

# Vergleichstest von Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung und Raumheizung

*Th. Pauschinger, E. Hahne*

*Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)*

*Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart*

*Tel.: 0711/685-3536, Fax: 0711/685-3503*

Der Markt bietet dem Verbraucher heute eine umfangreiche Palette von thermischen Solaranlagen, die von der einfachen kostengünstigen Anlage bis zur 'intelligenten Wärmezentrale' zum Preis eines Mittelklassewagens reicht. Für den Kunden ist es nicht einfach sich zu orientieren. Die Stiftung Warentest hat daher zwölf Anlagen zur Brauchwassererwärmung und erstmals auch acht Anlagen zur kombinierten Brauchwassererwärmung und Raumheizung, sogenannte Kombianlagen, im Hinblick auf Energieeinsparung, Betriebsverhalten, Verarbeitung, Sicherheit und Handhabung geprüft. Die detaillierten, produktbezogenen Ergebnisse wurden in der Zeitschrift 'test' /1, 2/ veröffentlicht. Die Untersuchungen wurden am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart (ITW) durchgeführt. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen und der Stand der Technik weiterführend diskutiert.

## **Stand der Technik**

### **Anlagen zur Brauchwassererwärmung**

Bei der Technik der Anlagen zur Brauchwassererwärmung setzt man auf Bewährtes: Ein Vier-Personen-Haushalt wird mit 3,7 bis 5,5 m<sup>2</sup> Flachkollektor bzw. 3,2 bis 3,3 m<sup>2</sup> Vakuumröhrenkollektor und Speichern mit einem Volumen zwischen 259 und 329 l bedient. Anlagenkonfiguration und -betriebsweise entsprechen in fast allen Fällen der bekannten Standardanlagentechnik. Lediglich ein Hersteller wartet mit einer grundlegend überarbeiteten Anlage auf: Der Kollektor ist mit dem Edelgas Argon gefüllt, der Durchfluß im Kollektorkreis wird den Betriebsbedingungen angepaßt (matched flow-Technik) und die Wärmeträgerflüssigkeit des Kollektorkreises fließt bei Frost oder Stagnation in einen Rücklaufbehälter zurück (drain back-Technik). Bei allen weiteren Anlagen beschränken sich die Weiterentwicklungen auf Details:

- Die Regler haben an Ausstattung, Funktionen und Vernetzbarkeit gewonnen. In einigen Fällen sind ein Betriebsstunden- oder Wärmemengenzähler, eine Funktionskontrolle oder sogar eine PC-Schnittstelle integriert.
- Die Anlagen sind kompakter und zeigen Linie. Anstatt einer Zusammenstellung von Einzelkomponenten werden sie immer mehr als 'Gesamtanlage' verstanden.

Dennoch blieben die meisten Brauchwasseranlagen im Konzept einfach - nicht zuletzt aufgrund des starken Preisdrucks auf dem Markt, sind doch die Preise (inklusive MWSt., zuzüglich Installationskosten) seit 1995 von im Mittel DM 11 800 auf DM 8 800 um rund 25 % gefallen.

## Kombianlagen

Der Wunsch mit der Sonne aktiv zu heizen ist alt, die Technik der Kombianlagen, die dies auf vertretbare Weise ermöglicht, ist hingegen noch jung und in Bewegung. Der Klassiker - die Zweispeicher-Anlage - wird von Anlagen mit nur einem Speicher als zentrale Wärmeinheit abgelöst. Die Speichertechnik hat sich hierbei zu einer eigenen Technologie entwickelt /3/.

Abb. 1 zeigt beispielhaft die Anlagenschemen zweier Kombianlagen - Anlage F (AF) und Anlage G (AG) - mit Solar- und Heizungskreis, dem Kessel für die Nachheizung sowie dem Wärmeübertrager zur Brauchwassererwärmung.

