

Thermische Solaranlagen, Auslegung und Ertrag

U. Frei
SPF

Institut für Solartechnik Prüfung Forschung
Hochschule Rapperswil HSR
8640 Rapperswil

1. Einführung, Ziel und Zweck

Der Markt der thermischen Solaranlagen wächst kontinuierlich. In Oesterreich, Deutschland und der Schweiz wurden im Jahr 1997 insgesamt 0.5 Millionen Quadratmeter thermische Sonnenkollektoren für die Brauchwassererwärmung, Heizungsunterstützung und Erwärmung von Schwimmbädern installiert. Mit typischen Gesamtanlagekosten von CHF 2000.00 pro Quadratmeter Kollektorfläche ist das Marktvolumen erstmals auf über eine Milliarde CHF angestiegen.

Die thermische Sonnenenergie verliert mehr und mehr ihr Nischendasein und wird zu einem wirtschaftlich erwähnenswerten Faktor.

Die zunehmende Bedeutung und Akzeptanz der thermischen Solartechnik zeichnet sich auch an einer Reihe von anderen Indikatoren ab:

- Die Erträge von Solaranlagen werden in der schweizerischen Gesamtenergiestatistik dargestellt
- Die grossen, teilweise multinationalen Energiekonzerne erkennen die thermische Solartechnik als lohnenswerten Markt und steigen mit eigenen Produkten aktiv ins Geschehen ein. In Deutschland sind Betriebe wie Buderus, Viessmann oder Vaillant im Markt präsent.
- Die Nachfrage nach Schulungskursen auf allen Ebenen nimmt zu (Planer bis Installateur).
- An jeder bedeutenden Messe im Bereich der Heizungs- oder Sanitärtechnik sind eine Reihe von Firmen der thermischen Sonnenenergiebranche vertreten.

Innovative Anlagekonzepte haben insbesondere im Bereich der solaren Brauchwassererwärmung das Preis-Leistungsverhältnis deutlich verbessert und damit dem Markt neue Impulse gegeben. Die Stichworte dazu sind: Low-Flow- bzw. Matched-Flow-Technik^{/1/}. Das Ziel dieser Anlagen ist es, mit reduziertem beziehungsweise angepasstem Durchsatz im Kollektorkreislauf und einem der Nutzung angepassten, geschichtet beladenen Speicher die notwendige Nachheizenergie mittels konventioneller Energie zu minimieren. Diese Entwicklung und deren Einfluss auf den Ertrag wird im Kapitel solare Brauchwassererwärmung beispielhaft vorgestellt.

Ein weiterer zukunftsorientierter Ansatz wird mit „GSR“: ‘Guaranteed Solar Results’ bezeichnet. Dabei wird bereits bei der Anlagenplanung der zukünftige Ertrag der Anlage berechnet und dem Kunden garantiert. Ein Vertrag zwischen Anlagen-Ersteller und Kunde regelt die Modalitäten im Falle eines Minder- oder Mehrertrags^{/2/}. Die Bedeutung einer seriösen Ertragsabschätzung mittels eines Simulationspro-

gramms steht im Zentrum der „GSR-Idee“. Nachfolgend werden die Einsatzmöglichkeiten von Polysun^{3/}, dem schweizerischen Programm zur Simulation thermischer Solaranlagen kurz vorgestellt. Die meisten Berechnungen im vorliegenden Artikel wurden mittels Polysun 2.0 durchgeführt. Die eingesetzten Module innerhalb Polysun sind mit einer Ausnahme validiert. Die Ausnahme bildet die komplexe Anwendung der kombinierten Anlage zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung. Es stehen, entgegen der allgemeinen Erwartung, keine qualitativ guten Messdaten von Standardanlagen zur Validierung zur Verfügung.

Die nachfolgenden Diskussionen von Anlagen haben zum Ziel, den Einfluss von Randbedingungen (Verbrauch, Klima) sowie des Anlagentyps auf den Ertrag einer Anlage aufzuzeigen. Der Leser soll beispielsweise erkennen, in welchen Fällen tendenziell eine einfache Brauchwasseranlage einer kombinierten Anlage zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung überlegen ist bzw. in welcher Größenordnung die Differenzen der zu erwarteten Erträge zu liegen kommt. Zusätzlich sollen die sinnvollen Einsatzmöglichkeiten einfacher Simulationsprogramme wie beispielsweise Polysun 2.0 angeregt werden. Das Potential zur Einsparung unnötiger oder übertriebener Investitionen, im Verhältnis zum Anlagenertrag, ist gross.

2. Solare Wärme im Einfamilienhaus

2.1 Solare Brauchwassererwärmung

Die solare Brauchwassererwärmung ist eine weltweit verbreitete Form der thermischen Sonnenenergienutzung. Die Gründe sind vielfältig und von regionalen Faktoren abhängig. In Mitteleuropa sind es der von der Jahreszeit beinahe unabhängige Bedarf, sowie die für die Vorwärmung tiefe Nutztemperatur. Die erzielbaren Wärmekosten für die solar erzeugte Energie, im Idealfall vergleichbar mit Wärmekosten konventioneller Energieträger, sind sicher ebenfalls mit ein Grund für die zunehmende Verbreitung.

Bei den Anlagen für das Einfamilienhaus konnten in den letzten 3 Jahren bemerkenswerte Fortschritte erzielt werden. Einerseits stieg die Leistungsfähigkeit dank effizienter Komponenten und innovativer Betriebsstrategien deutlich, und andererseits sind die Preise für komplette, installierte Anlagen um ca. 20 – 30% gefallen. Die Gründe dafür sind knappere, den Bedürfnissen besser angepasste Dimensionierung, einfachere Montage und nicht zuletzt reduzierte Material- und Herstellkosten durch höhere Stückzahlen.

In diesem Zusammenhang hat sich in der Schweiz der Begriff „Kompaktanlage“ etabliert. Er steht für Anlagen deren Komponenten vom selben Lieferanten stammen d.h. vom Speicher über den Kollektor bis zur letzten Schraube. Der Vorteil solcher „Kit's“ ist die Möglichkeit die einzelnen Komponenten aufeinander abzustimmen und so Ertrag und Kosten der Anlage zu optimieren. Nicht zuletzt sind diese Anlagen zertifizierbar, das heisst ihre Leistungsfähigkeit kann im Labor überprüft werden. Die SPF hat hohe Anforderungen an solche Systeme formuliert. Zur Zeit sind bereits 12 Systeme zertifiziert. Der Risiko des Kunden wird auf diese Weise reduziert.

Die Idee der Kit's ist natürlich nicht auf solare Brauchwasseranlagen für das Einfamilienhaus beschränkt. Es ist gut denkbar, ähnliche Verfahren für Brauchwasservorwärmanlagen oder für kombinierte Anlagen zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung anzuwenden.

Am Beispiel einer schrittweisen Systemoptimierung soll der Weg von der traditionellen zur modernen Brauchwasseranlage aufgezeigt werden.

2.2 Der Weg von der traditionellen Anlage zur optimierten Kompaktanlage

Der Ausgangspunkt bildet ein traditionelles System mit 4.5 m^2 Absorberfläche und einem Speicherinhalt von 400 l . Die Wärmetauscherfläche beträgt 1.8 m^2 Rippenrohr. Die Höhe des Tauschers im unteren Teil des Speichers beträgt ca. 50 cm . Die Leitungen sind konventionell in Kupfer (Cu 12/10) ausgeführt. Die Wärmedämmung der Leitungen beträgt 19 mm . Das System repräsentiert den Stand der Technik von 1990 und arbeitet einwandfrei. Die Anlage dient seit Beginn der Systemuntersuchungen am SPF als Referenz. Seine Eigenschaften sind damit hinlänglich bekannt.

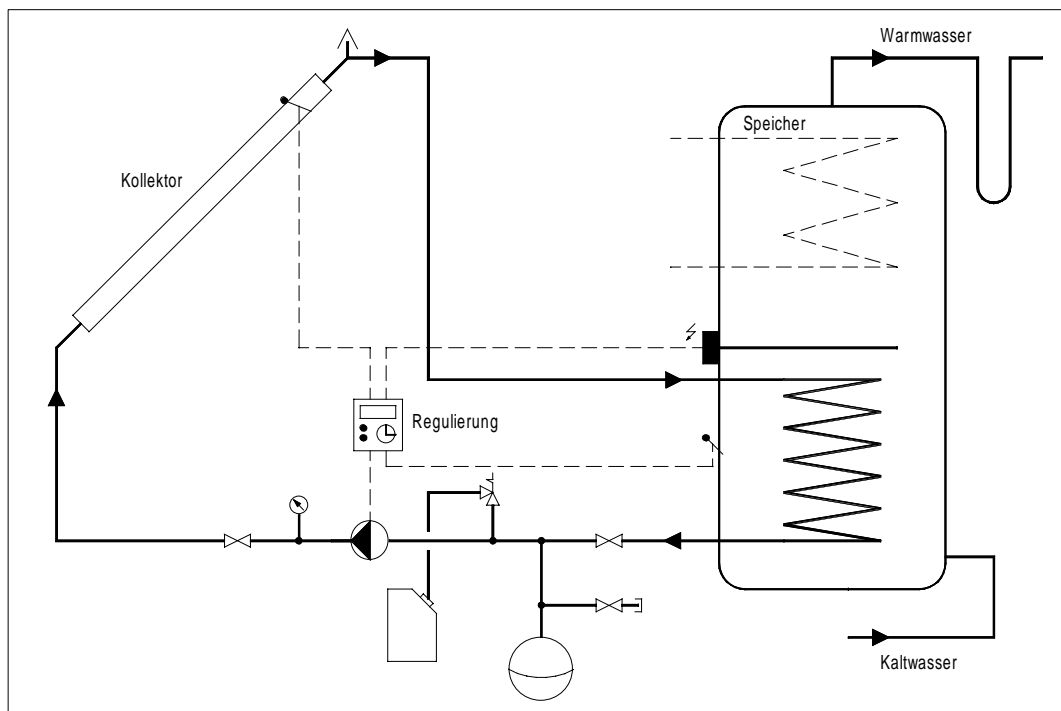


Abb. 1 Traditionelles System zur Brauchwassererwärmung

Die Optimierung der thermischen Leistungsfähigkeit soll in 5 Zwischenschritten demonstriert werden. Ziel der Demonstration ist es, den Einfluss jedes einzelnen Verbesserungsschritts darzulegen. Häufig wird der Effekt eines einzelnen Parameters überschätzt. Ist eine Anlage leistungsfähig, wie beispielsweise das Endprodukt der demonstrierten Optimierung, ist dies immer ein Resultat von vielen Einzelschritten.

