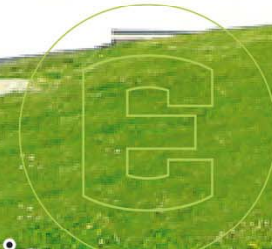


SOLARE RAUMHEIZUNG

VOM NISCHENMARKT ZUM KASSENSCHLAGER

Planungsrichtlinien
für solare Kombisysteme



Förderprogramm für erneuerbare Energie
in der Energie Region Weiz-Gleisdorf

1. Einleitung

Wenn die Sonnenenergie in der Energieversorgung eine bedeutende Rolle einnehmen soll, dann ist es unerlässlich, dass diese Energieform auch für die Beheizung von Gebäuden genutzt wird. Die Raumwärme wird derzeit zum überwiegendsten Teil durch fossile Energieträger (Öl, Gas und Kohle) gedeckt. Eine gute Chance fossile Energieträger in diesem Segment zu substituieren, bieten Solarsysteme zur Brauchwassererwärmung und zur Heizungsunterstützung (so genannte Kombianlagen).

Vor allem dieses Anwendungssegment zeigte in den letzten Jahren hohe Wachstumsraten und macht seit 1998 etwa 50 % der jährlich installierten Kollektorfläche aus, was Österreich zur führenden Nation bei der Umsetzung von Kombianlagen macht.

Kombisysteme zielen im wesentlichen auf die Nutzung des auch in der Übergangszeit noch hohen Strahlungsangebotes der Sonne ab (Abb. 1).

Deutlich wird dabei, dass relevante Heizenergiebeiträge dann erreicht werden können, wenn das Gebäude eine sehr gute Wärmedämmung hat und ein Niedertemperaturabgabesystem vorhanden ist. Werden diese Voraussetzungen erfüllt, so können in Abhängigkeit von Kollektorfläche (üblicherweise 15 bis 40 m²) und Speichervolumen (üblicherweise 0,8 bis 4 m³) im Einfamilienhausbereich solare Gesamtdeckungsgrade (Raumwärme und Brauchwarmwasser) zwischen 15 und 50 % erreicht werden. Auch Demonstrationsprojekte mit 100 % Deckung des Warmwasser- und Raumwärmebedarfs wurden errichtet.



Abb 1: Übliche Kollektorflächen für solare Kombianlagen bewegen sich zwischen 15 und 40 m²
(Bildquelle: AEE INTEC)

Wichtige Voraussetzungen für eine Kombianlage sind:

- Guter Wärmedämmstandard des Gebäudes
- Wärmeabgabesysteme auf Nieder-temperaturbasis
- Günstige Ausrichtung der Kollektorfläche
- Vorhandener Platz für Speicher

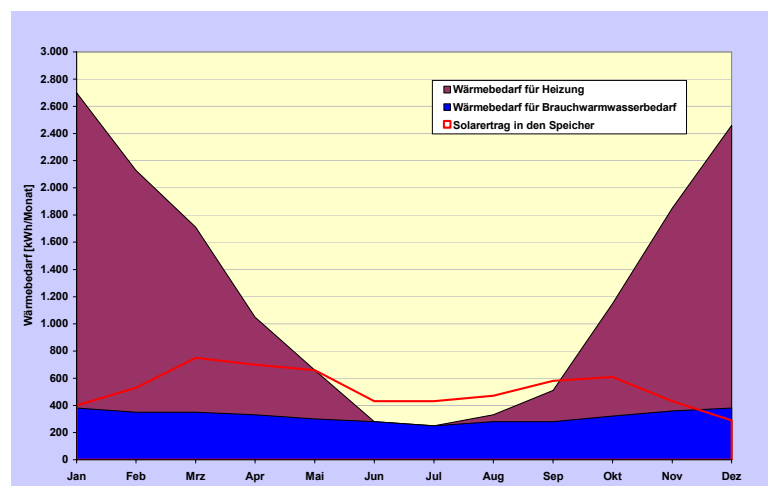


Abbildung 2: Verlauf des Wärmebedarfes (Warmwasser und Raumwärme) und des solaren Energieeintrages für ein Einfamilienhaus mit 130 m² Wohnnutzfläche (Heizlast 6 kW) und 4 Personen. Die zugrunde liegende 25 m² große Kollektorfläche und ein Energiespeicher mit 1.800 Liter ermöglichen einen solaren Deckungsgrad von knapp 40 %.

2. Typische Hydraulikkonzepte von Kombianlagen

Bedingt durch den zweiten Verbraucher ergibt sich für Solaranlagen zur Brauchwasserbereitung und Heizungsunterstützung eine wesentlich größere und komplexere Hydraulikvielfalt als bei reinen solaren Brauchwasseranlagen. Die von Unternehmen empfohlenen Konzepte reichen von „aus Einzelbauteilen aufzubauende Systeme“ bis zu „Systeme mit hohem Vorfertigungsgraden“, was zumeist eine individuelle Planung und gewissenhafte Montage erfordert. Wesentlich ist ein angepasstes Gesamtsystem, mit Hauptaugenmerk auf Substitution von konventionellen Energieträgern und möglichem Komfortgewinn.



Abbildung 3: Einfamilienhaus mit einer Solaranlage zur Brauchwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung
(Bildquelle: AEE INTEC)

Grundsätzlich sollten folgende Parameter bei der Erstellung eines Hydraulikkonzeptes für eine Solaranlage zur Brauchwasserbereitung und Heizungsunterstützung genau betrachtet werden:

- Das System sollte möglichst einfach und in Bezug auf die verwendeten Installationskomponenten möglichst wenig störungsanfällig sein (so weit als möglich auf komplizierte Pumpen- und Ventilsteuerungen verzichten).
- Welche Leistung ist vom Kollektor zu erwarten (Kollektorfläche, Kollektortyp)?
- Betriebsart der Solaranlage (High Flow, Low Flow, Matched Flow)?
- Welches Platz- bzw. Höhenangebot steht im Speicheraufstellungsraum zur Verfügung?
- Art des Wärmeerzeugers (leistungsgeregelt - nicht leistungsgeregelt)?
- Art der Brauchwasserbereitung?
- Art des Wärmeabgabesystems (Hoch- bzw. Niedertemperaturabgabesystem, große bzw. kleine Speichermassen)?
- Art der Heizungssteuerung?

Aufgrund der zahlreichen und auch technisch sehr unterschiedlichen am Markt verfügbaren Produkte wird versucht, die wesentlichen Systemkonzepte nachfolgend zusammenzufassen. Als Bezugsgröße wurde hierfür die Speicheranzahl (Einspeichersysteme und Zweispeichersysteme) gewählt. Man unterscheidet grundsätzlich Ein- und Zweispeichersysteme oder/ und Schwimmbaderwärmung.

2.1 Einspeichersysteme

Die Energiespeicherung erfolgt zentral in einem Behälter und bildet somit für die Wärmeerzeuger (Solarsystem, konventioneller Wärmeerzeuger) sowie für die Versorgung der Verbraucher (Brauchwasser, Raumwärme) eine hydraulische Weiche.

Den Energiespeicher kann man sich aufgrund der drei auftretenden Temperaturniveaus (Brauchwarmwasser, Heizung und Brauchwasservorwärmzone) in drei Ebenen geteilt vorstellen, die im Betrieb möglichst getrennt bleiben sollten.

Die Brauchwasserbereitung benötigt bei Niedertemperaturheizungssystemen das höchste Temperatur-niveau.