Bei den Kombianlagen sind die Funktionen vielfältiger und die Anforderungen an die Regelung höher als bei den Anlagen zur Brauchwassererwärmung. Entsprechend heterogen stellen sich die Prüflinge dar: acht Anlagen - acht Konzepte. Die Unterschiede:

- Die Ausführung der Anlage mit einem oder zwei Speichern.
- Bei dem Betriebskonzept des 'Solarteils' werden bei fünf der acht Kombianlagen auf unterschiedliche Weise auf eine Durchflußregelung im Kollektorkreis (low flow- bzw. matched flow-Konzept) und eine Schichtbeladeeinrichtung im Speicher gesetzt (AF und AG).

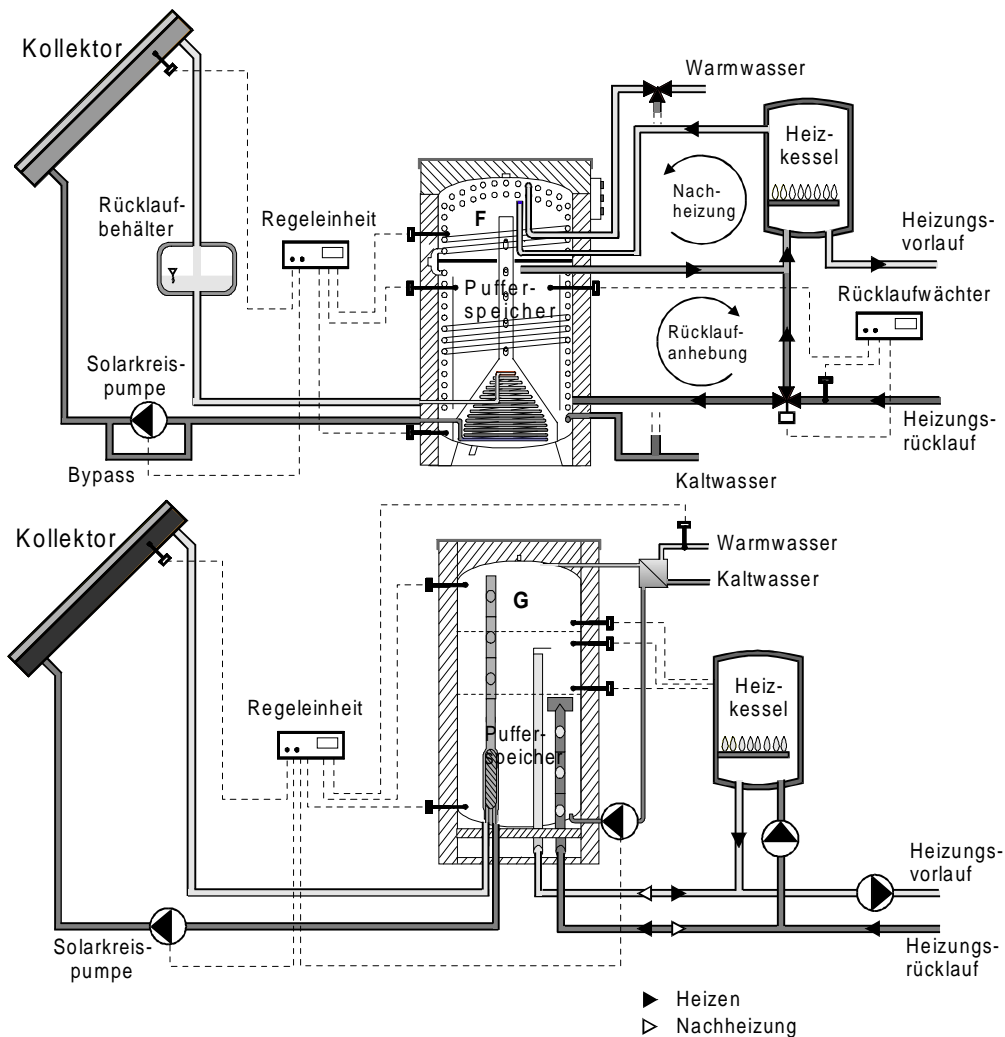


Abb. 1: Anlagenskonfigurationen von zwei Kombianlagen

- Bei den Einspeicheranlagen wird das Brauchwasser über einen externen Wärmeübertrager mit separatem Rohrleitungskreislauf (AG), über einen eingetauchten Wärmeübertrager (AF) oder über einen eingehängten Brauchwasserspeicher (Tank-in-Tank-Speicher) bereit.
- Der Speicher mit Heizungswasser wird als Pufferspeicher zwischen Kessel und Heizkreis (AG), oder nach dem Prinzip der Rücklaufanhebung (AF) eingebunden. Bei letzterem wird das zurückströmende Heizungswasser, wenn möglich, im Speicher solar vorerwärmt und in dem nachgeschalteten Heizkessel, falls erforderlich, auf Vorlauftemperatur gebracht.
- Die Regelkonzepte wiesen insbesondere bei der Steuerung der Nachheizung große Unterschiede auf. Positiv fallen eine getrennte Behandlung der Nachheizung für Brauchwassererwärmung und Heizung auf. Separate Temperaturfühler und Zeitsteuerung für das Ein- und Ausschalten des Kessels bei Nachheizbetrieb verbessern dessen Nutzungsgrad.

Von einigen Anbietern wird erkannt, daß eine Kombianlage auf eine sehr gut funktionierende, moderne Heizungsanlage mit niedrigen Rücklauftemperaturen angewiesen ist. Die hydraulischen und regelungstechnischen Komponenten der konventionellen Heiztechnik sind oftmals weitgehend in die Solaranlage integriert. Der Trend geht zur Gesamtanlage.