Die Optimierungsschritte sind (*Bezeichnung der einzelnen Schritte in den Diagrammen 3 - 6*):

- (*WT*) Verbesserung des Wärmetauschers
- (*low-flow*) Low-flow Betrieb mit zweitem Wärmetauscher oben und entsprechender Regulierung.
- (*Leitung*) Einsatz einer integrierten Leitung (Typ: Flextube) d.h. minimale Rohrdurchmesser, Vor- und Rücklaufleitung mit einer einzelnen Wärmedämmung ausgeführt. Die Leitungslänge ist : 13 m Vorlauf, 13 m Rücklauf.
- (*Kollektoren*) Anpassung der Kollektoren für den Low-flow Betrieb mit leicht verbesserten Kennwerten, gleichzeitig Reduktion der Fläche von 4.5 m² auf 4.1 m².
- (*Speicher*) Austausch des Speichers aus beschichtetem Stahl (Inhalt 400 l) mit einem Edelstahlspeicher (reduzierte laterale Wärmeleitfähigkeit) mit leicht verbesserter Wärmedämmung.

Die Berechnungen erfolgen mit Hilfe des Simulationsprogramms TRNSYS^{/4/}. Die Anlage im Ausgangszustand und das Endprodukt der Optimierung basieren auf Messresultaten, die im Rahmen der Aktion Wettbewerb des Programms Energie 2000 des Bundes erarbeitet wurden.

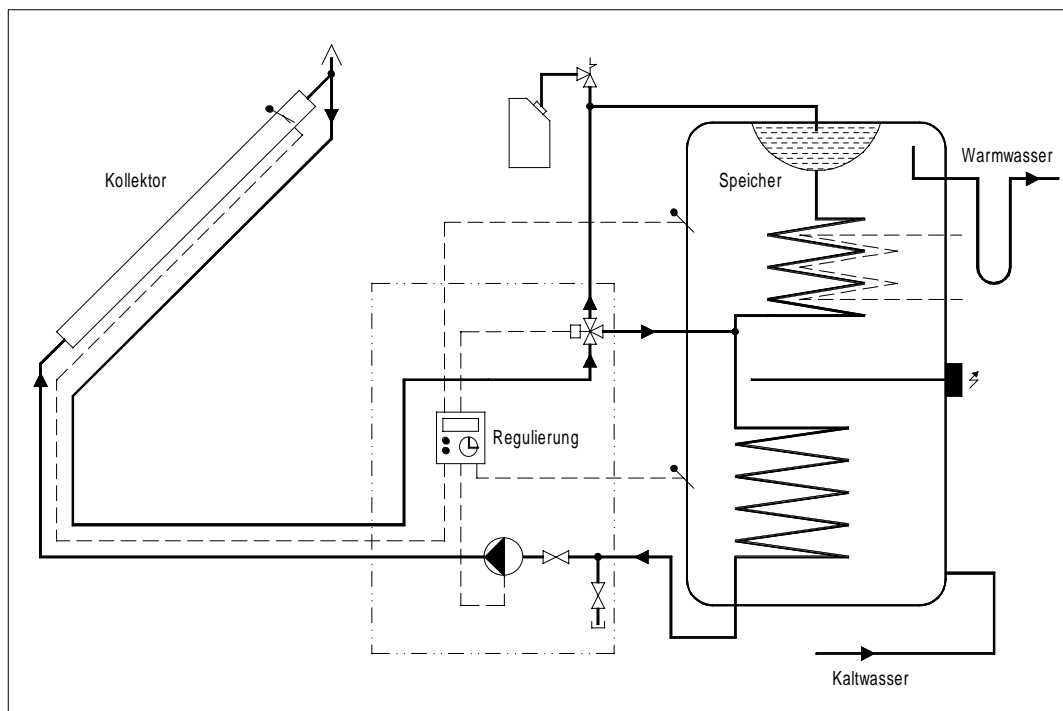


Abb. 2 Optimierte Kompaktanlage für die Brauchwassererwärmung

Zusammenstellung der Randbedingungen:

- Zusatzheizung mittels Kessel (Freigabe Betrieb: 05:00 bis 06:00 und 16:00 bis 17:00), Kesselleistung 15 kW
- Zapftemperatur 50°C, Zapfprofil: 8 Entnahmen, verteilt von 07:00 bis 22:00

Entnahmezeit	Anteil Entnahmeenergie	Entnahmezeit	Anteil Entnahmeenergie
07:00	15 %	16:00	12.5 %
08:00	15 %	18:00	12.5 %
11:00	10 %	20:00	12.5 %
13:00	10 %	22:00	12.5 %

- Standort der Anlagen: Rapperswil
- Orientierung: Süd, Anstellwinkel: 45°
- Leitungslänge: 13 m Vorlauf, 13 m Rücklauf
- Umgebungstemperatur Speicher: 18°C
- Energieaufnahme Pumpe 50 W (50% davon werden als Wärmeeintrag berücksichtigt)
- Für die Beurteilung der Energieeinsparung durch das thermische Solarsystem wird zum Vergleich ein konventioneller Speicherwassererwärmer herangezogen (Beheizung mittels Kessel analog Solarsysteme):

Tägliche Bereitschaft	Warmwasserbedarf pro Tag	Jährlicher Wärmebedarf Q_{KONV}
10 kWh / 215 l	10 kWh / 215 l	4074 kWh
10 kWh / 215 l	5 kWh / 107.5 l	2354 kWh

Überblick Leistungswerte:

Anlage	Bereitschaft kWh / Tag	Bezug kWh / Tag	Q_{SS} kWh/Jahr	F _{ss} -
Traditionelles System	10	10	2211	0.54
Optimiertes Kompaktsystem	10	10	2431	0.60
Traditionelles System	10	5	1581	0.67
Optimiertes Kompaktsystem	10	5	1735	0.74

Legende:

Grösse / Bezeichnung	Definition / Symbol	Einheit
Zusatzenergie Heizung	Q_Z	kWh
Hilfsenergie (Pumpe und Steuerung)	Q_H	kWh
Summe Energieverbrauch Solarsystem	$Q_{NS} = Q_Z + Q_H$	kWh
Warmwasserentnahme	Q_{WW}	kWh
Wärmeverluste des konventionellen Systems	Q_{VV}	kWh
Energiebedarf des konventionellen Systems	$Q_{KONV} = Q_{VV} + Q_{WW}$	kWh
Solare Einsparung	$Q_{SS} = Q_{KONV} - Q_{NS}$	kWh
Deckungsanteil des thermischen Solarsystems	$F_{ss} = Q_{SS} / Q_{KONV}$	kWh

Einfluss der Optimierungsschritte:

In der nachfolgenden Abbildung wird als erstes der Einfluss der Optimierungsschritte bei einer täglichen Entnahme von 10 kWh diskutiert. Dieser Verbrauch entspricht einer Menge von 215 l erwärmt von 10 auf 50°C und ist typisch für eine Familie mit 4 bis 6 Personen.

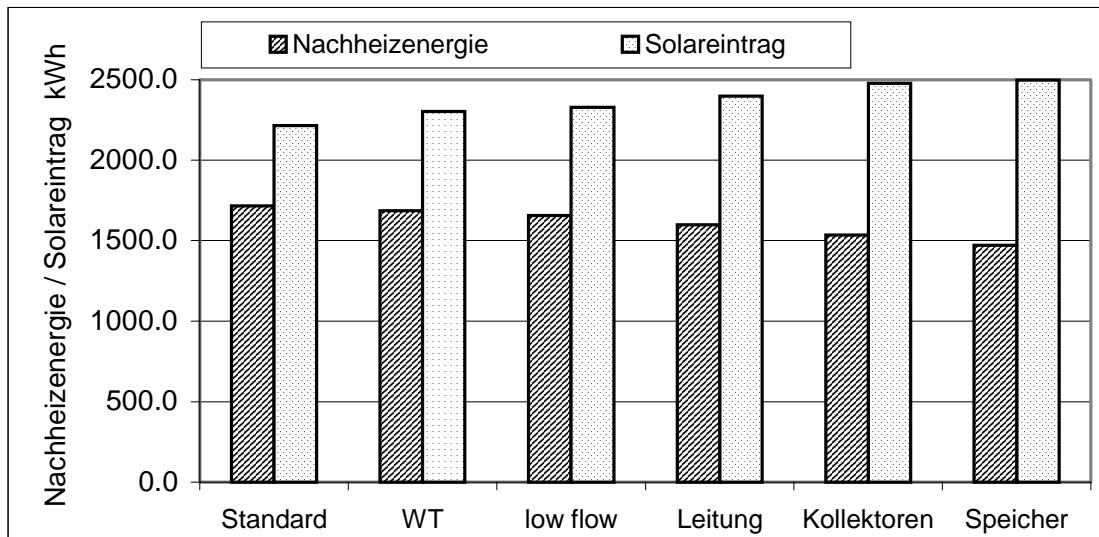


Abb. 3 Der Einfluss der einzelnen Schritte auf den Energiebedarf für die Summe aus Zusatzenergie plus Hilfsenergie sowie auf den Solareintrag (Wärmeübergabe an den Speicher) sind dargestellt. Tägliche Entnahme: 10 kWh / 50°C.

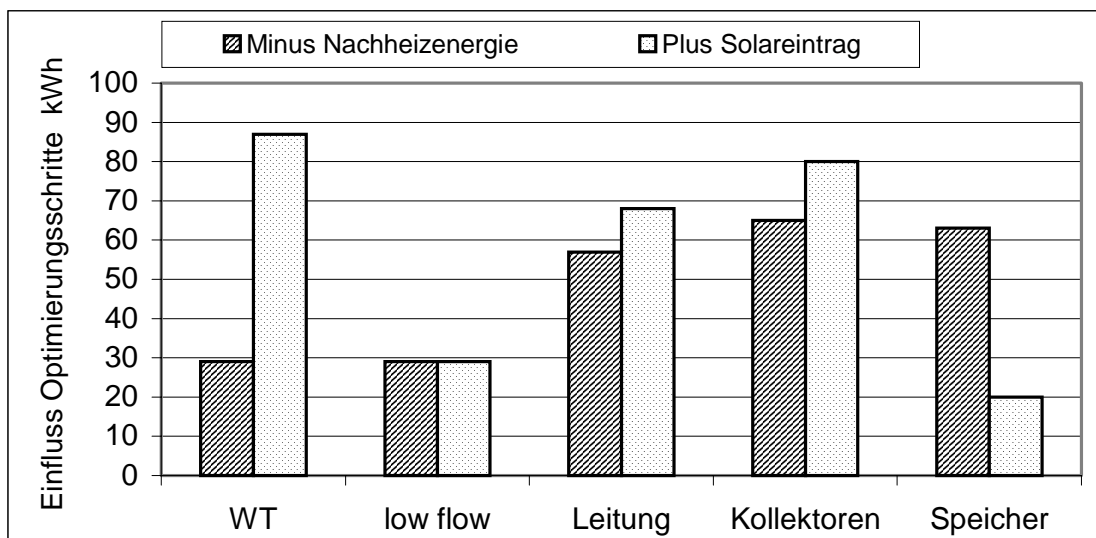


Abb. 4 Erhöhung des jährlichen Solareintrags und Reduktion der jährlichen Nachheizenergie durch die Optimierungsschritte. Tägliche Entnahme: 10 kWh / 50°C.