Dieses muss ständig, egal ob integrierter Brauchwasserspeicher oder externer Wärmetauscher, im obersten Speicherbereich für eine garantierte Warmwasserversorgung zur Verfügung stehen. Das Kaltwasser hat die niedrigste Temperatur im System und wird daher ganz unten im Speicher zugeführt. Dazwischen liegt der für Heizzwecke zur Verfügung stehende Bereich. Die Einbindung des konventionellen Wärme-erzeugers muss so erfolgen, dass das heiße Medium in den Bereich Brauchwasserbereitung eintritt, um vorrangig diesen Bedarf zu decken. Der Anschluss des Heizungsvorlaufs muss so ausgeführt werden, dass für Heizzwecke nie die für die Brauchwasserbereitung vorgesehene Zone herangezogen werden kann.



Abbildung 4: Vorgefertigte Module für die Einbringung der Solarenergie in den Energiespeicher (links) und eine externe Brauchwasserbereitung im Durchlaufprinzip (rechts).
(Bildquelle: AEE INTEC)

Ebenso muss der Heizungsrücklauf, der immer über dem Temperaturniveau des Kaltwassers liegt, über der Brauchwasservorwärmzone zum Wärmeerzeuger rückgeführt werden. Damit steht diese Zone nur der Solaranlage zur Verfügung und bringt günstige tiefe Kollektorrücklauftemperaturen.

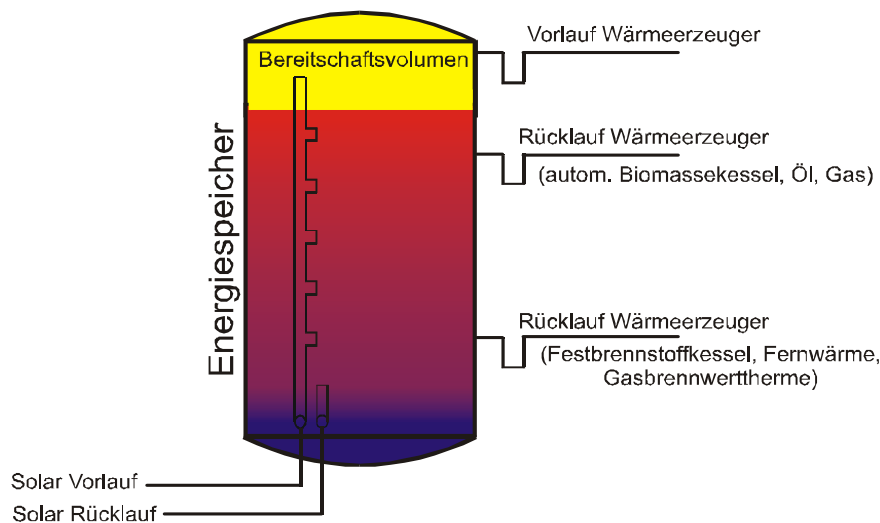


Abbildung 5: Wird der Wärmeerzeuger in den Energiespeicher eingebunden, sollten in Abhängigkeit der Art des Wärmeerzeugers unterschiedliche Anschlusshöhen des Rücklaufs unter Berücksichtigung der Fühlerpositionierung definiert werden.

Die Einbindung des konventionellen Wärmeerzeugers verlangt bei Einspeichersystemen keine großen Unterschiede im Bezug auf den gewählten Energieträger. Da alle konventionellen Wärmeerzeuger über den Energiespeicher geführt werden, müssen nur Fühlerpositionen der Kesselanforderung und die geometrische Anschlusshöhe des Rücklaufs zum Wärmeerzeuger an den jeweiligen Typ angepasst werden. Entscheidend ist, dass nicht Vorteile für einzelne Systemabschnitte isoliert betrachtet werden, sondern die Effizienz des gesamten Systems (möglichst geringer Nachheizenergiebedarf) im Vordergrund steht.

Abb. 5 zeigt hier die schematische Anordnung der Anschlüsse in Abhängigkeit des Verwendung findenden Energieträgers.

Üblicherweise werden Wärmeerzeuger, die generell eine Rücklaufanhebung benötigen bzw. höhere Rücklauftemperaturen die Effizienz nicht wesentlich beeinflussen (automatische Biomasseheizungen, Ölkessel, Gaskessel ohne Brennwertnutzung), im oberen Viertel bzw. Drittel des Energiespeichers eingebunden. Fühlerpositionen und Rücklaufanschluss sind so positioniert, dass eine Erwärmung des unteren Speicherteils durch den konventionellen Wärmeerzeuger nicht möglich ist. Bei Wärmeerzeugern, die möglichst tiefe Rücklauftemperaturen benötigen (Gasbrennwertgeräte, Fernwärme) empfiehlt es sich, die Fühlerpositionen wie vorhin festzulegen (oberes Viertel bis Drittel des Speichers), die Höhe des Rücklaufanschlusses aber in das untere Speicherdr Drittel zu verschieben.

Dadurch kann sichergestellt werden, dass bei Gasgeräten der Brennwerteffekt optimal genutzt und bei Fernwärmeeinbindungen die Netzverluste möglichst gering ausfallen. Kommt als Wärme-erzeuger beispielsweise ein Stückholzkessel zum Einsatz, empfiehlt es sich einerseits aus verbrennungstechnischen und andererseits aus Komfort-gründen, im Energiespeicher auch Volumen für den Energieinhalt einer Kesselfüllung sicherzustellen.

In Abb. 7 ist eine Einbindung des Solarsystems über zwei innenliegende Wärmetauscher dargestellt. Die Systemgröße ist hier begrenzt durch die Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit von innenliegenden Wärmetauschern (üblicherweise bis zu Kollektorflächen von 20 m²). Durch ein Umschaltventil können in Abhängigkeit der momentanen Kollektorleistung und der Temperatursituation im Speicher entweder nur der untere Wärmetauscher oder beide Wärmetauscher in Serie durchströmt werden. Durch das serielle Durchströmen der Wärmetauscher kann im oberen Speicherbereich schneller Nutztemperaturniveau erzielt werden. Ist dieses erreicht, wird alleine auf den unteren Wärmetauscher umgeschaltet und der untere Speicherteil erwärmt.

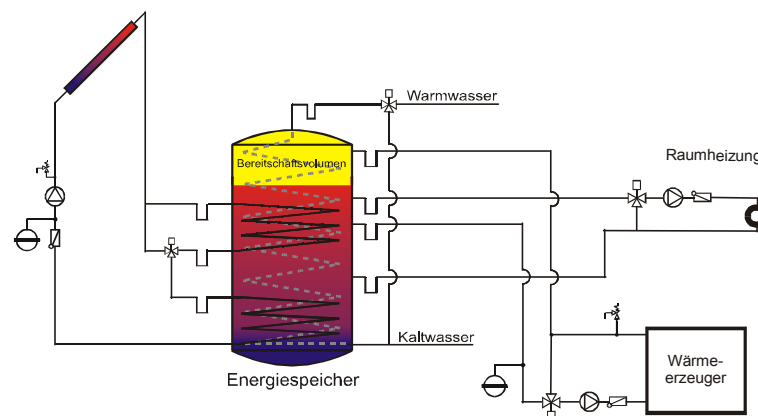


Abbildung 7: Beispielhaftes Einspeichersystem mit solarer Beladung über zwei in verschiedenen Höhen positionierten innenliegenden Wärmetauschern. Das System eignet sich bei entsprechender Auslegung sowohl für den High-Flow als auch den Low-Flow-Betrieb der Solaranlage. Die Brauchwassererwärmung erfolgt im Durchflussprinzip über eine integrierte Rohrwendel, die sich über die gesamte Speicherhöhe erstreckt.



Abbildung 6: Solararchitektur kombiniert mit einer thermischen Solaranlage zur Brauchwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung. (Bildquelle: AEE INTEC)

Abb. 8 und Abb. 9 zeigen beispielhaft marktübliche Speicher mit integrierten Rohrbündeln zur Brauchwassererwärmung.