Die Kombianlagen wurden von den Anbietern für ein Einfamilien-Niedrigenergiehaus ausgelegt. Flachkollektoren wurden zwischen 10 und 13 m<sup>2</sup> dimensioniert, ein Vakuumröhrenkollektor mit 6,6 m<sup>2</sup>. Die Speichervolumen betragen zwischen 549 und 916 l. Der Preis (inklusive MWSt., zuzüglich Installationskosten) liegt bei Kombianlagen im Mittel bei ca. DM 17 500. Eine 'high end'-Anlage mit Regelung und Hydraulik für Heizkessel und Heizungskreis erreichte einen Preis von DM 36 500.

### Kollektoren

Zwei der Anbieter befüllen Ihre Flachkollektoren mit Edelgas (Argon bzw. Krypton) zur Reduzierung der konvektiven Wärmeverluste. Weiter haben sich die gesputterten Absorberschichten seit dem Test '95 auf dem Markt etabliert und werden bereits in einem Viertel der getesteten Kollektoren eingesetzt. Bei den Vakuumröhrenkollektoren ist eine deutliche Verbesserung der Modelle mit Wärmerohr (heat pipe) festzustellen, was sie an die Leistungsfähigkeit der Vakuumröhrenkollektoren mit direkt durchströmtem Absorber heranführt. Für den Kollektorkreis bieten drei Hersteller Schnellmontagerohr an.

### Prüfprogramm

Alle zwanzig Anlagen wurden einem umfangreichen Prüfprogramm unterzogen. Für die **energetische Beurteilung** wurden die Brauchwasseranlagen als Gesamtanlage nach dem DST-Verfahren getestet. Bei den Kombianlagen wurden die Komponenten Kollektor, Speicher und Regler geprüft und der Ertrag der Anlage mit dem Simulationsprogramm TRNSYS berechnet. Weiter wurde durch separate Messungen am Speicher die bevorratete Brauchwassermenge (Bezugstemperatur 45 °C) bestimmt. Andere Aspekte waren:

**Umwelteigenschaften** mit der energetischen Amortisationszeit sowie einer Bewertung der Herstellung, der Materialien und der Verpackung unter ökologischen Gesichtspunkten.

**Sicherheit** mit einer Prüfung der sicherheitsrelevanten Komponenten sowie der Montage- und Bedienungsanleitung, in Bezug auf Verweise zur Betriebs- und Arbeitssicherheit.

**Anlagenkonzept und Verarbeitung** mit einer Bewertung des Anlagenkonzepts bezüglich Innovations- und Integrationsgrad sowie dessen Umsetzung. Weiter wurde das Betriebsverhalten sowie der Eindruck bezüglich Qualität und Verarbeitung der Komponenten bewertet. Alle Kollektoren wurden über eine gesamte Saison im Stagnationstest erprobt.