Abbildung 4 zeigt deutlich welche Massnahmen zur Reduktion der Nachheizenergie beitragen und wie das Verhältnis zwischen Erhöhung des Solareintrags zur Reduktion der Nachheizenergie ausfällt. Die Verbesserung des Wärmetauscher erhöht im

wesentlichen die Speicherverluste entsprechend den Berechnungen um 57 kWh jährlich. Die Verbesserung durch den zweiten Wärmetauscher im oberen Bereich und die Umstellung auf einen tieferen Durchfluss im Kollektorkreis führt zu gleichen Teilen zu erhöhtem Solareintrag und reduziertem Nachheizenergiebedarf. Der Austausch der Leitung d.h. Einsatz einer integrierten Verrohrung mit reduzierten, für low-flow angepassten Rohrdimensionen führt zu einer deutlichen Abnahme des Nachheizenergiebedarfs. In der selben Grössenordnung liegt die Anpassung des Kollektors auf die low-flow Bedingungen obschon die Fläche von 4.4 auf 4.1 m² reduziert wurde. Der letzte Schritt ist der Austausch des Speichers. Anstelle des beschichteten Normalstahlbehälters mit 400 l Inhalt, wird ein Edelstahlbehälter mit 450 l eingesetzt. Der Vorteil des Behälters ist die stark reduzierte vertikale Leitfähigkeit, die einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Erhaltung der Schichtung ausübt. Eine geringfügig bessere Wärmedämmung führt zu einer Reduktion des Verlustfaktors in der Grössenordnung von 10 %.

Täglicher Energiebezug 5 kWh (107.5 l erwärmt von 10 auf 50°C) bei einer Bereitschaft von 10 kWh

Häufig wird aus einer Anlage nicht die gesamte tägliche Warmwassermenge von 215 l bezogen sondern nur ein Teil davon beispielsweise die Hälfte. Damit verändert sich das Verhalten der Anlage. Die vorgängig dargestellte Optimierung wird für diese Randbedingungen noch einmal ausgeführt und nachfolgend dargestellt.

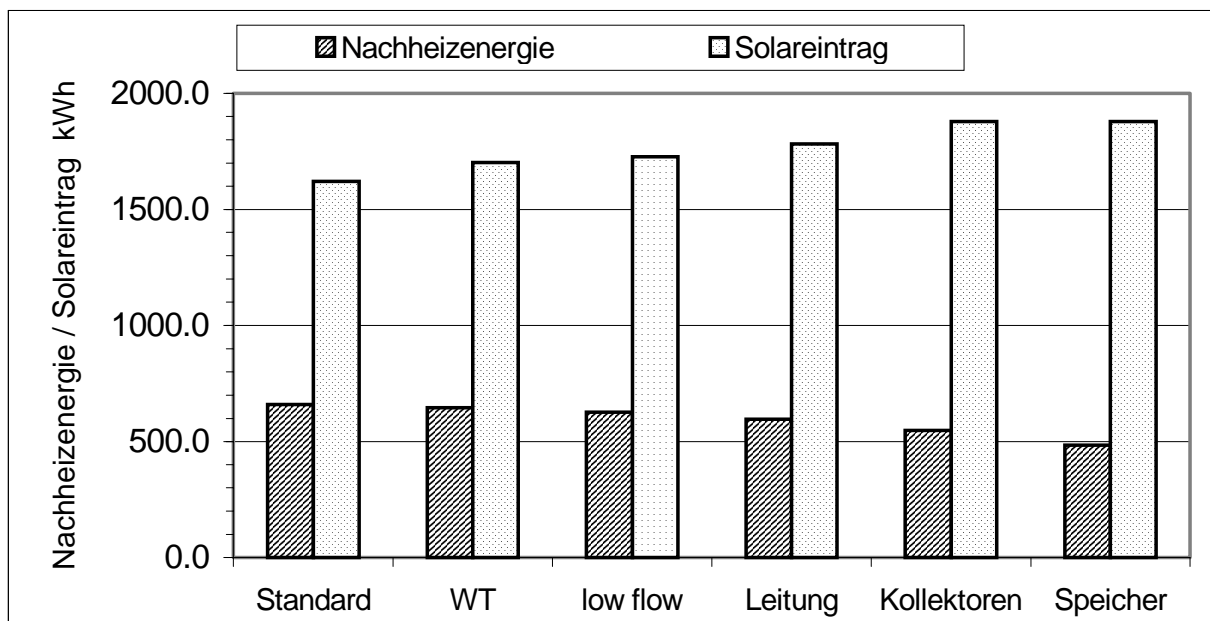


Abb. 5 Der Einfluss der einzelnen Schritte auf den Nachheizenergiebedarf (ohne Berücksichtigung der Energie für die Pumpe) sowie auf den Solareintrag (Wärmeübergabe an den Speicher) sind dargestellt. Tägliche Entnahme: 5 kWh / 50°C, tägliche Bereitschaft 10 kWh / 50°C

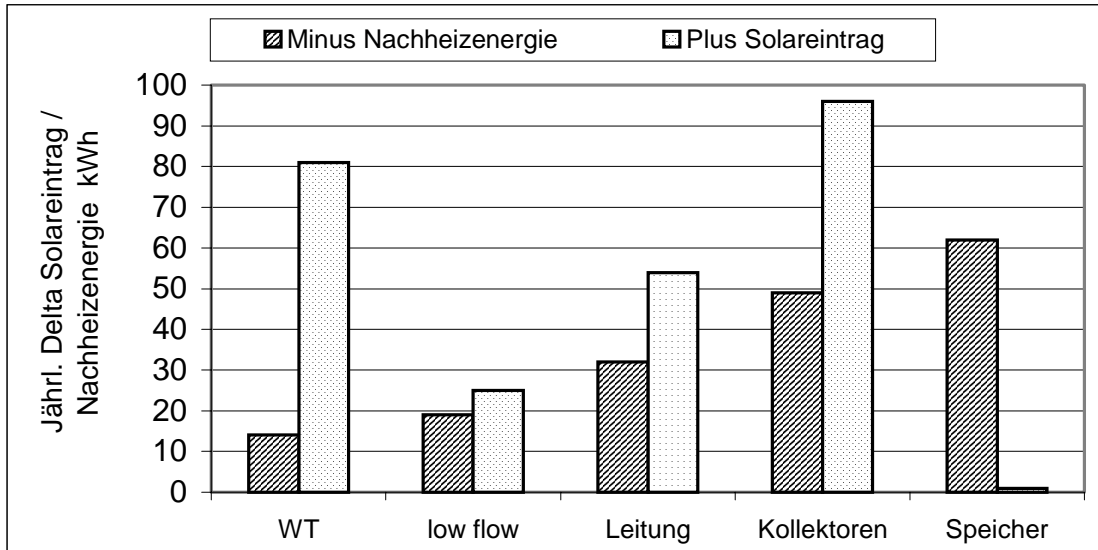


Abb. 6 Erhöhung des jährlichen Solareintrags und Reduktion der jährlichen Nachheizenergie durch die Optimierungsschritte. Tägliche Entnahme: 5 kWh / 50°C, tägliche Bereitschaft 10 kWh / 50°C

Grundsätzlich sind die Resultate ähnlich wie in Abbildung 4, dargestellt für einen täglichen Warmwasserbezug von 215 l anstelle von 107.5 l. Die Verbesserung des Wärmetauschers erhöht die Speicherverluste noch deutlicher. Die Reduktion der Nachheizenergie ist gering. Unter Berücksichtigung der zusätzlich notwendigen elektrischen Energie für die Umwälzpumpe wäre der Effekt sogar negativ. Die Low-flow Umstellung hat einen kleineren positiven Einfluss. Je mehr sich der Deckungsanteil der Volldeckung nähert, desto weniger ausgeprägt ist der positive Einfluss des Low-flow Betriebs.

Der Austausch der Leitung d.h. Einsatz einer integrierten Verrohrung führt zu einer weniger ausgeprägten Reduktion des Nachheizenergiebedarfs als bei hohem Bedarf. Davon ist die Anpassung des Kollektors auf low-flow Betrieb weniger betroffen. Der Speicheraustausch d.h. anstelle des beschichteten Normalstahlbehälters mit 400 l Inhalt ein Edelstahlbehälter mit 450l, bringt ausgeprägte Einsparungen an Nachheizenergie ohne den Solaretrag zu erhöhen. Es zeigt sich deutlich, dass die Optimierung des Behälters eine Schlüsselrolle für unterschiedliche Randbedingungen einnimmt.

2.2 Kombinierte Anlage zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Kombianlage) kontra reine Brauchwasseranlage im Einfamilienhaus

Je nach Wärmebedarf des Gebäudes ist der Anteil des Brauchwarmwassers gemessen an der gesamten im Haus verbrauchten thermischen Energie, nur gering. Deshalb ist das Interesse an kombinierten Anlagen zur Brauchwassererwärmung **und** Heizungsunterstützung gross. Leider sind in der Schweiz die meteorologischen Bedingungen an den meisten Standorten nicht ideal. Im Winterhalbjahr, wenn der Energiebedarf für die Heizung gross ist, steht wenig nutzbare Strahlung zur Verfügung. Im Mittelland sind dies lediglich 30 % der jährlichen Solarstrahlungssumme in eine südoreinterte 45° angestellte Fläche. Um einen signifikanten Anteil der Heizwärme zu decken wird die Kollektorfläche gross ($> 10 \text{ m}^2$). Dies wiederum bringt Probleme im Sommerhalbjahr wenn zu viel nicht nutzbare Wärme zur Verfügung steht. Dann müssen Vorkehrungen getroffen werden um den Speicher nicht zu überhitzen. Trotzdem hat eine heizungsunterstützende Anlage eine Reihe von interessanten Gesichtspunkten, die für sie spricht:

- Volldeckung und Überfluss an Warmwasser im Sommerhalbjahr
- Gute Kombination mit Holzkessel
- Möglichkeit mehr konventionelle Energie einzusparen als mit einer reinen Brauchwasseranlage

Was spricht eher gegen eine heizungsunterstützende Anlage:

- Die solare Wärme ist teurer als bei einer reinen Brauchwasseranlage.
- Der Platzbedarf für Kollektoren und Speicher ist grösser.
- Als Retrofit-Anlage häufig mit Problemen für die Speichereinbringung oder der optisch akzeptablen Integration der Kollektoren verbunden.

Ziele der nachfolgenden Ausführungen:

- Was erreiche ich mit einer Kombianlage im Vergleich zu einer reinen Brauchwasseranlage im Verhältnis zum gesamten Wärmeenergiebedarf des Gebäudes und bezogen auf die installierte Kollektorfläche?
- Wie gross ist der Einfluss des Gebäudestandards (konventionelles Gebäude / Niedrigenergiehaus) auf den Einsatz einer Kombianlage?
- Macht eine Kombianlage im Niedrigenergiehaus Sinn? Was ist der Einfluss des Klimas?

