10

** = Reduktion der keimbildenden Einheiten (KBE) um einen Faktor 100

*** = Reduktion der keimbildenden Einheiten (KBE) um einen Faktor 1'000

Empfehlungen für
Warmwasserinstallationen

Folgende allgemeine Empfehlungen (für alle Warmwassersysteme gültig) müssen bei der Planung von Installationen berücksichtigt werden:

- Tote Abschnitte vermeiden
- Kurze Leitungslängen. Warmwasseraufbereitungen am Ort des Verbrauchs bieten einen besseren Schutz als zentrale Systeme.
- Gute Dämmung von Zirkulationsleitungen um ungünstige Temperaturen im Rücklauf der Zirkulation zu vermeiden.
- Kunststoffe überziehen sich leicht mit einem Biofilm, was das Wachstum von Legionellen fördert. Kupfer dagegen hat einen hemmenden Effekt.
- Werkstoffe mit glatten Oberflächen verringern die Bildung von Ablagerungen, welche die Legionellenbildung fördern.
- Speicherdimensionierung so dass eine tägliche Erneuerung des Warmwasserspeichers stattfindet.

Im Betrieb ist zudem eine Überwachung des guten Funktionierens und der Hygiene der Installationen wichtig. Rost, Verkrustungen und Sedimente fördern das Wachstum der Legionellen und sind daher zu vermeiden.

⁸ KBE = Keimbildende Einheiten

⁹ Die Nachweisgrenze liegt bei etwa 50 KBE pro Liter

Anforderungen
DVGW-Richtlinie W551

In Deutschland werden durch die DVGW-Richtlinie W551 zusätzlich Massnahmen bezüglich dem im Betrieb zu erreichenden Speichertemperaturen verlangt. Für Systeme mit einem Warmwasserspeichervolumen > 400 Liter (Trinkwasser) oder mehr als 3 Liter Volumen in den Warmwasserleitungen werden folgende Anforderungen gestellt:

- Gesamtes Warmwasserspeichervolumen muss 1x täglich auf 60°C erwärmt werden.
- Eine Warmwassertemperatur am Austritt des Speichers von 60°C und im Leitungssystem von 55°C muss eingehalten werden.

Aus energetischer Sicht sind die Forderungen der DVGW-Richtlinie W551 nicht vorteilhaft. Vor allem bei grossen Anlagen mit solarer Vorwärmung wird dadurch der Solarertrag reduziert. Auch ist in vielen Fällen fraglich ob mit einer täglichen Aufheizung des Speichervolumens auf 60°C das Infektionsrisiko tatsächlich entsprechend reduziert wird, da die potentiellen Infektionsquellen eher bei den Verbrauchern selbst (z.B. verkalkte Duschköpfe, stehendes Wasser in Sticheleitungen) zu vermuten ist.

Empfehlungen des BAG

In der Schweiz werden vergleichbare Anforderungen nur für Institutionen mit mittlerem Risiko wie Spitäler, Altersheime, Heime, Hotels, Sportanlagen empfohlen [BAG, 1999]. Die empfohlene Temperatur in der Aufbereitungsanlage wird mit mindestens 60°C ein Mal pro Tag und mit mindestens 50°C den Hahnen angegeben. Ein- oder Zweifamilienhäuser werden dagegen als Gebäude mit niedrigem Risiko betrachtet, bei denen die Temperaturvorschriften weniger streng sein können. Für Mehrfamilienhäuser werden keine spezifische Ratschläge erteilt, da der Stand der Kenntnisse nicht ausreichend für eine klare Empfehlung sei [BAG, 1999].

Empfehlung für
Mehrfamilienhäuser

Als Kompromiss zwischen den energetisch ungünstigen Anforderungen der DVGW-Richtlinie W551 und dem unterlassen von jeglichen Massnahmen kann für grosse Mehrfamilienhäuser und Mehrfamilienhaussiedlungen folgendes empfohlen werden:

- Beachten der allgemeinen Empfehlungen für Warmwasserinstallationen
- Warmwasserspeicher sind regelmässig zu entschlammern und zu reinigen
- Warmwassertemperatur 60°C am Austritt des Bereitschaftswasserspeichers und 50°C an den Zapfstellen.