Abbildung 8: Integriertes Edelstahl-Wellrohr über die gesamte Speicherhöhe angeordnet
(Bildquelle: Teufel & Schwarz mbH, Going)



Abbildung 9: Zusätzlich zum innenliegenden Glatrohrwärmetauscher ist ein Edelstahlwellrohr zur Brauchwassererwärmung integriert

Ein weiteres häufig eingesetztes Speicherkonzept für Kombisysteme ist das so genannte „Tank-in-Tank Konzept“ (siehe Abb. 10). Die Einbindung des Solarsystems erfolgt in diesem Beispiel über einen externen Wärmetauscher (üblicherweise Plattenwärmetauscher) und über zwei Einspeiseanschlüsse am Energiespeicher. Die entsprechende Einspeiseebene wird in Abhängigkeit der Speichertemperaturen und der vorherrschenden Kollektorleistung bestimmt (Regelung eines 3-Wege-Ventils). Externe Wärmetauscher besitzen zwar eine große Leistungsfähigkeit, benötigen aber einen zweiten geregelten Pumpenkreis (Sekundärkreislauf), weshalb diese vor allem erst bei größeren Kollektorflächen ($> 20 \text{ m}^2$) eingesetzt werden.

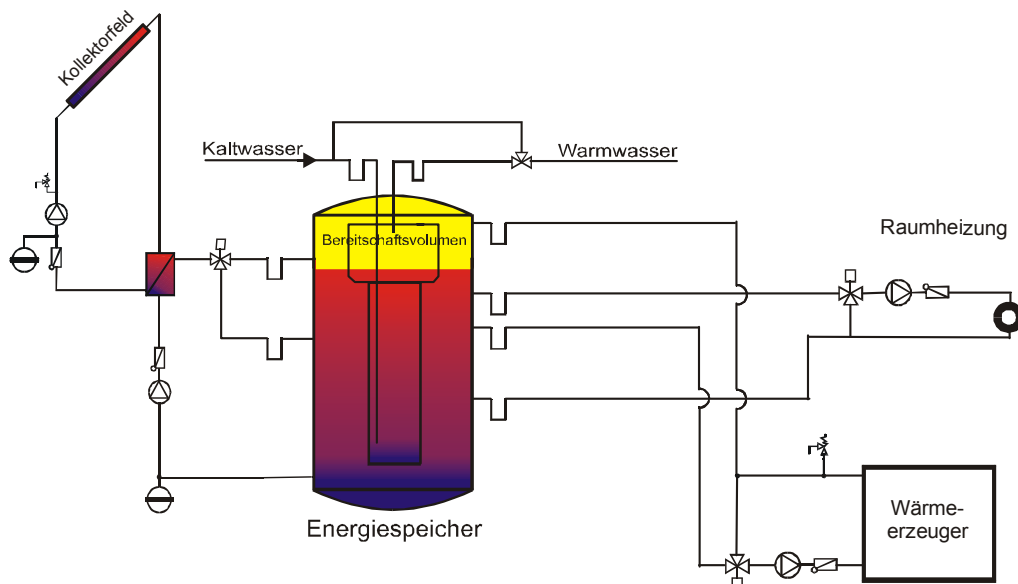


Abbildung 10: Beispielhaftes Einspeichersystem („Tank-in-Tank“ Konzept) mit solarer Beladung über einen externen Wärmetauscher in zwei Speicherebenen. Das System eignet sich bei entsprechender Auslegung sowohl für den High-Flow als auch den Low-Flow-Betrieb der Solaranlage. Die Brauchwassererwärmung erfolgt über die Oberfläche des innenliegenden Behälters.

„Tank-in-Tank Konzept“ bedeutet, dass im Energiespeicher ein Brauchwasserspeicher (aus Edelstahl oder mit emaillierter Innenoberfläche) integriert ist. Versorgungssicherheit kann bei diesem Konzept durch eine Kombination aus bevorratetem Brauchwasser und Behälteroberfläche erreicht werden. Dies erfordert in jedem Fall aber ein entsprechend auf Temperatur gehaltenes Bereitschaftsvolumen im oberen Speicherbereich. Bei der Verwendung von integrierten Brauchwasserspeichern ist darauf zu achten, dass diese bis in den Speichersumpf geführt werden und dort der Kaltwasseranschluss erfolgt. Werden integrierte Brauchwasserspeicher verwendet, die nur bis ins obere Drittel des Energiespeichers reichen, kommt es beim Zapfen von Brauchwasser zu sehr starken Durchmischungen. Dadurch kann auch der Solaranlage das Kaltwassertemperaturniveau nicht zur Verfügung gestellt werden, was unvermeidbar zur Effizienzreduktion des Solarsystems führt. Zwei „Tank-in-Tank Konzepte“ werden beispielhaft für marktübliche Produkte in Abb. 11 dargestellt.

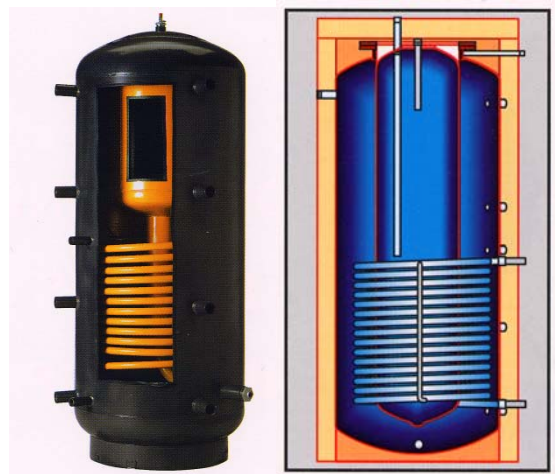


Abbildung 11: Links: Tank-in-Tank Speicher mit birnenförmigem Innentank und integriertem Glattrohrwärmetauscher für die Einbindung des Solarsystems (Bildquelle: Sonnenkraft Vertriebs GmbH) Rechts: Tank-in-Tank Speicher mit zylindrischem Innentank und integriertem Glattrohrwärmetauscher für die Einbindung des Solarsystems (Bildquelle: Austria Email AG)

Sehr stark verbreitet sind Kombianlagen, die über so genannte Schichtspeicher verfügen und somit sämtliche Wärmeströme im System entsprechend ihrer Temperatur eingeschichtet werden. Vor allem in Kombisystemen, die im Low-Flow-Prinzip oder dem Matched-Flow-Prinzip betrieben werden, sind Schichtladesysteme von großer Bedeutung. Abb. 12 zeigt ein Einspeicherkonzept mit selbsttätiger Schichtladung. Unter selbsttätiger Schichtladung werden Systeme verstanden, die im Wesentlichen auf Basis von Dichteunterschieden zwischen warmem und kaltem Wasser basieren. Kaltes Wasser ist schwerer als warmes und schichtet sich deshalb eher in untere Speicherbereiche ein. Warmes Wasser ist leichter als kaltes Wasser und strömt in Steigrohren in die Höhe mit der passenden Umgebungstemperatur, wo es dann aus dem Steigrohr austritt. Selbsttätige Schichtladekonzepte besitzen den Vorteil, dass sie einerseits sehr einfach und wenig fehleranfällig sind sowie andererseits zum Betrieb keine Fremdenergie benötigen.