Die Klärung dieser Fragen ist mit Hilfe eines Simulationsprogramms möglich. Das Programm Polysun 2.0 enthält alle notwendigen Berechnungsmöglichkeiten. Dank der einfachen und übersichtlichen Benutzeroberfläche ist die Anwendung auch für den wenig geübten Planer oder interessierten Installateur problemlos möglich.

Die benutzen Anlagentypen sind:

- Die Brauchwassererwärmung mit einem Speicher und eingebautem Wärmetauscher.

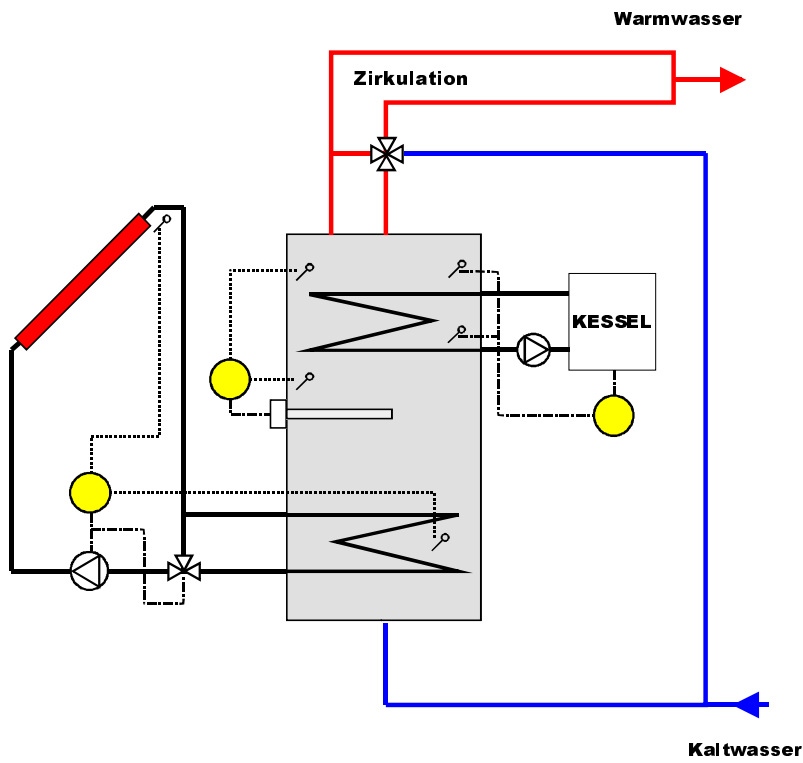


Abb. 7 Einspeicheranlage in Polysun

- Heizungsunterstützende Anlage mit Tank in Tank Speicher und eingebautem Wärmetauscher.

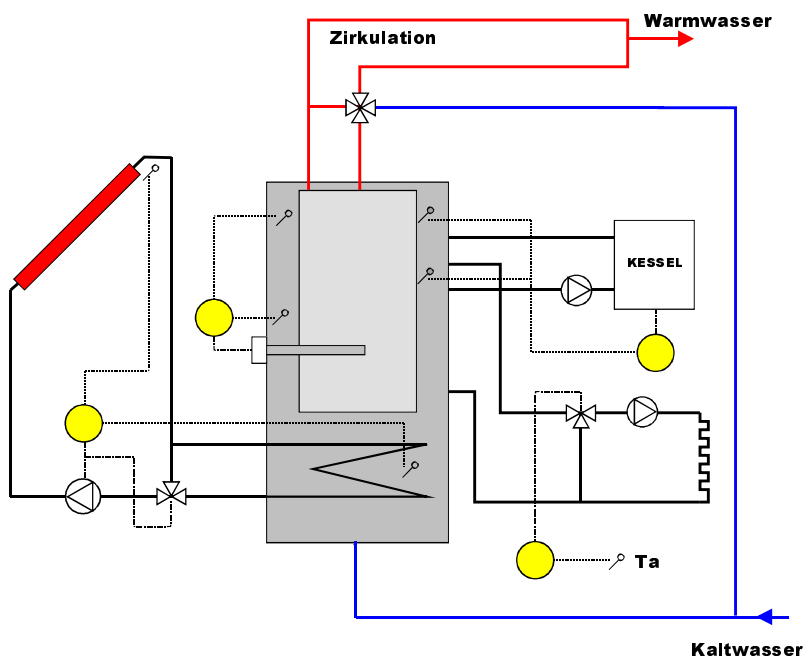


Abb. 8 Heizungsunterstützende Anlage Tank in Tank in Polysun

Konzept der Gegenüberstellung:

Ein wichtiges Ziel jeder thermischen Solaranlage ist die Substitution von möglichst viel konventioneller Energie. Die Fragestellung lautet daher: Mit wieviel Einsatz an Technik (Kollektorfläche, Anlagentyp- und Dimensionierung) kann wieviel konventionelle Energie eingespart werden?

Randbedingungen für alle nachfolgenden Berechnungen:

- Zusatzheizung mittels Kessel (Freigabe Betrieb: 05:00 bis 06:00 und 16:00 bis 17:00), Kesselleistung 15 kW
- Zapftemperatur 50°C, Zapfprofil: Tagesspitzen Morgens, Mittags und Abends.
- Standort der Anlagen: Rapperswil
- Orientierung: Süd, Anstellwinkel: 45°
- Umgebungstemperatur Speicher: 18°C
- Energieaufnahme Pumpe 50 W (50% davon werden als Wärmeeintrag berücksichtigt)
- Zur Beurteilung der Energieeinsparung durch das thermische Solarsystem wird zum Vergleich ein konventioneller Speicherwassererwärmer herangezogen (Beheizung mittels Kessel analog Solarsysteme):

Tägliche Bereitschaft	Warmwasserbedarf pro Tag	Jährlicher Wärmebedarf
10 kWh / 215 l	10 kWh / 215 l	4074 kWh
10 kWh / 215 l	5 kWh / 107.5 l	2354 kWh

Zum Vergleich werden die folgenden, häufig vorkommenden Konfigurationen herangezogen:

Konventionelles Einfamilienhaus, Altbau:

Beschreibung gemäss Häuserdatenbank Polysun 2.0:

Schwerer Bau, schlecht gedämmt, wenig passiv:

Aufbau Mauerwerk: Modulbackstein, Doppelschale mit Wärmedämmung im Zwischenraum

Wärmedämmung Mauerwerk: 0.05 m

Wärmedämmung Dach: 0.05 m

Wärmedämmung Boden: 0.03 m

Dicke Unterlagsboden: 0.06 m

Fensterfläche Süd: 9 m² Ost: 6.3 m² West: 5.6 m² Nord: 1.4 m²

K-Wert Fenster: 2.9 W/m²K

K-Wert Fensterrahmen: 1.4 W/m²

K-Wert Türe (Nordseite): 1.8 W/m²K

Luftwechsel: 0.6 1/h

Interne Wärmequellen: 400 W

Wärmekapazität: 77283 Wh/K

Zeitkonstante: 292 h

Heizleistungsbedarf: 10,0 kW, -8°C

Fussbodenheizung: max. Vorlauftemperatur 55°C bei -10°C Aussentemperatur

Niedrigenergiehaus

Beschreibung gemäss Häuserdatenbank Polysun 2.0:

Mittelschwerer Bau, gut gedämmt, mittel passiv	
Aufbau Mauerwerk: Modulbackstein, 1 Schale mit Aussenwärmedämmung	
Wärmedämmung Mauerwerk: 0.20 m	
Wärmedämmung Dach: 0.20 m	
Wärmedämmung Boden: 0.10 m	Dicke Unterlagsboden: 0.08 m
Fensterfläche Süd: 13.5 m ² Ost: 6.3 m ² West: 5.6 m ² Nord: 1.4 m ²	
K-Wert Fenster: 1.1 W/m ² K	K-Wert Fensterrahmen: 1.4 W/m ²
K-Wert Türe (Nordseite): 1.1 W/m ² K	
Luftwechsel: 0.6 1/h	
Interne Wärmequellen: 400 W	
Wärmekapazität: 65223 Wh/K	Zeitkonstante: 330 h
Heizleistungsbedarf: 5.8 kW, -8°C	
Fussbodenheizung: max. Vorlauftemperatur 40°C bei -10°C Aussentemperatur	

Beschreibung der Solaranlagen:

	Nur WW	WW / HZ – 10	WW / HZ – 20
Anlagentyp	1 Speicher	Tank in Tank	Tank in Tank
Kollektorfläche*	5 m ²	10 m ²	20 m ²
Speicherinhalt	400 l	1000 l	1500 l
Speicherdämmung	80 mm Mineralwolle	120 mm Mineralwolle	120 mm Mineralwolle
Speicheranschlussverluste	1.3 W/K	1.3 W/K	1.3 W/K
Bypass-Ventil Kollektorkreis	keines	keines	keines
Wärmetauscher	Glattrohr 1.8 m ²	Glattrohr 2.4 m ²	Glattrohr 3.6 m ²
Leitungen	10 m VL und RL innen, 5 m VL und RL aussen	10 m VL und RL innen, 5 m VL und RL aussen	10 m VL und RL innen, 5 m VL und RL aussen
Nacherwärmung	Nur Kessel 15 kW	Nur Kessel 15 kW	Nur Kessel 15 kW

* Durchschnittlicher Flachkollektor: $c_0 = 0.80$, $c_1 = 3.89 \text{ W/m}^2\text{K}$, $c_2 = 0.011 \text{ W/m}^2\text{K}^2$

Legende für die nachfolgenden Abbildungen:

Nur WW: Brauchwasseranlage, Heizung nur ab Kessel

WW/HZ: Kombinierte Anlage zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung

NEU: Niedrigenergiehaus

ALT: Altbau

5, 10, 20: Kollektorfläche in Quadratmeter

Überblick Resultate:

Fss: Deckungsanteil des thermischen Solaranteils im Verhältnis zu einem konventionellen Referenzsystem. Nicht berücksichtigt ist die Hilfsenergie für Pumpe und Steuerung.