Diese Massnahmen zielen vor allem auf eine Verhinderung von günstigen Bedingungen für das Legionellenwachstum im Verteilnetz ab. Da die Verweilzeit des Wassers bei richtig ausgelegten Systemen im Speicher nicht länger als ein Tag ist, kann aufgrund der langsamen Vermehrung der Legionellen das Risiko einer starken Vermehrung im (gut gewarteten) Speicher als gering bezeichnet werden.

7.2. Kalkablagerungen

Wegen der zeitweise hohen Brauchwassertemperaturen im Solarspeicher muss bei stark kalkhaltigem Wasser damit gerechnet werden, dass die Wärmeübertrager nach einiger Zeit verkalken. Dadurch nimmt der Wirkungsgrad der Anlage ab.

Folgende Massnahmen wurden zum Schutz vor Verkalkungsproblemen von den Solarunternehmen genannt:

- Temperaturbegrenzung des Warmwassers auf 60°C
- Verwendung von Glattrohr-Wärmetauscher (geringere Kalkablagerungen)
- Sicherstellen der Reinigbarkeit des Speichers
- Einsatz eines Entkalkungssystems mit Salz

Massnahmen zum Schutz
vor Verkalkungsproblemen

Da die Kalkausscheidung bei hohen Temperaturen zunimmt, wird bei hohem Kalkgehalt des Trinkwassers eine Begrenzung der Speichertemperatur auf 60 °C empfohlen.

Bei hohen Wasserhärten (> 30°fH) empfiehlt sich eine regelmässige Wartung (Entkalkung der Speicher und der Wärmetauscher). Eine entsprechende Wartung empfiehlt sich auch als Präventivmassnahme zur Vermeidung von Legionellenbildung. Bei grossen Anlagen und hohem Härtegrad des Wassers sollte der Einbau einer Entkalkungsanlage erwogen werden. Die damit verbundenen Vorteile betreffen die gesamte Brauchwasseranlage und alle daran beteiligten Verbraucher.

7.3. Überhitzung

Wenn während einer Schönwetterperiode für längere Zeit kein Brauchwasser aus dem Solarspeicher entnommen wird (z.B. in den Sommerferien), kann die Speichertemperatur den maximal zulässigen Wert erreichen. Zum Schutz der Anlage vor Überhitzung schaltet sich die Solarkreispumpe sich dann selbsttätig aus. Die Anlage muss so ausgelegt werden, dass die verdampfte Wärmeträgerflüssigkeit bei Stagnation möglichst vollumfänglich aus dem Kollektor gedrückt wird.

Wenn das Verhältnis von Kollektorfläche zu Speichervolumen gut aufeinander abgestimmt ist und der Auslegung kein zu grosser solarer Deckungsgrad zugrunde liegt, wird es nur selten erforderlich sein, die Solarkreispumpe abzuschalten.

Folgende Massnahmen wurden zum Schutz vor Überhitzungsproblemen von den Solarunternehmen genannt:

- Richtige Dimensionierung der Expansion
- Automatisches Entleeren der Kollektoren (Rücklaufsysteme: "Drain Down", "Drain Back", "Back Box", etc.)
- Nachtkühlung über Kollektoren
- Durchströmung Kollektor von unten nach oben

Die verschiedenen Möglichkeiten zur Reduktion von Überhitzungsproblemen wurden in [Frei, 2000] untersucht. Folgende Empfehlungen werden gegeben:

Die Auslegung und Platzierung des Expansionsgefässes muss so erfolgen, dass der gesamte Wärmeträgerinhalt des Kollektors plus ca. 10 % des restlichen Anlageinhalts im Expansionsgefäss Platz findet.

Bei Systemen, welche eine automatische Entleerung des Kollektors bei ausgeschalteter Solarkreispumpe vorsehen ist die korrekte Installation (Gefälle) sehr wichtig, da sonst das System nicht funktioniert.

Bei Anlagen mit hohem Deckungsgrad muss ein Konzept für die Minimierung der Stagnationszustandes vorhanden sein. Dies kann eine Nachtauskühlung des Speichers oder das Zuschalten weiterer Verbraucher bzw. eine aktive Kollektorkreis-kühlung sein.