**Montage und Bedienung** mit einer Bewertung des Montageaufwandes und der Montageanleitung durch Fachhandwerker sowie einer Bewertung der Bedienung unter ergonomischen Gesichtspunkten und der Bedienungsanleitung.

## Energieeinsparung

Bei der energetischen Beurteilung wurde sowohl für die Brauchwasser- als auch für die Kombianlagen die Energieeinsparung gegenüber einer konventionellen Heizungsanlage ermittelt (siehe Abb. 2). Als Referenzfall diente ein Vier-Personen-Haushalt mit einem Warmwasserverbrauch von 200 l/d. Als Referenzgebäude wurde ein Einfamilienhaus am Standort Würzburg mit einer Nutzfläche von 128 m<sup>2</sup> und einem Dämmstandard nach Wärmeschutzverordnung (WSchVO) und, in einem zweiten Fall, 25 % besser als WSchVO (Niedrigenergiehaus) angenommen. Die Heizungsanlage wird mit maximalen Vorlauf-/Rücklauftemperaturen von 50/30 °C betrieben. Bei einem Jahresnutzungsgrad des Heizkessels von 85 % ergibt sich ohne Solaranlage ein Wärmebedarf von ca. 4 200 kWh/a für die Warmwasserbereitung, ein Gesamtwärmebedarf von 18 200 kWh/a bei dem Haus nach WSchVO und 14 900 bei dem Niedrigenergiehaus in Form von Primärenergie, also Gas oder Öl.

Die Brauchwasseranlagen sparten gegenüber einem konventionellen Warmwasserbereiter zwischen 50 und 60 %, also ca. 2100 bis 2500 kWh/a ein. Für die vergleichende Bewertung der einzelnen Anlagen wurde eine Referenz-Solaranlage mit gleicher Kollektorfläche und