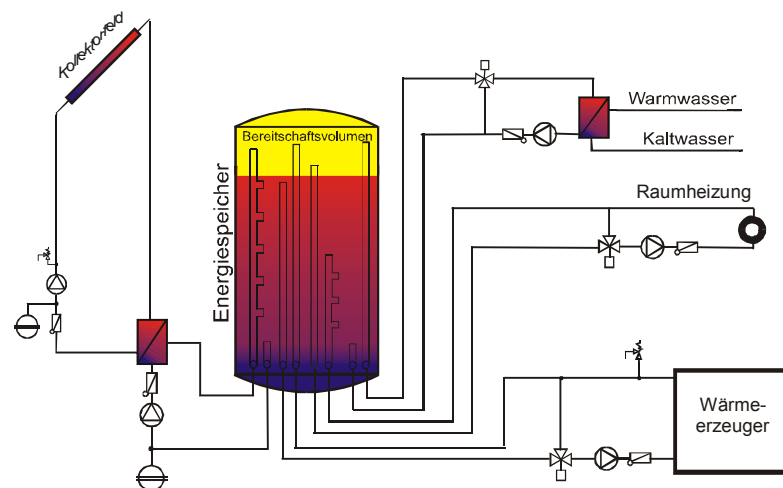


Abbildung 12: Beispielhaftes Einspeichersystem mit solarer Beladung über einen externen Wärmetauscher in Verbindung mit einem selbsttätigen Schichtladesystem. Dieses System erfordert den Low-Flow-Betrieb der Solaranlage. Die Brauchwassererwärmung erfolgt im Durchflussprinzip über einen externen Wärmetauscher.

War es in den beiden vorhin gezeigten Hydraulikkonzepten (Abb. 7 und Abb. 11) möglich, das Solarsystem sowohl nach dem High-Flow als auch nach dem Low-Flow-Prinzip zu betreiben, so können Schichtspeicher

ihre Vorzüge größtenteils nur in Verbindung mit dem Low-Flow-Prinzip ausspielen. Auch Betriebsweisen nach dem Matched-Flow-Prinzip (drehzahl geregelt) finden Verwendung. Einige marktübliche Produkte von Schichtspeichern sind in Abb. 13 dargestellt.

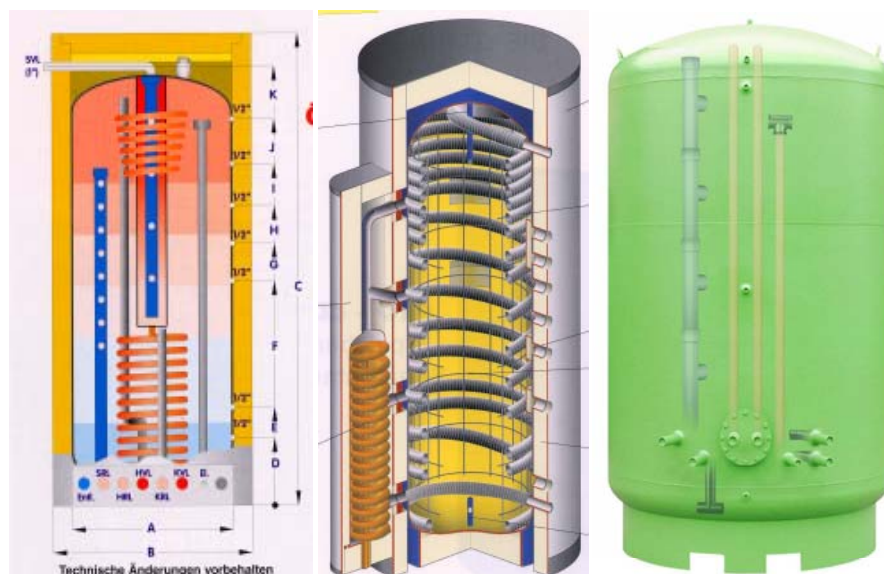


Abbildung 13: Beispielhafte Darstellung unterschiedlicher Schichtladestrategien (Bildquellen v.l.n.r.: Solarfocus, St. Ulrich, Teufel & Schwarz GmbH, Going, Pink Behältertechnik GmbH, Langenwang)

Erfolgt die Brauchwasserbereitung über einen externen Wärmetauscher (siehe Abb. 12), muss darauf geachtet werden, dass auch die notwendige Leistung bei nicht zu großer logarithmischer Temperaturdifferenz ($< 5\text{ K}$) übertragen werden kann. Da sowohl der Bedarf an Brauchwasser als auch die oben im Energiespeicher zur Verfügung stehende Temperatur von Bedarfsfall zu Bedarfsfall unterschiedlich ist, muss der speicherseitige Massendurchsatz variabel sein. Mit Drehzahlregelung der Pumpe oder mechanischem Proportionalregler wird der Massendurchsatz an den tatsächlichen Verbrauch angepasst (gleiche Wasserwerte, $\dot{m} \cdot c_p$, energiespeicher- und kaltwasserseitig werden angestrebt), um möglichst rasch und konstant die gewünschte Solltemperatur zu erreichen.

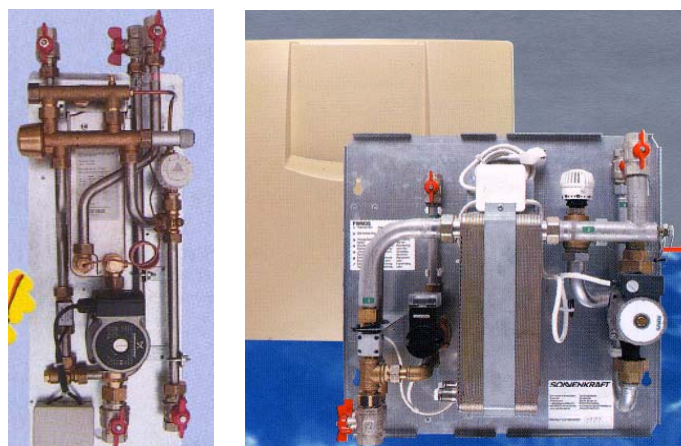


Abbildung 14: Links: Vorgefertigte Station zur Brauchwassererwärmung im Durchflussprinzip über externen Wärmetauscher mit Mengenanpassung über einen mechanischen Proportionalregler (Bildquelle: Fink et al., 2002)
Rechts: Vorgefertigte Station zur Brauchwassererwärmung im Durchflussprinzip über externen Wärmetauscher mit Mengenanpassung über einen Beimischkreislauf (Bildquelle: Sonnenkraft Vertriebs GmbH, Gerichshain)

Wesentlich ist es, eine Rücklauftemperatur in den untersten Speicherbereich zu erreichen, die möglichst am Niveau der Kaltwassertemperatur liegt.

Wurden die Ladekreisläufe zur Brauchwassererwärmung über externe Wärmetauscher Ende der 90er Jahre noch vom Installateur im Heizhaus aus Einzelkomponenten aufgebaut, existieren mittlerweile zahlreiche vorgefertigte, bewährte Produkte, die einfach an die Wand montiert werden können. Abb. 14 zeigt beispielhaft zwei diesbezügliche Produkte österreichischer Unternehmen.

Ein erhöhter Vorfertigungsgrad einzelner Systemabschnitte in solaren Kombianlagen bedeutet einerseits eine Reduktion der Systemkosten und andererseits eine Reduktion des Fehlerpotenzials, da neben den hydraulischen Verbindungen zunehmend auch Elektroverkabelung (Fühler- und Regelungsverdrahtung)

standardisiert vorgefertigt werden. Generell ist in der Solarbranche – und vor allem bei Kombianlagen – ein Trend in Richtung Vorfertigung zu verzeichnen.

Das gesamte schemenhafte Systemschaltbild zu einem „All-in-All-System“ ist in Abb. 15 dargestellt. Neben der maximalen hydraulischen Vorfertigung verfügt dieses Kompaktsystem zur gesamten Wärmeversorgung von Einfamilienhäusern auch über eine steckerfertige Elektroverkabelung, was somit die Installation der gesamten Wärmeversorgungsanlage entscheidend vereinfacht.