7.4. Überwälzen der Mehrinvestitionen

Der Einbau einer Solaranlage in einen Altbau bedeutet gegenüber einer konventionellen Sanierung der Sanitär- und Heizungsinstallationen höhere Investitionskosten. Unter den aktuellen rechtlichen Bedingungen besteht weiterhin grosse Unsicherheit, wie weit diese Mehrkosten auf die Miete überwälzt werden können.

Die in dieser Studie kontaktierten Gebäudebesitzer überwälzten die höheren Investitionskosten meist nur teilweise. Vor allem bei kleineren Objekten stand oft der ökologische Gedanke vor den Überlegungen betreffend der erzielten Rendite. Am einfachsten gestaltet sich die Kostenüberwälzung für die Besitzer, welche nach einer Gesamtsanierung das Objekt neu vermieten konnten. Durch die nun tieferen Nebenkosten wurde in diesem Fall (mit Einbezug von Fördergeldern) sogar ein günstigerer Bruttomietzins erzielt.

Grundsätzlich auch nicht gelöst ist das Problem mit einem Contracting Vertrag. In diesem Fall muss der Bauherr zwar Investition nicht tätigen, aber bei der Weiterverrechnung des Investitionsanteils im Wärmepreis stellt sich dasselbe Problem. Zudem muss bei einem Wechsel auf ein Contracting Modell eine korrekte Neuberechnung des Mietzinses erfolgen.

Massnahmen zum Schutz vor Überhitzungsproblemen

Investitionen nur teilweise überwälzt

Contracting

8. Definition des solaren Deckungsgrades

Es existieren verschiedene Definitionen zur Berechnung des solaren Deckungsgrades. Je nachdem ob und wie Systemverluste in die Berechnung einbezogen werden wird das Resultat stark beeinflusst.

Definition „DGS-Handbuch“

Eine in der praktischen Anwendung häufig verwendete Berechnungsart des solaren Deckungsgrades ist die im Leitfaden Solarthermische Anlagen [DGS, 2004] verwendete Definition:

$$SD = \frac{Q_{SB}}{Q_{SB} + Q_{ZB}}$$

SD = solarer Deckungsgrad

Q_{SB} = solarer Bruttoertrag; Wärmemenge vom Solarkreis an Speicher [kWh]

Q_{ZB} = Zusatzenergieverbrauch; Energieabgabe des konv. Wärmeerzeugers [kWh]

Mit dieser Berechnung kann der Solare Deckungsgrad einfach aus vorhandenen Messwerten (Wärmemessungen) berechnet werden. Allerdings berücksichtigt diese Berechnungsart die u.U. deutlich höheren Speicherverluste bei Solarsystemen nicht. Aus dem Resultat lässt sich daher nicht einfach auf eine Einsparung gegenüber einem nicht solaren Vergleichssystem schliessen.

In verschiedenen Simulationsprogrammen wird dieser Wert auch berechnet (oft unter der Kurzbezeichnung FSi, was **F**raction **S**olar input bedeutet)

Definition ENS (Solarordner)

Die Definition des solaren Deckungsgrades gemäss den Empfehlungen zur Nutzung von Sonnenenergie [ENS, 2003] bezieht sich dagegen auf den Anteil solar gedeckter Wärme im Vergleich zu einem (nicht solaren) Referenzsystem:

$$F_{SS} = \frac{Q_{Konv} - (Q_Z + Q_H)}{Q_{Konv}}$$

F_{SS} = solarer Deckungsgrad; Bezug Referenzsystem (Fractional Solar Saving)

Q_Z = Energieverbrauch des Solarsystems (Zusatzenergie + Hilfsenergie) [kWh]

Q_{HS} = Zusatzenergieverbrauch des Solarsystems [kWh]

Q_{Konv} = Energieverbrauch des konventionellen Referenzsystems [kWh]

Der Vorteil dieser Berechnungsweise ist, dass damit die Einsparung gegenüber einem konventionellen System berücksichtigt wird. Damit wirken sich z.B. hohe Speicherverluste bei einer ungünstiger Auslegung des Solarteils auf den berechneten Deckungsgrad aus.