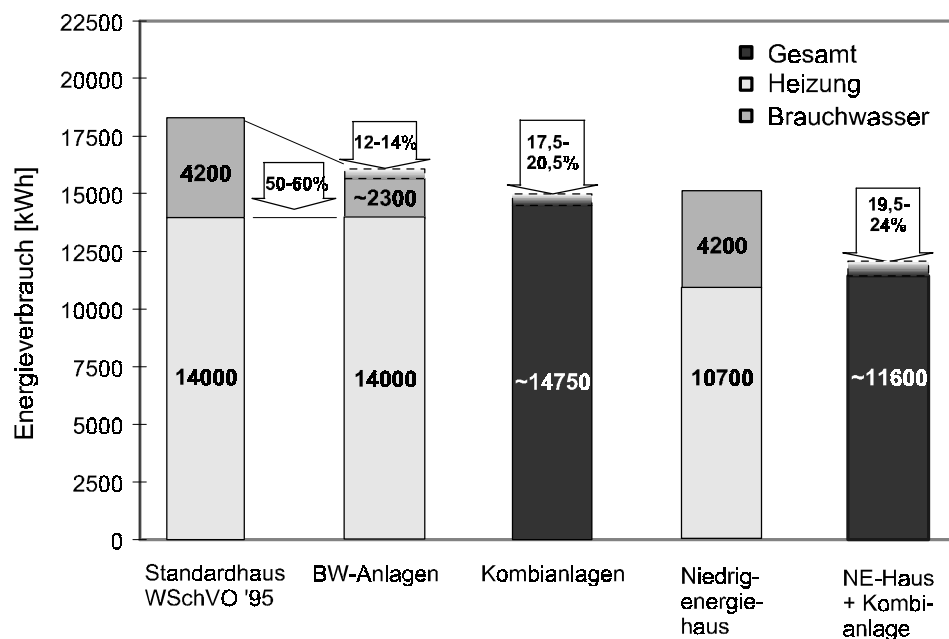


Abb. 2: Energieeinsparung für Brauchwasser- und Kombianlagen im Vergleich

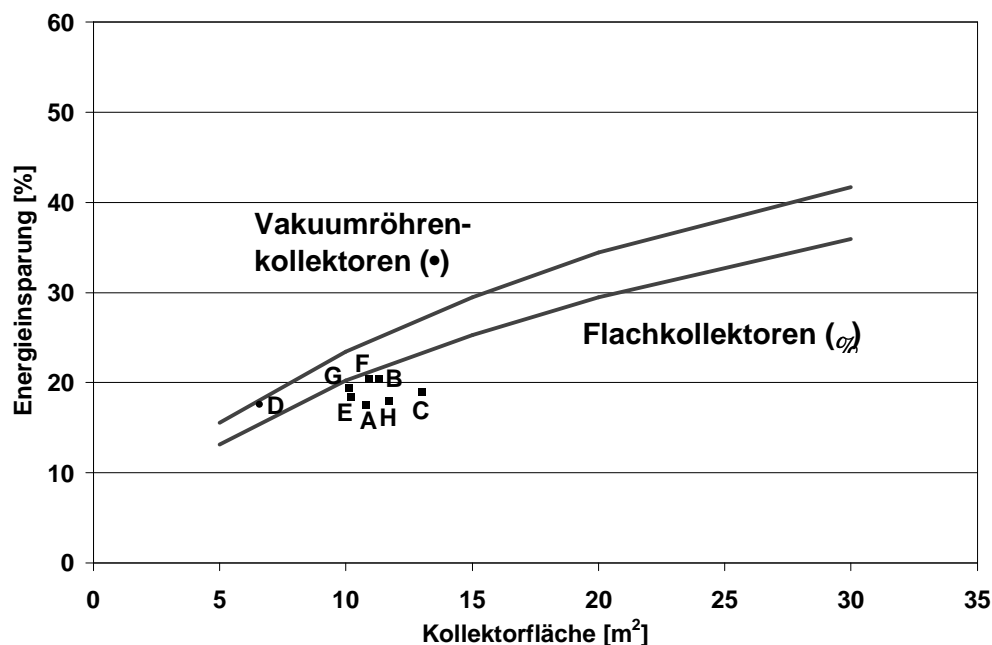
gleicher Warmwasserbevorratung herangezogen, da beide Auslegungsparameter entscheidenden Einfluß auf die Effizienz einer Solaranlage haben. Die Leistung der Anlagen entsprach weitgehend den Erwartungen, wobei in Einzelfällen sparsam dimensioniert wurde, was ebenfalls auf den derzeitigen Preisdruck bei den Brauchwasseranlagen zurückzuführen ist.

Die Einsparung der Kombianlagen am Gesamtwärmebedarf des Hauses nach WSchVO beträgt 17,5 - 20,5 %, beim Niedrigenergiehaus 19,5 - 24 %. Mit den leistungsfähigen Anlagen konnte somit durch eine Verdopplung der Kollektorfläche eine Steigerung der Energieeinsparung gegenüber den Brauchwasseranlagen um maximal 1 200 kWh/a erzielt werden (siehe [Abb. 2](#)).

[Abb. 3](#) zeigt die für die Kombianlagen ermittelte Einsparung im Vergleich zu einer zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführten theoretischen Potentialabschätzung /4/. Das Feld schmiegt sich bereits an die Sollmarke an. Für fehlende Prozentpunkte sind meist folgende Effekte ausschlaggebend:

- Leistungsfähigkeit der Kollektoren
- Die Temperatur, die im Nachheizteil für die indirekte Warmwasserbereitung über einen Wärmeübertrager bereitgehalten werden muß.
- Das Konzept für die Nachheizung: Die Nachheizbereiche für Warmwasserbereitung und Raumheizung sollten getrennt beladen, zumindest jedoch getrennt geregelt werden.

Bei Anlagen, die nach dem Prinzip der Rücklaufanhebung arbeiten ergibt sich ein um ca. 1,5 % höhere Energieeinsparung aufgrund geringerer Speicherverluste. Zu bedenken ist jedoch, daß der wertvolle Puffereffekt für den Heizkessel entfällt. Entscheidend werden im Einzelfall die Einbausituation (Neuinstallation oder Nachrüstung) und der Kesseltyp sein. Es sei auch angemerkt, daß durch einfaches Anlegen des Heizungsvorlauffühlers an den Pufferspeicher



[Abb. 3](#): Vergleich zwischen der gemessenen Energieeinsparung durch Kombianlagen und einem theoretisch abgeschätzten Potential

noch keine längeren Kessellaufzeiten erzielt werden. Hierzu sind zwei getrennte Fühler für das Ein- und Ausschaltkriterium oder eine Zeitsteuerung notwendig, wie dies nur von einigen Firmen ausgeführt wird.