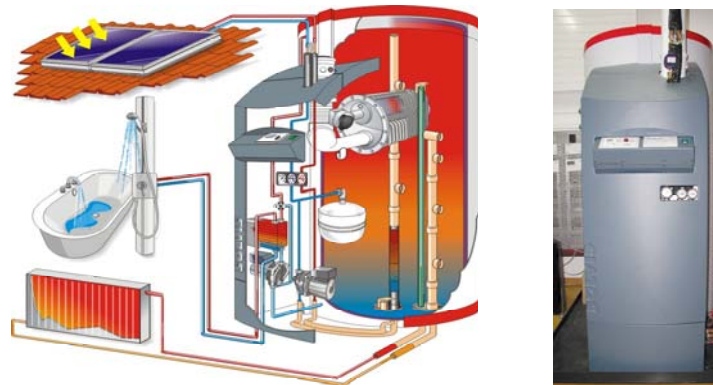


Abbildung 15: Schnittbild der gesamten Heizzentrale und schematische Darstellung der Wärmeverteilung (links) sowie Außenansicht mit Abdeckhaube (rechts) (Bildquelle: Solvis GmbH & Co GK, Braunschweig)

Aus ökologischer Sicht besonders erfreulich ist die Entwicklung von Kompaktsystemen, die eine 100 % Versorgung mit erneuerbaren Energieträgern (Sonne und Biomasse) ermöglichen. Im Jahr 2003 wurde von einem österreichischen Unternehmen ein „All-in-All-System“ auf Basis Biomasse und Sonne vorgestellt. In diesem Fall ist ein Pelletsbrenner im Speicher integriert, der auch von einem Solarsystem gespeist wird. Abb. 16 zeigt hierzu ein Schnittbild des Kompaktsystems sowie die Außenansicht im montierten Zustand.



Abbildung 16: Schnittbild der gesamten Heizzentrale (links) sowie Außenansicht mit Abdeckhauben (rechts) (Bildquelle: Solarfocus, St. Ulrich)

Generell weisen Einspeichersysteme nachfolgende Vor- und Nachteile auf:

Vorteile von Einspeichersystemen:

- Durch Wegfall eines Brauchwasserspeichers können Abstrahlverluste reduziert werden.
- Die Kompakt- und Einfachheit des Gesamtkonzeptes steigt erheblich.
- Der Platzbedarf, verursacht durch Anlagenkomponenten, wird reduziert.
- Die Brauchwassererwärmung im Durchflussprinzip ist hygienisch (Legionellen, etc.) absolut unbedenklich.
- Einspeichersysteme verursachen aufgrund des Wegfalls eines weiteren Behälters sowie wegen dem geringen Verrohrungsaufwand geringere Investitionskosten.

Nachteile von Einspeichersystemen:

- Die Brauchwasserbereitung erfolgt immer über zwei Wärmetauscher (Solarwärmetauscher einerseits und vom Energiespeichermedium auf das Brauchwasser andererseits), was für den Kollektor höhere Rücklauftemperaturen (verschoben um die Grädigkeit des Wärme-tauschers) bedeutet. Weniger einflussreich ist dieser Sachverhalt bei Energiespeichern mit integriertem Brauchwasserspeicher und Brauchwasservorwärmstrecke.
- Der oberste Bereich des Energiespeichers muss ständig auf Brauchwassersolltemperatur gehalten werden. Wird ein Speicher mit geschlossener Speicherhülle verwendet, können die sich daraus ergebenden Verluste aber minimiert werden.

Zweispichersysteme

Zweispichersysteme unterscheiden sich zu Einspeichersystemen im wesentlichen darin, dass für die Brauchwassererwärmung ein eigener Speicher verwendet wird. Je nach Anlagengröße wird der Brauchwasserspeicher direkt von der Kollektoranlage oder aus dem Energiespeicher geladen. Erste Hydraulikkonzepte dieser Art wurden in Österreich bereits Ende der 80er Jahre umgesetzt und besitzen somit den Klassikerstatus solarer Kombianlagen. Obwohl diese Systeme sowohl energetisch (größere verlustbehaftete Oberfläche) als auch wirtschaftlich (höhere Investitionskosten) nicht unbedingt Vorteile gegenüber Einspeichersystemen aufweisen, finden sie auch noch heute breite Verwendung.

Im wesentlichen können Zweispichersysteme auf die nachfolgenden beiden Konzepte reduziert werden.

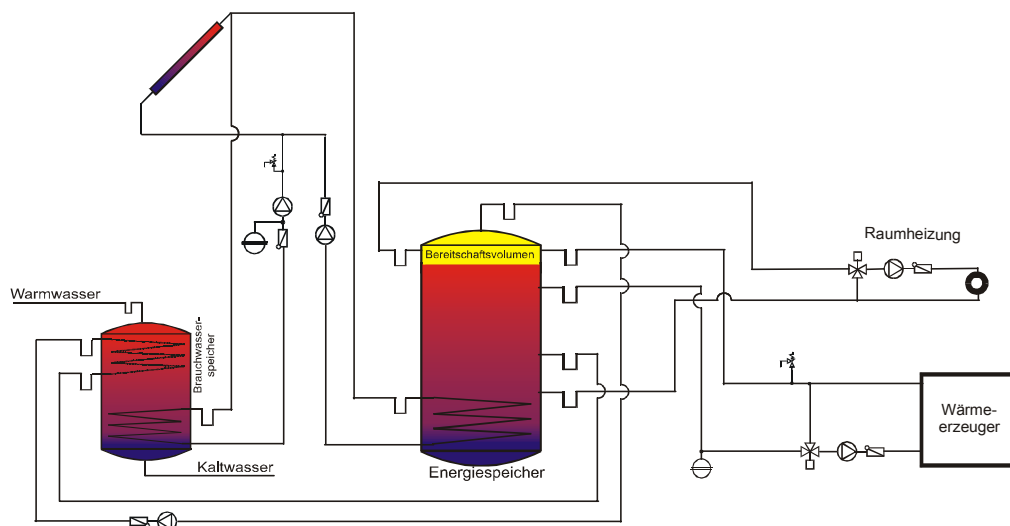


Abbildung 17: Beispielhaftes Zweispichersystem mit solarer Beladung des Energiespeichers und des Brauchwasserspeichers über jeweils einen innenliegenden Wärmetauscher. Dieses System erfordert den High-Flow-Betrieb der Solaranlage.

Abb. 17 zeigt ein Zweispichersystem, in dem die Solaranlage über jeweils einen innenliegenden Wärmetauscher wahlweise in den Brauchwasserspeicher oder in den Heizungsspeicher einspeist. Bei diesem grundsätzlich für High-Flow-Betrieb geeigneten Konzept kann hier der größte Ertrag erzielt werden, wenn

jeweils der Speicher mit der tieferen Temperatur geladen wird. In der Praxis werden von den Steuerungsherstellern einfache Vorrang-/Nachrang-/Gleichrang- Steuerungen angeboten.

Das gewünschte Solltemperaturniveau des Brauchwassers liegt im Vergleich zu den benötigten Vorlauf-temperaturen bei Niedertemperaturabgabesystemen wesentlich höher. Um die Kollektor-rücklauf-temperatur möglichst gering zu halten, empfiehlt sich während der Heizperiode eine Gleichrangschaltung der beiden Verbraucher. Innerhalb dieser Funktion wird der Speicher mit der tieferen Temperatur auf das Temperaturniveau des anderen gebracht und dann unter dem Gesichtspunkt der optimalen Energieausbeute parallel mit diesem weitergeladen.

Die Nachheizung des Brauchwasserspeichers erfolgt aus dem Heizungsspeicher. In der heizfreien Zeit wird der Brauchwasserspeicher gegenüber dem Heizungsspeicher vorrangig auf die Solltemperatur des Brauchwassers erwärmt. Dieses Konzept eignet sich aufgrund der Begrenzung durch die Leistungsfähigkeit der innenliegenden Wärmetauscher eher für kleinere Kollektorflächen ($< 20 \text{ m}^2$).