	Nur WW NEU - 5	Nur WW ALT - 5	WW/HZ NEU - 10	WW/HZ NEU - 20	WW/HZ ALT - 10	WW/HZ ALT - 20
Kollektorfläche	5	5	10	20	10	20
Fss (Nur WW)	49.6	49.6	-	-	-	-
Fss (WW/HZ)	16.0	9.1	24.9	36.0	14.2	23.9

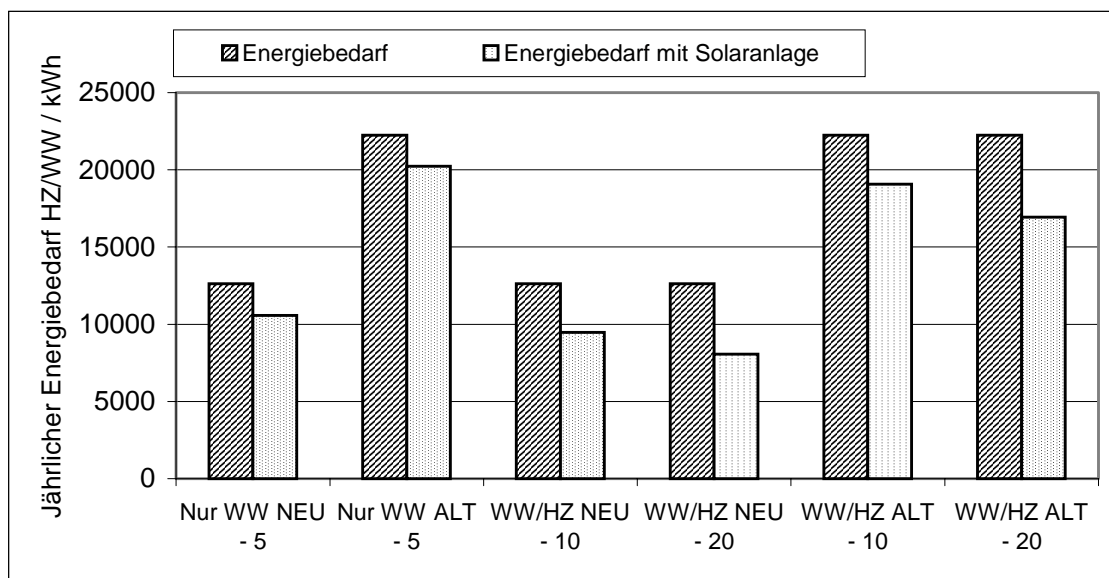


Abb. 9 Übersicht Energiebedarf der verschiedenen Varianten mit Standort Rapperswil (klimatisch typisches schweizerisches Mittelland)

Mit der Annahme, im Einfamilienhaus wohnen 4 Personen, beträgt der jährliche Anteil des Energiebedarfs für die Brauchwassererwärmung 32 % im Niedrigenergiehaus und 18 % im Altbau. Die solare Brauchwasseranlage kann davon nur einen Teil mit Sonnenenergie decken. Dagegen ist das Substitutionspotential in der kombinierten Anlage viel grösser. Im Niedrigenergiehaus deckt eine Anlage mit 20 m² Kollektorfläche 36 % des gesamten jährlichen Wärmebedarfs. Im Altbau, mit entsprechend mehr Wärmebedarf in der Übergangszeit, mit immer noch respektablem Angebot an Sonnenenergie, ist der Anteil zwar Prozentual kleiner (24 % bei der 20 m² – Anlage) aber der spezifische Ertrag deutlich grösser. In einem Altbau muss vor einer Investition in eine Kombianlage unbedingt die thermische Sanierung (Fenster mit tiefem Verlustfaktor, Fassadenwärmedämmung) soweit wie möglich durchgeführt werden. Die Investition in die Sanierung ist, bezogen auf die eingesparte thermische Energie, üblicherweise wesentlich billiger als eine entsprechend grössere Solaranlage.

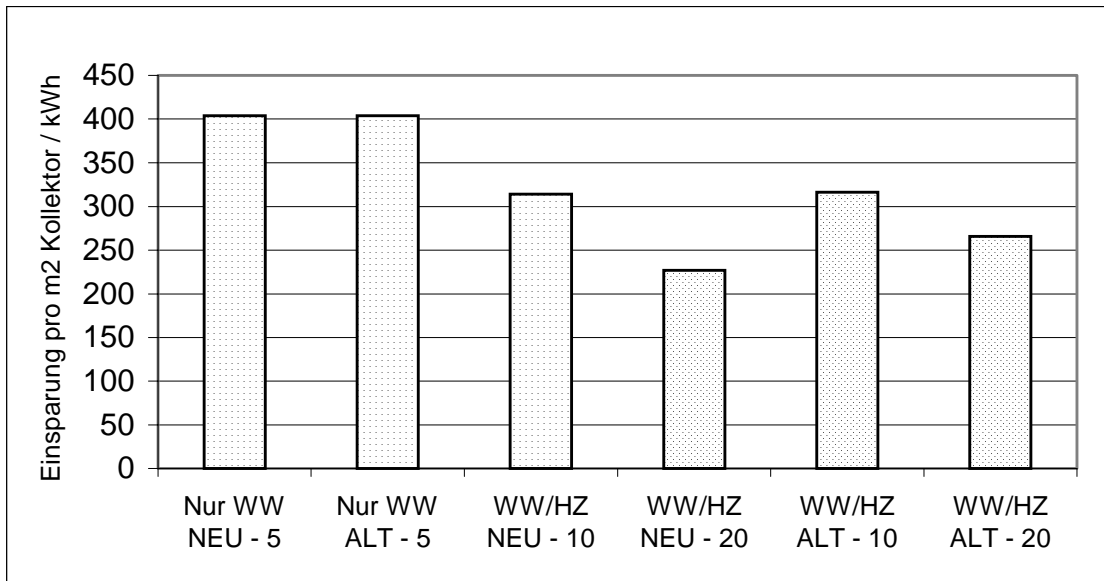


Abb. 10 Jährliche spezifische Energieeinsparung pro Quadratmeter Kollektorfläche Standort Rapperswil

Abbildung 10 zeigt klar, dass die reine Brauchwasseranlage bezüglich spezifischem Ertrag mit Abstand die beste Anlage darstellt. Voraussetzung ist allerdings, der Verbrauch findet auch tatsächlich statt! Im Niedrigenergiehaus schneidet die grosse Anlage schlecht ab. Der spezifische Ertrag sinkt beinahe auf die Hälfte, im Vergleich zur reinen Brauchwasseranlage. Es ist klar, dass die energetische Amortisationsdauer der Anlage und die solaren Wärmekosten im beinahe selben Verhältnis zunehmen. Trotzdem bleibt der energetische Erntefaktor, selbst in diesem ungünstigen Fall, noch lange positiv ^{15/}.

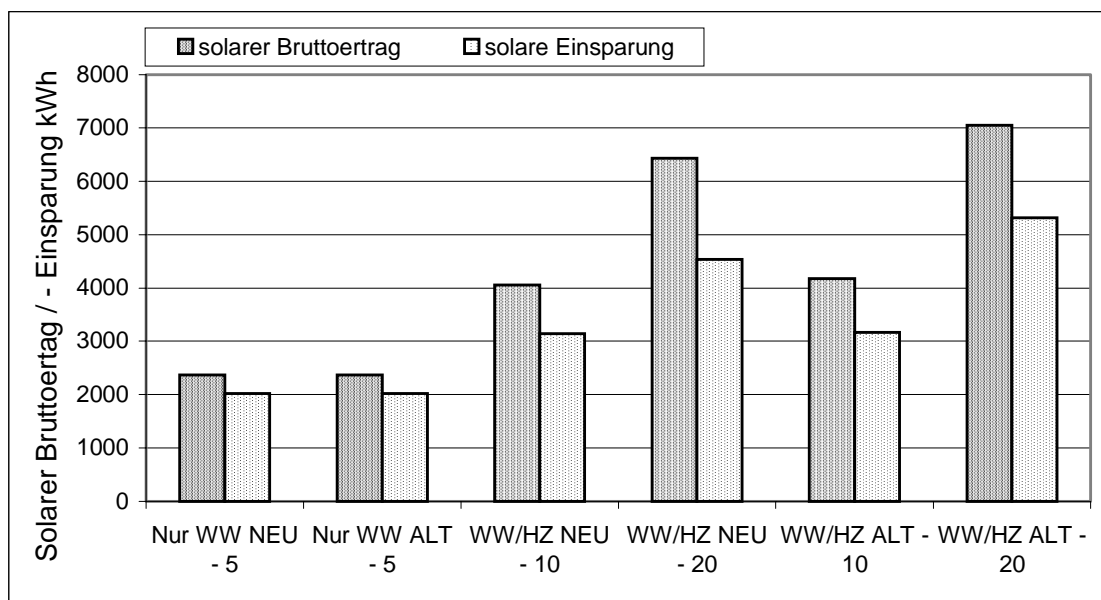


Abb. 11 Jährlicher solarer Bruttoertrag kontra jährliche solare Einsparung mit Standort Rapperswil

Häufig wird selbst von Fachleuten zu wenig dargelegt, wieviel eine Anlage tatsächlich einspart. Am besten geeignet für diese Aussage ist die Angabe der solaren Einsparung, diese beziffert wieviel Energie im Vergleich zu einem konventionellen System *weniger* verbraucht wird. Leider wird häufig der solare Bruttoertrag der Anlage als Mass aller Dinge dargestellt.

In der Abbildung 11 ist deutlich ersichtlich, dass je grosszügiger die Anlage im Verhältnis zum Wärmebedarf dimensioniert wird, desto grösser wird die Differenz des solaren Bruttoertrags zur effektiven Einsparung. Die grosse Differenz bedeutet höhere Speicherverluste und in vielen Fällen ein ausgeprägtes Überangebot im Sommer. Dieses Überangebot verlangt zusätzliche technische Massnahmen zur Verhinderung von Problemen und in der Regel zusätzlichen Hilfsenergiebedarf für die Abfuhr der nicht benötigten Wärme. Die grosszügig dimensionierte Kombianlage im Niedrigenergiehaus zeigt hier die grösste Differenz. Ein grösserer Speicher würde in der vorliegenden Disposition wenig verändern: Rechnungen mit schrittweiser Vergrösserung des Speichervolumens bis auf 5000 l Inhalt zeigen, dass wohl der solare Bruttoertrag noch um weitere 20 % zunimmt, die Nachheizung ab Kessel aber nur noch wenige Prozentpunkte abnimmt. Die solare Einsparung lässt sich, entgegen der Meinung vieler Fachleute, durch einen grösseren Speicher kaum weiter verbessern.