Der Einsatz der low oder matched flow-Technik mit Schichtspeicher bringt unter den o. g. Bedingungen eine um ca. 3 Prozent höhere Energieeinsparung. Verwunderlich ist, daß - im Gegensatz zu den Brauchwasseranlagen - 'einfache Kombianlagen' nur schwach vertreten sind. Die Werte für die energetische Amortisationszeit lagen erfreulich niedrig: Für die Brauchwasseranlagen ergaben sich Rücklaufzeiten zwischen 1,4 und 2,4 Jahren, für die Kombianlagen zwischen 1,4 und 3,6 Jahren. Hierbei wurde der kumulierte Energieaufwand in den Grundmaterialien, für den Herstellungsprozess aller Anlagenkomponenten sowie deren Transport zum Großhändler und Endkunden berechnet.

### **Lob und Tadel**

Im Umgang mit den Solaranlagen-Prüflingen gab es mehr und weniger erfreuliche Beobachtungen, die nachfolgend in allgemeiner Form zusammengestellt sind:

- Die Gehäuse der Falchkollektoren sind heute besser verarbeitet als noch beim Test '95; Wassereintritt und Feuchtigkeitsprobleme blieben aus. Dasselbe gilt für die Vakuumröhrenkollektoren, bei denen auch im Dauertest keine Röhre das Vakuum verlor. Schwächen in der Verarbeitung zeigten sich bei den Absorberstreifen und deren Halterungen im Inneren des Gehäuses. Weiter wiesen die Solargläser in einigen Fällen schlechte Transmissionswerte auf. Für die Langzeitbeständigkeit der Edelgasfüllungen muß der Nachweis noch erbracht werden.
- Fehler, die nach 25 Jahren Solartechnik nicht mehr gemacht werden sollten sind: Kollektorfühler, die die Absorbtemperatur nicht hinreichend erfassen, falsche Fühlerpositionen am Speicher sowie falsch ausgelegte Sicherheitsventile oder Ausdehnungsgefäße. Weiter sollten auch ein Beschlag an der Kollektorabdeckung durch Ausgasung von Materialien sowie Wärmebrücken an den Speichern der Vergangenheit angehören.
- Vollständige, eindeutige, leicht verständliche und gut illustrierte Montage- und Bedienungsanleitungen für alle Komponenten sind Voraussetzung für eine korrekte Installation und richtigen Betrieb der Solaranlage. Das Spektrum reichte hier von der vorbildlichen Dokumentation bis zur spärlichen Loseblattsammlung. Weitere Montagehilfen wie vormontierte Komponentengruppen und die Bezeichnungen der Fühlertauchhülsen und Anschlüsse am Speicher sind positiv zu erwähnen.
- Die Qualität der Wärmedämmung der Speicher weist große Unterschiede auf: Ein vorbildlich gedämmter Kombispeicher mit ca. 770 l Inhalt erzielte einen besseren kA-Wert als ein Brauchwasserspeicher mit einem Volumen von ca. 280 l.
- Generell geht der Trend zu aufwendigen Anlagen. Durch spezielle Einrichtungen werden die sogenannten 'letzten Prozente' herausgekitzelt. Es sollte kritisch geprüft werden, inwieweit diese Einrichtungen auch zusätzlichen Aufwand bei der Installation und der Inbetriebnahme verursachen und ob die Funktion für die angestrebte Lebensdauer gewährleistet werden kann. Auch einfache Anlagen tun ihren Dienst.