Werden größere Kollektorflächen eingesetzt, empfiehlt es sich einen externen Wärmetauscher zwischen Solarsystem und Energiespeicher vorzusehen. Der Brauchwasserspeicher wird in dieser Konstellation, wie in Abb. 19 ersichtlich, nur mehr aus dem Heizungsspeicher erwärmt. Die Einspeisung der Solarwärme in den Energiespeicher kann entsprechend der Betriebsart sowohl in einer fixen Einspeiseshöhe (High-Flow) als auch über einen Schichtspeicher erfolgen (Low-Flow).



Abbildung 18: Zwei- oder Mehrspeichersysteme verursachen aufgrund ihres schlechteren Volumen zu Oberflächenverhältnis größere Systemverluste.
(Bildquelle: AEE INTEC)

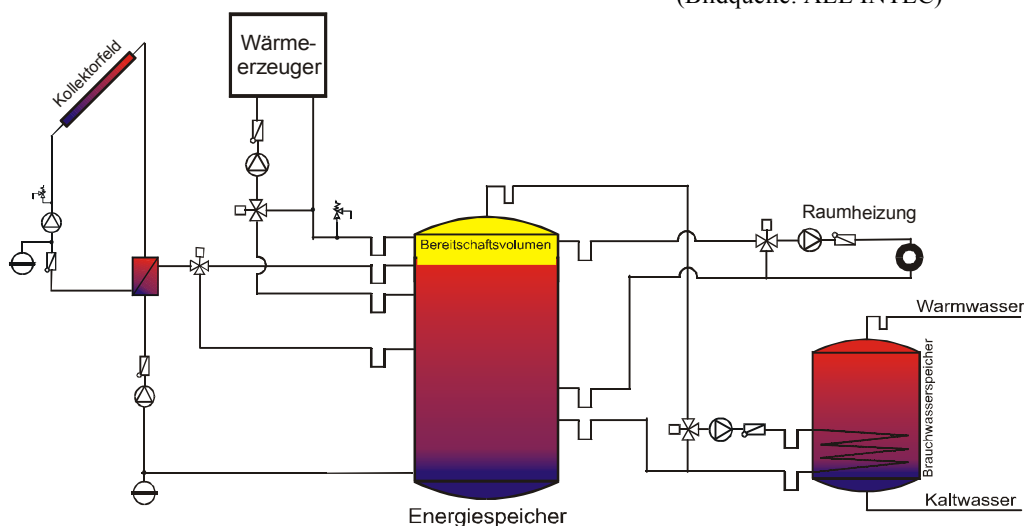


Abbildung 19: Beispielhaftes Zweispeichersystem mit direkter solarer Beladung des Energiespeichers über externen Wärmetauscher. Das Solarsystem kann bei entsprechender Dimensionierung sowohl nach dem High-Flow- als auch dem Low-Flow-Prinzip der Solaranlage betrieben werden.

Dieses Konzept kann bei manuell zu beschickenden Wärmeerzeugern und bei zu kleiner Dimensionierung der Solaranlage in der Übergangszeit Komfortverluste mit sich bringen, da zwar das Heizungstemperaturniveau erreicht wird, aber dieses für die Erwärmung des Brauchwassers nicht ausreicht. In diesen Fällen muss dann einzig für die Brauchwasserbereitung der Festbrennstoffkessel in Betrieb gesetzt werden. In der Heizperiode stellt dies kein Problem dar, da für die Raumwärmeversorgung ohnedies eingehetzt wird. Der Brauchwasserspeicher kann als Eintagesspeicher ausgeführt werden, das senkt die Systemkosten und auch die Abstrahlungsverluste werden durch die geringere Oberfläche verringert.

Generell weisen Zweispeichersysteme nachfolgende Vor- und Nachteile auf:

Vorteile von Zweispeichersystemen:

- Brauchwasserbereitung und Heizungsunterstützung sind hydraulisch gänzlich getrennt. Damit werden Turbulenzen im Heizungsspeicher durch ständiges Zapfen von Brauchwasser reduziert.
- Die Brauchwasserbereitung erfolgt bei direkt in das Solarsystem eingebundenen Brauchwasserspeichern nur über einen Wärmetauscher (Solarwärmetauscher), das führt zu tieferen Kollektorrücklauftemperaturen.
- Wird der Brauchwasserspeicher nur aus dem Heizungsspeicher geladen, so kann das Volumen auf den Eintagesbedarf reduziert werden.

Nachteile von Zweispeichersystemen:

- Größere Abstrahlverluste durch den zweiten Behälter
- Größerer Platzbedarf
- Höhere Investitionskosten durch den zweiten Behälter

Kombianlagen zur Erwärmung des Freischwimbeckens

Solare Kombianlagen sind üblicherweise auf die Übergangszeit ausgelegt, was bedeutet, in der heizfreien Zeit (Sommer) kann das Solarangebot nicht vollständig ausgenutzt werden, da die Solaranlage nach Abdeckung des Brauchwarmwasserbedarfs in den Stagnationszustand geht. Der Gesamtsystem-nutzungsgrad des Systems könnte deutlich verbessert werden, wenn auch in dieser Zeit eine zusätzliche Wärmeabnahme auftritt.

Eine günstige Nutzung der Solarwärme eines Kombisystems in den Sommermonaten stellt die Kopplung an ein Freischwimmbaden dar. Vielfach werden auch private Freischwimmbaden zur Verlängerung der Badesaison mit einem konventionellen Wärmeerzeuger beheizt. In diesen Fällen können solare Kombianlagen auch im Sommer weitere fossile Energieträger substituieren. Wäre das Freischwimmbaden ansonsten unbeheizt, steigern solare Kombianlagen den Nutzerkomfort erheblich.

Dimensionierung

Da die Auslegung der Kombianlagen üblicherweise in Abstimmung auf Brauchwasser- und Raumwärmebedarf erfolgt, steht der Freibaderwärmung der verbleibende Wärmeüberschuss zur Verfügung und eine spezielle Dimensionierung hinsichtlich der Schwimmbaderwärmung kann entfallen.

Werden die Prioritäten aber verschoben, sprich das Solarsystem wird im wesentlichen für die Schwimmbaderwärmung errichtet, muss hinsichtlich Dimensionierung sehr wohl auf die spezifischen Schwimmbadgegebenheiten und Komfortansprüche der Nutzer eingegangen werden. Detaillierte Berechnungen von Solarsystemen zur Schwimmbaderwärmung können beispielsweise mit dem Programm TSOL (TSOL, 2003) durchgeführt werden.

Für Grobabschätzungen zur Dimensionierung der Kollektorfläche steht aber nachfolgende Faustformel zur Verfügung. Da die wesentlichen Wärmeverluste über die Beckenoberfläche erfolgen, ist diese der entscheidende Parameter für die Bemessung der Kollektorfläche. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, ob die Beckenoberfläche in der Nacht bzw. an kälteren Sommertagen mit entsprechenden Thermoplanen abgedeckt wird oder generell unabgedeckt bleibt.

$$A_{\text{Brutto}} = 0,5 \text{ bis } 1 \cdot A_{\text{Becken}} \quad [\text{m}^2]$$

- A_{Brutto} Bruttokollektorfläche in m^2
- A_{Becken} Beckenoberfläche in m^2
- Faktor 0,5: Bei abgedeckten Freischwimmbaden
- Faktor 1: Bei unabgedeckten Freischwimmbaden

Die so ermittelte Bruttokollektorfläche muss noch um die nötige Kollektorfläche für die Erwärmung des Brauchwassers erweitert werden. Ist dies erfolgt, bestimmt diese Größe die restliche Dimensionierung der Kombianlage für Brauchwasser und Raumheizung.