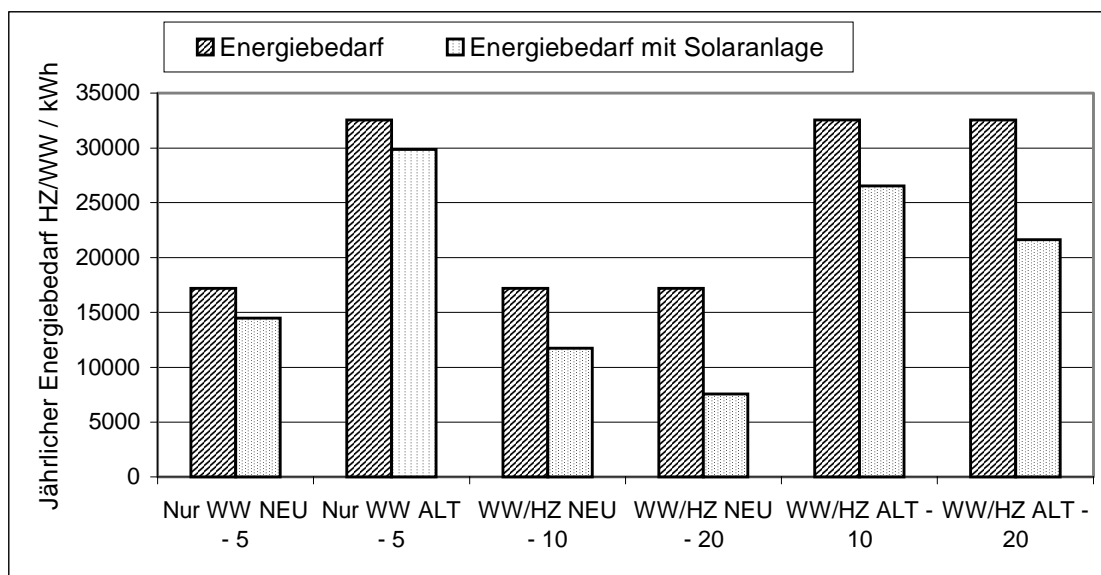


Abb. 12 Übersicht Energiebedarf der verschiedenen Varianten mit Standort Davos (klimatisch typische Alpenlage)

Im Gegensatz zum Klima im schweizerischen Mittelland steht in Davos auch im Winterhalbjahr viel nutzbare Solarstrahlung zur Verfügung. Zusätzlich besteht selbst in den Sommermonaten Juli und August ein Wärmebedarf zur Gebäudeheizung. Damit verändern sich die solaren Erträge der verschiedenen gegenübergestellten Anlagen deutlich.

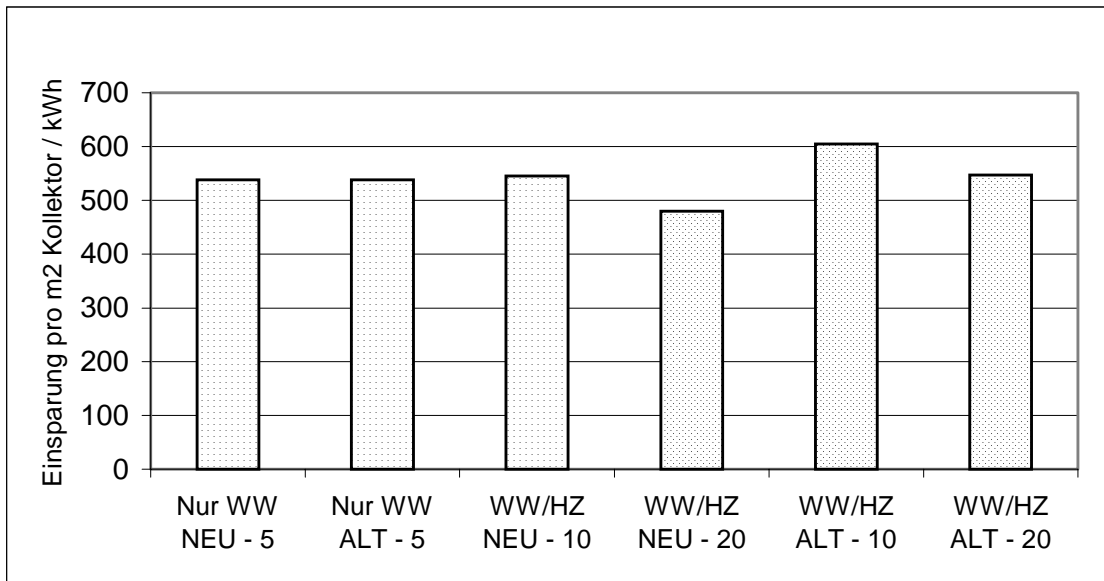


Abb. 13 Jährliche Energieeinsparung pro Quadratmeter Kollektorfläche Standort Davos

Im Gegensatz zum Standort Rapperswil sind die spezifischen Einsparungen von Heizungsunterstützenden Anlagen nun sehr vergleichbar mit demjenigen reiner Brauchwasseranlagen. Selbst im Niedrigenergiehaus, mit einer grosszügig dimensionierten Kollektorfläche, ist der Ertrag vergleichsweise hoch.

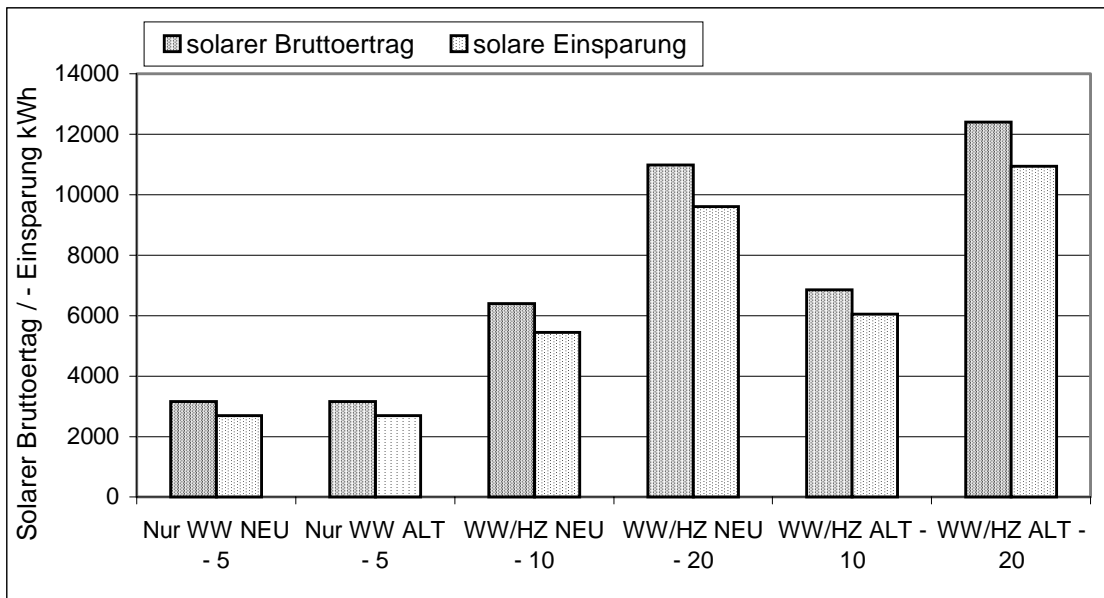


Abb. 14 Jährlicher solarer Bruttoertrag kontra jährliche solare Einsparung mit Standort Davos

Der Vergleich zwischen dem solaren Bruttoertrag und der solaren Einsparung zeigt deutlich, dass die solare Wärme wesentlich besser genutzt werden kann. Im Gegensatz zum Standort Rapperswil sind die Differenzen zwischen dem solaren Bruttoer-

trag und der solaren Einsparung insbesondere für die Kombisysteme kleiner ausgefallen. Die solare Einsparung, beispielsweise für die grosszügig dimensionierte Anlage im Niedrigenergiehaus, ist um mehr als einen Faktor 2 grösser als in Rapperswil, dies obschon die hemisphärische Einstrahlung in die Kollektorebene „nur“ um 45 % höher ausfällt.

Kombianlagen sind in Davos im Vergleich zu reinen Brauchwasseranlagen unverhältnismässig sinnvoller. Dies aus 2 Gründen:

- auch im Winterhalbjahr ist die solare Einstrahlung, insbesondere in geneigte Flächen ($> 45^\circ$) hoch (Voraussetzung: kein Schnee auf den Kollektoren)
- in den Übergangszeiten, ja selbst im Sommer besteht ein Wärmebedarf für die Gebäudeheizung.

3. Solare Wärme im Mehrfamilienhaus

In der Schweiz ist das Potential für den Einsatz von thermischen Solaranlagen im Bereich der Mehrfamilienhäuser gross. Eignen sich grosse Überbauungen im wesentlichen für die Brauchwasservorwärmung, stehen in kleinen bzw. mittleren Mehrfamilienhäusern verschiedene geeignete Systeme zur Diskussion.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf ein Mehrfamilienhaus mit 4 Dreizimmerwohnungen. Die Anzahl Bewohner variiert dabei typischerweise im Bereich von 8 bis 16 Personen.

Konventionelles Mehrfamilienhaus, thermisch sanierter Altbau:

Beschreibung gemäss Häuserdatenbank Polysun 2.0:

Schwerer Bau, schlecht gedämmt, wenig passiv:

Aufbau Mauerwerk: Modulbackstein, 1 Schale mit Aussenwärmedämmung

Wärmedämmung Mauerwerk: 0.10 m

Wärmedämmung Dach: 0.10 m

Wärmedämmung Boden: 0.06 m

Dicke Unterlagsboden: 0.08 m

Fensterfläche Süd: 9 m² Ost: 6.3 m² West: 5.6 m² Nord: 1.4 m²

K-Wert Fenster: 1.8 W/m²K

K-Wert Fensterrahmen: 1.4 W/m²

K-Wert Türe (Nordseite): 1.8 W/m²K

Luftwechsel: 0.6 1/h

Interne Wärmequellen: 400 W

Wärmekapazität: 65046 Wh/K

Zeitkonstante: 260 h

Heizleistungsbedarf: 7.4 kW, -8°C

Fussbodenheizung: max. Vorlauftemperatur 40°C bei -10°C Aussentemperatur

Die zur Diskussion stehenden Systeme sind die Einspeicheranlage (Abb. 7), die Zweispeicheranlage (Abb. 15) und die Tank in Tank Anlage (Abb. 8) zur kombinierten Nutzung Brauchwarmwasser und Heizungsunterstützung. Die nachfolgend dargestellte Zweispeicheranlage wird aus folgenden Gründen häufig eingesetzt:

- Die Platzverhältnisse sind knapp, 2 kleinere Behälter lassen sich einfacher positionieren als ein grosser Behälter.

- Das Einbringen in den Speicherraum ist bei bestehenden Bauten häufig schwierig, die Türbreiten lassen keine Durchmesser grösser als 80 bis 90 cm zu.
- Der bestehende Speicherwassererwärmer wird weiter verwendet; ein zweiter wird in Serie dazugeschaltet.