## Kosten und Nutzen im Vergleich

In Tabelle 1 ist der Kostenspiegel für die geprüften Solaranlagen zusammengestellt. Die Investitionskosten für eine Anlage zur Brauchwassererwärmung liegen inkl. MWSt. bei DM 12 500 im Mittel und bei ca. DM 9 600 in einem günstigen Fall. Nach Abzug einer Speichergutschrift ergibt sich nach Annuisierung und mit der ermittelten Energieeinsparung ein Wärmepreis von 35 bzw. 25 Pf/kWh. Für die Kombianlagen ergeben sich durch entsprechende Rechnung 46 bzw. 43 Pf/kWh. Die absoluten Werte zeigen, daß insbesondere die solare Brauchwassererwärmung durch die um ca. 25 % gefallen Preise in der Kostenrangliste von Energiesparmaßnahmen aufsteigen konnte. Interessant sind aber auch die Relationen: Der Unterschied zwischen den Wärmepreisen für Brauchwasser- und Kombianlagen ist deutlich, stellt jedoch ein verzerrtes Bild dar, da die Differenz zum einen von der Preissenkung bei den Brauchwasseranlagen und zum anderen von den deutlich zu spürenden Entwicklungskosten der noch jungen Kombiantagenteknik geprägt ist. Auf lange Sicht kann davon ausgegangen werden, daß die Mehrkosten einer Kombianlage mit 10 m<sup>2</sup> gegenüber einer Brauchwasseranlage ca. DM 6 000 für zusätzliche Anlagentechnik und ca. DM 1 500 für zusätzlichen Installationsaufwand betragen. Tabelle 1 (fiktive Anlage) zeigt, daß sich in diesem Fall annähernd das gleiche Kosten-Nutzen-Verhältnis für Brauchwasser- und Kombianlagen ergibt.

Kosten (inkl. MWSt.)	BW-Anlagen		Kombianlagen		
	Mittel	Günstige Anlage	Mittel	Günstige Anlage	fiktiv A=10 m <sup>2</sup>
Anlagenpreis [DM]	8800	5800	17500	17000	14800
Projektierung, Installation, Inbetriebnahme [DM]	3700	3830	5300	4400	4300
<b>Gesamt [DM]</b>	<b>12500</b>	<b>9630</b>	<b>22800</b>	<b>21400</b>	<b>19100</b>
Gutschrift Speicher [DM]	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500
<b>Investition [DM]</b>	<b>11000</b>	<b>8130</b>	<b>21300</b>	<b>19900</b>	<b>17600</b>
Investition annuisiert (20 a, 4 %) [DM/a]	810	598	1568	1465	1295
Energieeinsparung [kWh/a]	2339	2428	3439	3757	3640
<b>Wärmepreis in [Pf/kWh]</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>46</b>	<b>39</b>	<b>36</b>

Tabelle 1: Kosten-Nutzen-Verhältnis von thermischen Solaranlagen

Dennoch, der Preis ist nicht das Maß der Dinge. Mancher Anlage ist ihr günstiger Preis durchaus anzusehen. Es empfiehlt sich, die Verarbeitung, das Gesamtkonzept und den im Preis enthaltenen Lieferumfang zu prüfen.

- /1/** Stiftung Warentest, Acht Anlagen - acht Konzepte, Zeitschrift test, Ausgabe 3/98, März 1998
- /2/** Stiftung Warentest, Solide Technik, sinkende Preise, Zeitschrift test, Ausgabe 3/98, März 1998
- /3/** H. Drück, Kombispeicher aus dem Prüfstand  
Tagungsband OTTI, 8. Symposium thermische Solarenergie, Mai 1998
- /4/** Th. Pauschinger, Darf's ein bißchen mehr sein? - Solaranlagen zur kombinierten Brauchwassererwärmung und Raumheizung  
Tagungsband OTTI, 7. Symposium thermische Solarenergie, April 1997

**Danksagung:** Die Ergebnisse dieses Beitrags wurden unter Mitarbeit von den Ingenieuren der Arbeitsgruppe Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS) H. Drück, S. Fischer, J. Hasenmaier, F. Köhler, B. Lenz, M. Peter und B. Achatz erarbeitet. Der Vergleichstest wurde mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert. Die Autoren danken für diese Unterstützung.