Zu berücksichtigen bleibt, dass der Kollektorwirkungsgrad von abgedeckten Kollektoren bei dem für Schwimmbaderwärmung üblichen Temperaturniveau (20 bis 30 °C) und den im Sommer vorherrschenden Umgebungstemperaturen kaum über dem Wirkungsgrad von unabgedeckten Kunststoffabsorbermatten (die generell nur für Schwimmbaderwärmung verwendet werden) liegt.

Die hydraulische Einbindung eines solar beheizten Freischwimbeckens kann nun in unterschiedlicher Weise durchgeführt werden. Abb. 20 zeigt beispielsweise eine direkte Einbindung des Solarsystems in die Schwimmbadhydraulik. Darunter versteht man, dass mittels zweiter Pumpe direkt aus dem Primärkreis des Solarsystems Solarwärme zur Beckenwassererwärmung entnommen wird. Zur Systemtrennung (Glykolkreis auf Schwimmbadwasser) werden entweder Plattenwärmetauscher oder Rohrbündelwärmetauscher verwendet.

Hinsichtlich der Regelung bleibt zu beachten, dass ein entsprechendes Volumen zur Erwärmung des Brauchwassers vorrangig im Energiespeicher aufgeheizt wird und erst danach die Freigabe für die Schwimmbaderwärmung erfolgt.

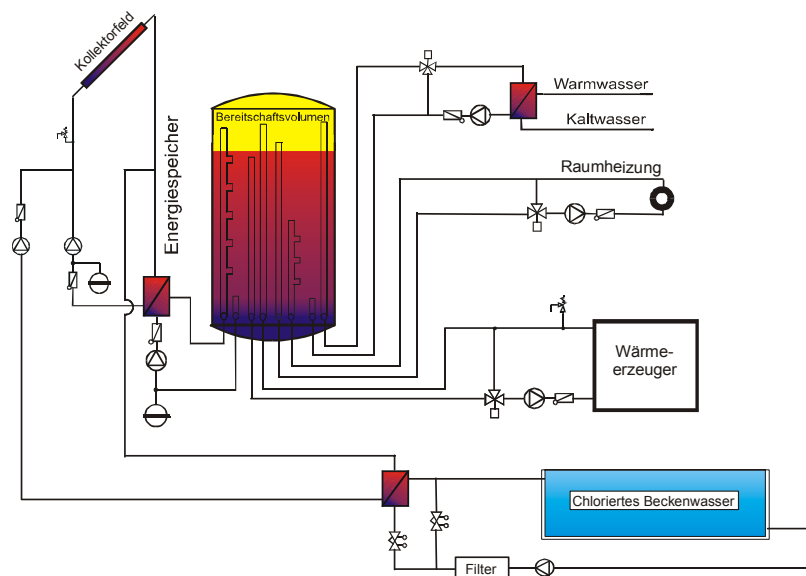


Abbildung 20: Direkte Einbindung eines Freischwimbeckens in den Solarkreislauf.

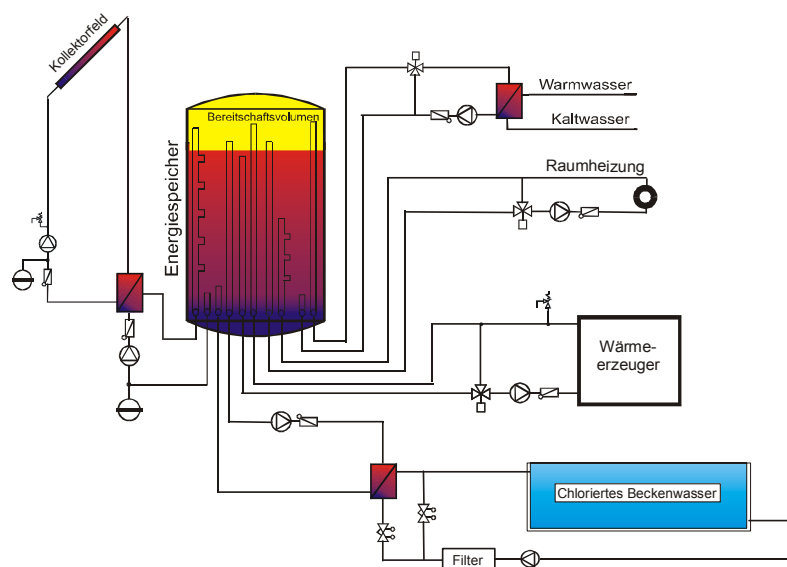


Abbildung 21: Indirekte solare Erwärmung eines Freischwimbeckens aus dem Energiespeicher

Eine weitere Einbindungsmöglichkeit zeigt das Blockschaltbild in Abb. 21. Sämtliche Wärmeströme erfolgen in diesem Fall über den Energiespeicher. Das hat den Nachteil, dass zwischen Solarsystem und Schwimmbaden zwei Wärmetauscher (und somit zwei Wärmetauschergrädigkeiten) liegen, und damit den

Kollektorwirkungsgrad im Ausmaß der Grädigkeiten reduziert. Auf der anderen Seite würde dieses Hydraulikkonzept aber ermöglichen, bei nicht vorhandener Solarwärme auch mit dem konventionellen Wärmeerzeuger das Freischwimmbaden zu erwärmen.

4. Dimensionierung von Kombianlagen

Dimensionierungsrichtlinien für solare Heizungsanlagen können nicht so klar wie die Dimensionierung für Brauchwasserbereitungssysteme formuliert werden. Die Vielfalt der Randbedingungen erlaubt allgemeine Empfehlungen, die Entscheidung über den solaren Deckungsgrad, mit dem auch der finanzielle Einsatz zur Anlagenerrichtung einhergeht, obliegt letztendlich aber dem Bauherrn.

Das Bestreben muss es sein, Solaranlagen in Hinsicht auf eine künftig gesicherte Energieversorgung bei niedrigen Energiekosten und auf ein hohes CO₂-Einsparpotenzial auszulegen und nicht auf möglichst wirtschaftliche hohe spezifische Kollektorjahreserträge zu dimensionieren (Eder et al., 1997).

Damit der Planer den solaren Deckungsgrad prognostizieren und in einen technisch möglichst effektiven Bereich legen kann, werden in diesem Kapitel einige Diagramme dazu gezeigt. Diese Diagramme wurden mit dem an der TU Graz entwickelten Simulationsprogramm SHWin (Streicher et al. 1999) berechnet.

Ausgangspunkt der Simulationsrechnungen war ein Basishaus (Eckdaten siehe Tab. 1), an dem verschiedene Parametervariationen durchgeführt wurden.

Tabelle 1: Übersicht über die wichtigsten Eckdaten des Referenzgebäudes (Basis für die Erstellung nachfolgender Dimensionierungsdiagramme).

Gebäude	
Standort	Graz
Heizlast	8 kW
Heizgrenztemperatur	12 °C
Heizungsauslegungstemperatur	40/30 °C
Brauchwasserbedarf	
Menge	200 l/Tag bei 45 °C
Anlagenhydraulik	
2-Speicher System	
Solarsystem	
Kollektorfläche	30 m ² Flachkollektor
Ausrichtung	Süd
Neigung	45°
Warmwasserspeicher	
Volumen	500 Liter
Heizungsspeicher	
Volumen	2.000 Liter
Dämmstärke	15 cm (Lambda = 0,05)

Dimensionierung der Kollektorfläche und des Energiespeichervolumens

Einleitend wird in Abb. 22 ein Diagramm gezeigt, das für das Referenzhaus den Verlauf des solaren Deckungsgrades mit dem Parameter Kollektorfläche über verschiedenen Energiespeichergrößen zeigt.