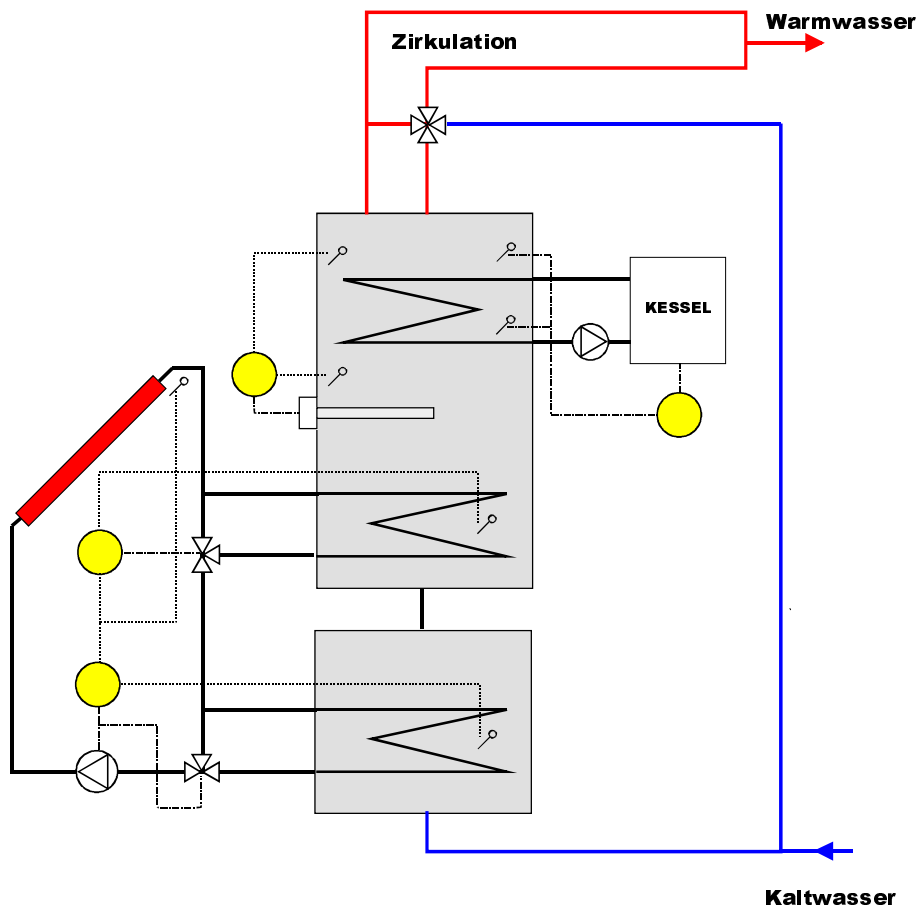


Abb. 15 Zweispeicheranlage wie in Polysun 2.0 integriert

Randbedingungen für alle nachfolgenden Berechnungen:

- Zusatzheizung mittels Kessel (Freigabe 24 h), Kesselleistung 25 kW
- Zapftemperatur 50°C, Zapfprofil: Tagesspitzen Morgens, Mittags und Abends.
- Zirkulationsleitung mit einem Wärmeverlustbeiwert von 20 W/K, Raumtemperatur 20°C, Betriebszeit Zirkulationspumpe: 07:00 bis 20:00.
- Standort der Anlagen: Rapperswil
- Orientierung: Süd, Anstellwinkel: 45°
- Umgebungstemperatur Speicher: 18°C
- Energieaufnahme Pumpe 60 W (50% davon werden als Wärmeeintrag berücksichtigt)
- Zur Beurteilung der Energieeinsparung durch das thermische Solarsystem wird zum Vergleich ein konventioneller Speicherwassererwärmer herangezogen (Beheizung mittels Kessel analog Solarsysteme):

Anzahl Bewohner	Warmwasserbedarf pro Tag	Jährlicher Wärmebedarf
16	40 kWh / 864 l	18186 kWh
8	20 kWh / 432 l	11023 kWh

Beschreibung der Solaranlagen:

	Zweispescheranlage	Einspeicheranlage	Kombianlage
Anlagentyp	2 Speicher	1 Speicher	Tank in Tank
Kollektorfläche*	10 bzw. 20 m ²	10 bzw. 20m ²	10 bzw. 20 m ²
Speicherinhalt	S1: 800 l, S2: 600 l	1000 l	1000 l
Speicherdämmung	80 mm Mineralwolle	80 mm Mineralwolle	120 mm Mineralwolle
Speicheranschlussverluste	1.0 W/K / 1.0 W/K	1.3 W/K	1.3 W/K
Bypass-Ventil Kollektorkreis	2 Stück wie in Schema Abb. 15	keines	Keines
Glattrohr-Wärmetauscher	S.1: 1.2 bzw. 1.8 m ² S.2: 1.0 bzw. 1.4m ²	2.4 bzw. 3.6 m ²	2.4 bzw. 3.6 m ²
Leitungen VL: Vorlaufleitung RL: Rücklaufleitung	10 m VL und RL innen, 5 m VL und RL aussen	10 m VL und RL innen, 5 m VL und RL aussen	10 m VL und RL innen, 5 m VL und RL aussen
Nacherwärmung	Nur Kessel 25 kW	Nur Kessel 25 kW	Nur Kessel 25 kW

* Durchschnittlicher Flachkollektor: $c_0 = 0.80$, $c_1 = 3.89 \text{ W/m}^2\text{K}$, $c_2 = 0.011 \text{ W/m}^2\text{K}^2$

Mehrfamilienhaus mit 16 Bewohnern:

Nachfolgend werden die Anlagen diskutiert mit einem täglichen Bedarf von 40 kWh Warmwasser. Dies entspricht täglich 864 l erwärmt von 10 auf 50°C oder dem typischen Verbrauch von 16 Bewohnern. Unter dieser Annahme ist die Anlage mit 10 m² Kollektorfläche eine typische Vorwärmanlage. Selbst im Hochsommer tritt kaum eine Überproduktion an Wärme auf.

Legende für die nachfolgenden Abbildungen:

- Nur WW: Brauchwasseranlage, keine Heizungsunterstützung
- WW/HZ: Kombinierte Anlage zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung, Tank in Tank System
- 1Sp / 2Sp: Einspeicheranlage / Zweispescheranlage
- 10, 20: Kollektorfläche in Quadratmeter

Überblick Resultate:

F_{ss} (WW): Deckungsanteil des thermischen Solaranteils im Verhältnis zu einem konventionellen Referenzsystem für die Brauchwassererwärmung.

F_{ss} (WW/HZ): Deckungsanteil des thermischen Solaranteils im Verhältnis zu einem konventionellen Referenzsystem für Brauchwassererwärmung und Heizung.

Nicht berücksichtigt ist die Hilfsenergie für Pumpe und Steuerung.

	Nur WW/2Sp - 10	Nur WW/2Sp - 20	Nur WW/1Sp - 10	Nur WW/1Sp - 20	WW/HZ - 10	WW/HZ - 20
F _{ss} (WW)	28.8	45.2	30.0	46.0		
F _{ss} (WW/HZ)	11.8	18.5	12.2	18.8	11.8	18.9

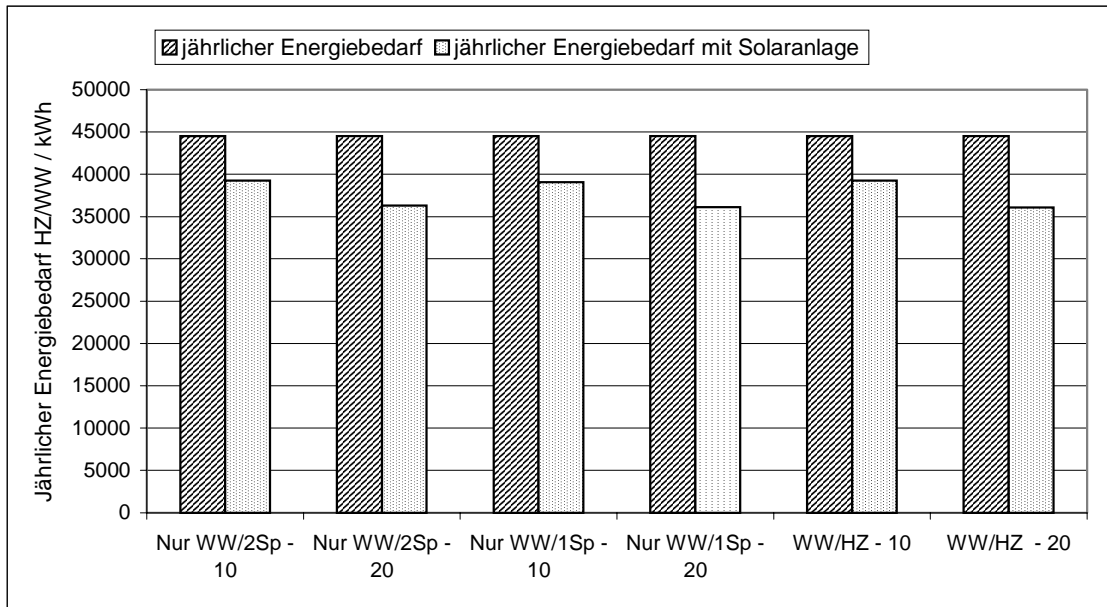


Abb. 16 Übersicht Energiebedarf für Heizung und Warmwasser der verschiedenen Varianten mit Standort Rapperswil

Bei der Auslegung als Vorwärmanlage (Kollektorfläche 10 m²) ist es nicht verwunderlich, dass die jährlichen Energiebedarfe der verschiedenen Systemvarianten mit Solaranlage sich kaum untereinander unterscheiden. Bei der doppelten Kollektorfläche und demselben Bedarf sind die Differenzen immer noch sehr bescheiden.

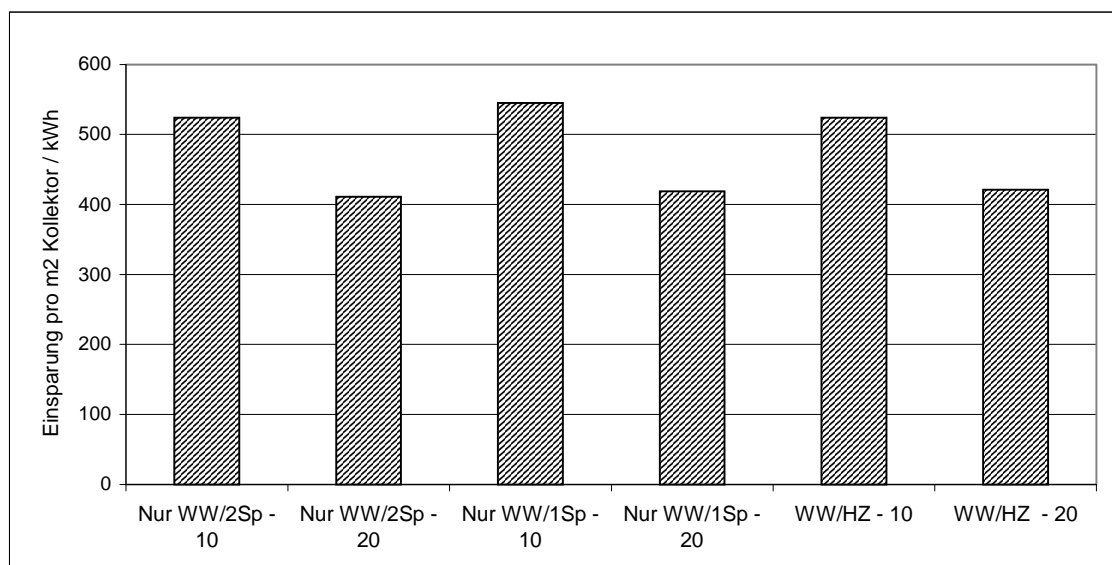


Abb. 17 Jährliche Energieeinsparung pro Quadratmeter Kollektorfläche Standort Rapperswil

Die Unterschiede der spezifischen Einsparung der verschiedenen Anlagentypen, im Vergleich zu einem Referenzsystem, sind minimal. Damit entscheiden neben den Platzverhältnissen am Aufstellungsort, im wesentlichen die Kosten welches System zum Einsatz kommt. Die Varianten mit Heizungsunterstützung haben in der vorlie-

genden Situation keinerlei Vorteile gegenüber reinen Warmwassersystemen. Von grosser Bedeutung ist aber, dass die konventionelle Heizanlage durch die Solaranlage bezüglich Wirkungsgrad nicht negativ beeinflusst wird. Bei der grösseren Anlage beträgt der Anteil der solaren Einsparung rund 20 % der gesamten verbrauchten thermischen Energie im Gebäude. Angenommen die heizungsunterstützende Anlage reduziert den Wirkungsgrad der bestehenden konventionellen Heizanlage um 1 %, muss dies durch eine Verbesserung der solaren Einsparung von 4 % kompensiert werden. Bereits bei der Planung muss deshalb, entsprechend der konventionellen Heizungsanlage (Oel, Gas ..), jedwede negative Beeinflussung vermieden werden!