Der Nachteil ist, dass für die Berechnung ein Referenzsystem definiert und gerechnet werden muss. Dies macht die Berechnung aufwendig, da der Deckungsgrad nicht alleine mit an der Anlage gemessenen Werten berechnet werden kann.

Welche Definition wird wo verwendet?

Für eine korrekte Aussage bezüglich der erzielten Einsparung gegenüber einem nicht solaren System muss die Definition gemäss [ENS, 2003] verwendet werden. Diese Definition hat sich international für Leistungsvergleiche von Systemen durchgesetzt.

In der Praxis häufiger angetroffen wird jedoch die Definition gemäss [DGS, 2004], da sie messtechnisch am Objekt einfach nachzuprüfen ist.

9. Literatur

- BAG, 1999 Legionellen und Legionellose; Biologische Merkmale, Epidemiologie, Klinik, Umgebungsuntersuchungen, Prävention und Bekämpfungsmassnahmen; Bundesamt für Gesundheit (BAG) und Arbeitsgruppe Legionella, Bern, 1999
- Berger et al., 2004 Berger, M., Wernhart, U., Hirsch, K., Alexander Storch, A., Schindl, J., Thermische Solaranlagen in der Wohnhaussanierung und im Dachgeschossbau, Kompaktleitfaden, Arbeitsgemeinschaft erneuerbare Energie (AEE) erstellt im Rahmen des EU-Interreg Projektes im Auftrag von arsenal research, Wien, 2004
- BINE, 2002 Grosse Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung, BINE Informationsdienst Projektinfo 03/02, BINE Fachinformationszentrum Karlsruhe, Bonn, 2002
- BINE, 2004 Optimierte Warmwassererwärmung in Wohngebäuden, BINE Informationsdienst Projektinfo 05/04, BINE Fachinformationszentrum Karlsruhe, Bonn, 2004
- DGS, 2004 Leitfaden Solarthermische Anlagen, 7. Auflage, Hrsg. Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS), Frankfurt a.M., 2004
- ENS, 2003 Empfehlungen zur Nutzung von Sonnenenergie (ENS), Hrsg. SOLAR Sonnenenergie Fachverband, Bern, 2003
- Fink, 2000 Fink, C., Garantierte Wärmelieferung aus thermischen Solaranlagen im Wohnbau, Endbericht, Arbeitsgemeinschaft erneuerbare Energie (AEE) im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Gleisdorf, 2000
- Fink et al., 1999 Fink, C., Müller, A., Kögl, C., Thermische Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser, Endbericht, Arbeitsgemeinschaft erneuerbare Energie (AEE) im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Gleisdorf, 1999
- Fink et al., 2003 Fink, C., Riva, R., Heimrath, R., Mach, T., Thermische Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser, Planungsbroschüre, Teil des Projektes „solar unterstützte Wärmenetze“, Arbeitsgemeinschaft erneuerbare Energie (AEE) im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Gleisdorf, 2003
- Frei, 1999 Frei, U., Thermische Solaranlagen, Auslegung und Ertrag, Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, 1999
- Frei, 2000 Frei, U., Lösungsansätze zur Reduktion von Problemen bei sommerlichem Wärmeüberschuss von thermischen Solaranlagen, Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, 2000
- Frei et al., 2000 Frei, U., Vogelsanger, P. and Homberger, D., Domestic Hot Water Systems: Testing Development, Trends, Paper for Eurosun 2000, Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, 2000
- Gerheuser, 2003 Gerheuser, F., Marktpotentiale und Markthindernisse für die thermische Solarenergie, POLIS, Politikberatung und Sozialforschung im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE), Bern, 2003
- Primas, 2004 Primas, A., Warmwasserversorgung GBZ 7, Sanierung mit Umstellung auf ein dezentrales solares System, Zwischenbericht 2004, Basler & Hofmann AG im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Zürich, 2004
- Wolferen, 2001 Wolferen, H., Legionella in Hot Tap Water Production, Industry Work Shop Task 26 – Solar Combisystems, IEA Solar Heating + Cooling Programme, Apeldoorn, 2001