Signifikant ist der Deckungsgradanstieg im Bereich kleiner Speichervolumina. Nachdem die Kosten für den Speicher mit steigendem Volumen mitwachsen, wird deutlich, dass für das Einfamilienhaus der finanzielle Einsatz für Speicher über 4 m³ Inhalt in einem schlechten Verhältnis zur erreichten Deckungsgradverbesserung steht. Dasselbe gilt auch für die Kollektorfläche. Man erkennt das an den kleiner werdenden Deckungsgradverbesserungen mit zunehmender Kollektorfläche. Die Abstände zwischen den Kurven konstanter Kollektorfläche werden kleiner.

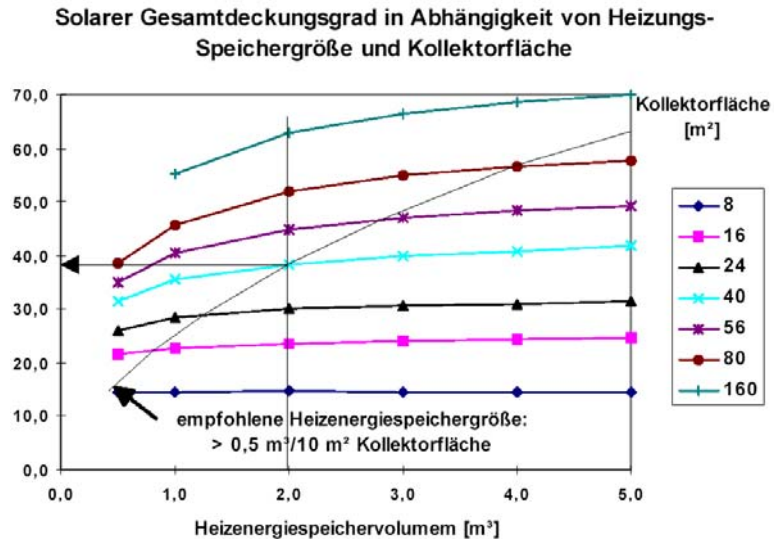


Abbildung 22: Solarer Gesamtdeckungsgrad in Abhängigkeit von Energiespeichervolumen und Kollektorgröße mit empfohlenem Dimensionierungsbereich.

Anhand dieser Überlegungen wird auch verständlich, worauf die Strategie der „Heizungsunterstützung“ abzielt. Die Schwankungen von Solarenergieangebot und -bedarf werden im Energiespeicher im Zeitraum von einigen Tagen ausgeglichen, solare Vollversorgung wird nicht angestrebt.

Bei solarer Vollversorgung wird die eingebrachte Energie über wesentlich längere Zeiträume gespeichert und braucht wesentlich größere Speicher. In Österreich wurde ein Einfamilienhaus mit vollsolarer Wärmeversorgung 1996 realisiert. Der gesamte Wärmebedarf für Brauchwasser und Raumwärme (Gesamtheizlast von rund 4,5 kW) wird von einem Solarsystem mit einer Bruttokollektorfläche von 85 m² und einem Energiespeichervolumen von 75 m³ gedeckt (Abb. 23).

Vollsolar versorgte Gebäude zeigen eindrucksvoll die Leistungsfähigkeit von Solarsystemen. Unschwer ist aber an den Eckdaten zu erkennen, dass die finanziellen Aufwände für 100 % solare Deckung sehr hoch sind. Aus wirtschaftlicher Sicht wesentlich interessanter zeigt sich hierbei die Strategie der „Heizungsunterstützung“.

Da das Diagramm in Abb. 22 nur für ein Haus mit der Heizlast von 8 kW gilt, wurde für allgemeine Betrachtungen ein spezifisches Nomogramm, dessen Abszisse und Kollektorflächen auf die Heizlast des Hauses bezogen sind, erstellt. In der Abb. 24 ist dieses Nomogramm zu sehen. Um von diesem Nomogramm ablesen zu können, müssen immer die Quotienten der Speichervolumina und Kollektorflächen zur Heizlast des Hauses gebildet werden.



Abbildung 23: Ansicht eines vollsolar versorgten Einfamilienhauses mit 85 m² Bruttokollektorfläche auf der Laßnitzhöhe, Steiermark (links). Versetzen des 75 m³ fassenden Energiespeichers per Kran (rechts)

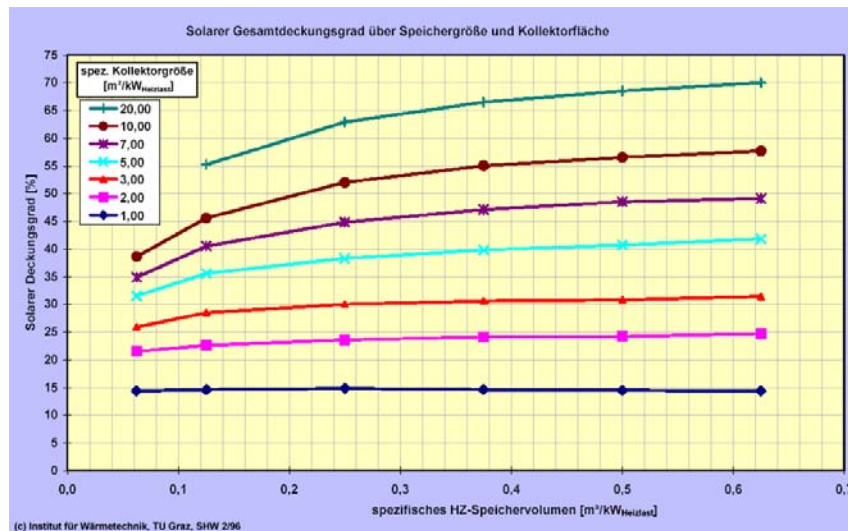


Abbildung 24: Solarer Gesamtdeckungsgrad in Abhängigkeit des Energiespeichervolumen und der Kollektorfläche

Mit Hilfe dieses Dimensionierungsnomogramms kann rasch ein Ergebnis abgelesen werden. Soll ein gewisser solarer Deckungsgrad erreicht werden muss wie folgt vorgegangen werden:

Der gewünschte solare Deckungsgrad ist auf der y-Achse abzulesen. In dieser Höhe legt man eine Horizontale und erhält einen oder mehrere Schnittpunkte der Horizontalen mit den Systemkurven.



Abbildung 25: Fassadenintegration von thermischen Solaranlagen gewinnt vor allem bei solaren Kombianlagen immer mehr an Bedeutung. (Bildquelle: SIKO Energiesysteme Ges.m.b.H&Co.Kg, Jenbach/Tirol)

Je nach Systemkurve multipliziert man die zuvor schon ermittelte Heizlast mit der Zahl der Systemkurve (Nomogramm - Legende) und erhält somit die benötigte Kollektorfläche. Ähnlich geht man bei der Ermittlung des Energiespeichervolumens vor. Durch den zuvor ermittelten Schnittpunkt wird eine Vertikale gelegt. Der Wert der auf der x-Achse abgelesen werden kann wird nun mit der Gebäudeheizlast multipliziert. Der daraus resultierende Wert ergibt das nötige Energiespeichervolumen. Grundsätzlich soll das Volumen des Energiespeichers nicht kleiner als 50 l pro m² Bruttokollektorfläche dimensioniert werden.

Kommt zur Bereitstellung der Komplementärenergie beispielsweise ein Holz - Stückgutkessel zum Einsatz, so ist zur Gewährleistung eines einwandfreien, emissionsarmen Abbrandes und aus Gründen des Komfortgewinnes, das von der Solaranlage her erforderliche Speichervolumen so zu vergrößern, dass die Energiemenge, die beim Abbrand einer Kesselfüllung freigesetzt wird, gespeichert werden kann.

Wird als Zusatzheizsystem ein gut leistungsgeregelter Kessel, z.B. ein Gas- Brennwertgerät verwendet, so ist dafür kein zusätzliches Energiespeichervolumen erforderlich.