Mehrfamilienhaus mit 8 Bewohnern:

Dasselbe Mehrfamilienhaus ist anstelle von 16 Bewohnern nur mit 8 Bewohnern besetzt. Was ist der Einfluss der massiven Reduktion des Warmwasserverbrauchs auf den Anlagenenertrag? Bleiben die Verhältnisse ausgeglichen oder gibt es einen klaren Favoriten?

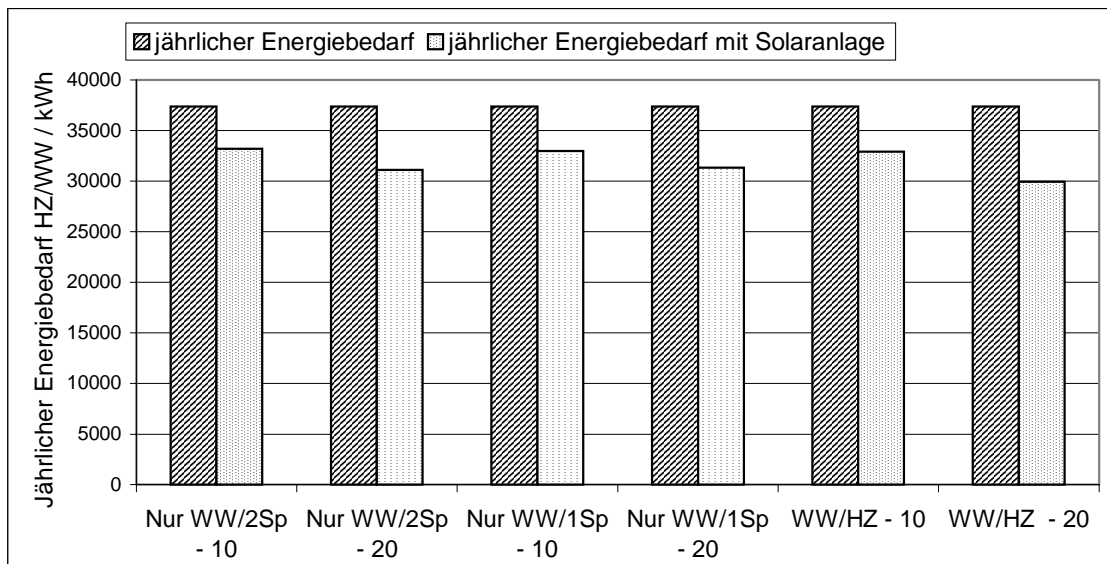


Abb. 18 Übersicht Energiebedarf für Heizung und Warmwasser der verschiedenen Varianten, mit Standort Rapperswil und 8 Bewohnern.

Bei der kleinen Kollektorfläche bleiben die Verhältnisse wie vorgängig beschrieben erhalten. Bei den grosszügig dimensionierten Kollektorfläche ist nun die heizungsunterstützende Anlage im Vorteil. Allerdings ist der Mehrertrag bescheiden.

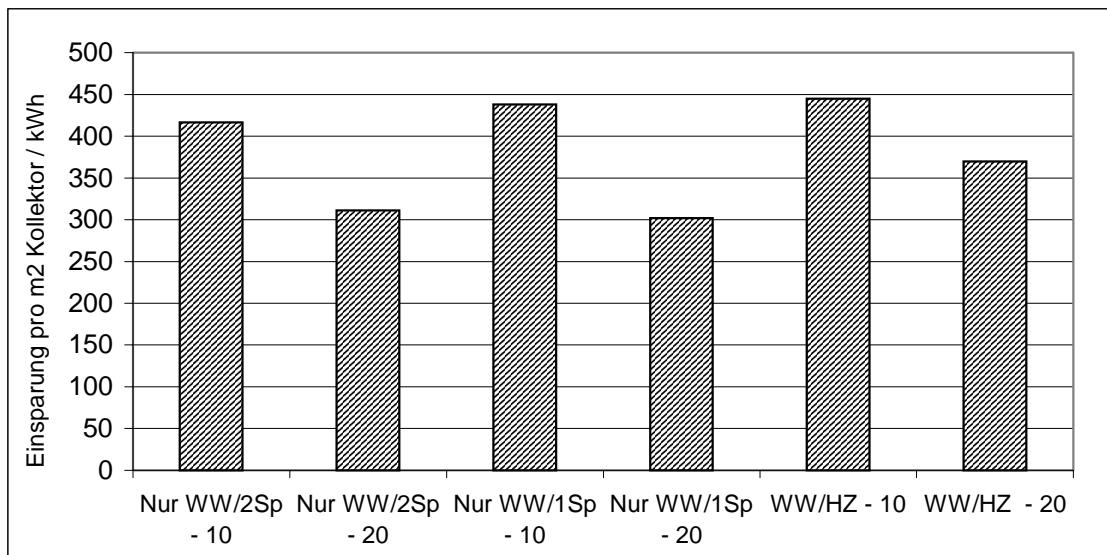


Abb. 19 Jährliche Energieeinsparung pro Quadratmeter Kollektorfläche Standort Rapperswil mit 8 Bewohnern

Der Mehrertrag der heizungsunterstützenden Anlage mit grosszügiger Kollektorfläche ist gegenüber der reinen Warmwasseranlage rund 20 % höher. Der Grund dafür ist der geringe spezifische Warmwasserbedarf. Einmal mehr wird klar, dass jede noch so gute thermische Solaranlage ohne den entsprechenden Verbrauch keinen befriedigenden Ertrag erbringen kann. Die Variation der Kollektorfläche um einen Faktor 2, siehe Beispiel Einspeicheranlage in Abbildung 19, reduziert die Einsparung pro Quadratmeter Kollektorfläche um einen Drittel.

4. Schlussfolgerungen

Die Optimierung einer traditionellen Standardanlage zur Low-flow Kompaktanlage macht mehrfach Sinn:

- Die Leistungssteigerung der Kompaktanlage beträgt rund 10 % bezogen auf ein leistungsfähiges, fehlerfrei arbeitendes traditionelles Standardsystem.
- Die Kollektorfläche konnte gleichzeitig um 10 % reduziert werden.
- Der Montageaufwand wurde deutlich reduziert. Dazu beigetragen haben: die vormontierte kompakte Bauweise des Speichers, die integrierte Vor- und Rücklaufleitung und die einfachere Verrohrung im Kollektorbereich.

Das Potential für weitere Optimierungen bezüglich Leistung, Materialeinsatz, Konstruktion, Fabrikation und Montage ist nach wie vor gross! Verglichen mit dem Entwicklungsstatus von Automobilen befinden wir uns mit der Solartechnik in den Zwanzigerjahren dieses Jahrhunderts. Dies gilt insbesondere auch für die nachfolgend diskutierten Kombianlagen sowie für die Anlagen zur Brauchwassererwärmung im Mehrfamilienhaus. Die für die Kompaktanlagen demonstrierten Optimierungsschritte sind bei diesen Anlagen noch nicht absolviert.

Die vieldiskutierte Frage nach dem richtigen Systemtyp für das Einfamilienhaus kann auch hier nicht allgemeingültig beantwortet werden. Trotzdem wurde klar aufgezeigt, dass im typischen Schweizer Mittellandklima Kombianlagen gegenüber reinen Brauchwarmwasseranlagen nicht im Verhältnis der Kollektorfläche an Einsparung gewinnen. So führt die Verdoppelung der Kollektorfläche einer Kombianlage zu einer Brauchwasseranlage nur gerade 50 % Mehreinsparung. Die vierfache Kollektorfläche im Niedrigenergiehaus führt in etwa zu einer Verdoppelung der Einsparung gegenüber einer reinen Brauchwasseranlage. Verschieben wir dieselben Anlagen vom nebligen Mittelland in eine nebelfreie Bergregion sieht das Resultat anders aus: Die spezifischen Erträge sind für alle Anlagen und Haustypen vergleichbar und deutlich höher als im Mittelland. Das heisst sowohl der sommerliche Überschuss tritt deutlich weniger auf, als auch die zusätzliche Solarstrahlung im Winter wird sinnvoll genutzt.

Im Mehrfamilienhaus mit einem hohen Warmwasserverbrauch ist die einfachste Anlage mit nur einem Brauchwasserspeicher den anderen leicht überlegen. Insbesondere hat die Kombianlage selbst bei grosszügiger Auslegung der Kollektorfläche von 1.25 m² pro Person keinerlei Mehrertrag. Wäre das selbe Mehrfamilienhaus nur mit der Hälfte der Personen belegt und damit der Warmwasserbedarf niedriger ist die Kombianlage mit der grosszügigen Kollektorfläche von 2.5 m² pro Person deutlich im Vorteil.

Die Beispiele zeigen deutlich, dass die Randbedingungen der Anlage, wie Verbrauch oder Klima den grössten Einfluss auf den Anlagenertrag ausüben. Sorgfältige Abklärungen, gepaart mit dem fachgerechten Einsatz eines Simulationsprogramms verhindern unnötige oder übertriebene Investitionen.

5. Literaturverzeichnis

- /1/ Advanced solar domestic hot water systems, Final Report IEA SHACP Task 14, 1994
- /2/ G. Brouwer, J.H.Liefting, Garanteed solar results of collective solar hot water installations in the Netherlands, Proceedings EuroSun, 1996
- /3/ Polysun 2.0, das Simulationsprogramm für die Auslegung thermischer Solaranlagen, Bezug: NovaEnergie Tel.: 062 834 03 00
- /4/ Klein et al: TRNSYS 14.2, a Transient System Simulation Program, Wisconsin, USA, 1996
- /5/ Markus May, Graue Energie und Umweltbelastung von Heizungssystemen, Jenni Energietechnik AG, April 1996